



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

TATIANE LIMA BATISTA

**GERAÇÃO DE EQUAÇÕES IDF DOS MUNICÍPIOS CEARENSES PELO MÉTODO
DE DESAGRAGAÇÃO POR ISOZONAS IMPLEMENTADO EM UM PROGRAMA
COMPUTACIONAL**

FORTALEZA

2018

TATIANE LIMA BATISTA

GERAÇÃO DE EQUAÇÕES IDF DOS MUNICÍPIOS CEARENSES PELO MÉTODO DE
DESAGRAGAÇÃO POR ISOZONAS IMPLEMENTADO EM UM PROGRAMA
COMPUTACIONAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Recursos Hídricos da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto Lacerda Tavares.

FORTALEZA

2018

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

- B337g Batista, Tatiane Lima.
Geração de equações IDF dos municípios cearenses pelo método de desagregação por isozonas implementado em um programa computacional / Tatiane Lima Batista. – 2018.
94 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Recursos Hídricos, Fortaleza, 2018.
Orientação: Prof. Dr. Paulo Roberto Lacerda Tavares.
1. Chuvas intensas. 2. Equação IDF. 3. Isozonas. I. Título.

CDD 627

TATIANE LIMA BATISTA

GERAÇÃO DE EQUAÇÕES IDF DOS MUNICÍPIOS CEARENSES PELO MÉTODO DE
DESAGRAGAÇÃO POR ISOZONAS IMPLEMENTADO EM UM PROGRAMA
COMPUTACIONAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Recursos Hídricos da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Recursos Hídricos.

Aprovada em: 15 / 03 / 2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Roberto Lacerda Tavares (Orientador)
Universidade Federal do Cariri (UFCA)

Prof. Marco Aurélio Holanda de Castro, PhD
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dra. Celme Torres Ferreira da Costa
Universidade Federal do Cariri (UFCA)

A Deus.

Aos meus pais, Teresa e Norberto.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter providenciado todas as oportunidades que tive e ter me dado sabedoria, força e auxílio em todos os momentos.

A Universidade Federal do Ceará, seu corpo docente, direção e administração, que fizeram parte da minha formação e crescimento profissional.

Ao meu orientador Professor Dr. Paulo Roberto Lacerda Tavares, pelo apoio, incentivo e assistência durante a realização deste trabalho.

Aos meus pais Teresa e Norberto, pela confiança, carinho e amor acima de tudo.

Aos meus tios Antônia e Milton, pela disposição em me ajudar e me aconselhar nos momentos necessários.

Aos meus avós Maria e Sebastião, por me protegerem e cuidarem de mim.

Aos meus irmãos Tálisson e Tiago e a minha afilhada Ana Thayla, por serem minha fortaleza.

Ao meu esposo Marlon Gonçalves, pelo estímulo e ajuda valiosos.

A minha prima Auxiliadora Lima por toda a ajuda nesse período de minha vida.

Ao meu amigo Pétrus Eduardo, pelo companheirismo, pela ajuda e pela torcida.

Aos colegas de formação Amanda, Thibério, Renan, Gabriela, Carlos, Nosliana, Thaís, Manuela, Daniel e a todos os outros que vivenciaram comigo, de forma bem próxima, esse tempo de preparo e construção profissional.

Ao CNPQ pelo financiamento da bolsa durante o período do mestrado.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação e que serão inesquecíveis na minha vida, o meu muito obrigada.

“A água é o princípio de todas as coisas.”

Tales de Mileto.

RESUMO

Compreender as características das chuvas intensas de uma determinada localidade é fundamental para o dimensionamento econômico e seguro de estruturas hidráulicas, prevenção de enchentes e gerenciamento dos recursos hídricos. Dois importantes parâmetros, intensidade e duração da chuva, podem estar estatisticamente relacionados com a frequência de ocorrência. A representação gráfica resultante é a denominada Curva ou Equação IDF. Uma Equação IDF adequada é comumente necessária para o planejamento e projeto na área de recursos hídricos. Muitas localidades não possuem Equação IDF, o que constitui um problema para os projetistas. Com o objetivo de suprir essa necessidade para o estado do Ceará, este trabalho tem como objetivo principal o desenvolvimento das Equações IDF para os 184 municípios do estado, utilizando como base uma série de dados de precipitações diárias máximas anuais extraídas dos registros de pluviômetros. Na análise de frequência das séries foram testadas as distribuições de probabilidade Gamma com dois e três parâmetros, Log Normal com dois e três parâmetros e Gumbel. Para a desagregação da chuva diária em chuvas de menores durações foi aplicada a metodologia das isozonas proposta por Torrico (1974). A metodologia foi aplicada através de programação computacional desenvolvida em linguagem computacional *Java*, com o intuito de sistematizar o processo de determinação das Equações IDF. Como forma de validação dos resultados obtidos foi realizada uma comparação para a cidade de Fortaleza entre a equação desenvolvida neste trabalho e a equação determinada por dados de pluviógrafos, gerando ótimos índices de correlação.

Palavras-chave: Chuvas intensas. Equação IDF. Isozonas.

ABSTRACT

Understanding the characteristics of the intense rains of a certain locality is fundamental for the economic and a safe design of hydraulic structures, flood prevention and water resources management. Two important parameters, intensity and duration of rainfall, may be statistically related to the frequency of occurrence. The resulting graphical representation is the so-called Curve or Equation IDF. An adequate IDF equation is commonly needed for planning and design in the area of water resources. Many locations do not have IDF Equation, which is a problem for designers. This work has as main objective the development of the IDF Equations for the 184 municipalities of the state of Ceará, based on a series of annual maximum daily precipitation data extracted from pluviometers records. In the frequency analysis of the series we tested the Gamma probability distributions with two and three parameters, Log Normal with two and three parameters and Gumbel. For the breakdown of daily rainfall in rainfall of shorter durations, the methodology of isozones proposed by Torrico (1974) was applied. The methodology was applied using computational programming, which was developed in *Java* computational language, in order to systematize the process of determination of the IDF Equations. As a way of validating the results obtained, a comparison was made for the city of Fortaleza between the equation developed in this work and the equation determined by pluviograph data, generating excellent correlation indices.

Keywords: Intense rains. IDF Equation. Isozones.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Mapa de isozonas do Brasil proposto por Torrico (1974)	22
Figura 2	–	Estado do Ceará – Regiões de planejamento.....	32
Figura 3	–	Região semiárida cearense.....	34
Figura 4	–	Variabilidade sazonal da chuva média mensal em diversas regiões do Brasil	36
Figura 5	–	Hipsometria do estado do Ceará.....	38
Figura 6	–	Função Densidade Log Normal.....	42
Figura 7	–	Função Densidade Gamma.....	42
Figura 8	–	Função Densidade Gumbel.....	42
Figura 9	–	Tela inicial.....	51
Figura 10	–	Tela de análise estatística dos dados.....	52
Figura 11	–	Tela de ajuste dos dados a uma distribuição de probabilidade.....	52
Figura 12	–	Tela final do programa.....	53
Figura 13	–	Tela final do programa: Parte 01.....	54
Figura 14	–	Tela final do programa: Parte 02.....	54
Figura 15	–	Tela final do programa – Partes 3, 4 e 5.....	55
Figura 16	–	Tela final do programa – Parte 6.....	55
Figura 17	–	Dados pluviométricos obtidos da FUNCEME.....	57
Figura 18	–	Histograma de frequência relativa da quantidade de anos de observação dos postos pluviométricos.....	60
Figura 19	–	Gráfico da série de precipitações diárias máximas para a cidade de Fortaleza.....	62
Figura 20	–	Mapa das distribuições de probabilidade escolhidas para cada município.....	63
Figura 21	–	Gráfico da frequência de utilização das distribuições de probabilidade ..	64

Figura 22	– Superfície interpolada do parâmetro a.....	72
Figura 23	– Superfície interpolada do parâmetro b.....	73
Figura 24	– Superfície interpolada do parâmetro C.....	74
Figura 25	– Superfície interpolada do parâmetro n.....	75
Figura 26	– Superfície interpolada do parâmetro S.....	76
Figura 27	– Superfície interpolada das intensidades calculadas (mm/h) através das equações IDF de cada município, utilizando $T_r = 10$ anos e $t = 10$ min	77
Figura 28	– Superfície interpolada dos totais médios precipitados anuais (mm) para cada município.	78
Figura 29	– Correlação linear entre os valores de intensidade obtidos pela equação de Silva, Palácio Junior e Campos (2013) e pelo algoritmo desenvolvido neste trabalho	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Coeficientes de desagregação de acordo com a isozona.....	22
Tabela 2	– Relações entre durações.....	25
Tabela 3	– Valores de período de retorno (Tr) de acordo com o tipo de projeto.....	27
Tabela 4	– Normais Climatológicas do Ceará (1961-1990): Precipitação acumulada mensal e anual (mm).....	37
Tabela 5	– Resumo das características das distribuições de probabilidade.....	41
Tabela 6	– Critérios de interpretação do desempenho do método.....	56
Tabela 7	– Características dos postos pluviométricos utilizados neste trabalho.....	58
Tabela 8	– Série de precipitações diárias máximas anuais para a cidade de Fortaleza – CE.....	62
Tabela 9	– Equações IDF para os municípios do estado do Ceará.....	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional das Águas
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
EPE	Erro Padrão da Estimativa
FF	Frentes Frias
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
IDF	Intensidade – Duração - Frequência
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia

LISTA DE VARIÁVEIS E DIMENSÕES

P	Precipitação [L]
V	Volume [L ³]
A	Área [L ²]
i	Intensidade [LT ⁻¹]
t	Duração [T]
Tr	Tempo de retorno [T]
DQM	Desvio Quadrático Médio
DQR	Desvio Quadrático Residual
DPMA	Desvio Percentual Médio Absoluto
χ_0^2	Estatística de teste Qui-Quadrado
α	Nível de significância
GL	Graus de liberdade
D_n^*	Estatística de teste Lilliefors
R ²	Coefficiente de determinação
a	Parâmetro da equação IDF
b	Parâmetro da equação IDF
C	Parâmetro da equação IDF
n	Parâmetro da equação IDF
S	Parâmetro da equação IDF
$\hat{\beta}$	Coefficiente angular da reta de regressão
$\hat{\alpha}$	Intercepto da reta de regressão [LT ⁻¹]
t_α	Estatística de teste t de Student
t_{crit}	Valor crítico para o teste t de Student
EPE	Erro Padrão da Estimativa
R	Coefficiente de NASH
d	Índice de Concordância
c	Índice de desempenho

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Problemática	15
1.2	Objetivos	16
<i>1.2.1</i>	<i>Objetivo geral</i>	16
<i>1.2.2</i>	<i>Objetivos específicos</i>	16
1.3	Escopo	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	Medição de chuvas	18
2.2	Equações Intensidade-Duração-Frequência (IDF) de chuvas intensas	19
2.3	Métodos de cálculo da equação IDF através de dados pluviométricos	20
<i>2.3.1</i>	<i>Método das isozonas</i>	20
<i>2.3.2</i>	<i>Método de Bell</i>	23
<i>2.3.3</i>	<i>Método da CETESB (1979)</i>	24
2.4	Chuva de projeto	26
<i>2.4.1</i>	<i>Método dos blocos alternados</i>	27
2.5	Estudo das chuvas intensas no Brasil	28
3	ÁREA DE ESTUDO	31
3.1	Características territoriais do estado do Ceará	31
3.2	Características climáticas e meteorológicas do estado do Ceará	33
4	METODOLOGIA	39
4.1	Seleção dos dados	39
4.2	Análise de frequência das chuvas	39
4.3	Critérios de escolha da distribuição de melhor ajuste	43
<i>4.3.1</i>	<i>Teste do Qui-Quadrado</i>	43
<i>4.3.2</i>	<i>Teste de Lilliefors</i>	44
<i>4.3.3</i>	<i>Análise do coeficiente de determinação</i>	45
4.4	Aplicação do método das isozonas	46
4.5	Determinação dos parâmetros da equação IDF	46
<i>4.5.1</i>	<i>Parâmetros a, b e n</i>	47
<i>4.5.2</i>	<i>Parâmetro C</i>	47
<i>4.5.3</i>	<i>Parâmetro S</i>	48
4.6	Verificação da qualidade do ajuste dos parâmetros das equações IDF	48

4.6.1	<i>Análise do coeficiente angular e de determinação</i>	48
4.6.2	<i>Erro Padrão da Estimativa (EPE)</i>	50
4.6.3	<i>Coefficiente de NASH</i>	50
4.7	Interface gráfica utilizada para o cálculo das equações	51
4.8	Comparação entre as equações IDF geradas por pluviógrafos e por pluviômetros	56
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	57
5.1	Equações IDF para os municípios do estado do Ceará	57
5.1.1	<i>Seleção dos dados das estações pluviométricas</i>	57
5.1.2	<i>Formação das séries anuais de precipitações máximas diárias</i>	61
5.1.3	<i>Análise de frequência das séries anuais</i>	63
5.1.4	<i>Aplicação da metodologia das isozonas</i>	64
5.1.5	<i>Parâmetros das equações IDF para os municípios do estado do Ceará</i>	65
5.1.6	<i>Verificação da qualidade do ajuste dos parâmetros das equações IDF</i>	79
5.2	Comparação entre equações IDF geradas por pluviógrafos e pluviômetros para a cidade de Fortaleza - CE	80
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	82
	REFERÊNCIAS	83
	APÊNDICE A – ÍNDICES DE VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DO AJUSTE DOS PARÂMETROS DAS EQUAÇÕES IDF, DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE E ISOZONAS RELACIONADOS A CADA POSTO PLUVIOMÉTRICO	87
	APÊNDICE B – MAPA DE ISOZONAS E POSTOS PLUVIOMÉTRICOS ESTUDADOS DO ESTADO DO CEARÁ	92
	ANEXO A – TABELA DA DISTRIBUIÇÃO QUI-QUADRADO	93
	ANEXO B – TABELA DA DISTRIBUIÇÃO DE LILLIEFORS	94

1 INTRODUÇÃO

As águas pluviais constituem a principal fonte de entrada de água nas bacias hidrográficas. As estruturas hidráulicas são projetadas para controlar esses volumes de águas pluviais. As consequências da falha dessas estruturas variam de inundações incômodas de pátios, porões e vias de acesso rodoviário, através de fechamento temporário de estradas ou pontes e danos materiais menores, até a destruição generalizada e até mesmo a perda de vidas. Daí a importância de um aprofundamento no estudo dos parâmetros e características dos eventos responsáveis por essas falhas. (SENOCAK & RESAT ACAR, 2007)

Dois importantes parâmetros, intensidade e duração de uma chuva, podem estar estatisticamente relacionados com a sua frequência de ocorrência. A representação gráfica resultante é a denominada curva ou equação Intensidade – Duração – Frequência (IDF). Uma equação IDF adequada é comumente necessária para o planejamento e projeto de recursos hídricos. Muitos procedimentos e fórmulas, principalmente empíricos, foram propostos na literatura para o cálculo dessas equações. (SENOCAK & RESAT ACAR, 2007)

As equações IDF podem ser utilizadas para estimar valores máximos de intensidade de chuva para curtas durações. Essas chuvas são denominadas chuvas máximas ou chuvas intensas e produzem 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 e contaminação de corpos de água. (ARAGÃO et al., 2013).

O conhecimento sobre a distribuição temporal e espacial das chuvas intensas é essencial em meteorologia, hidrologia e engenharia civil. O comportamento da intensidade das chuvas em um local deve ser considerado para o planejamento de obras hidráulicas, estradas, sistemas de esgoto e concepção de redes de drenagem de águas pluviais em grandes infraestruturas. (PÉREZ-ZANÓN et al., 2016).

1.1 Problemática

Uma aplicação do estudo das chuvas intensas pode ser observada quando dados de vazões máximas observadas em estações fluviométricas (que são utilizados em projetos de obras hidráulicas como vertedores de barragens, canais, desvios de cursos de água, dentre outros) são inexistentes ou insuficientes para uma determinada localidade. Então, a equação IDF é utilizada como ferramenta para determinação da vazão de projeto. Porém, muitas

localidades não possuem equação IDF, o que constitui um problema para os projetistas. (GARCIA et al., 2011).

Através dos dados pluviográficos, pode-se determinar as intensidades de chuva para várias durações inferiores a 24 horas. Porém, no Estado do Ceará, como também na maioria dos Estados do Brasil, existe uma dificuldade no que diz respeito ao acesso a esses dados, além de problemas como curtos períodos de observação e falhas nas medições. Assim, os métodos que desagregam as chuvas diárias em chuvas de menores durações são frequentemente utilizados. (RANGEL & HARTWIG, 2016).

As equações IDF apresentam resultados melhores quando as séries de dados utilizadas são extensas. (RODRIGUES, et al., 2008). Como no Brasil há uma maior disponibilidade de dados pluviométricos com maiores tempos de observações quando comparados aos dados pluviográficos, torna-se fundamental metodologias que possibilitem o ajuste de equações IDF a partir de dados diários de precipitação (GARCIA et al., 2011).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma ferramenta que caracterize as chuvas intensas no Estado do Ceará por meio, principalmente, do desenvolvimento da equação IDF de cada município utilizando dados de pluviômetros.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Fazer uma revisão da metodologia de obtenção das equações IDF de chuvas intensas através de dados de pluviômetros para o Estado do Ceará;
- b) Determinar os parâmetros das equações IDF para todos os municípios do Estado do Ceará através da metodologia das isozonas, utilizando dados de precipitação de postos pluviométricos;
- c) Desenvolver um programa computacional para automatização do processo de geração de equações IDF.

1.3 Escopo

Esse trabalho é composto por seis capítulos. Neste primeiro capítulo, é apresentada uma introdução sobre o tema desenvolvido e são apresentados os objetivos que foram definidos para a pesquisa. No capítulo dois, apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre os

estudos das chuvas intensas no Brasil e métodos de cálculo de equações IDF. No capítulo três, é apresentado o local de estudo em que foi aplicada a metodologia desenvolvida. No capítulo quatro, esta metodologia é descrita. O capítulo cinco apresenta os resultados obtidos com a aplicação da metodologia no Estado do Ceará. As considerações finais são apresentadas no sexto e último capítulo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Medição de chuvas

Na hidrologia, a precipitação é definida como toda água que atinge a superfície terrestre através de diferentes formas: neblina, granizo, chuva, orvalho, neve, dentre outras. A chuva é o mais importante tipo de precipitação devido à sua capacidade de produzir escoamento. Determinar a intensidade de uma precipitação é importante para prevenção e controle de inundações e erosão do solo. (TUCCI, 2004).

A função de um posto de medição de chuvas é obter uma série de dados ininterruptos de precipitações ao longo dos anos.

Segundo Tucci (2004) existem duas maneiras de medir a chuva:

- De forma pontual através de pluviômetros e pluviógrafos;
- De forma espacial, através de radares.

O pluviômetro é um aparelho composto por um recipiente encaixado em um funil com anel receptor. Nele são aferidas as medidas de altura total da chuva acumulada em um período de tempo, geralmente de um dia. A lâmina precipitada é calculada a partir da relação entre o volume recolhido e a área de interceptação do anel, de acordo com a equação 01.

$$P = 10 \times \frac{V}{A} \quad (01)$$

Em que: P é a precipitação acumulada em mm; V é o volume recolhido em cm³ ou ml e A é a área de interceptação do anel em cm².

O pluviógrafo se diferencia do pluviômetro pelo fato de registrar automaticamente as variações da precipitação ao longo do tempo, podendo ser um equipamento gráfico ou digital.

Existem também as Plataformas de Coleta de Dados (PCD's) que são utilizadas em alguns estados do Brasil como ferramenta de registro de dados hidrometeorológicos. As PCD's são equipamentos automáticos que medem diversas variáveis como: precipitação, radiação solar, temperatura, pressão atmosférica, umidade do ar, velocidade do vento, dentre outras. Esses dados podem ser coletados e transmitidos para as centrais de processamento através de satélites. Podem ser utilizados pluviômetros para realizar a medição da chuva em intervalos de tempo menores do que um dia, como a cada 3 horas ou a cada hora. (SILVA, 2009)

A rede hidrometeorológica nacional é coordenada pela Agência Nacional das Águas (ANA) que disponibiliza em seu site na internet, denominado *HidroWeb*, dados de séries históricas pluviométricas e fluviométricas, além de dados de bacias, sub-bacias hidrográficas e rios. No Ceará, atua, também, a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). A FUNCEME tem a função de produzir subsídios para auxiliar no planejamento governamental no que diz respeito a distribuição e gestão dos recursos hídricos. O monitoramento das variáveis hidrometeorológicas no estado do Ceará é realizado pela FUNCEME através da coleta de dados brutos, análise e consistência dos dados e desenvolvimento e integração de sistemas. A rede de coleta de dados operada pela instituição possui pluviômetros convencionais, PCD's, radares e satélites meteorológicos.

No estado do Ceará, existem 550 pluviômetros convencionais (distribuídos segundo uma densidade espacial de 280 km²/pluviômetro) e 76 PCD's monitorados pela FUNCEME (FUNCEME, 2017).

2.2 Equações Intensidade – Duração – Frequência (IDF) de chuvas intensas

As chuvas intensas são as causadoras das enchentes que, por sua vez, geram prejuízos como o transbordamento de rios, inundações de casas, interrupção do tráfego e destruição de plantações, edifícios e etc. (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013). O conhecimento dessas precipitações máximas resulta em diversas aplicações no campo da engenharia de recursos hídricos, podendo ser utilizada como base para o dimensionamento de obras hidráulicas, tais como canais, bueiros e vertedores. (COELHO FILHO; MELO; ARAÚJO, 2017).

Segundo Cruciani et al. (2002), é imprescindível caracterizar as chuvas intensas de uma determinada região de estudo para que seus efeitos possam ser quantificados de forma adequada e para que eventos hidrológicos extremos sejam previstos.

Segundo Tucci (2004), uma chuva é caracterizada pelas seguintes grandezas:

- Altura pluviométrica (P): representa a espessura média da lâmina de água precipitada que recobriria a região atingida pela precipitação. A unidade de medição usual é o milímetro de chuva (mm), que pode ser definido como a quantidade de precipitação que corresponde a 1L por metro quadrado de superfície;

- Duração (t): representa o período de tempo durante o qual a chuva cai;

- Intensidade (i): representa a altura pluviométrica por unidade de tempo, obtida pela equação 02:

$$i = \frac{P}{t} \quad (02)$$

Em que: i é a intensidade da chuva expressa em mm/min ou mm/h, P é a altura pluviométrica em mm e t é a duração da chuva geralmente expressa em minutos ou horas.

- Frequência ou Tempo de Retorno (T_r): representa o tempo no qual é esperado que uma determinada precipitação seja superada ou igualada. O inverso do tempo de retorno é definido como a probabilidade de um fenômeno igual ou superior ao analisado acontecer em um ano qualquer, ou seja, a probabilidade anual. Por exemplo, uma precipitação com 2% de probabilidade anual tem um tempo de retorno de 50 anos.

Através da análise das relações entre a intensidade, duração e frequência de uma precipitação, verifica-se que quanto menor for a sua duração e quanto maior for o seu tempo de retorno, maior é a intensidade da chuva.

A relação Intensidade-Duração-Frequência (IDF) da chuva é uma das ferramentas mais utilizadas em engenharia de recursos hídricos para planejamento, concepção e operação de projetos e prevenção de enchentes. Essa relação, denominada equação IDF é determinada com base nos dados de pluviógrafos de um local de interesse. No Brasil, existe uma dificuldade em relação a obtenção de dados pluviográficos devido à escassez desses equipamentos e séries muito pequenas ou com muitas falhas. Por isso, várias metodologias foram desenvolvidas para encontrar a equação IDF de uma localidade utilizando dados de pluviômetros (ARAGÃO et al., 2013). Algumas dessas metodologias estão descritas no tópico a seguir.

2.3 Métodos de cálculo da equação IDF através de dados pluviométricos

2.3.1 Método das Isozonas

A determinação das relações entre a precipitação e a vazão em projetos de drenagem ou pequenas barragens necessita do conhecimento das alturas de precipitação para durações, muitas vezes, bem inferiores a 24h. A extrapolação de dados a partir de postos pluviográficos distantes da área de projeto podem não produzir resultados representativos. Então, devido a existência de uma grande quantidade de estações pluviométricas com registros de precipitação diária, Torrico (1974) desenvolveu uma metodologia que correlaciona os dados de postos pluviométricos e pluviográficos e que permite deduzir precipitações para período inferiores a 24 horas.

Torrico (1974) desenhou em um papel de probabilidade as precipitações de 24 horas e de 1 hora para as estações pluviográficas do Brasil estudadas por Pfafstetter (1957) em seu

livro “Chuvas intensas no Brasil”. Com isso, ele percebeu que prolongando a reta de altura de precipitação/duração, elas tendiam a cortar o eixo das abscissas em um mesmo ponto para algumas áreas. Essa tendência mostra que a relação entre as precipitações de 1h e 24 h para cada área homóloga é constante para o mesmo período de retorno e não depende da altura precipitada.

Foi construído um mapa de isozonas relacionando as alturas de precipitação máxima anual de uma hora com as de 24 horas de cada posto. As isozonas foram denominadas com letras de A à H e demonstram as seguintes características:

A: coincide com a zona de maior precipitação anual do Brasil e possui coeficientes de desagregação baixos;

B e C: caracterizam a zona de influência marítima com coeficientes de desagregação suaves;

D: tipificam as zonas de transição entre continental e marítma se prolongando até a zona de influência do Rio Amazonas.

E e F: tipificam as zonas continental e do Noroeste, com coeficientes de desagregação altos;

G e H: tipificam a zona da caatinga nordestina, com coeficientes de desagregação muito altos.

As isozonas foram deduzidas das relações pluviográficas. Então, para correlacioná-las com as precipitações medidas nas estações pluviométricas, foi determinado o coeficiente de 1,095 para a relação 24 h/ 1 dia.

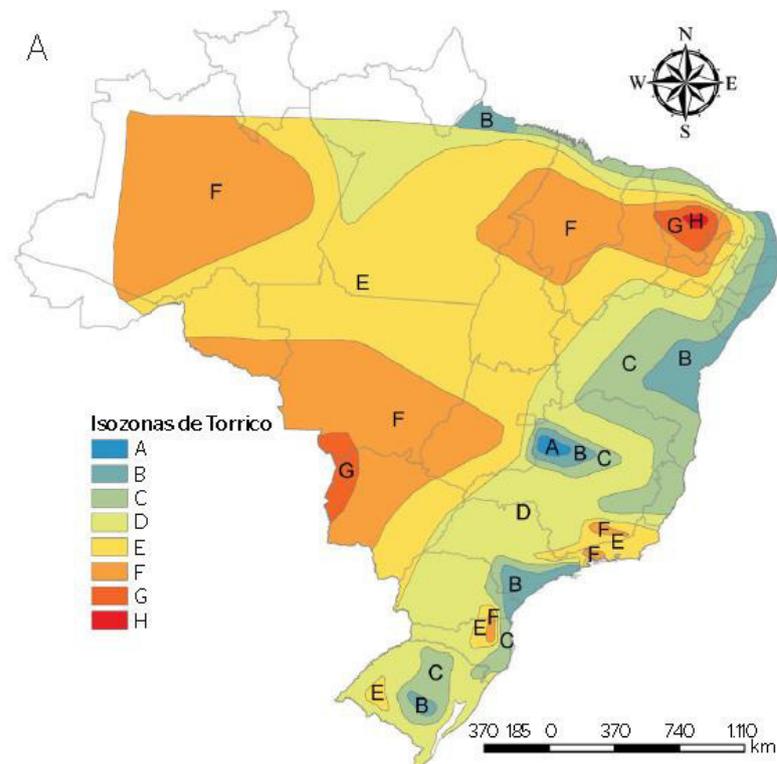
O mapa de isozonas do Brasil está apresentado na Figura 01 e a Tabela 01 contém os coeficientes de desagregação 1h/24 e 6min/24h para os diversos períodos de retorno.

Tabela 01 – Coeficientes de desagregação de acordo com a isozona (%).

Tr(anos)	1h/24h (%)										6min/24h (%)	
	5	10	15	20	25	30	50	100	1000	10000	5-50	100
A	36,2	35,8	35,6	35,5	35,4	35,3	35,0	34,7	33,6	32,5	7,0	6,3
B	38,1	37,8	37,5	37,4	37,3	37,2	36,9	36,6	35,4	34,3	8,4	7,5
C	40,1	39,7	39,5	39,3	39,2	39,1	38,8	38,4	37,2	36,0	9,8	8,8
D	42,0	41,6	41,4	41,2	41,1	41,0	40,7	40,3	39,0	37,8	11,2	10
E	44,0	43,6	43,3	43,2	43,0	42,9	42,6	42,2	40,9	39,6	12,6	11,2
F	46,0	45,5	45,3	45,1	44,9	44,8	44,5	44,1	42,7	41,3	13,9	12,4
G	47,9	47,4	47,2	47,0	46,8	46,7	46,4	45,9	44,5	43,1	15,4	13,7
H	49,9	49,4	49,1	48,9	48,6	48,6	48,3	47,8	46,3	44,8	16,7	14,9

Fonte: Tucci (2004)

Figura 01 – Mapa de isozonas do Brasil proposto por Torricco (1974).



Fonte: Basso et al., 2016.

2.3.2 Método de Bell

O método de Bell (1969) consiste na associação da altura pluviométrica de uma chuva intensa para um tempo de duração padrão de 60min e período de retorno de dois anos, conforme a equação 03:

$$P(t;Tr) = (\alpha \times \ln(Tr) + \beta_1) + (\beta_2 \times t^\gamma - \beta_3) \times P(60; 2) \quad (03)$$

Em que:

$P(t;Tr)$: altura pluviométrica (mm) de chuva de duração t e tempo de retorno Tr ;

$P(60;2)$: altura pluviométrica (mm) de chuva intensa padrão de 60 min de duração e dois anos de tempo de retorno.

α , β_1 , β_2 , β_3 e γ : parâmetros regionais ajustados pelo método dos mínimos quadrados.

t : tempo de duração da precipitação;

Tr : tempo de retorno da precipitação.

O método de Bell só se aplica a chuvas com durações e períodos de retorno inferiores a 120 min e 20 anos, respectivamente.

A equação 04 abaixo foi ajustada por Bell (1969) com dados de vários continentes:

$$P(t;Tr) = (0,35 \times \ln(Tr) + 0,76) + (0,54 \times t^{0,25} - 0,50) \times P(60; 2) \quad (04)$$

Em que:

$P(t;Tr)$: altura pluviométrica (mm) de chuva de duração t e tempo de retorno Tr ;

$P(60;2)$: altura pluviométrica (mm) de chuva intensa padrão de 60 min de duração e dois anos de tempo de retorno.

t : tempo de duração da precipitação;

Tr : tempo de retorno da precipitação.

Esse método foi baseado em dados de séries parciais de chuvas observadas em várias localidades do mundo. Segundo Back (2008), o fundamento do estudo de Bell (1969) é a semelhança existente entre os mecanismos das tormentas. Então, o valor máximo dessas chuvas associa-se a células convectivas que possuem características em comum em algumas partes do mundo. As limitações desse estudo se baseiam no fato de que os resultados não são especificados para um local, mas funções de valores médios de diversas partes do mundo.

Então, Righetto (1998) ajustou os coeficientes de Bell(1969) utilizando dados de estações pluviográficas espalhadas ao longo do território brasileiro, resultando na equação 05.

$$P(t, Tr) = (0,31 \times \ln(Tr) + 0,70) \times (0,38 \times t^{0,31} - 0,39) \times P(60,2) \quad (05)$$

Em que:

$P(t;Tr)$: altura pluviométrica (mm) de chuva de duração t e tempo de retorno Tr ;

$P(60;2)$: altura pluviométrica (mm) de chuva intensa padrão de 60 min de duração e dois anos de tempo de retorno.

t : tempo de duração da precipitação;

Tr : tempo de retorno da precipitação.

Righetto (1998) ainda sugere que o valor de $P(60,2)$ pode ser obtido conforme a equação 06:

$$P(60,2) = 0,51 \times P(dia, 2) \quad (06)$$

Em que:

$P(60;2)$: altura pluviométrica (mm) de chuva intensa padrão de 60 min de duração e dois anos de tempo de retorno.

$P(dia;2)$: precipitação máxima diária associada ao período de retorno de 2 anos.

Esse coeficiente de 0,51 foi obtido através da avaliação de precipitações registradas no estado de São Paulo.

Mello et al. (2003) ajustaram o método de Bell (1969) para estações meteorológicas do estado de Minas Gerais e obtiveram bons indicadores estatísticos e erros baixos entre as precipitações máximas observadas e estimadas.

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.

2.3.3 Método da CETESB

O método da CETESB (1979) ou 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. A equação 07 é a expressão que mostra como as relações entre durações são encontradas. (TUCCI, 2004).

$$r_{\frac{t_1}{t_2}} = \frac{\text{precipitação de duração } t_1}{\text{precipitação de duração } t_2} \quad (07)$$

A Tabela 02 mostra os valores médios encontrados pela CETESB (1979) para o Brasil e para os Estados Unidos.

A precipitação de 24 horas corresponde à maior precipitação correspondente a um período consecutivo de 24 horas, não necessariamente coincidente com o período de observação do pluviômetro.

Devido à grande rede de pluviômetros no Brasil, esse método é bastante aplicado.

Tabela 02: Relações entre durações.

Relação	Brasil	Estados Unidos (USW Bureau)	Estados Unidos (Denver)
5min/30min	0,34	0,37	0,42
10min/30min	0,54	0,57	0,63
15min/30min	0,7	0,72	0,75
20min/30min	0,81		0,84
25min/30min	0,91	0,79	0,92
30min/1h	0,74		
1h/24h	0,42		
6h/24h	0,72		
8h/24h	0,78		
10h/24h	0,82		
12h/24h	0,85		
24h/1dia	1,14	1,13	

Fonte: CETESB (1986).

Para este trabalho foi escolhida a metodologia das isozonas dentre as três apresentadas anteriormente. A escolha foi realizada com base em fatores como a observação das características de cada método e nos resultados encontrados em trabalhos anteriores. A seguir são apresentados alguns desses fatores:

- a) Segundo TUCCI (2004) o método de Bell só é válido para chuvas de duração inferior à 120 min.

- b) O método das relações entre durações não diferencia os coeficientes de desagregação em relação ao tempo de retorno, como é feito no método das isozonas.
- c) Torrico (1974) afirma que os resultados encontrados na metodologia das isozonas representam uma confiabilidade até então não encontrada em localidades onde não existem postos pluviográficos.
- d) O trabalho realizado por Oliveira et al (2008) 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 da CETESB (1979), é o mais adequado para a estimativa das características das chuvas intensas para dados diários de pluviômetros.

2.4 Chuvas de projeto

Segundo Collischonn e Dornelles (2013), uma chuva de projeto é um evento idealizado que está associado a um período de retorno considerado igual ao tempo de retorno da vazão máxima gerada por essa chuva. Essas chuvas podem ser obtidas pelas curvas IDF de determinada localidade. As chuvas de projeto possuem três características principais:

- Duração: deve ser definida uma duração de maneira que se possa garantir que a bacia por completo esteja contribuindo com o escoamento que chega ao exutório. Por isso, considera-se que a duração das chuvas de projeto seja igual, ou muito próxima, do tempo de concentração ¹da bacia hidrográfica. A escolha de valores muito superiores ao tempo de concentração da bacia hidrográfica, garantiria a completa colaboração da mesma no escoamento, porém produziria resultados de intensidades menores, correndo o risco de subestimar esses valores.

- Intensidade média: com a duração da chuva de projeto definida, a sua intensidade média pode ser calculada a partir da curva IDF para um dado tempo de retorno. Esse tempo de retorno vai depender das características do projeto em questão, ou seja, da dimensão dos prejuízos causados por uma eventual falha. Quanto maior a dimensão do prejuízo, maior o tempo de retorno adotado. Villela (1975) sugere alguns valores para o tempo de retorno de acordo com o tipo de projeto. A Tabela 03 resume esses dados.

1) O tempo de concentração de uma bacia é o tempo de viagem de uma gota de água de chuva que atinge a região mais distante da bacia hidrográfica do início do escoamento até a sua chegada ao exutório.

Tabela 03: Valores de período de retorno (Tr) de acordo com o tipo de projeto.

Tipo de projeto	Tr (anos)
Barragem de terra	1000
Barragem de concreto	500
Galeria de águas pluviais	5 a 20
Pequena barragem para abastecimento de água	50 a 100

Fonte: Adaptado de Villela (1975).

- Distribuição temporal: Definidas a intensidade média e a duração da chuva de projeto, faz-se necessário definir a sua distribuição temporal. Existem métodos que utilizam a hipótese de que a chuva é distribuída uniformemente ao longo de sua duração, porém, para gerar chuvas de projetos mais longas, geralmente se considera que há uma variação da intensidade da chuva ao longo de sua duração. O método dos blocos alternados é frequentemente utilizado para realizar essa distribuição temporal das chuvas de projeto e está descrito mais detalhadamente no tópico a seguir.

2.4.1 Método dos blocos alternados

O método dos blocos alternados é um dos mais utilizados para a construção de hietogramas de projeto a partir de curvas IDF. Para aplicação do método deve-se seguir as seguintes etapas, segundo Collischonn e Dornelles (2013):

- 1) Dividir a chuva em n intervalos de tempos sucessivos de duração ΔT ;
- 2) Definir as intensidades das chuvas, através da equação IDF, para as durações ($1x\Delta T$), ($2x\Delta T$), ($3x\Delta T$), e assim por diante;
- 3) A precipitação total para cada intervalo é calculada através do produto da intensidade pela duração;
- 4) Os blocos são formados pelas alturas incrementais da seguinte maneira: o primeiro bloco é a chuva total correspondente à duração ΔT , o segundo bloco corresponde à subtração da chuva de duração ($2x\Delta T$) da chuva de duração ΔT , o terceiro bloco corresponde à subtração da chuva de duração ($3x\Delta T$) da chuva de duração ($2x\Delta T$) e assim por diante;
- 5) Os blocos são organizados de forma que o máximo incremento (bloco 01) ocorra, aproximadamente, no centro da duração da chuva total. Os outros blocos são posicionados alternadamente à esquerda e à direita, até o preenchimento completo da duração da chuva de projeto.

2.5 Estudo das chuvas intensas no Brasil

O engenheiro brasileiro Otto Pfafstetter (1957) 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 bilogarítmica.

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 oitenta 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.

Um marco importante no estudo das chuvas intensas no Brasil foi o desenvolvimento da metodologia das isozonas (descrita anteriormente) pelo engenheiro José Jaime Taborga Torrico em 1974 utilizando como base as estações estudadas por Pfafstetter (1957).

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. Podem ser citados os seguintes trabalhos: Genovez e Zuffo (2000) com a realização de um estudo no estado de São Paulo como objetivo de realizar uma análise comparativa entre os diferentes métodos de determinação da chuva associada a uma duração e período de retorno e apresentar a maioria dos trabalhos já realizados no estado; Oliveira et al. (2008) com a aplicação dos métodos das isozonas, de Bell e da CETESB (1979) em municípios do estado de Goiás; Oliveira et al. (2011) para 136 estações pluviométricas do estado do Mato Grosso; Back, Henn e Oliveira (2011) com o desenvolvimento de equações IDF para 13 estações pluviográficas do estado de Santa Catarina; Souza et al. (2012) para 74 cidades do estado do Pará; Souza et al. (2016) com o desenvolvimento de equações IDF para 41 estações pluviométricas do estado de Rondônia; Silva Neto et al. (2016) com a realização de um estudo de chuvas intensas para 10 estações pluviográficas do estado do Tocantins, dentre outros.

Para a região Nordeste, destacam-se os seguintes trabalhos:

- Paraíba: Campos et al (2017) estimaram os parâmetros das equações IDF para 90 estações pluviométricas do estado da Paraíba, utilizando o método de desagregação da chuva

diária, proposto por CETESB (1979). Os dados pluviométricos de cada estação foram obtidos a partir do banco de dados da Agência Nacional de Águas. As distribuições de probabilidade Gumbel, Log-Normal II, Log-Normal III, Pearson III e Log-Pearson III foram utilizadas para estimar as precipitações máximas diárias de cada estação para os períodos de retorno de 5, 10, 15, 25, 50 e 100 anos. Foi aplicada regressão múltipla não linear para o ajuste da equação IDF. Santos (2015) realizou um trabalho semelhante calculando as chuvas intensas para algumas cidades do estado utilizando dados de estações pluviométricas da ANA. Porém, o método utilizado para desagregação da chuva diária foi o método das isozonas proposto por Torrico (1974).

- Bahia: Silva et al. (2002) analisaram 19 estações pluviográficas localizadas no estado da Bahia e estabeleceram as relações IDF para cada uma delas utilizando os modelos probabilísticos de Gumbel, Log Normal com 2 e 3 parâmetros, Pearson e Log Pearson III. Para o ajuste dos parâmetros foi utilizado o método de regressão não linear de Gauss-Newton. Matos (2006) em seu livro “*Chuvas intensas na Bahia: equações e metodologias de regionalização*” apresenta metodologias de abordagem da relação Intensidade-Duração-Frequência de chuvas intensas para 28 postos do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) distribuídos nas sete regiões microclimáticas do estado e aplicação de metodologias de regionalização.

- Sergipe: Aragão et al. (2013) desenvolveram as equações IDF para o estado de Sergipe utilizando dados de chuvas diárias de 48 postos, desagregados através do método proposto por CETESB (1979). Foram aplicadas as distribuições de probabilidade Weibull e Gumbel e os parâmetros da equação IDF foram ajustados por métodos de regressão linear e não linear.

- Alagoas: No estado de Alagoas não foram encontrados muitos trabalhos acerca do tema. As pesquisas são mais focadas na bacia do Rio São Francisco que engloba vários estados, tendo sua foz localizada entre os estados de Sergipe e Alagoas. Pode-se citar o trabalho de Silva e Clarke (2004) que estudaram 218 postos pluviométricos da bacia do Rio São Francisco, sendo alguns destes postos localizados no estado de Alagoas. Os resultados foram apresentados através de mapas que mostravam a intensidade das precipitações de 100 anos para toda a bacia.

- Pernambuco: Silva et al. (2012) determinaram as equações IDF para algumas localidades do estado de Pernambuco com base no estudo de 12 estações pluviográficas e 11 estações pluviométricas distribuídas no território do estado. As séries históricas foram obtidas através da análise de pluviogramas digitalizados, para os pluviógrafos, e por meio do método de desagregação da CETESB (1979), para os pluviômetros. Na análise de frequência foram

utilizadas as funções Gumbel e Weibull. Para o ajuste dos parâmetros das equações IDF foram utilizadas metodologias de regressão linear e não linear.

- Rio Grande do Norte: Barreto et al. (2013) utilizaram dados de precipitação pluviométrica de 1964 a 2011 de um posto localizado na cidade de Mossoró e encontraram sua equação IDF através da metodologia de desagregação da chuva diária proposta por CETESB (1979).

- Piauí: Campos et al. (2014) ajustaram os parâmetros da equação IDF para 133 estações pluviométricas do estado do Piauí. As chuvas máximas de um dia foram desagregadas utilizando os coeficientes da CETESB (1979) e foram associadas a diferentes períodos de retorno através de modelos probabilísticos. O ajuste dos parâmetros foi realizado utilizando regressão linear e não linear.

- Maranhão: Campos et al. (2015) ajustaram os parâmetros das curvas IDF para 163 estações pluviométricas do estado do Maranhão, através da aplicação do método de desagregação proposto por CETESB (1979). Os valores máximos para diferentes tempos de retorno foram encontrados utilizando o modelo probabilístico de Gumbel e os parâmetros foram ajustados pelo método dos mínimos quadrados.

- Ceará: Para o Ceará, tem-se os trabalhos pontuais de Fachine Sobrinho et al. (2014), que desenvolveu as equações IDF através de dados pluviométricos, utilizando o método das isozonas para as cidades 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 Silva, Palácio Júnior e Campos (2013) que utilizaram os registros de 30 anos de dados pluviográficos para construir uma Equação IDF para a cidade de Fortaleza.

3 ÁREA DE ESTUDO

O local de aplicação deste estudo foi o estado do Ceará, localizado na região Nordeste do Brasil. Os tópicos a seguir descrevem as suas características territoriais, climáticas e meteorológicas.

3.1 Características territoriais do estado do Ceará

O Ceará se limita ao Norte com o Oceano Atlântico, ao Sul com o estado de Pernambuco, a Leste com os estados do Rio Grande do Norte e Paraíba e a Oeste com o estado do Piauí.

O Ceará possui uma área de superfície correspondente à 148.825,6 km², o que equivale à 9,57% da região Nordeste. No que diz respeito à sua divisão político-administrativa, é composto por 184 municípios divididos em 14 regiões para fins de planejamento. (SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E GESTÃO, 2015). A Figura 02 mostra um mapa do estado do Ceará e suas regiões de planejamento.

Figura 02 – Estado do Ceará – Regiões de planejamento.



Fonte: Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. IPECE (2017).

3.2 Características climáticas e meteorológicas do estado do Ceará

O regime hidrológico de uma região é determinado através dos fatores climáticos e de suas características físicas, topográficas e geológicas. A precipitação, a evaporação, a temperatura, a umidade e o vento são os fatores climáticos mais importantes nessa definição. (VILLELA, 1975).

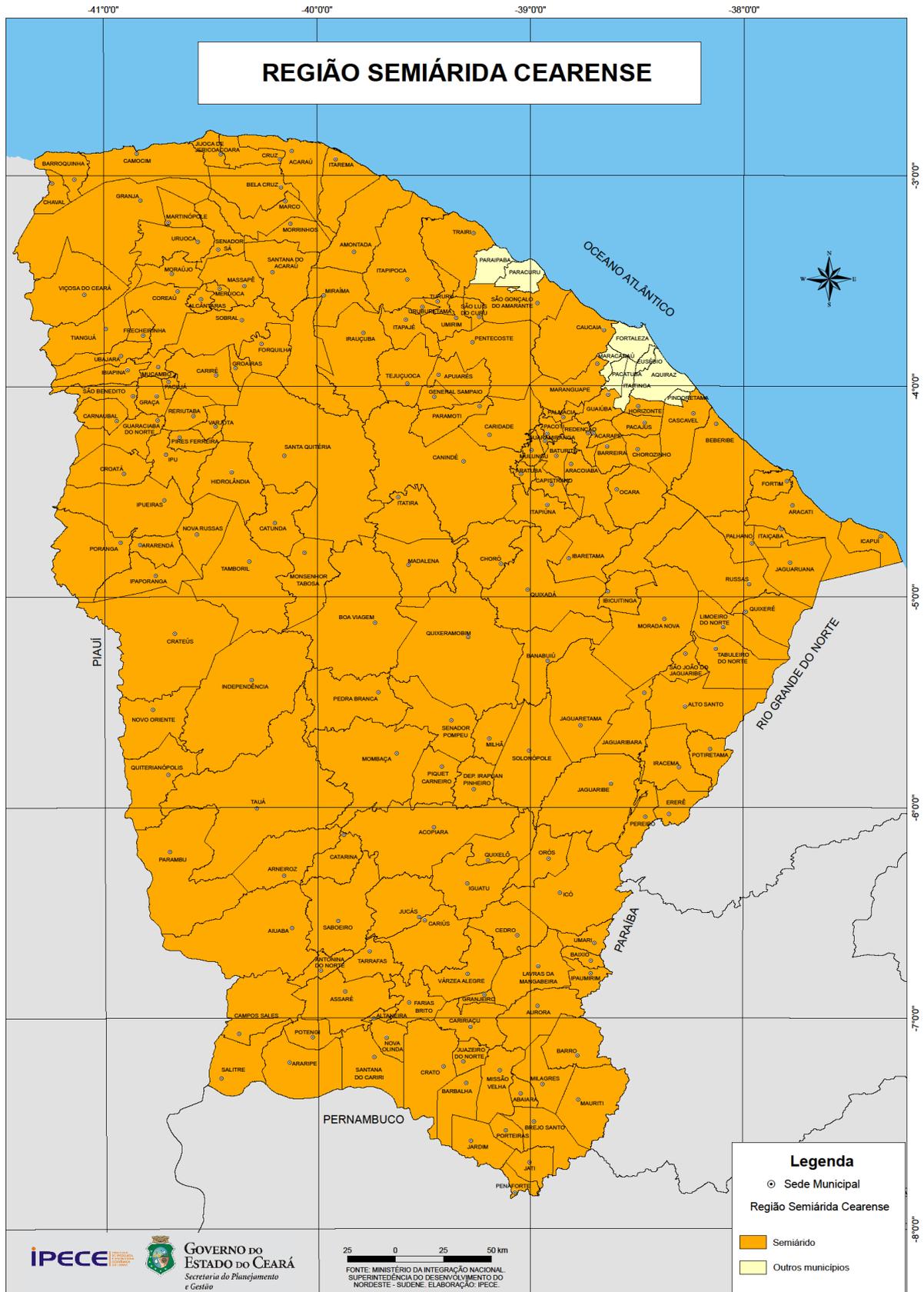
No estado do Ceará, o regime climático é marcado por uma concentração de chuvas que ocorre no período de dezembro a junho ou julho, com pouca ou nenhuma precipitação no restante do ano. A formação geológica do estado é composta, predominantemente, por rochas cristalinas. A associação desses elementos produz um cenário de rios intermitentes que, geralmente, escoam apenas durante a parte do ano em que as chuvas ocorrem. (PINHEIRO, et al., 2005).

Segundo a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (2017), as chuvas da pré-estação (chuvas que acontecem em dezembro e janeiro) são influenciadas pela proximidade de frente frias posicionadas sobre a Bahia, sul do Maranhão e Piauí nesse período e ocorrem principalmente na região do Cariri cearense. De fevereiro até maio ocorre a quadra chuvosa do estado do Ceará. Nesse período, as chuvas são influenciadas pela descida da Zona de Convergência Intertropical - ZCIT, principal sistema ocasionador da pluviometria no Norte do Nordeste do Brasil. Outros sistemas atmosféricos também atuam simultaneamente à ZCIT no sentido de contribuir ou inibir as chuvas, tais como: Vórtices Ciclônicos de Ar Superior - VCAS; Frentes Frias - FF e Linhas de Instabilidade-LI. As chuvas de junho a julho são ocasionadas por um sistema atmosférico denominado Ondas de Leste (OL). Outros fenômenos como El Niño, La Niña, Temperatura do Atlântico Tropical, Ventos Alísios de Nordeste e de Sudeste também atuam de forma a contribuir ou não para formação de nuvens causadoras de chuva sobre o estado do Ceará.

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

Segundo o Ministério da Integração Nacional (2017) a delimitação da região semiárida do Brasil foi modificada, com a inclusão de 54 municípios em três estados (36 no Piauí, 15 no Ceará e 03 na Bahia). Essa modificação se justificou pelo fato de que a região vive, atualmente, um período de seca crítica. Assim, as cidades incluídas na região poderão contar com o apoio federal no acesso a investimentos para geração de emprego e renda e apoio em ações para convívio com a seca. O mapa da Figura 03 mostra a nova delimitação da região semiárida para o estado do Ceará.

Figura 03 – Região semiárida cearense.

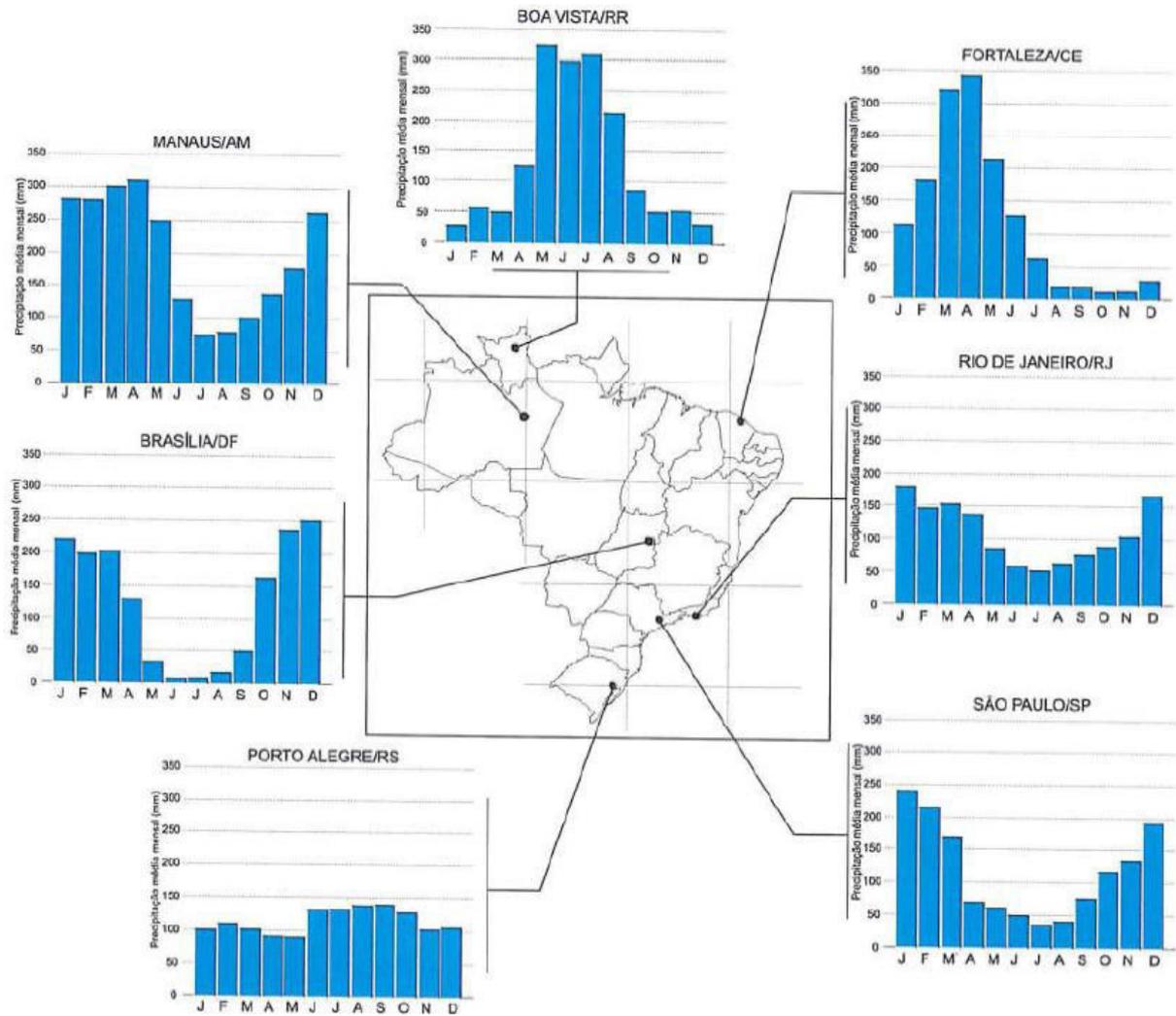


Fonte: Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. IPECE (2017).

As características do semiárido se baseiam em altas taxas de insolação e elevadas temperaturas e taxas de evapotranspiração. Os totais pluviométricos possuem elevada variabilidade no tempo e no espaço. Essa variabilidade é uma das principais fontes de incertezas no gerenciamento de recursos hídricos em regiões semiáridas. (ZANELLA, 2014).

Segundo Collischonn e Dornelles (2013), na maior parte do Brasil, as maiores chuvas ocorrem no verão, porém existem regiões com grande variabilidade sazonal da chuva, como por exemplo, a região Nordeste. A Figura 04 ilustra os valores típicos de chuva em cada mês do ano para algumas cidades do Brasil através de gráficos que possuem no eixo das abcissas os meses do ano e no eixo das ordenadas a quantidade de precipitação, em mm, variando de 0 a 350 mm na proporção de 50 mm. Pode-se perceber que existe uma variabilidade da distribuição das chuvas no ano ao longo das regiões do Brasil. A cidade de Fortaleza ilustra muito bem a distribuição das chuvas ao longo do ano no Ceará, com o volume precipitado localizado em apenas uma parte do ano e a outra parte com praticamente nenhuma precipitação. Nos meses de março e abril as precipitações típicas ficam entre 300 e 350 mm, já no segundo semestre do ano, a partir de agosto, os valores mensais são bem inferiores à 50 mm.

Figura 04 – Variabilidade sazonal da chuva média mensal em diversas regiões do Brasil.



Fonte: Collischonn e Dornelles (2013).

O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) disponibiliza uma série de Normais Climatológicas do Brasil para diversos parâmetros meteorológicos, dentre eles a precipitação acumulada mensal e anual (mm). Para o estado do Ceará, são disponibilizados os valores de precipitações médias para 12 municípios (Tabela 04) que foram calculados utilizando dados pluviométricos do período de 1961 à 1990. Observando os valores da tabela, pode-se perceber claramente que a precipitação na segunda metade do ano para todas as cidades é praticamente nula. Em relação aos totais anuais precipitados, as cidades de Fortaleza, Acaraú e Guaramiranga se destacam, dentre as cidades pesquisadas, como aquelas que possuem os maiores valores, com precipitações médias superiores a 1500mm anuais.

No que diz respeito ao relevo, o Ceará abriga em seu território, regiões de baixa, média e alta altitudes. O mapa da Figura 05 ilustra a hipsometria do estado do Ceará.

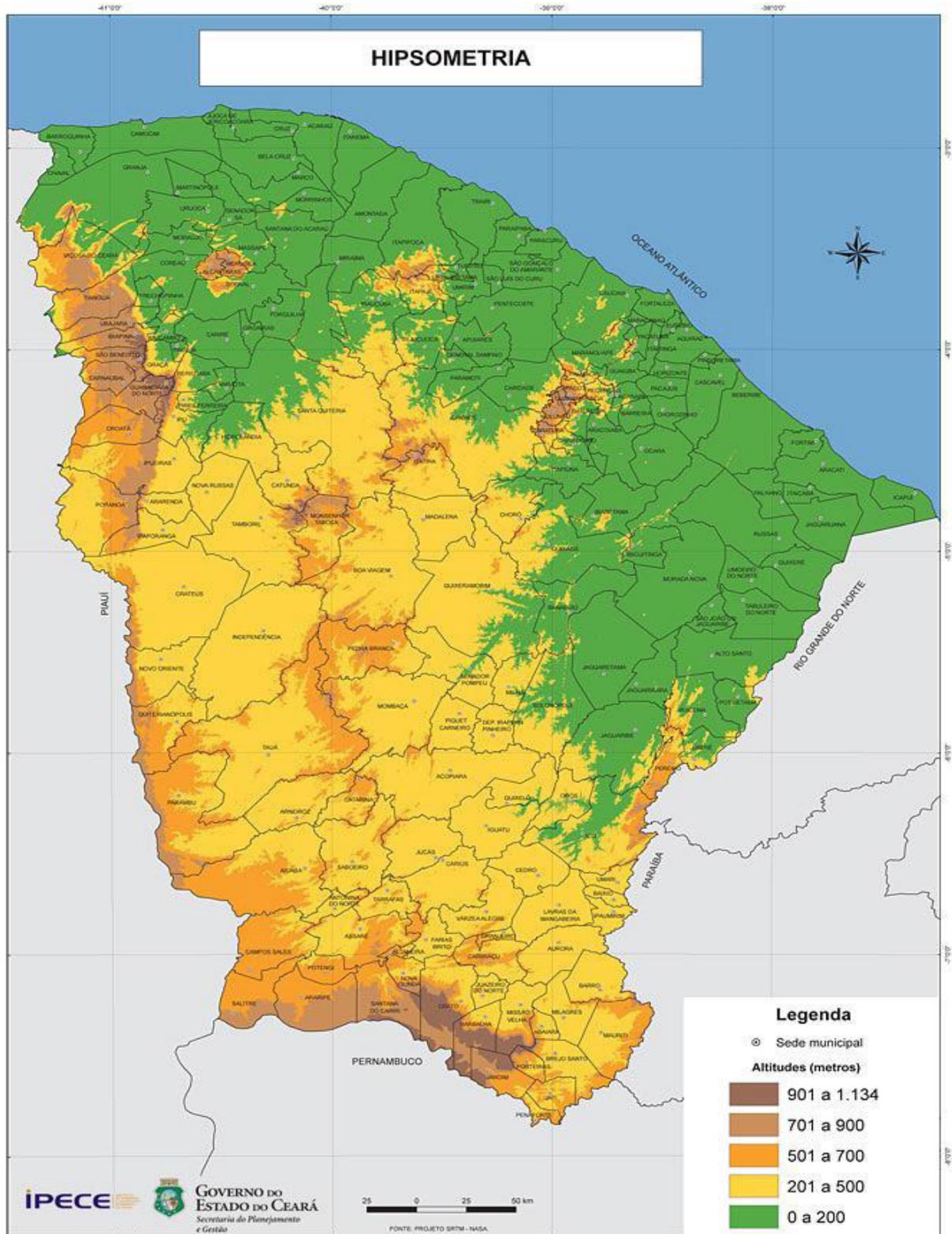
Tabela 04: Normais Climatológicas do Ceará (1961-1990): Precipitação acumulada mensal e anual (mm).

Nome da Estação	UF	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Acaraú	CE	152,3	207,2	434,9	397,8	194,5	68,3	42,4	6,0	3,6	3,6	4,1	30,6	1545,2
Barbalha	CE	171,4	226,5	227,1	208,3	42,8	20,6	14,7	5,8	9,3	20,7	42,2	86,4	1075,8
Campos Sales	CE	97,2	132,8	150,6	118,3	46,7	13,5	6,3	0,4	4,1	14,2	25,9	50,8	660,6
Crateús	CE	64,6	138,9	254,0	218,7	94,9	18,7	12,3	1,6	7,1	7,7	11,6	39,4	869,6
Fortaleza	CE	119,1	204,6	323,1	356,1	255,6	141,8	94,7	21,8	22,7	13,0	11,8	44,1	1608,4
Guaramiranga	CE	132,5	209,2	298,2	297,1	255,7	174,5	134,5	48,8	41,7	37,5	29,5	67,6	1726,8
Iguatu	CE	151,6	175,3	254,3	221,7	123,5	34,0	21,0	11,1	19,7	20,5	7,7	39,0	1079,2
Jaguaruana	CE	60,0	87,6	261,3	188,6	142,7	52,1	48,4	3,8	5,1	2,5	0,9	9,0	862,0
Morada Nova	CE	68,7	113,9	208,1	194,5	124,4	64,0	26,7	4,0	3,6	2,9	3,3	26,1	840,2
Quixeramobim	CE	80,2	111,0	180,6	189,0	137,7	79,9	45,4	7,0	3,0	2,4	5,3	16,1	857,7
Sobral	CE	100,3	138,6	253,5	210,9	168,0	52,1	31,8	4,7	2,3	4,5	4,7	24,2	995,6
Tauá	CE	69,1	126,4	160,1	194,5	63,6	32,3	13,1	6,8	9,9	5,8	4,0	30,3	715,8

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia - INMET - (2017).

As maiores altitudes se localizam na Chapada do Araripe, na Serra de Guaramiranga, no Morro do Coquinho de Itapajé e de Meruoca e na Serra Branca, que possui o pico de maior altitude do estado. Essas áreas se constituem de subespaços de exceção no contexto do semiárido, que, submetidas às influências da altitude, podem apresentar condições ambientais diferenciadas.

Figura 05 – Hipsometria do estado do Ceará.



Fonte: Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. IPECE (2017).

4 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento das equações IDF para os 184 municípios do estado do Ceará foi elaborado um código computacional, utilizando a linguagem *Java*, com a implementação das etapas descritas a seguir.

4.1 Seleção dos dados

Neste trabalho, foram utilizados os dados das estações pluviométricas de cada cidade do estado do Ceará. Esses dados são disponibilizados na página da FUNCEME, na Internet, em formato de texto (*.txt). Foi escolhido o posto pluviométrico com maior quantidade de anos de observação para cada cidade.

A partir desses arquivos, foram geradas as séries anuais de precipitações diárias máximas para cada posto.

4.2 Análise de frequência das chuvas

A análise de frequência tem como objetivo a determinação de uma função teórica que se ajuste melhor a cada série de dados amostrais de precipitações diárias máximas anuais. Para isso, as séries foram submetidas a critérios estatísticos a fim de identificar o modelo probabilístico de melhor concordância.

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 e por serem distribuições adequadas para análises de extremos.

O coeficiente de assimetria variável e positivo, a versatilidade de formas, aliados ao fato da variável aleatória não ser definida para valores negativos fazem da distribuição Gamma um modelo probabilístico atraente para a representação de variáveis hidrológicas e hidrometeorológicas. O fato da Log-Normal ser positiva, aliado à sua característica de ter como coeficiente de assimetria um valor não fixo e sempre maior do que zero, fazem da distribuição uma forma paramétrica que pode se adequar muito bem a modelação de alturas pluviométricas máximas mensais, trimestrais ou anuais. A distribuição Log-Normal com dois parâmetros é muito usada para caracterizar a ocorrência de eventos extremos, além de outros fenômenos como fadiga de metal e tempo de vida de materiais. A forma assintótica de máximos do Tipo I, também conhecida por distribuição Gumbel de máximos, é a distribuição extrema mais utilizada na análise de frequência de variáveis hidrológicas, possuindo inúmeras

aplicações na determinação de relações IDF de chuvas intensas e estudos de vazões de enchentes. (NAGHETTINI; PINTO., 2007).

A Tabela 05 mostra um resumo das distribuições de probabilidade estudadas com as fórmulas de suas respectivas funções densidades de probabilidade e de seus parâmetros.

As Figuras 06, 07 e 08 ilustram as funções densidades para as distribuições Log Normal, Gamma e Gumbel, respectivamente, para alguns valores específicos de seus parâmetros.

Tabela 05: Resumo das características das distribuições de probabilidade utilizadas.

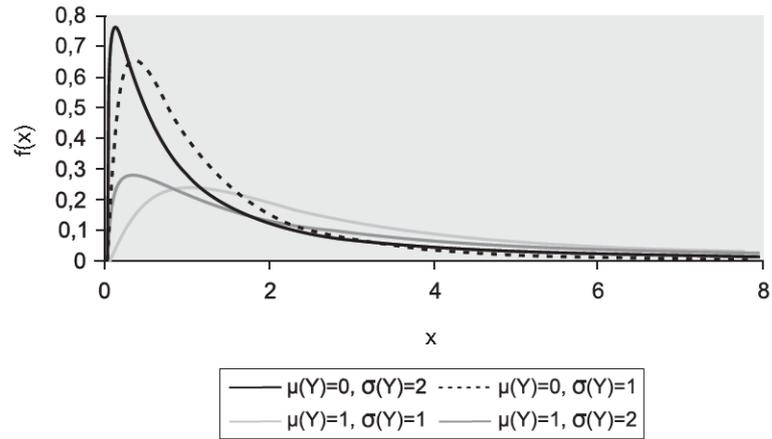
Distribuições	Fórmulas	Parâmetros
Gamma com 2 parâmetros	$f(x; \beta; \vartheta) = \frac{\beta^{-\vartheta} x^{\vartheta-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\Gamma(\vartheta)} \quad x \geq 0$ $\Gamma(x) = \int_0^{\infty} x^{\vartheta-1} e^{-x} dx, \quad x \geq 0$	$\beta = \frac{\sigma^2}{\mu}$ $\vartheta = \frac{\mu^2}{\sigma^2}$ <p>β: parâmetro de escala ϑ: parâmetro de forma</p>
Log Normal com dois parâmetros	$f(x; \mu; \sigma) = \frac{1}{x \sigma \sqrt{2\pi}} e^{-(\ln x - \mu)^2 / (2\sigma^2)} \quad x > 0$	<p>μ: média de y σ: desvio padrão de y Com $y = \ln x$</p>
Gumbel	$f(x; \beta; \alpha) = \alpha e^{\{-\alpha(x-\beta) - e^{[-\alpha(-x-\beta)]}\}} \quad x \in (-\infty, +\infty)$ $\beta = \mu - 0,451 \sigma \quad \alpha = \frac{1,2826}{\sigma}$	<p>α: parâmetro de escala β: parâmetro de posição.</p>
Gamma com 3 parâmetros	$f(x; \beta; \vartheta) = \frac{\beta^{-\vartheta} (x-\delta)^{\vartheta-1} e^{-\frac{(x-\delta)}{\beta}}}{\Gamma(\vartheta)} \quad x \geq \delta$ $\beta = \frac{\sigma A_s}{2} \quad \vartheta = \frac{4}{A_s^2} \quad \delta = \mu - 2\sigma/A_s$	<p>β: parâmetro de escala ϑ: parâmetro de forma δ: parâmetro de posição.</p>
Log Normal com três parâmetros	$f(x; \mu; \sigma) = \frac{1}{(x - A_0) \sigma_0 \sqrt{2\pi}} e^{-(\ln(x-A_0) - \mu_0)^2 / (2\sigma_0^2)} \quad x > 0$ $f(x; \mu_0; \sigma_0, A_0) = N \ln(\sigma_0) + \frac{N \ln(2\pi)}{2} + \sum_1^N [\ln(yt - A_0)] + \frac{\sum_1^N [\ln(yt - A_0) - \mu_0]^2}{2\sigma_0}$	<p>μ_y: média de y σ_y: desvio padrão de y. A_0: parâmetro de posição Com $y = \ln(x-A_0)$</p>

$A_0 < \text{Menor valor da Amostra}$

Em que: $f(x)$ é a função densidade de probabilidade (fdp) a ser ajustada, x é a variável estudada, μ é a média da amostra, σ é o desvio padrão da amostra, μ_0 é a média da amostra deslocada, σ_0 é o desvio padrão da amostra deslocada, N é número de dados da amostra e A_s é o coeficiente de assimetria da amostra.

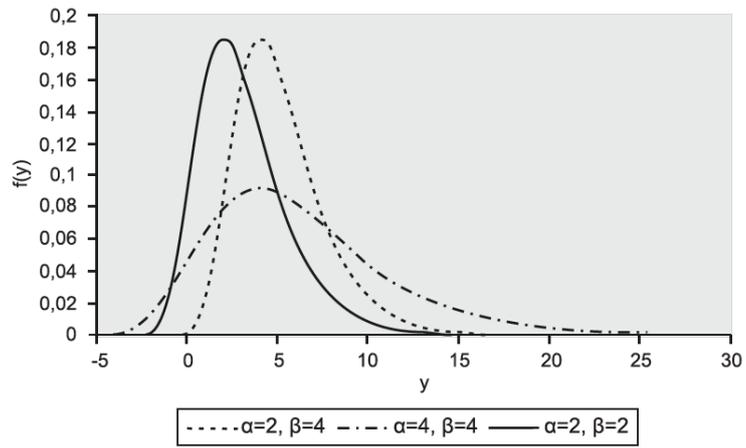
Fonte: Adaptado de Tucci (2004).

Figura 06: Função Densidade Log Normal.



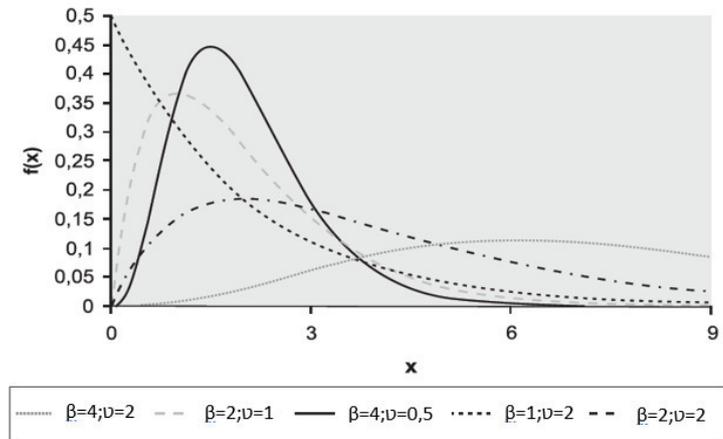
Fonte: (NAGHETTINI; PINTO., 2007).

Figura 07: Função Densidade Gumbel.



Fonte: (NAGHETTINI; PINTO., 2007).

Figura 08: Função Densidade Gamma.



Fonte: (NAGHETTINI; PINTO., 2007).

4.3 Critérios de escolha da distribuição de melhor ajuste

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, detalhados posteriormente.

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 07, 08 e 09, respectivamente. Esses índices mostram a discrepância entre as frequências observadas e calculadas com cada distribuição testada. (FECHINE SOBRINHO, 2014).

$$DQM = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{x_{oi} - x_{ei}}{x_{ei}} \right)^2} \quad (07)$$

$$DQR = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_{oi} - x_{ei})^2} \quad (08)$$

$$DPMA = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|x_{oi} - x_{ei}|}{x_{ei}} \quad (09)$$

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.

4.3.1 Teste do Qui-Quadrado

Um teste de aderência Qui-Quadrado é usado para testar a hipótese de que uma distribuição particular será satisfatória como um modelo para a população estudada. Para isso, faz-se necessário a definição de dois valores: a estatística de teste e o valor crítico. A estatística de teste Qui-Quadrado é dada pela equação 10. (MONTGOMERY; RUNGER, 2003).

$$\chi_0^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}, \quad (10)$$

Em que: O_i é a frequência observada e E_i é a frequência esperada.

A segunda estatística é retirada da Tabela da distribuição Qui-Quadrado (ANEXO A) de valores críticos, de acordo com um nível de significância (α) e um grau de liberdade (GL).

O teste de aderência baseia-se em duas hipóteses:

H_0 – As frequências esperadas não são diferentes das frequências observadas.

H_1 – As frequências esperadas são diferentes das frequências observadas.

O nível de significância indica a máxima probabilidade de erro que se tem ao rejeitar uma hipótese. Neste trabalho, o nível de significância adotado foi de 5% para os testes de hipóteses devido à larga utilização deste valor em trabalhos semelhantes.

A equação 11 mostra como calcular o valor do grau de liberdade (GL).

$$GL = k - 1 - m \quad (11)$$

Em que: GL são os graus de liberdade, k é o número de intervalos da classe de distribuição de frequência e m é o número de estatísticas utilizadas na determinação dos parâmetros.

Um valor elevado da estatística de teste revela grandes diferenças entre as frequências observadas e esperadas, sendo um indicador da pouca aderência da distribuição especificada. Através da comparação entre a estatística de teste calculada e o valor crítico tabelado, decide-se sobre a rejeição da hipótese nula. Para deixar de rejeitar a hipótese nula, o valor da estatística de teste deve ser inferior ao valor crítico. Se a hipótese nula deixar de ser rejeitada, considera-se que a distribuição de probabilidade testada se mostra adequada para representar o conjunto de dados. (NAGHETTINI; PINTO., 2007).

4.3.2 Teste de Lilliefors

O teste de Lilliefors foi utilizado neste trabalho como um complemento ao resultado obtido pelo teste do Qui-Quadrado. Ele se constitui de uma adaptação do teste de Kolmogorof-Smirnoff e é usado para verificação de normalidade de um conjunto de dados

Os cálculos se processam como no teste de Kolmogorov-Smirnov, porém os dados originais passam por padronização (equação 12) através da estimativa da média e do desvio padrão.

$$Z_i = \frac{X_i - \bar{X}}{S} \quad (i = 1, \dots, n). \quad (12)$$

Em que: Z_i é o dado padronizado, X_i é o dado original, \bar{X} é a média e S o desvio padrão.

Desta forma, as hipóteses a serem testadas são:

H_0 : A amostra provém de uma população que segue uma distribuição normal;

H_1 : A amostra não provém de uma população que segue uma distribuição normal.

Ou:

$$H_0: Z \sim N(0,1)$$

$$H_1: Z \not\sim N(0,1)$$

Sendo F_0 a função de distribuição $N(0,1)$, a estatística de teste é dada pela equação 13.

$$D_n^* = \sup_{-\infty < z < \infty} |F_n(z) - F_0(z)|, \quad (13)$$

Em que: F_n é a função de distribuição definida para as variáveis aleatórias Z e N é a distribuição Normal.

Logo, deixa-se de rejeitar a hipótese H_0 se, para o nível de significância definido, o valor observado da estatística de teste for inferior ou igual ao ponto crítico.

A definição do ponto crítico é realizada através de consultas à tabela definida por Lilliefors (ANEXO B). O valor do nível de significância para este trabalho ficou definido em 5%.

4.3.3 Análise do coeficiente de determinação

O coeficiente de determinação (R^2) deve ser interpretado como a proporção da variância total da variável dependente Y que é explicada pelo modelo de regressão e está formulado na equação 14. (NAGHETTINI; PINTO., 2007).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (14)$$

Em que: R^2 é o coeficiente de determinação, \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{y} é a média da variável dependente.

O coeficiente de determinação é sempre positivo, variando de 0 a 1. Espera-se, como resultado, uma tendência ao valor 1.

Neste trabalho, a variável dependente y representa a precipitação máxima encontrada pela distribuição de probabilidade e a variável independente x representa a precipitação máxima observada.

Para a escolha da distribuição e probabilidade associada a cada série, foram analisados os resultados dos testes de aderência.

A distribuição de probabilidade foi escolhida com base nos resultados de todos esses testes e índices estatísticos. 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.

4.4 Aplicação do método das isozonas

A probabilidade de uma determinada precipitação ser superada ou igualada está associada ao período de retorno através da equação 15. (FECHINE SOBRINHO, 2014).

$$P(P \geq P_{TR}) = \frac{1}{TR} \quad (15)$$

Assim, usando a função inversa da distribuição ajustada, foi possível encontrar o valor da precipitação relativa a esta probabilidade, e, conseqüentemente, ao tempo de retorno. Neste trabalho, foram determinadas as precipitações associadas aos períodos de retorno de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50 e 100 anos.

Para aplicação do método das isozonas, inicialmente, foi utilizado o coeficiente de Torrico (1974) para transformação da chuva diária em chuva de 24 horas, conforme a equação 16.

$$P_{24horas} = 1,095 P_{1 dia} \quad (16)$$

A isozona correspondente a cada posto pluviométrico foi determinada através da aplicação de suas coordenadas no mapa de isozonas proposto por Torrico (1974), utilizando-se o sistema de informações geográficas. Assim, foram obtidos os coeficientes de desagregação da precipitação de 24 h para 1h e 6 min para cada período de retorno. 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.

4.5 Determinação dos parâmetros da equação de chuvas intensas

Para cada uma das estações pluviométricas do Ceará, foram obtidos os parâmetros da equação IDF, de acordo com a Equação 17 (FECHINE SOBRINHO, 2014).

$$i = \frac{a (Tr+S)^b}{(t+C)^n} \quad (17)$$

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

4.5.1 Parâmetros a , b e n

Os valores dos parâmetros a , b e n são determinados pela análise de regressão linear múltipla através do método dos mínimos quadrados.

Com a aplicação do logaritmo na equação 17 chega-se a:

$$\text{Ln}(i) = \text{Ln}(a) + b\text{Ln}(Tr + S) - n\text{Ln}(t + C) \quad (18)$$

A aplicação do método dos mínimos quadrados nos leva a um sistema de três equações e três incógnitas, sendo os parâmetros almejados a , b e n . O sistema de equação é dado pelas equações 19, 20 e 21:

$$\sum \text{Ln}(i) = N\text{Ln}(a) + b \sum \text{Ln}(Tr + S) + n \sum \text{Ln}(t + C) \quad (19)$$

$$\sum [\text{Ln}(Tr + S)\text{Ln}(i)] = \text{Ln}(a) \sum \text{Ln}(Tr + S) + b \sum [\text{Ln}(Tr + S)]^2 + n \sum [\text{Ln}(Tr + S)\text{Ln}(t + C)] \quad (20)$$

$$\sum [\text{Ln}(t + C)\text{Ln}(i)] = \text{Ln}(a) \sum \text{Ln}(t + C) + b \sum \{[\text{Ln}(Tr + S)\text{Ln}(t + C)] + n \sum [\text{Ln}(t + C)]^2\} \quad (21)$$

Em que: a , b e n são os parâmetros a serem definidos, i é a intensidade da chuva, N é o número de elementos, Tr é o tempo de retorno e t é a duração do evento.

4.5.2 Parâmetro C

Para a estimativa do parâmetro C , utiliza-se a curva intensidade-duração para um período de retorno correspondente a um quinto do período total de observação. Wilken (1978) apresentou a relação expressa pela equação 22 para a determinação do parâmetro C .

$$C = \frac{t_3^2 - t_1 \cdot t_2}{t_1 + t_2 - 2t_3} \quad (22)$$

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 encontrado pela equação 23 e t_3 é o seu respectivo tempo de duração:

$$i_3 = \sqrt{i_1} \sqrt{i_2} \quad (23)$$

4.5.3 Parâmetro S

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 (FECHINE SOBRINHO, 2014).

4.6 Verificação da qualidade do ajuste dos parâmetros das equações IDF

Para validação das equações IDF encontradas, faz-se necessário avaliar o ajuste entre os resultados obtidos pela equação e os dados originais desagregados (SILVA; ARAÚJO, 2013). Para isso, 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.

4.6.1 Análise do coeficiente angular e de determinação

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%.

Sendo a reta de regressão linear estimada a mostrada pela equação 24, inicialmente realizou-se um teste de hipótese com o intuito de avaliar a existência de relação linear entre as variáveis.

$$\hat{y} = \hat{\alpha} + \hat{\beta} x \quad (24)$$

Em que: \hat{y} é o valor estimado da variável dependente, x é o valor observado da variável independente, $\hat{\alpha}$ é o coeficiente linear da reta estimada e $\hat{\beta}$ é o coeficiente angular da reta estimada.

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 25:

$$t_{\beta} = \frac{\hat{\beta}-1}{\sqrt{s_{\hat{\beta}}}} \quad (25)$$

Em que: t_{α} 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 26.

$$s_{\hat{\beta}} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{(n-2) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (26)$$

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 27:

$$t_{\alpha} = \frac{\hat{\alpha}}{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 * \sum_{i=1}^n x_i^2}{n*(n-2) * \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{x})^2}}} \quad (27)$$

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.

Em seguida, foi realizada a análise do coeficiente de determinação, conforme o item 4.3.3 descrito anteriormente.

4.6.2 Erro Padrão da Estimativa

O Erro Padrão da Estimativa (EPE), formulado na equação 28, 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., 2012).

$$EPE = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N \left(\frac{i_c - i_0}{i_0}\right)^2}{N}} \quad (28)$$

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.

4.6.3 Coeficiente de NASH

O coeficiente de NASH foi proposto por Nash & 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 29 representa o coeficiente de NASH.

$$R = 1 - \frac{\sum_{k=1}^N (i_0 - i_c)^2}{\sum_{k=1}^N (i_0 - \bar{i}_0)^2} \quad (29)$$

Em que: R 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.

4.7 Interface gráfica utilizada para o cálculo das equações

A interface gráfica utilizada como auxílio para aplicação da metodologia descrita anteriormente foi construída em linguagem *Java* de programação utilizando a ferramenta *Netbeans*.

A Figura 09 ilustra a tela inicial do programa no qual são solicitados os dados de entrada que correspondem aos dados de precipitações diárias máximas anuais de um determinado posto pluviométrico. Os dados podem ser inseridos manualmente ou através de um arquivo .txt. Arquivos de dados diários de precipitação produzidos pela FUNCEME também podem ser utilizados como fonte de entrada. Nesse caso, as séries de dados de precipitação máxima diária são extraídas dos arquivos de séries históricas da FUNCEME.

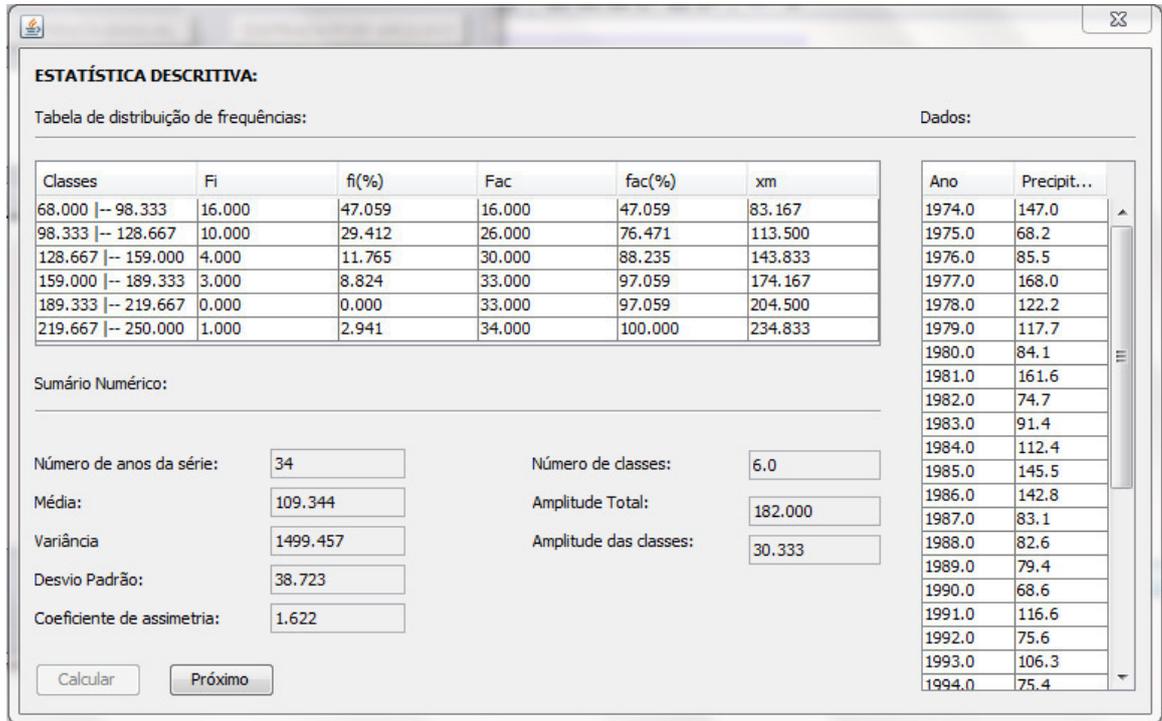
O programa mostra também uma análise estatística dos dados (Figura 10) através do cálculo de medidas estatísticas (média, desvio padrão, coeficiente de assimetria e variância) e a construção de uma tabela de distribuição de frequências.

Figura 09: Tela inicial.



Fonte: A autora.

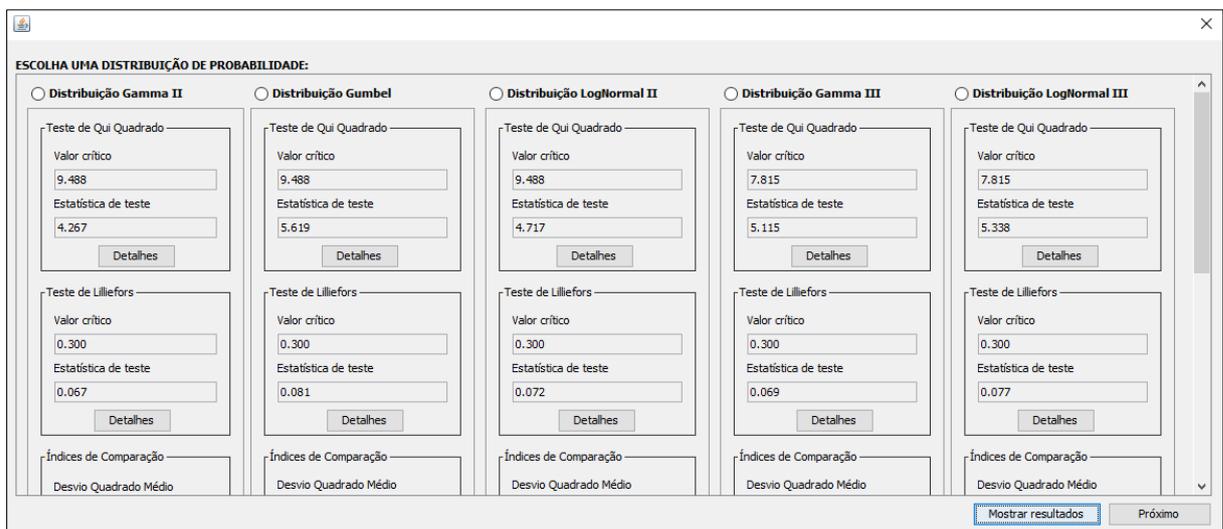
Figura 10: Tela de análise estatística dos dados.



Fonte: A autora.

A Figura 11 mostra a etapa seguinte no processo de cálculo das equações IDF que corresponde à determinação da distribuição de probabilidade mais adequada ao conjunto de dados. Nessa tela são mostrados os resultados dos testes de aderência e índices de comparação que serviram como base para a escolha da distribuição de probabilidade de melhor ajuste para o conjunto de dados.

Figura 11- Tela de ajuste dos dados a uma distribuição de probabilidade.



Fonte: A autora.

A próxima e última tela do programa é mostrada na Figura 12. Esta tela é dividida em seis partes.

Figura 12: Tela final do programa.

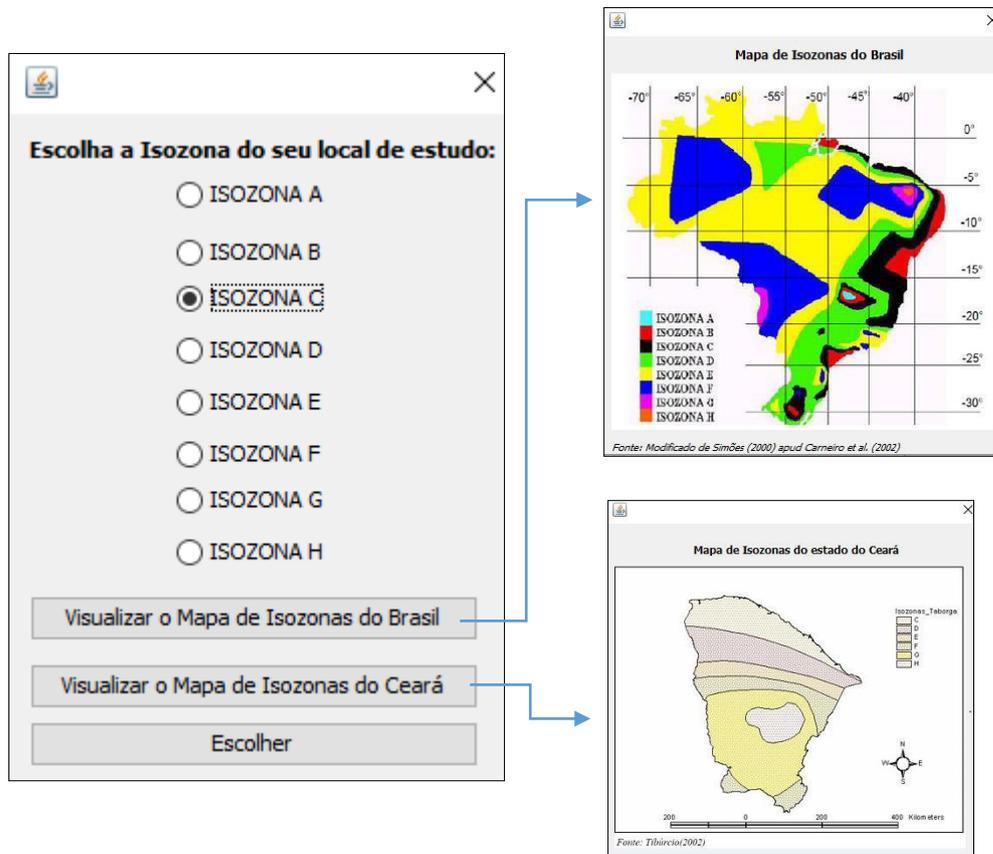
The screenshot shows a software interface with the following sections:

- 1 - Escolha da Isozona do local de estudo:** A button labeled "Clique aqui" and a "Fechar Programa" button.
- 2 - Tabela de Intensidades de chuvas máximas inferiores a 240 min:** A table with columns: TR, PMax, R<1h, R>1h, I6min, I12min, I18min, I24min, I30min, I36min, I48min, I60min, I90min, I120min, I180min, I240min.
- 3 - Resultados:** Input fields for Parâmetro A, B, C, S, and N.
- 4 - Equação:** The formula
$$i = \frac{A * (Tr + S)^B}{(t + C)^N}$$
- 5 - Legenda:** A list of variables:
 - i: Intensidade da chuva (mm/min);
 - t: Tempo de duração da chuva (min);
 - Tr: Tempo de retorno (anos);
 - PMax: Precipitação máxima obtida para cada período de retorno (mm);
 - R<1h: Coeficiente de desagregação da chuva para durações inferiores à 1h;
 - R>1h: Coeficiente de desagregação da chuva para durações superiores à 1h;
 - txmin: Intensidade de chuva obtida para cada período de retorno e tempo de duração x (mm/min);
 - A, B, C, S, N: parâmetros determinados.
- 6 - Cálculo da chuva de projeto pelo método dos blocos alternados:** Input fields for "Tempo de retorno (anos)", "Duração (min)", and "Tempo de incremento (min)". A "Calcular a chuva de projeto" button is present. Below it are input fields for "Intensidade (mm/min)" and "Intensidade (mm/h)". To the right is a table with columns "Tempo (min)" and "Precipitação (mm)".

Fonte: A autora.

A primeira parte da tela final corresponde à escolha da isozona do local do posto de estudo. Ela contém um botão que abre uma outra janela onde a isozona do posto é escolhida. Nela o usuário pode ir para outras duas janelas que mostram os mapas das isozonas do Brasil e do Ceará, respectivamente. A Figura 13 ilustra essa primeira parte da tela final.

Figura 13: Tela final do programa: Parte 01.



Fonte: A autora.

Depois que a escolha é efetuada, os resultados das intensidades de precipitação obtidas pelo método de Torrico (1974) são exibidas em uma tabela (Figura 14) que é exibida na segunda parte da tela final. Nessa tabela são exibidos também os valores das precipitações máximas associadas a cada período de retorno encontradas pela distribuição de probabilidade e os coeficientes de desagregação do método das isozonas.

Figura 14: Tela final do programa: Parte 02.

2 - Tabela de Intensidades de chuvas máximas inferiores a 240 min:															
TR	PM _{max}	R < 1h	R > 1h	I _{6min}	I _{12min}	I _{18min}	I _{24min}	I _{30min}	I _{36min}	I _{48min}	I _{60min}	I _{90min}	I _{120min}	I _{180min}	I _{240min}
5	117.635	9.800	40.100	2.106	2.033	1.737	1.506	1.331	1.195	0.998	0.862	0.684	0.571	0.436	0.356
10	133.263	9.800	39.700	2.386	2.288	1.953	1.692	1.495	1.342	1.120	0.966	0.769	0.643	0.491	0.402
15	142.080	9.800	39.500	2.543	2.432	2.074	1.796	1.586	1.424	1.188	1.025	0.817	0.684	0.523	0.428
20	148.253	9.800	39.300	2.654	2.529	2.155	1.866	1.648	1.478	1.234	1.064	0.849	0.711	0.544	0.445
25	153.009	9.800	39.200	2.739	2.606	2.220	1.922	1.697	1.522	1.270	1.096	0.875	0.733	0.561	0.459
30	156.877	9.800	39.100	2.808	2.668	2.271	1.966	1.735	1.557	1.299	1.120	0.895	0.751	0.575	0.470
50	164.249	9.800	38.800	2.940	2.780	2.364	2.045	1.804	1.618	1.350	1.164	0.932	0.782	0.600	0.491
100	182.198	8.800	38.400	2.929	2.947	2.543	2.215	1.963	1.766	1.478	1.278	1.026	0.863	0.662	0.543

Fonte: A autora.

Na terceira e quarta partes da tela final, os valores dos parâmetros da equação IDF são calculados e exibidos. A quinta parte corresponde a uma legenda que esclarece os significados

dos termos utilizados na equação. A Figura 15 ilustra as partes 3, 4 e 5 da tela final.

Figura 15: Tela final do programa – Partes 3, 4 e 5.

3 - Resultados Parâmetro A: <input type="text" value="21.445"/> Parâmetro B: <input type="text" value="0.112"/> Parâmetro C: <input type="text" value="15.945"/> Parâmetro S: <input type="text" value="-2.000"/> Parâmetro N: <input type="text" value="0.760"/>	4 - Equação: $i = \frac{A * (Tr + S)^B}{(t + C)^N}$	5 - Legenda: - i: Intensidade da chuva (mm/min); - t: Tempo de duração da chuva (min); - Tr: Tempo de retorno (anos); - PMax: Precipitação máxima obtida para cada período de retorno (mm); - R<1h: Coeficiente de desagregação da chuva para durações inferiores à 1h; - R>1h: Coeficiente de desagregação da chuva para durações superiores à 1h; - Ixmin: Intensidade de chuva obtida para cada período de retorno e tempo de duração x (mm/min); - A,B,C,S,N: parâmetros determinados.
---	---	---

Fonte: A autora.

A sexta e última parte da tela final corresponde ao cálculo da chuva de projeto utilizando a equação IDF calculada na parte 3. O método dos blocos alternados foi utilizado para a construção desta etapa do programa. Este método já foi descrito anteriormente no referencial teórico deste trabalho. Para sua aplicação, o usuário deve inserir três dados: o tempo de retorno do projeto, a duração da chuva de projeto que, geralmente, é considerada igual ao tempo de concentração da bacia hidrográfica estudada e o tempo do incremento, ou seja, o tempo em que o usuário deseja dividir a duração da chuva de projeto. Os resultados são exibidos através do valor da intensidade da chuva de projeto em mm/min e mm/h (intensidade calculada pela equação IDF) e da tabela de distribuição da chuva ao longo do tempo pelo método dos blocos alternados. A Figura 16 ilustra a última parte do programa.

Com isso, o programa é finalizado.

Figura 16: Tela final do programa – Parte 6.

6 - Cálculo da chuva de projeto pelo método dos blocos alternados Tempo de retorno (anos): <input type="text" value="10"/> Duração (min): <input type="text" value="50"/> Tempo de incremento (min): <input type="text" value="10"/> <input type="button" value="Calcular a chuva de projeto"/> Intensidade (mm/min): <input type="text" value="1.12"/> Intensidade (mm/h): <input type="text" value="67.30"/>		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tempo (min)</th> <th>Precipitação (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10.0</td> <td>5.243940743834088</td> </tr> <tr> <td>20.0</td> <td>8.707740958301606</td> </tr> <tr> <td>30.0</td> <td>22.7924670742321</td> </tr> <tr> <td>40.0</td> <td>12.78842840387545</td> </tr> <tr> <td>50.0</td> <td>6.554642281544595</td> </tr> </tbody> </table>	Tempo (min)	Precipitação (mm)	10.0	5.243940743834088	20.0	8.707740958301606	30.0	22.7924670742321	40.0	12.78842840387545	50.0	6.554642281544595
Tempo (min)	Precipitação (mm)													
10.0	5.243940743834088													
20.0	8.707740958301606													
30.0	22.7924670742321													
40.0	12.78842840387545													
50.0	6.554642281544595													

Fonte: A autora.

4.8 Comparação entre equações IDF geradas por pluviógrafos e por pluviômetros.

A fim de verificar a eficácia e confiabilidade das equações geradas pelos dados dos pluviômetros através da metodologia descrita neste trabalho, foram comparados esses resultados com equações já existentes na literatura que foram construídas com base em dados de pluviógrafos.

Para análise dos resultados desta comparação foram utilizados os índices de concordância (d), mostrado na equação 30, e de desempenho (c) de Willmott (CAMARGO & SENTELHAS, 1997). Também foi analisada a reta de regressão linear entre as duas séries de dados e o coeficiente de determinação R².

$$d = \left(1 - \frac{\sum(Oi - Ei)^2}{\sum(|Oi - Om| + |Ei - Em|)^2} \right) \times 100 \quad (30)$$

Em que: Oi e Ei são as intensidades calculadas pela equação IDF feita com base em dados de pluviógrafos e pluviômetros, respectivamente. Om e Em são as médias das intensidades calculadas pela equação IDF feita com base em dados de pluviógrafos e pluviômetros, respectivamente.

O índice d varia de 1 para concordância perfeita a zero para ausência de concordância. O índice c é o produto do coeficiente de correlação pelo índice d e também varia de zero a 1. A Tabela 06 mostra os critérios de interpretação desse índice de desempenho. Fchine Sobrinho (2014) utilizou esses dois índices para validação do método das isozonas com base em dados pluviográficos e pluviométricos das cidades de Fortaleza-CE e Miracema do Norte - TO.

Tabela 06: Critérios de interpretação do desempenho do método.

Índice de desempenho "c"	Classificação
>0,85	Ótimo
0,76-0,85	Muito bom
0,66-0,75	Bom
0,61-0,65	Mediano
0,51-0,60	Sofrível
0,41-0,50	Mal
≤0,40	Péssimo

Fonte: Camargo e Sentelhas (1997).

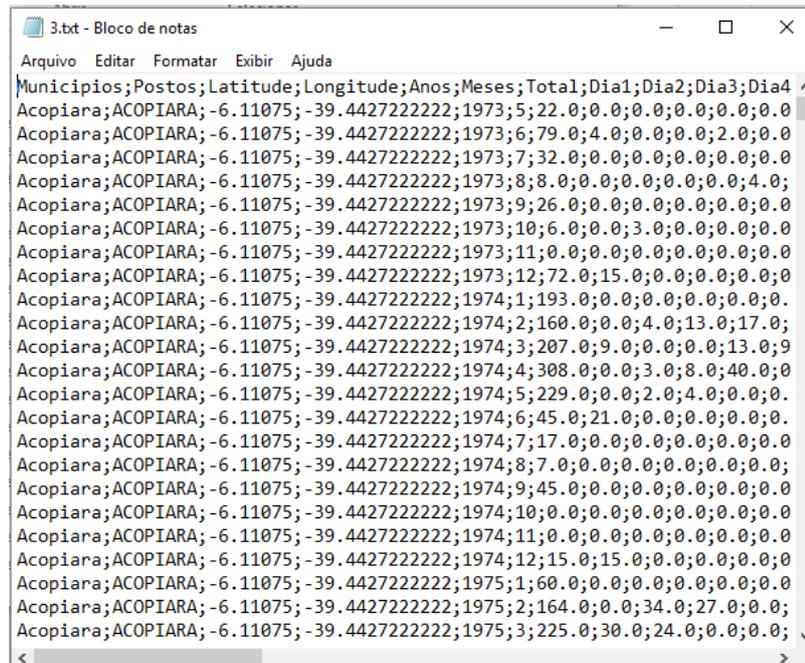
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Equações IDF para os municípios do estado do Ceará

5.1.1 Seleção dos dados das estações pluviométricas

No estado do Ceará, os dados pluviométricos são oriundos de uma rede hidrometeorológica monitorada pela FUNCEME. Os dados utilizados consistem em arquivos em formato .txt contendo as seguintes informações: nome do posto, nome do município, coordenadas geográficas, além dos valores de precipitações medidas para cada dia do ano. A Figura 17 ilustra um modelo de arquivo utilizado neste trabalho.

Figura 17: Dados pluviométricos obtidos da FUNCEME.



Fonte: Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME).

Foi selecionado para cada município, o posto pluviométrico com maior quantidade de anos de observação. A Tabela 07 mostra a localização geográfica dos postos escolhidos para cada município e a quantidade de anos de observação de cada um deles. O Apêndice B mostra um mapa do estado do Ceará dividido em isozonas e a localização de todos os postos pluviométricos utilizados neste trabalho.

Tabela 07 – Características dos postos pluviométricos utilizados neste trabalho - (continua).

Município	Qtd de anos	Lat (°)	Lon(°)	Município	Qtd de anos	Lat (°)	Lon(°)
Abaiara	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	Guaracibaba 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	Ipauimirim	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	Itaíçaba	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	Jaguaretama	33	-5,61	-38,76
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

Tabela 07 – Características dos postos pluviométricos utilizados neste trabalho - (conclusão).

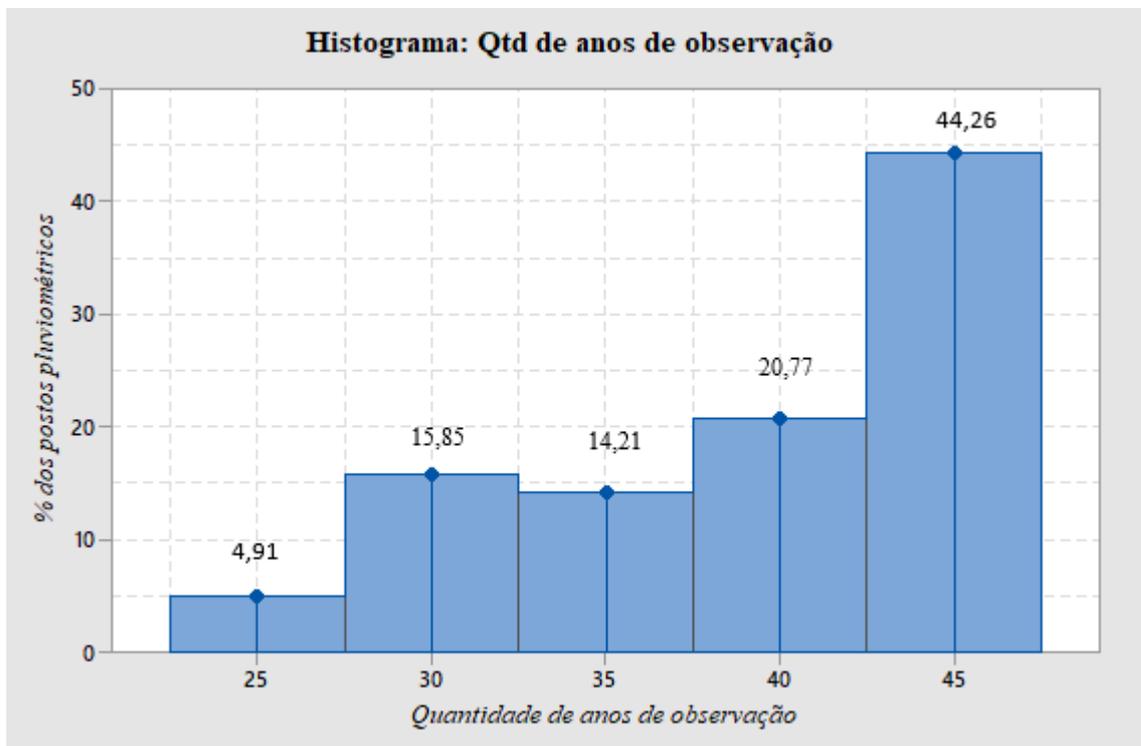
Município	Qtd de anos	Lat (°)	Lon(°)	Município	Qtd de anos	Lat (°)	Lon(°)
Jati	38	-7,68	-39,00	Pindoretama	29	-4,05	-38,33
Jijoca de Jericoacoara	25	-2,90	-40,45	Piquet Carneiro	43	-5,81	-39,41
Juazeiro do Norte	43	-7,25	-39,33	Pires Ferreira	28	-4,25	-40,65
Jucás	39	-6,52	-39,52	Poranga	38	-4,74	-40,92
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 Luis 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
Paraipaba	28	-3,44	-39,14	Umari	36	-6,65	-38,70
Parambu	39	-6,22	-40,70	Unirim	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

Fonte: A autora.

A partir dos dados expostos na Tabela 07, foi construído um histograma de frequências relativas para analisar o fator “Quantidade de anos de observação” de cada posto pluviométrico. Para essa análise, foi retirada a cidade de Fortaleza, que apresentou a maior quantidade de anos de observação de dados pluviométricos (98 anos), seguida por Caucaia com 44 anos de dados. A Figura 18 ilustra esse histograma.

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 (DAEE/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. De acordo com o histograma da Figura 18, pode-se perceber que menos de 5% dos 184 postos pluviométricos estudados tinham uma quantidade de anos de observação inferior a 30, sendo todos superiores a 25. Portanto, mais de 95% dos postos pluviométricos estudados possuíam uma quantidade de anos de observação superior ou igual a 30.

Figura 18: Histograma de frequência relativa da quantidade de anos de observação dos postos pluviométricos estudados.



Fonte: A autora.

5.1.2 Formação das séries anuais de precipitações máximas diárias

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, foi extraído, para cada ano, a precipitação máxima diária, formando assim, uma série de dados anuais de precipitação máxima diária para cada município.

A Tabela 08 mostra a séries de precipitações diárias máximas anuais para a cidade de Fortaleza – CE e a Figura 19 mostra o gráfico que representa essas séries.

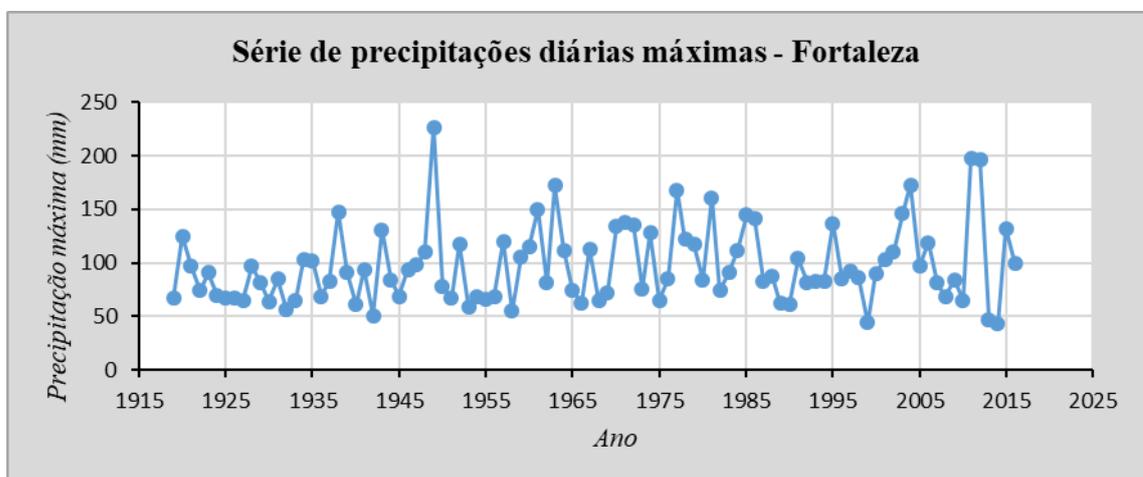
A maior média das precipitações diárias máximas anuais observada foi de 102,01 mm para a cidade de Aquiraz, e a menor foi de 53,9mm para a cidade de Irauçuba. A maior precipitação diária observada foi de 253mm e aconteceu na cidade de Eusébio no dia 7 de março de 2004. Fortaleza apresentou uma média das precipitações máximas de 97,2 mm e sua maior chuva diária foi de 227mm e ocorreu no dia 11 de maio de 1949.

Tabela 08 – Série de precipitações diárias máximas anuais para a cidade de Fortaleza – CE.

Ano	P. Máxima (mm)	Ano	P. Máxima(mm)	Ano	P. Máxima (mm)	Ano	P. Máxima(mm)
1919	67	1944	84	1969	72	1994	83
1920	125	1945	69	1970	134	1995	137
1921	97	1946	94	1971	138	1996	85
1922	74	1947	98	1972	136	1997	92
1923	91	1948	110	1973	76	1998	86
1924	70	1949	227	1974	128	1999	44
1925	67	1950	78	1975	65	2000	90
1926	67	1951	67	1976	85	2001	103
1927	65	1952	118	1977	168	2002	110
1928	97	1953	59	1978	122	2003	146
1929	81	1954	68	1979	117	2004	173
1930	64	1955	66	1980	84	2005	97
1931	85	1956	69	1981	161	2006	119
1932	56	1957	120	1982	74	2007	81
1933	65	1958	55	1983	91	2008	68
1934	103	1959	106	1984	112	2009	84
1935	102	1960	115	1985	145	2010	65
1936	69	1961	150	1986	142	2011	198
1937	83	1962	81	1987	83	2012	197
1938	148	1963	172	1988	87	2013	47
1939	91	1964	112	1989	62	2014	43
1940	61	1965	74	1990	61	2015	132
1941	94	1966	63	1991	104	2016	100
1942	51	1967	113	1992	82		
1943	131	1968	65	1993	83		

Fonte : A autora.

Figura 19: Gráfico da série de precipitações diárias máximas para a cidade de Fortaleza

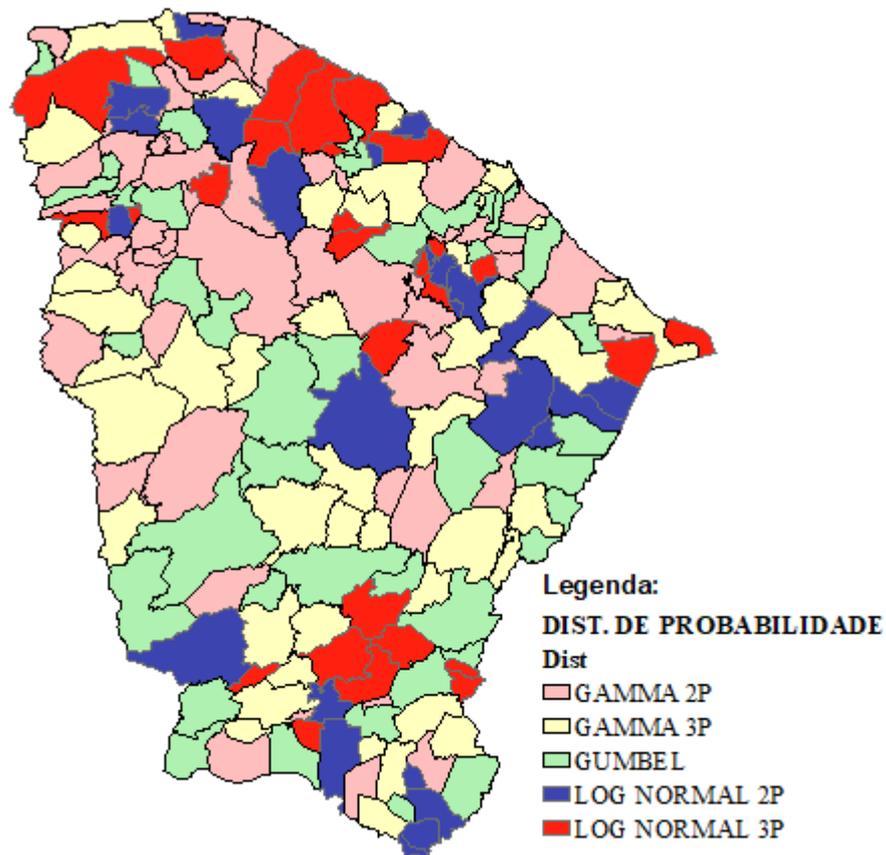


Fonte: A autora

5.1.3 Análise de frequência das séries anuais

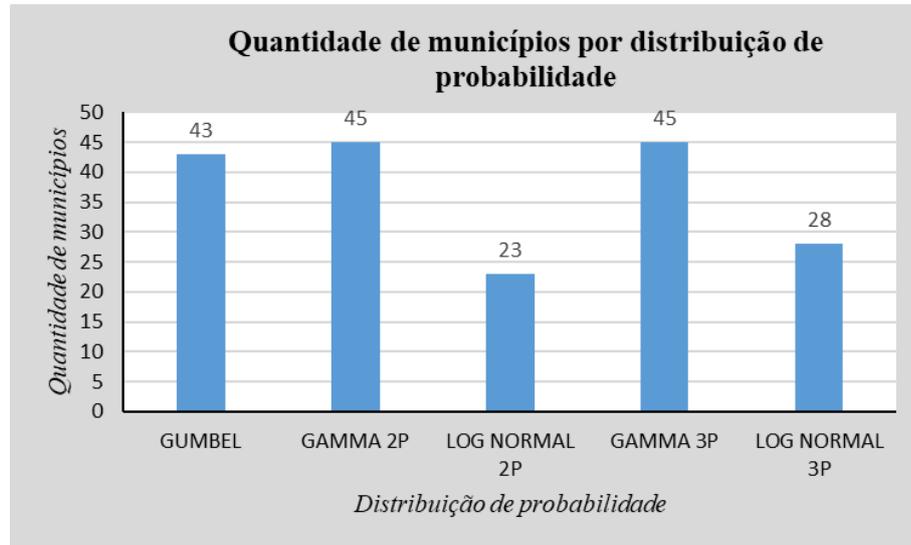
As distribuições de probabilidade Gumbel, Gamma com 2 e 3 parâmetros e Log Normal com 2 e 3 parâmetros foram testadas a fim de escolher a de melhor ajuste às séries de precipitações diárias máximas anuais para cada cidade. O cálculo dos índices estatísticos e os testes de aderência descritos na seção 4.3 foram realizados para cada distribuição em cada município. De acordo com esses valores, foi escolhida a distribuição de melhor ajuste como aquela que tivesse os testes de aderência aceitos e os índices estatísticos menores. Com isso, para cada um dos 184 municípios foi associada uma distribuição de probabilidade para representar a série de precipitações diárias máximas anuais. O mapa da Figura 20 mostra a distribuição de probabilidade escolhida para cada município. A Figura 21 mostra um gráfico que contém o resumo da quantidade de municípios que se adequaram a cada distribuição de probabilidade testada.

Figura 20: Mapa das distribuições de probabilidade escolhidas para cada município.



Fonte: A autora.

Figura 21: Gráfico da frequência de utilização das distribuições de probabilidade.



Fonte: A autora.

De acordo com o gráfico da Figura 21, pode-se perceber que as séries de precipitações máximas diárias anuais se ajustaram melhor às distribuições Gumbel e Gamma 2 e 3 parâmetros para a maior parte dos municípios, tendo cada uma um total de aproximadamente 45 municípios. Já as distribuições Log Normal com 2 e 3 parâmetros foram as menos escolhidas como melhor ajuste, com 23 e 28 municípios cada, respectivamente. Observando o mapa da Figura 20, nota-se a predominância das distribuições Gamma e Gumbel em relação às distribuições LogNormal 2 e 3 parâmetros.

A segunda coluna da tabela apresentada no Apêndice A, mostra a distribuição escolhida para cada cidade.

A partir da distribuição de probabilidade escolhida, as precipitações diárias máximas para vários períodos de retorno foram encontradas para cada município.

5.1.4 Aplicação do método das isozonas

Através da localização do posto pluviométrico, foi determinada a isozona correspondente e, assim, os coeficientes de desagregação da precipitação de 24 h para cada duração e período de retorno. O mapa do Apêndice B mostra a isozona correspondente a cada posto pluviométrico estudado.

5.1.5 Parâmetros das equações IDF para os municípios do estado do Ceará.

Com a aplicação dos coeficientes de desagregação das isozonas propostos por Torrico (1974), as intensidades máximas de precipitação para diferentes durações foram encontradas e através da aplicação da metodologia descrita anteriormente no item 4.5, as equações IDF foram ajustadas para cada município do estado do Ceará e estão dispostas na Tabela 09.

Tabela 09: Equações IDF para os municípios do estado do Ceará (continua).

Município	Equação	Município	Equação
Abaiara	$i = \frac{24,799 * (Tr - 2,1)^{0,1}}{(t + 9,859)^{0,794}}$	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	$i = \frac{19,141 * (Tr - 2,100)^{0,141}}{(t + 9,805)^{0,794}}$
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	$i = \frac{25,304 * (Tr - 2,080)^{0,129}}{(t + 9,805)^{0,794}}$

Tabela 09: Equações IDF para os municípios do estado do Ceará (continuação).

Município	Equação	Município	Equação
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	$i = \frac{17,421 * (Tr - 2,100)^{0,109}}{(t + 15,950)^{0,760}}$
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	$i = \frac{23,262 * (Tr - 2,070)^{0,120}}{(t + 9,805)^{0,794}}$

Tabela 09: Equações IDF para os municípios do estado do Ceará (continuação).

Município	Equação	Município	Equação
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	$i = \frac{18,032 * (Tr - 2,160)^{0,100}}{(t + 15,950)^{0,760}}$
Ipauimirim	$i = \frac{21,670 * (Tr - 2,100)^{0,154}}{(t + 9,832)^{0,794}}$	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	$i = \frac{19,576 * (Tr - 2,090)^{0,146}}{(t + 11,140)^{0,788}}$
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	$i = \frac{26,509 * (Tr - 2,170)^{0,085}}{(t + 9,805)^{0,794}}$

Tabela 09: Equações IDF para os municípios do estado do Ceará (continuação).

Município	Equação	Município	Equação
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	$i = \frac{25,339 * (Tr - 2,120)^{0,127}}{(t + 9,832)^{0,794}}$
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	$i = \frac{16,090 * (Tr - 2,070)^{0,140}}{(t + 12,070)^{0,776}}$

Tabela 09: Equações IDF para os municípios do estado do Ceará (conclusão).

Município	Equação	Município	Equação
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	$i = \frac{18,074 * (Tr - 2,080)^{0,124}}{(t + 9,805)^{0,794}}$
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	$i = \frac{21,031 * (Tr - 2,110)^{0,103}}{(t + 13,740)^{0,768}}$

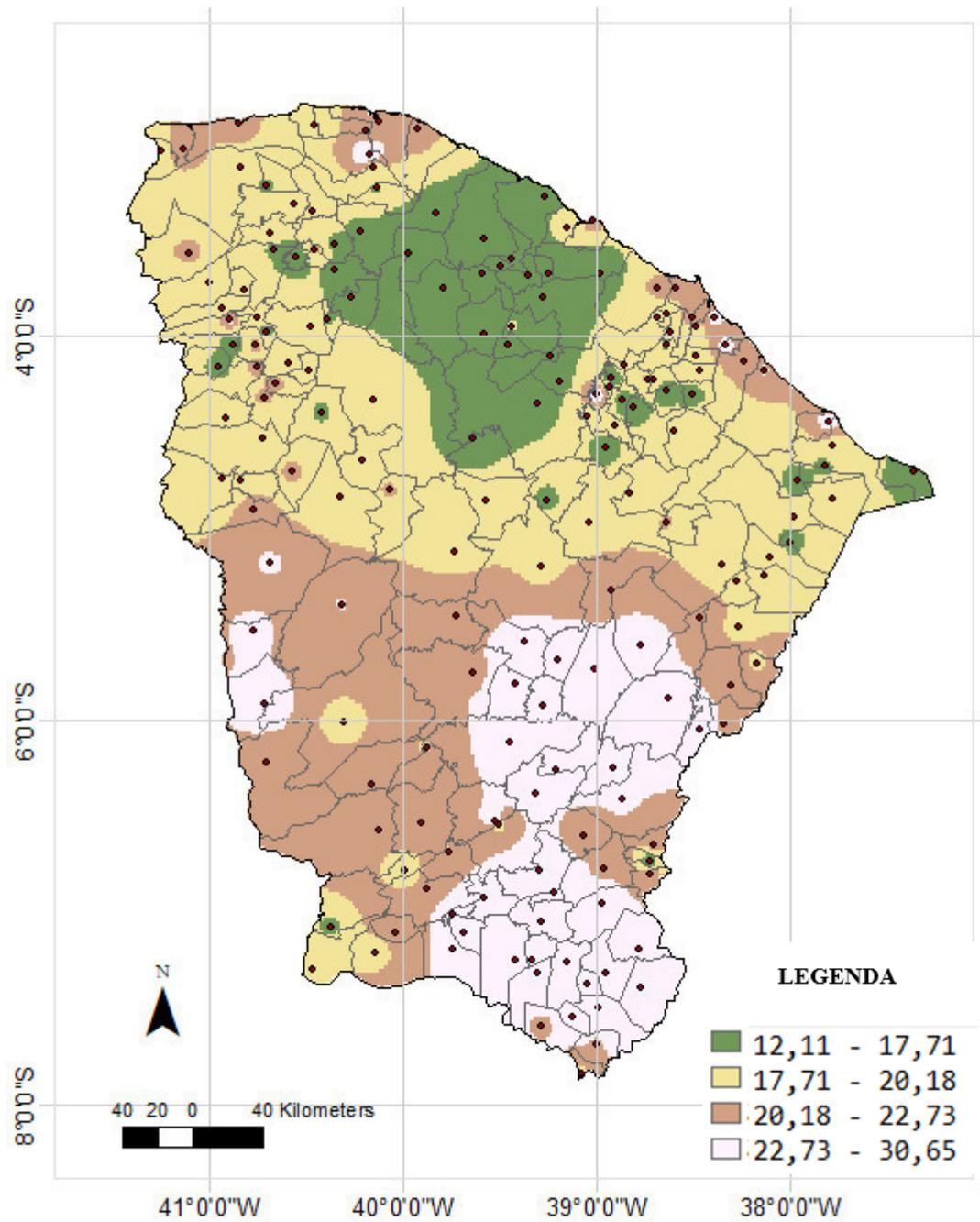
Em que: i é a intensidade da chuva (mm/min), Tr é o tempo de retorno (anos) e t é a duração do evento (min). Fonte: A autora.

Para melhor visualização dos resultados, foram construídos mapas de espacialização dos parâmetros das equações IDF para o estado do Ceará. A construção dos mapas foi realizada através do programa ArcGis versão 10.1, utilizando a ferramenta *Spatial Analyst Tools – Interpolation*.

O parâmetro *a* variou numa faixa de 12 à 30. Os seus maiores valores encontram-se ilustrados na região de cor branca no mapa da Figura 22 e os menores valores na região de cor verde. Já o parâmetro *b* possuiu valores que foram de 0,063 à 0,231. A sua variação encontra-se ilustrada no mapa da Figura 23.

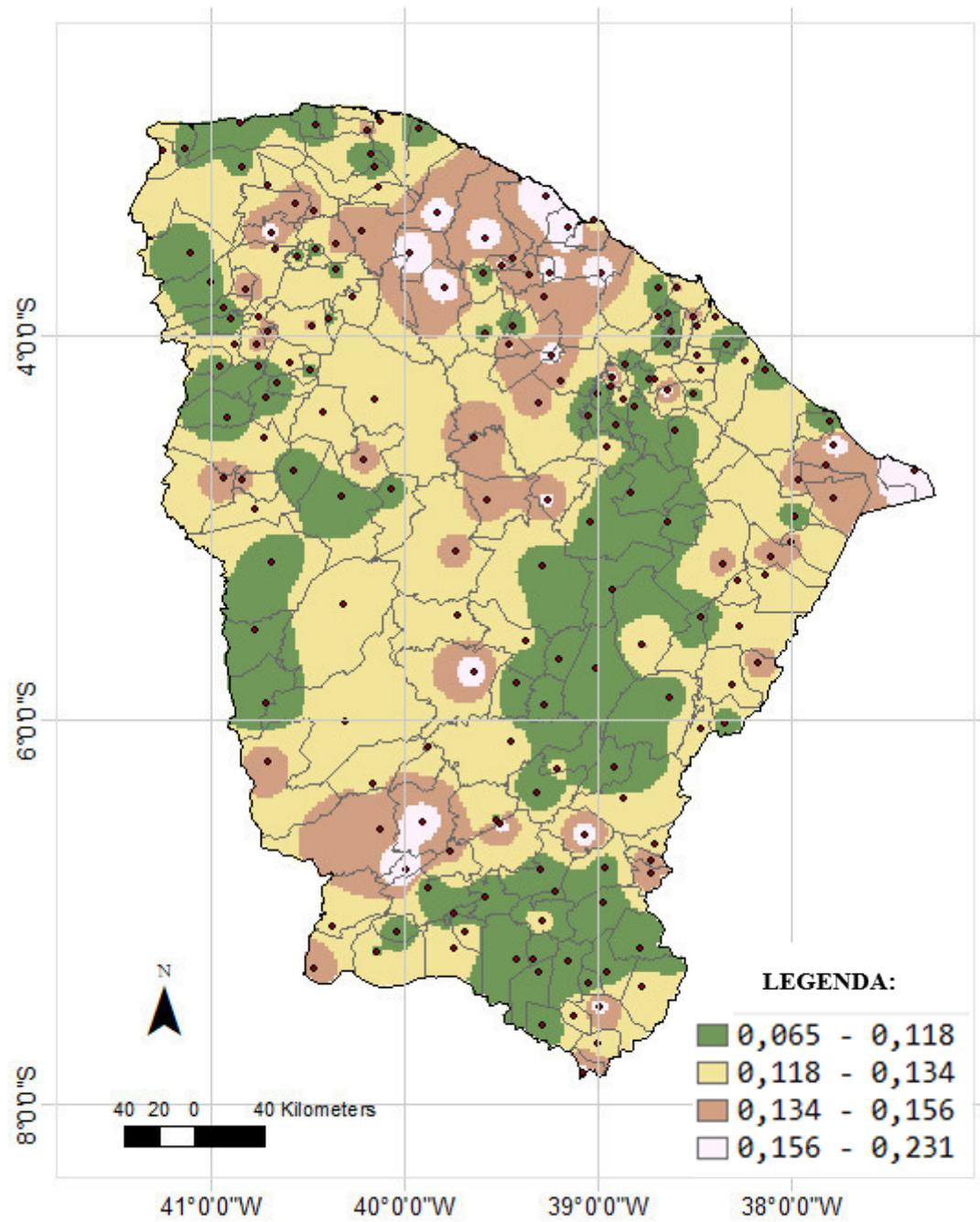
O parâmetro *C* variou na faixa de 9,35 à 15,95. O mapa da Figura 24 ilustra a superfície interpolada dos valores desse parâmetro para o estado do Ceará. Os maiores valores de *C* foram encontrados para os municípios do litoral cearense e os menores valores para os municípios localizados mais ao Centro e ao Sul do estado.

Figura 22: Superfície interpolada do parâmetro a.



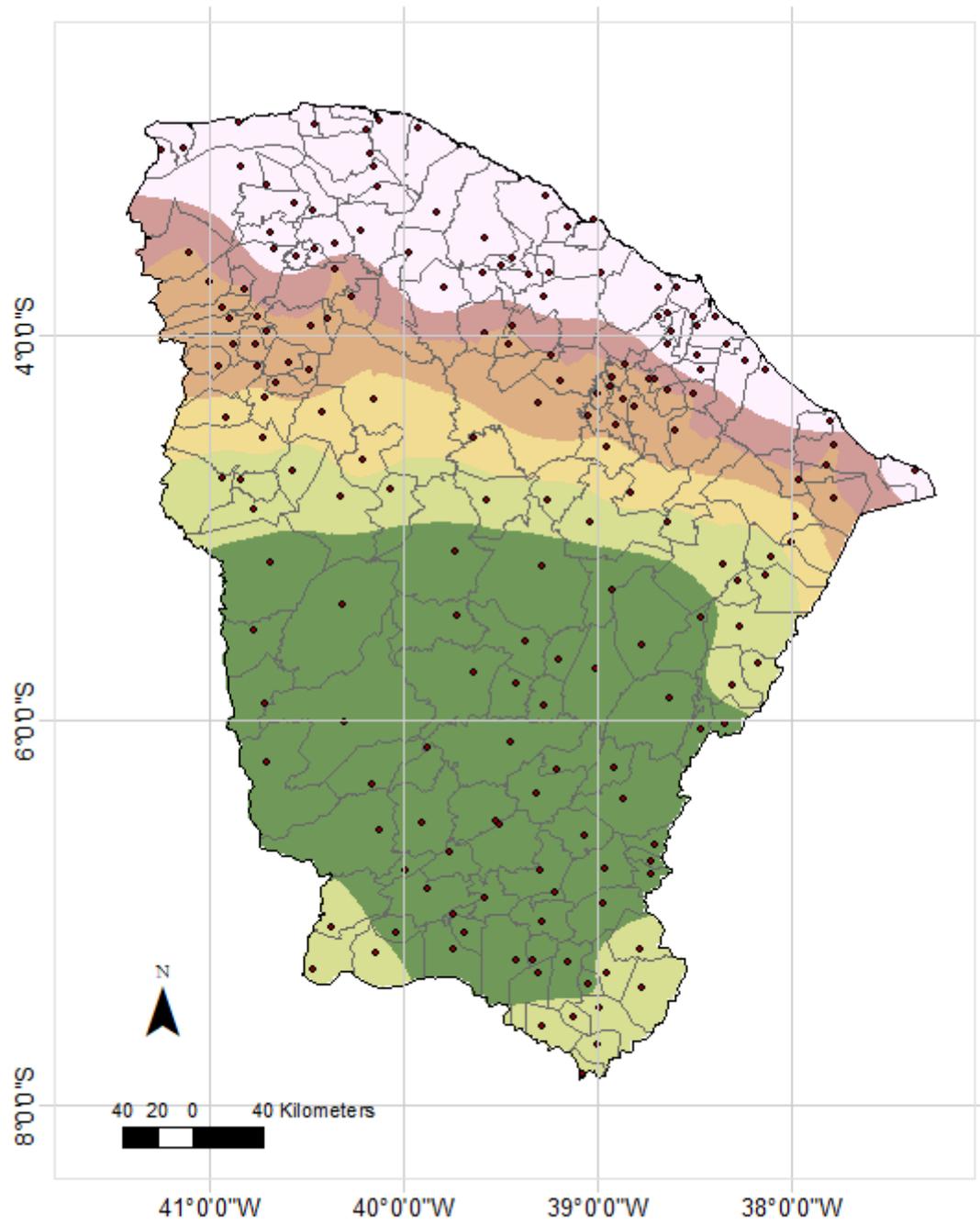
Fonte: A autora.

Figura 23: Superfície interpolada do parâmetro b.



Fonte: A autora.

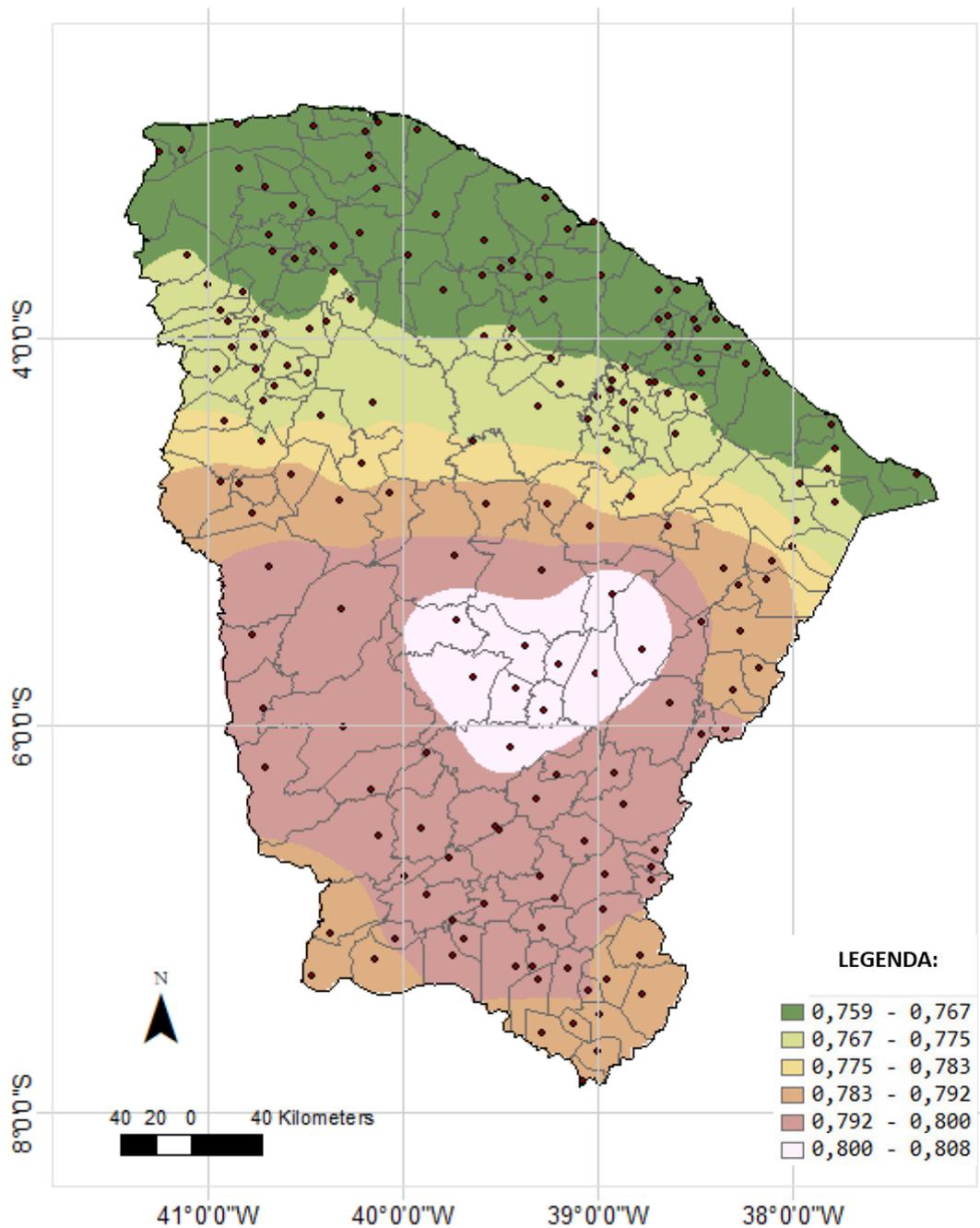
Figura 24: Superfície interpolada do parâmetro C.



Fonte: A autora.

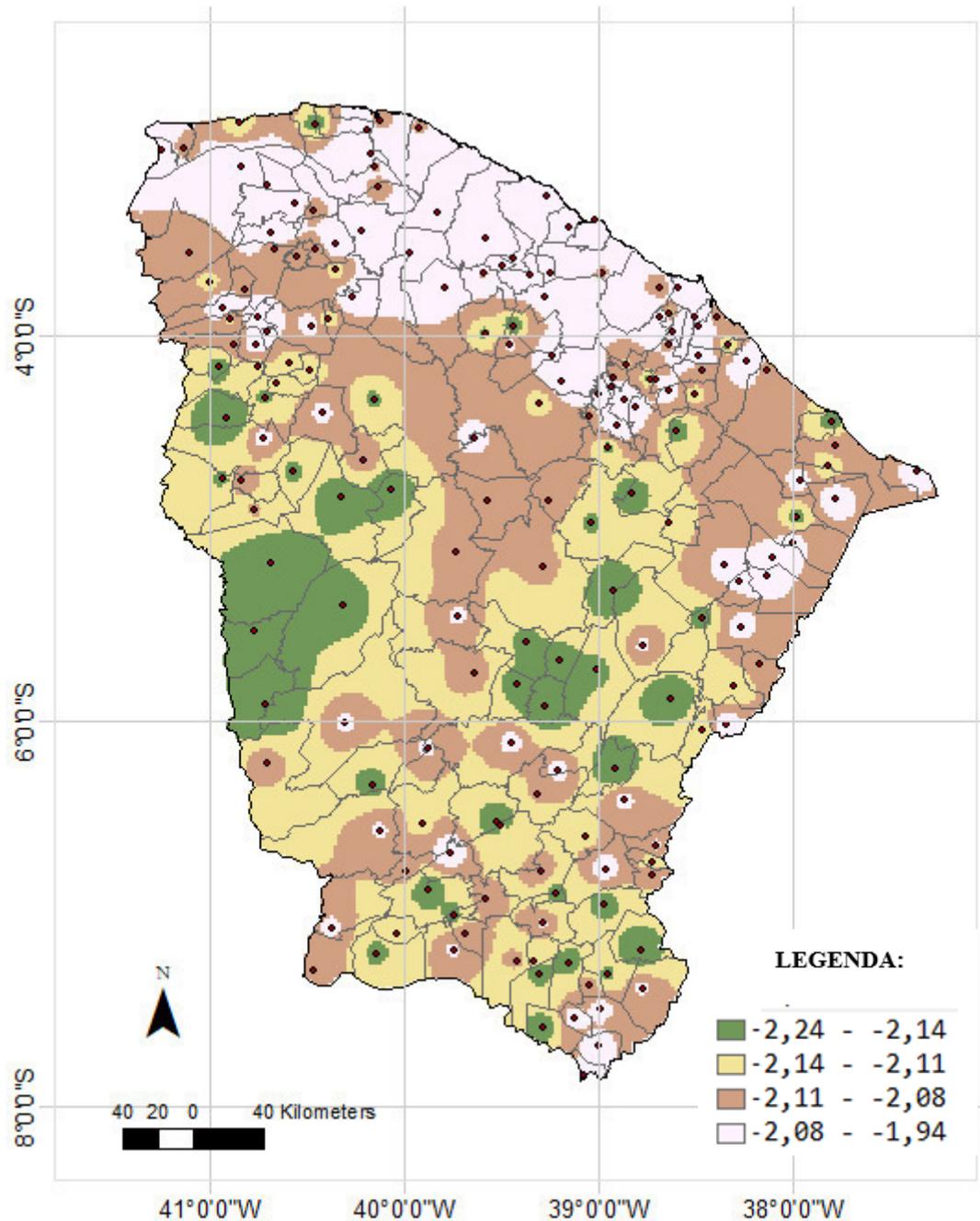
Os parâmetros n e S apresentaram uma pequena variação nos municípios do estado, sendo suas faixas de valores de 0,76 à 0,81 e de -2,24 à -1,94, respectivamente. Os mapas das Figuras 25 e 26 ilustram as superfícies interpoladas dos parâmetros n e S.

Figura 25: Superfície interpolada do parâmetro n.



Fonte: A autora

Figura 26: Superfície interpolada do parâmetro S.

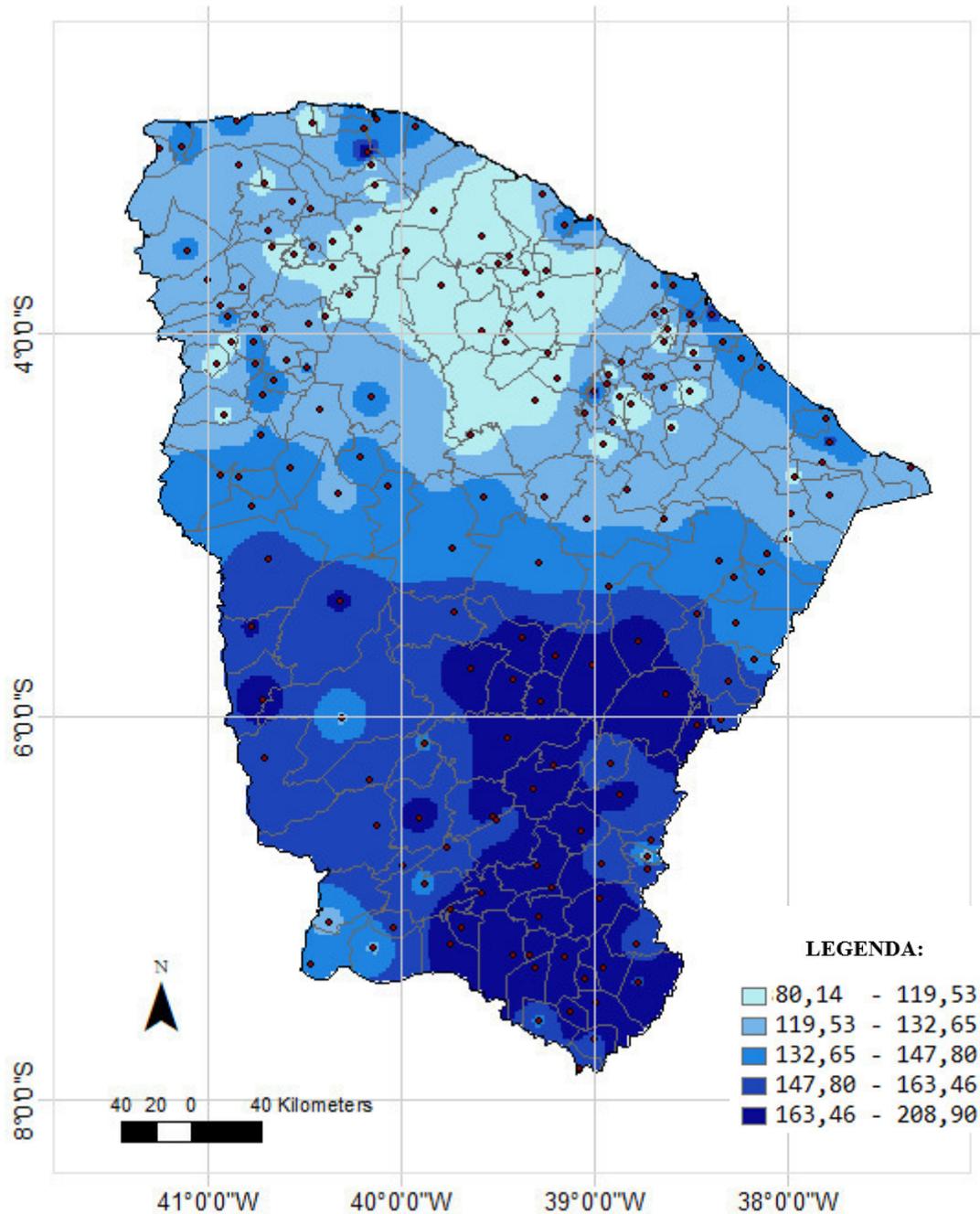


Fonte: A autora

A análise dos parâmetros a , b , n , C e S em conjunto, formando a equação IDF, possibilita uma visão melhor do significado dos resultados encontrados para os municípios do estado do Ceará. Assim, foram calculadas as intensidades de precipitação máxima para cada município utilizando a sua respectiva equação. Para isso, foram adotados um período de

retorno de 10 anos (período usual em projetos de galerias de águas pluviais) e uma duração de 10 min. A superfície interpolada desses valores está ilustrada na Figura 27.

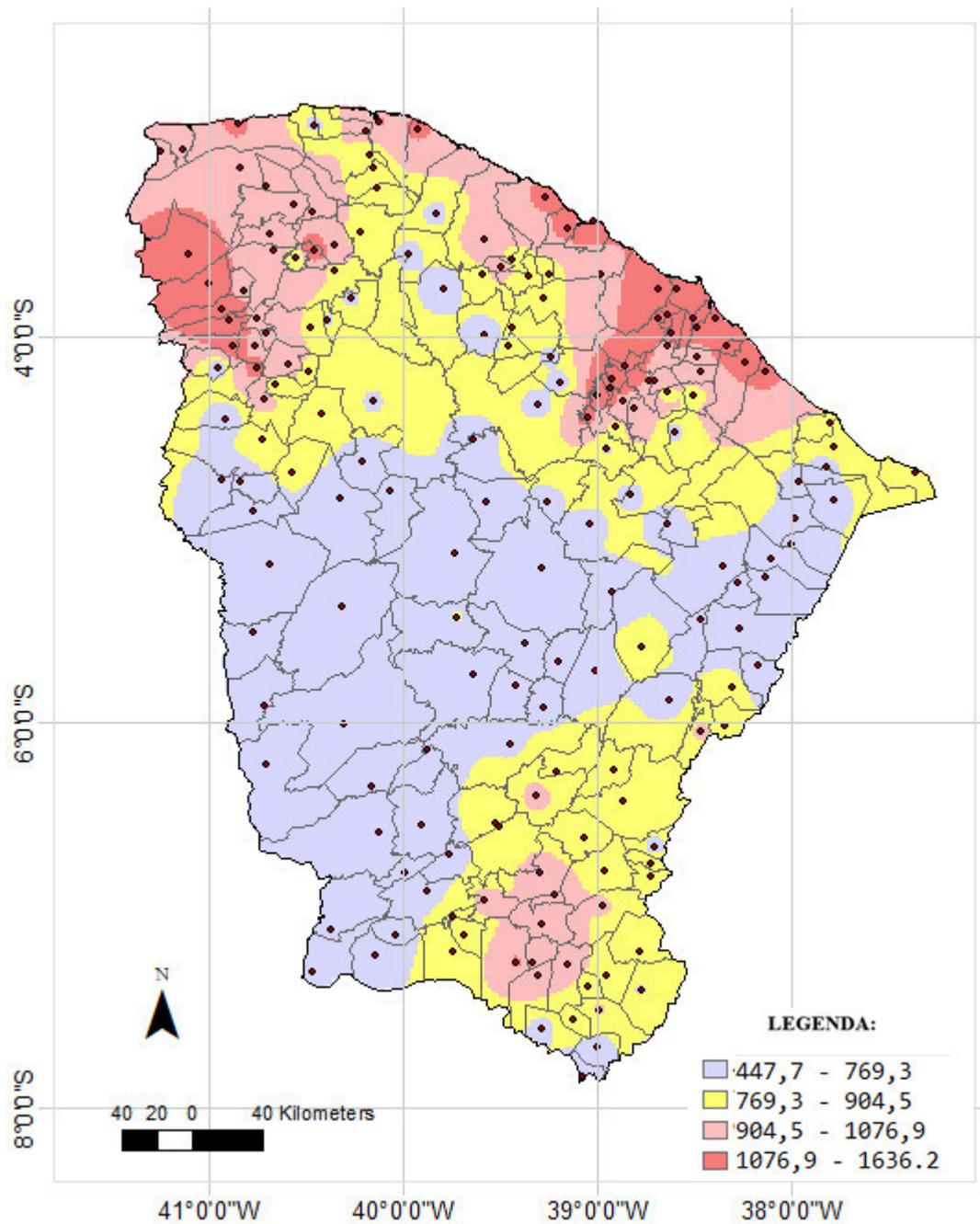
Figura 27: Superfície interpolada das intensidades calculadas (mm/h) através das equações IDF de cada município, utilizando $T_r = 10$ anos e $t = 10$ min.



Fonte: A autora.

A fim de analisar as relações entre as intensidades e os totais precipitados médios anuais em cada município, foi construído um mapa com a interpolação dos valores desses totais que está representado na Figura 28.

Figura 28: Superfície interpolada dos totais médios precipitados anuais (mm) para cada município.



Fonte: A autora.

Observando o mapa da Figura 27, pode-se observar que os maiores valores de intensidades foram encontrados para a região do Cariri cearense, Centro-Sul, Vale do Jaguaribe e uma parte do Sertão Central. Essa região está localizada nas isozonas G, e H, isozonas que possuem os maiores coeficientes de desagregação do Ceará. À medida que se vai caminhando no mapa ao Norte, as intensidades vão diminuindo, até chegar no litoral cearense, onde elas voltam a aumentar de valor, principalmente na Região Metropolitana de Fortaleza e em parte do litoral Norte e Leste. A região que apresentou as menores intensidades de chuva, para o tempo de retorno de 10 anos e tempo de duração de 10 min, está localizada entre o Sertão de Sobral e o Sertão de Canindé, englobando também uma parte do Vale do Curu. Essa região está localizada nas isozonas C e D, isozonas que possuem os menores coeficientes de desagregação do estado do Ceará. A combinação da aplicação da metodologia das isozonas com as características das precipitações máximas encontradas para cada município produziram os resultados ilustrados na Figura 27.

Observando a Figura 28, percebe-se que os maiores valores de precipitação anual média acontecem no litoral do estado e em suas proximidades e em regiões caracterizadas pela elevada altitude como no Baciço de Baturité, Serra da Ibiapaba e na Região do Cariri. No mapa são caracterizados pelos locais de cor mais escura e cor rosa, variando de 1076,9 à 1636,2 e de 904,5 à 1076,9 mm/ano respectivamente. As menores faixas de precipitação anual (447,7 à 769,3 mm) são observadas nas regiões em azul claro no mapa, englobando o Sertão Central, Sertão de Canindé, Sertão dos Inhamuns e Sertão dos Crateús. Nas faixas em amarelo no mapa são representadas as precipitações intermediárias que variam de 769,3 a 904,5 e englobam zonas de transição entre as localidades de maiores e menores precipitações.

Através da análise dos mapas das Figuras 27 e 28, percebe-se que as zonas de maiores precipitações, em geral, não são aquelas que, segundo a metodologia utilizada neste trabalho, possuem as maiores intensidades.

5.1.6 Verificação da qualidade do ajuste dos parâmetros das equações IDF

Para verificação da qualidade dos métodos de ajuste dos parâmetros da equação IDF foram calculados alguns índices de comparação entre os resultados encontrados pela equação IDF ajustada e os valores das intensidades encontradas pelos métodos das isozonas utilizados como base para a aplicação dos métodos de ajuste, como já descrito anteriormente. Foi observado que os valores de R^2 mantiveram-se praticamente constantes e foram todos superiores a 0,983. Os valores dos Erros Percentuais de Estimativa foram todos inferiores a

4,4%. Os resultados dos coeficientes de NASH encontrados foram todos superiores a 0,983, indicando como muito bom o desempenho do modelo.

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 $t_{\text{crit}} = 1,98$ foi calculado de acordo com o número de dados analisados 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 ($H_0: \hat{\alpha} = 0$).

Todos esses resultados estão descritos para cada posto pluviométrico no Apêndice A e indicaram a eficiência da metodologia utilizada para ajustar os dados de intensidades de precipitações de cada município a uma equação IDF.

5.2 Comparação entre equações IDF geradas por pluviógrafos e por pluviômetros para a cidade de Fortaleza-CE.

A Equação 31 foi construída criteriosamente por Silva, Palácio Junior e Campos (2013) a partir de dados de 30 anos de registros pluviográficos (1970-1999) do pluviógrafo da estação climatológica da Universidade Federal do Ceará- Campus do PICI na cidade de Fortaleza – CE (isozona C).

$$i = \frac{2345,29 * Tr^{0,173}}{(t + 28,31)^{0,904}} \quad (31)$$

Em que: i é a intensidade em mm/h; Tr é o tempo de retorno em anos e t é a duração da chuva em min.

A fim de comparar os resultados obtidos pela metodologia de desagregação, implementada neste estudo, com os da Equação 3, a equação IDF para a cidade de Fortaleza foi obtida neste trabalho através dos dados do posto pluviométrico do PICI para o período de observação de 1919 a 2016 (98 anos de dados) e está mostrada na Equação 32.

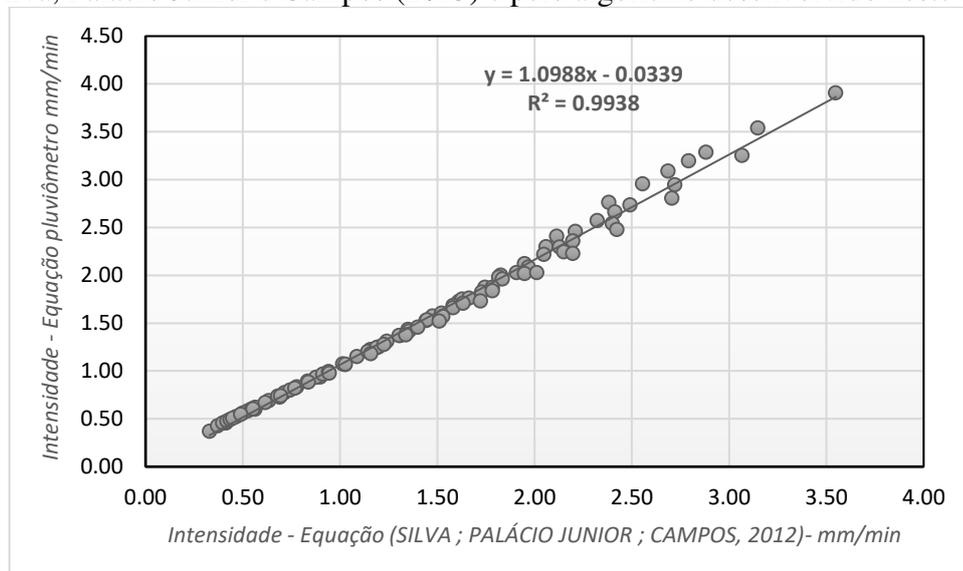
$$i = 21,711 * \frac{(Tr-2,07)^{0,138}}{(t+15,945)^{0,76}}, \text{ para } 5\text{min} < t < 240\text{min}. \quad (32)$$

O gráfico de correlação linear da Figura 29 foi construído com os valores das intensidades de chuva obtidas pelas duas equações para períodos de retorno de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50 e 100 anos e para durações de até 240min. No eixo x encontram-se os valores obtidos pela equação desenvolvida por Silva, Palácio Junior e Campos (2013) e no eixo y os valores obtidos pela equação construída pelo programa com base em dados pluviométricos. Pode-se perceber, pela figura, um bom ajuste à reta de regressão linear, principalmente nos valores de intensidade abaixo de 2 mm/min.

O coeficiente angular da linha de tendência do gráfico gerado foi de 1,09, que é próximo da unidade e o coeficiente linear de -0,03, muito próximo de zero, o que representa uma proximidade da linha de tendência da regressão linear dos dados à linha $Y=X$. Associado a isso, podemos observar que o valor do coeficiente de determinação R^2 encontrado foi de 0,99, o que nos revela que uma grande proporção dos dados consegue ser explicada pelo modelo de regressão.

O índice de concordância de Willmott calculado foi de $d=0,99$, se aproximando bastante do valor que representa a concordância perfeita ($d=1$). O índice de desempenho também foi igual a 0,99, sendo classificado como ótimo, de acordo com a Tabela 06.

Figura 29: Correlação linear entre os valores de intensidade obtidos pela equação de Silva, Palácio Junior e Campos (2013) e pelo algoritmo desenvolvido neste trabalho.



Fonte: A autora.

Dessa forma, os resultados obtidos pela equação gerada pelo algoritmo representam bem os resultados obtidos pela equação gerada pelos dados dos pluviógrafos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se concluir que métodos para a determinação das equações IDF para regiões que não possuem pluviógrafos são alternativas importantes e úteis que produzem bons resultados. A vasta densidade pluviométrica do Brasil favorece o desenvolvimento de metodologias baseadas em dados de pluviômetros para determinação das equações IDF de uma determinada região.

Os resultados positivos encontrados através da comparação das intensidades geradas pela equação IDF calculada neste trabalho e da equação IDF calculada por Silva, Palácio Junior e Campos (2013) para a cidade de Fortaleza reforçam a hipótese de que a metodologia das isozonas pode ser utilizada na estimativa das intensidades máximas de projeto.

Os parâmetros das equações IDF encontrados para as 184 cidades do estado do Ceará apresentaram bons ajustes. Tais equações representam uma boa alternativa para a determinação da chuva de projeto, necessária para a realização de projetos de drenagem e projetos hidráulicos em geral, o que caracteriza os resultados encontrados neste trabalho como uma contribuição importante para empresas, órgãos governamentais e comunidade acadêmica do estado do Ceará.

Destaca-se também a contribuição da hidroinformática para 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 mostram bastante úteis no trabalho envolvendo uma grande quantidade de dados que precisam ser coletados, analisados e tratados, proporcionando uma automatização da metodologia e facilitando a determinação dos resultados.

Através da análise dos dados coletados, verificou-se que o estado do Ceará não possui uma quantidade de dados pluviográficos adequada, sendo o monitoramento automático realizado pelas PCD's ainda muito recente e o acesso aos dados pluviográficos antigos bastante complicado, já que os pluviogramas, que ainda não estão digitalizados, encontram-se depositados em bibliotecas do INMET em outros estados, além da existência de dificuldades para autorização de acesso a esses dados. Sugere-se, para trabalhos posteriores, a digitalização desses dados para reconstrução das isozonas para o estado do Ceará.

REFERÊNCIAS

- ALVES, F. M. **Aplicação do método das isozonas através de desenvolvimento de um programa computacional para obtenção de equações IDF na região do Cariri cearense**. 2015. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, Juazeiro do Norte, 2015.
- ARAGÃO, R. et al. Chuvas intensas para o Estado de Sergipe com base em dados desagregados de chuva diária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 3, p. 243-252, 21 dez. 2013.
- BACK, A. J.; HENN, A.; OLIVEIRA, J. R. L. Heavy Rainfall Equations for Santa Catarina, Brazil. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa - Mg, 35, p. 2127-2134, 2011.
- BACK, A. J. Relationships between heavy precipitations of different durations in the municipality of Urussanga, SC. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 170-175, 2008.
- BARRETO, H. B. F. et al. Análise da precipitação máxima e relação intensidade-duração-frequência para Mossoró-RN. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 2, n. 4, p. 87-95, dez. 2013.
- BASSO, R. E. et al. Revisão das isozonas de chuvas intensas do Brasil. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, [s.l.], v. 21, n. 4, p. 635-641, dez. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522016133691>.
- BELL, F. C. Generalized rainfall-duration-frequency relationships. **Journal of the Hydraulics Division**, v. 95, n. HY1, p. 311-327, 1969.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Delimitação do semi-árido**. 2017. Disponível em: <http://www.mi.gov.br/web/guest/ultimas-noticias/-/asset_publisher/ZSVIyv09vib/content/delimitacao-do-semiarido-mantem-formacao-atual-e-inclui-54-novos-municipios?inheritRedirect=false&redirect=http://www.mi.gov.br/web/guest/ultimas-noticias?p_p_id=101_INSTANCE_ZSVIyv09vib&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=_118_INSTANCE_85Xqp1E2o2IT__column-2&p_p_col_count=1>. Acesso em: 07 dez. 2017.
- CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativas de evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, p. 89-97, 1997.
- CAMPOS, A. R. et al. Estimate of intense rainfall equation parameters for rainfall stations of the Paraíba State, Brazil. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 47, n. 1, p. 15-21, Jan/Mar. 2017.
- CAMPOS, A. R. et al. Equações de intensidade-duração-frequência de chuvas para o estado do Piauí. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 45, n. 3, p. 488-498, set. 2014
- CAMPOS, A. R. Equações de intensidade de chuvas para o estado do Maranhão. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa - Mg, v. 23, n. 5, p. 435-447, out. 2015.

COELHO FILHO, J. A. P.; MELO, D. C. R.; ARAÚJO, M. L. M. Extremos Intense rainfall study of Goiânia/GO by modeling maximum annual events using Gumbel and Generalized Extreme Value distributions. **Ambiência**, [s.l.], v. 13, n. 1, p. 75-88, 2017. GN1 Genesis Network. <http://dx.doi.org/10.5935/ambiencia.2017.01.05>.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. Porto Alegre: ABRH, 2013. 335 p.

CRUCIANI, D. E.; MACHADO, R. E.; SENTELHAS, P. C. Modelos da distribuição temporal de chuvas intensas em Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 1, p. 76-82, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662002000100014>

DAEE-CETESB. Departamento de Água e Energia Elétrica - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental 1979. **Drenagem urbana: manual de projeto**. São Paulo: DAEE-CETESB. 466 p.

DENARDIN, J. E. et al. Características fundamentais da chuva no Brasil: I., Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 15, n. 4, p. 419-421, 1980.

DENARDIN, J. E.; FREITAS, P. L. Características fundamentais da chuva no Brasil. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 10, n. 17, p. 1409-1416, out. 1982.

FECHINE SOBRINHO, V. et al. Desenvolvimento de equações Intensidade-Duração-Frequência sem dados pluviográficos em regiões semiáridas. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 7, p. 727-734, 2014.

GARCIA, S. S. et al. Determinação da equação intensidade-duração-frequência para três estações meteorológicas do Estado de Mato grosso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 6, p. 575-581, Mar/2011.

GENOVEZ, A. M.; ZUFFO, A. C. Chuvas intensas no estado de São Paulo: estudos existentes e análise comparativa. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Campinas, v. 3, n. 5, p. 45-58, set. 2000.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ (IPECE). **Ceará em mapas**. Disponível em: <<http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/11/index.htm>>. Acesso em: 10 nov. 2017

MATOS, J. E. R. **Chuvas intensas na Bahia equações e metodologias de regionalização**. Salvador: Edufba, 2006. 296 p.

MELLO, C. R. et al. Modelos matemáticos para predição da chuva de projeto para regiões do estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, p. 121- 128, 2003.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros**. LTC: Rio de Janeiro, 2003.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: Cprm, 2007. 552 p.

NASH J. E.; SUTCLIFFE J. V. River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. **Journal of Hydrology**, v. 10, 3 ed., p. 282-290, 1970.

OLIVEIRA, L. F. C. de et al. Métodos de estimativa de precipitação máxima para o Estado de Goiás. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 6, p. 620-625, abr. 2008.

OLIVEIRA, L. F. C. et al. Modelos de predição de chuvas intensas para o estado do Mato Grosso, Brasil. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 6, n. 3, p. 274-290, 2011.

PÉREZ-ZANÓN, N. et al. **Theor Appl Climatol** (2016) 124: 935. doi:10.1007/s00704-015-1476-0.

PFAFSTETTER, O. **Chuvas intensas no Brasil**. Brasília, DF: Departamento Nacional de Obras e Saneamento, 1957. 246p.

PINHEIRO, M. I. T. et al. Conflitos pelo uso da água no estado do Ceará: o estudo de caso do Vale do Rio Carás. In: **Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa**, 7., 2005, Évora.

RANGEL, E. M.; HARTWIG, M. P. Análise das curvas de intensidade-duração-frequência para a cidade de Pelotas através de uma função de desagregação. **Revista Thema**, Pelotas. v. 14, n. 2, p. 63-77, 2016.

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

RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e Recursos Hídricos**. São Carlos: EESC/USP, 1998.

SANTOS, R. A. dos. Cálculo da chuva intensa pelo método das Isozonas para cidades do estado da Paraíba. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 1334-1343, ago. 2015.

SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E GESTÃO (Ceará). **Regiões de planejamento**. 2015. Disponível em: <http://www.seplag.ce.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=2670:lei-que-define-as-novas-regioes-de-planejamento-e-aprovada-na-assembleia-legislativa&catid=14:lista-de-noticias&Itemid=1668#site>. Acesso em: 07 dez. 2017.

SENOCAK, Serkan & ACAR, Resat. Modelling of Short Duration Rainfall (SDR) Intensity Equations for Erzurum. **Pamukkale University Journal of Engineering Sciences**, 13(1), 75-80. 2007.

SILVA, B. C. da; CLARKE, R. T. Análise estatística de chuvas intensas na Bacia do Rio São Francisco. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [s.l.], v. 19, n. 3, p. 265-272, abr. 2004.

SILVA, B. M. et al. Chuvas Intensas em Localidades do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Nn, v. 17, n. 3, p. 135-147, set. 2012.

SILVA, B. M. **Chuvas intensas em localidades do estado de Pernambuco**. 2009. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

SILVA, D. D. da. Chuvas intensas no Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 362-367, dez. 2002.

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

SILVA, P. M. O. et al. Modelagem da hidrografa de cheia em uma bacia hidrográfica da região Alto Rio Grande. **R. Bras. Eng. Agric. Amb.**, 12:258-265, 2008.

SILVA NETO, V. L. **Chuvas intensas no estado do Tocantins**. 2016. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais, Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, 2016.

SOUZA, R. O. R. de M. et al. Equações de chuvas intensas para o estado do Pará. **R. Bras. Eng. Agric. Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 9, p. 999-1005, jun. 2012.

SOUZA, V. A. S. de et al. Determining IDF Equations for the state of Rondônia. **Revista Brasileira de Climatologia**, [s.l.], v. 18, n. 12, p. 10-26, jun. 2016.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.

TORRICO, J. J. T. **Práticas hidrológicas**. Rio de Janeiro, TRANSCON, 1974.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2004.

WALPOLE, R. E. et al. **Probabilidade e estatística para engenharia e ciências**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

ZANELLA, M. E. Considerações sobre o clima e os Recursos Hídricos do Semiárido Nordeste. **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, v. especial, n. 36, p. 126-142, 2014.

**APÊNDICE A: ÍNDICES DE VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DO AJUSTE DOS
PARÂMETROS DA EQUAÇÃO IDF, DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE E
ISOZONA RELACIONADOS A CADA POSTO PLUVIOMÉTRICO.**

Cidade	Distribuição utilizada	Isozona Taborga	R ²	EPE	NASH	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$t\hat{\alpha}$	$t\hat{\beta}$
Abaicara	LOG NORMAL 2P	G	0,996	0,020	0,999	-0,003	1,002	-0,273	0,249
Acarape	GUMBEL	D	0,990	0,033	0,998	-0,005	1,004	-0,319	0,407
Acaraú	GAMMA 2P	C	0,983	0,042	0,996	-0,003	0,999	-0,116	-0,071
Acopiara	GUMBEL	H	0,997	0,018	0,999	-0,003	1,003	-0,310	0,497
Aiuaba	LOG NORMAL 2P	G	0,996	0,021	0,999	-0,009	1,005	-0,661	0,657
Alcantaras	GAMMA 2P	C	0,983	0,041	0,996	-0,001	1,001	-0,085	0,039
Altaneira	GAMMA 2P	G	0,996	0,021	0,999	-0,004	1,001	-0,352	0,087
Alto Santo	GUMBEL	F	0,995	0,023	0,999	-0,006	1,004	-0,546	0,520
Amontada	LOG NORMAL 3P	C	0,984	0,041	0,996	-0,005	1,002	-0,245	0,124
Antonina do Norte	LOG NORMAL 3P	G	0,995	0,024	0,998	-0,015	1,008	-1,009	1,005
Apuiarés	GAMMA 3P	D	0,989	0,030	1,000	-0,001	1,001	-0,094	0,049
Aquiraz	GAMMA 2P	C	0,983	0,041	0,996	-0,002	0,998	-0,097	-0,117
Aracati	GAMMA 3P	D	0,989	0,035	0,997	-0,012	1,005	-0,592	0,416
Aracoiaba	LOG NORMAL 2P	D	0,990	0,033	0,998	-0,003	0,999	-0,221	-0,090
Ararendá	GUMBEL	F	0,995	0,024	0,999	-0,007	1,005	-0,562	0,694
Araripe	GAMMA 2P	F	0,994	0,025	0,999	-0,005	1,002	-0,420	0,267
Aratuba	GAMMA 2P	D	0,989	0,033	0,998	-0,004	1,000	-0,252	-0,033
Arneiroz	GAMMA 2P	G	0,995	0,023	0,999	-0,006	1,002	-0,490	0,273
Assaré	GAMMA 3P	G	0,996	0,021	0,999	-0,004	1,001	-0,394	0,166
Aurora	GAMMA 3P	G	0,996	0,022	0,999	-0,006	0,999	-0,427	-0,168
Baixio	LOG NORMAL 3P	G	0,995	0,023	0,999	-0,006	1,001	-0,668	0,205
Banbuiú	GAMMA 3P	H	0,997	0,020	0,999	-0,001	0,996	-0,090	-0,604
Barbalha	GAMMA 2P	G	0,996	0,021	0,999	-0,006	1,001	-0,432	0,132
Barreira	LOG NORMAL 3P	D	0,989	0,034	0,997	-0,008	1,006	-0,507	0,545
Barro	GAMMA 3P	F	0,995	0,024	0,999	-0,004	1,000	-0,348	-0,034
Barroquinha	GAMMA 2P	C	0,983	0,041	0,996	-0,001	1,000	-0,064	0,018
Baturité	LOG NORMAL 2P	D	0,990	0,033	0,998	-0,004	1,002	-0,303	0,174
Beberibe	GAMMA 2P	C	0,983	0,041	0,996	-0,001	0,998	-0,034	-0,185
Bela Cruz	LOG NORMAL 3P	C	0,984	0,040	0,997	0,000	1,000	-0,002	0,020
Boa viagem	GUMBEL	G	0,996	0,021	0,999	-0,008	1,004	-0,774	0,642
Brejo Santo	LOG NORMAL 2P	F	0,994	0,024	0,998	-0,015	1,005	-0,780	0,693
Camocim	GAMMA 3P	C	0,983	0,041	0,996	0,000	0,997	-0,021	-0,211
Campos Sales	GUMBEL	F	0,995	0,024	0,999	-0,006	1,002	-0,626	0,298
Canindé	GAMMA 2P	D	0,989	0,035	0,997	-0,005	1,006	-0,353	0,512
Capistrano	LOG NORMAL 3P	D	0,990	0,033	0,988	-0,004	1,002	-0,305	0,232
Caridade	GUMBEL	D	0,990	0,033	0,998	-0,005	1,005	-0,397	0,455
Cariré	GUMBEL	D	0,990	0,033	0,998	-0,007	1,003	-0,431	0,254
Caririaçu	GUMBEL	G	0,996	0,020	0,999	-0,009	1,003	-0,697	0,493
Cariús	LOG NORMAL 3P	G	0,994	0,025	0,998	-0,010	1,006	-0,743	0,714

**APÊNDICE A: ÍNDICES DE VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DO AJUSTE DOS
PARÂMETROS DA EQUAÇÃO IDF, DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE E
ISOZONA RELACIONADOS A CADA POSTO PLUVIOMÉTRICO**

Cidade	Distribuição utilizada	Isozona Taborga	R ²	EPE	NASH	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$t\hat{\alpha}$	$t\hat{\beta}$
Carnaubal	GAMMA 3P	D	0,989	0,034	0,997	-0,004	1,002	-0,256	0,155
Cascavel	GUMBEL	C	0,984	0,041	0,984	-0,003	1,001	-0,142	0,076
Catarina	GUMBEL	G	0,996	0,020	0,999	-0,005	1,003	-0,488	0,557
Catunda	GUMBEL	E	0,993	0,029	0,998	-0,009	1,006	-0,596	0,732
Caucaia	GAMMA 2P	C	0,983	0,041	0,983	-0,001	0,999	-0,045	-0,106
Cedro	LOG NORMAL 3P	G	0,995	0,024	0,998	-0,014	1,006	-0,897	0,835
Chaval	GUMBEL	C	0,984	0,040	0,997	-0,002	1,000	-0,129	-0,015
Choró	LOG NORMAL 3P	F	0,994	0,025	0,998	-0,007	1,006	-0,602	0,731
Chorozinho	GAMMA 2P	D	0,989	0,034	0,989	-0,003	1,001	-0,217	0,092
Coreaú	GAMMA 2P	C	0,983	0,041	0,996	-0,002	1,001	-0,115	0,065
Crateús	GAMMA 3P	G	0,995	0,023	0,999	-0,006	1,001	-0,460	0,117
Crato	LOG NORMAL 2P	G	0,996	0,020	0,999	-0,006	1,002	-0,467	0,294
Croatá	GAMMA 3P	E	0,992	0,029	0,998	-0,004	1,000	-0,304	-0,039
Cruz	LOG NORMAL 2P	C	0,984	0,041	0,996	-0,003	1,000	-0,147	0,015
Dep. Irapuan Pinheiro	GAMMA 3P	H	0,997	0,019	0,999	0,000	1,001	0,039	0,146
Ererê	GUMBEL	G	0,997	0,019	0,999	-0,005	1,001	-0,502	0,208
Eusébio	GUMBEL	C	0,984	0,041	0,984	-0,005	1,000	-0,190	0,020
Farias Brito	LOG NORMAL 2P	G	0,996	0,020	0,999	-0,004	1,000	-0,368	0,048
Forquilha	LOG NORMAL 3P	D	0,990	0,033	0,998	-0,003	1,004	-0,246	0,409
Pici	GAMMA 3P	C	0,983	0,041	0,983	-0,004	1,002	-0,158	0,145
Fortim	GAMMA 3P	C	0,983	0,041	0,996	0,000	0,998	0,021	-0,120
Frecheirinhas	GUMBEL	D	0,989	0,034	0,997	-0,008	1,007	-0,452	0,630
General Sampaio	LOG NORMAL 3P	D	0,989	0,034	0,997	-0,005	1,004	-0,383	0,363
Graça	LOG NORMAL 2P	D	0,990	0,033	0,998	-0,007	1,004	-0,384	0,422
Granja	LOG NORMAL 3P	C	0,984	0,040	0,997	-0,001	1,000	-0,067	-0,019
Granjeiro	GAMMA 2P	G	0,996	0,021	0,999	-0,003	1,003	-0,223	0,432
Groaíras	GAMMA 2P	D	0,989	0,034	0,998	-0,003	1,004	-0,217	0,329
Guaiúba	GAMMA 2P	C	0,983	0,041	0,996	-0,001	1,000	-0,063	-0,010
Guaracibaba do Norte	GAMMA 2P	D	0,989	0,033	0,998	-0,004	1,001	-0,267	0,128
Guaramiranga	LOG NORMAL 2P	D	0,990	0,033	0,998	-0,005	1,002	-0,321	0,182
Hidrolândia	GUMBEL	E	0,993	0,028	0,998	-0,006	1,006	-0,516	0,733
Horizonte	GUMBEL	C	0,984	0,040	0,997	-0,002	1,000	-0,105	-0,012
Ibaretama	GAMMA 3P	E	0,993	0,028	0,998	-0,003	0,998	-0,283	-0,177
Ibiapina	GAMMA 2P	D	0,990	0,033	0,998	-0,003	1,002	-0,181	0,216
Ibicuitinga	GAMMA 2P	F	0,995	0,023	0,999	-0,003	1,000	-0,276	-0,026
Icapuí	LOG NORMAL 3P	C	0,983	0,044	0,996	-0,012	1,006	-0,555	0,424
Icó	GUMBEL	G	0,996	0,020	0,999	-0,008	1,004	-0,670	0,651
Iguatu	LOG NORMAL 3P	G	0,996	0,020	0,999	-0,005	1,002	-0,447	0,340
Independência	GAMMA 2P	G	0,995	0,023	0,999	-0,007	1,000	-0,536	-0,044

**APÊNDICE A: ÍNDICES DE VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DO AJUSTE DOS
PARÂMETROS DA EQUAÇÃO IDF, DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE E
ISOZONA RELACIONADOS A CADA POSTO PLUVIOMÉTRICO**

Cidade	Distribuição utilizada	Isozona Taborga	R ²	EPE	NASH	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$t\hat{\alpha}$	$t\hat{\beta}$
Ipaporanga	GAMMA 3P	F	0,995	0,024	0,999	-0,006	1,002	-0,448	0,276
Ipauimirim	LOG NORMAL 3P	G	0,995	0,022	0,999	-0,009	1,005	-0,665	0,760
Ipu	GAMMA 2P	E	0,993	0,028	0,998	-0,005	1,001	-0,380	0,162
Ipueiras	GAMMA 3P	E	0,993	0,028	0,998	-0,007	1,006	-0,518	0,701
Iracema	GAMMA 3P	F	0,994	0,025	0,999	-0,008	1,003	-0,543	0,356
Irauçuba	LOG NORMAL 2P	C	0,984	0,041	0,996	-0,005	1,003	-0,299	0,217
Itaiçaba	GAMMA 2P	D	0,989	0,035	0,997	-0,005	1,003	-0,323	0,227
Itaitinga	GUMBEL	C	0,984	0,040	0,984	-0,002	1,001	-0,117	0,104
Itapajé	GAMMA 2P	C	0,984	0,041	0,997	0,000	0,997	0,005	-0,222
Itapipoca	LOG NORMAL 3P	C	0,983	0,042	0,996	-0,005	1,002	-0,324	0,179
Itapiúna	GAMMA 2P	E	0,992	0,029	0,998	-0,006	1,004	-0,477	0,445
Itarema	GAMMA 2P	C	0,983	0,041	0,996	-0,001	1,000	-0,037	0,019
Itatira	GAMMA 3P	E	0,992	0,028	0,998	-0,006	1,007	-0,576	0,791
Jaguaretama	GUMBEL	H	0,997	0,018	0,999	-0,005	1,003	-0,401	0,566
Jaguaribara	GAMMA 2P	G	0,996	0,021	0,999	-0,003	1,003	-0,259	0,423
Jaguaribe	GAMMA 3P	G	0,995	0,023	0,999	-0,007	0,999	-0,461	-0,113
Jaguaruana	LOG NORMAL 3P	D	0,990	0,033	0,998	-0,007	1,004	-0,442	0,347
Jardim	GAMMA 3P	F	0,995	0,024	0,999	-0,003	1,000	-0,277	0,058
Jati	LOG NORMAL 2P	F	0,995	0,024	0,999	-0,007	1,003	-0,485	0,365
Jijoca de Jericoacoara	GAMMA 3P	C	0,983	0,042	0,996	0,000	0,998	-0,025	-0,151
Juazeiro do Norte	GAMMA 3P	G	0,996	0,021	0,999	-0,006	1,001	-0,467	0,209
Jucás	GAMMA 3P	G	0,996	0,022	0,999	-0,004	0,999	-0,319	-0,102
Lavras da Mangabeira	GUMBEL	G	0,997	0,019	0,999	-0,006	1,003	-0,583	0,465
Limoeiro do Norte	LOG NORMAL 2P	F	0,995	0,024	0,999	-0,009	1,005	-0,656	0,657
Madalena	GUMBEL	F	0,995	0,024	0,999	-0,008	1,005	-0,654	0,667
Maracanaú	GAMMA 3P	C	0,983	0,041	0,983	0,000	0,998	0,022	-0,125
Maranguape	GUMBEL	C	0,984	0,040	0,997	-0,003	1,002	-0,138	0,179
Marco	GAMMA 2P	C	0,983	0,041	0,996	-0,001	1,000	-0,062	-0,008
Martinópolis	GUMBEL	C	0,984	0,040	0,997	-0,002	0,999	-0,089	-0,074
Massapê	GUMBEL	C	0,984	0,041	0,996	-0,004	1,002	-0,201	0,118
Mauriti	GUMBEL	F	0,995	0,023	0,999	-0,008	1,003	-0,624	0,372
Meruoca	GAMMA 2P	C	0,983	0,041	0,996	-0,001	0,998	-0,056	-0,133
Milagres	GAMMA 2P	F	0,995	0,025	0,999	-0,006	1,003	-0,393	0,340
Milhã	GAMMA 2P	H	0,997	0,019	0,999	-0,001	1,002	-0,070	0,307
Miraíma	LOG NORMAL 3P	C	0,984	0,042	0,996	-0,006	1,005	-0,354	0,340
Missão Velha	GAMMA 3P	G	0,996	0,021	0,999	-0,005	1,000	-0,372	0,061
Mombaça	GAMMA 3P	H	0,996	0,021	0,999	-0,009	1,005	-0,601	0,782
Monsenhor Tabosa	GAMMA 3P	F	0,994	0,026	0,998	-0,006	1,002	-0,456	0,285
Morada Nova	LOG NORMAL 2P	F	0,995	0,024	0,999	-0,008	1,002	-0,608	0,282

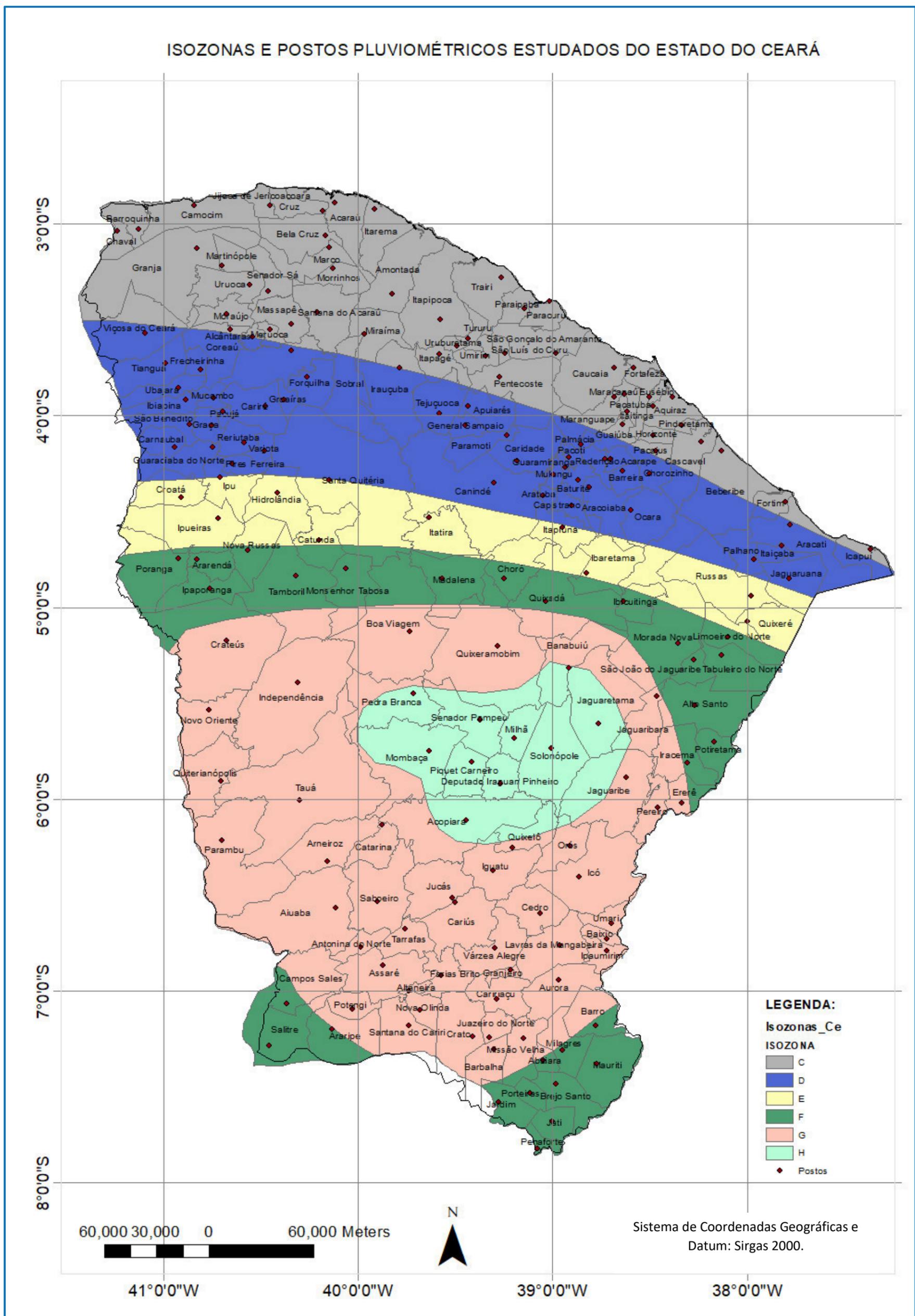
**APÊNDICE A: ÍNDICES DE VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DO AJUSTE DOS
PARÂMETROS DA EQUAÇÃO IDF, DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE E
ISOZONA RELACIONADOS A CADA POSTO PLUVIOMÉTRICO**

Cidade	Distribuição utilizada	Isozona Taborga	R ²	EPE	NASH	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$t\hat{\alpha}$	$t\hat{\beta}$
Moraújo	LOG NORMAL 2P	C	0,984	0,041	0,996	-0,006	1,003	-0,284	0,253
Morrinhos	GAMMA 3P	C	0,983	0,042	0,996	-0,002	1,000	-0,112	-0,012
Mucambo	GUMBEL	D	0,990	0,033	0,998	-0,007	1,003	-0,428	0,314
Mulungu	LOG NORMAL 3P	D	0,990	0,032	0,998	-0,003	0,999	-0,160	-0,085
Nova Olinda	LOG NORMAL 3P	G	0,996	0,021	0,999	-0,008	1,002	-0,568	0,327
Nova Russas	GAMMA 2P	F	0,995	0,024	0,999	-0,005	1,002	-0,431	0,264
Novo Oriente	GAMMA 2P	G	0,996	0,022	0,999	-0,006	1,000	-0,460	0,010
Ocara	GAMMA 3P	D	0,989	0,034	0,997	-0,003	1,000	-0,205	0,005
Orós	GAMMA 3P	G	0,996	0,021	0,999	-0,003	1,000	-0,263	0,074
Pacajus	GAMMA 2P	C	0,983	0,042	0,996	-0,003	1,000	-0,140	0,020
Pacatuba	GUMBEL	C	0,984	0,040	0,997	-0,002	1,001	-0,089	0,091
Pacoti	LOG NORMAL 3P	D	0,989	0,035	0,997	-0,009	1,005	-0,596	0,406
Pacujá	LOG NORMAL 3P	D	0,989	0,033	0,997	-0,005	1,005	-0,327	0,426
Palhano	GUMBEL	D	0,990	0,033	0,998	-0,006	1,003	-0,401	0,301
Palmácia	GAMMA 2P	D	0,989	0,033	0,998	-0,003	1,000	-0,209	-0,004
Paracuru	LOG NORMAL 2P	C	0,984	0,040	0,997	-0,002	1,000	-0,084	0,034
Paraipaba	GAMMA 3P	C	0,983	0,042	0,996	-0,010	1,005	-0,379	0,341
Parambu	GUMBEL	G	0,996	0,021	0,999	-0,008	1,003	-0,663	0,537
Paramoti	LOG NORMAL 3P	D	0,989	0,034	0,997	-0,007	1,005	-0,469	0,489
Pedra Branca	GUMBEL	H	0,997	0,018	0,999	-0,003	1,002	-0,343	0,351
Penaforte	LOG NORMAL 2P	F	0,995	0,024	0,999	-0,008	1,004	-0,581	0,575
Pentecostes	GAMMA 3P	C	0,983	0,041	0,996	-0,003	1,000	-0,159	-0,036
Pereiro	GAMMA 3P	G	0,996	0,022	0,999	-0,007	1,003	-0,489	0,367
Pindoretama	GAMMA 3P	C	0,988	0,041	0,983	0,000	0,999	-0,002	-0,037
Piquet Carneiro	GAMMA 3P	H	0,997	0,019	0,999	-0,001	1,002	-0,089	0,322
Pires Ferreira	GAMMA 2P	D	0,989	0,034	0,998	-0,004	1,001	-0,247	0,083
Poranga	GAMMA 2P	F	0,994	0,027	0,998	-0,008	1,006	-0,607	0,678
Porteiras	GUMBEL	F	0,995	0,023	0,999	-0,008	1,006	-0,573	0,774
Potengi	GAMMA 3P	G	0,996	0,021	0,999	-0,005	1,001	-0,484	0,196
Potiretama	GUMBEL	F	0,995	0,024	0,999	-0,008	1,003	-0,622	0,435
Quiterianópolis	GAMMA 3P	G	0,996	0,022	0,999	-0,004	0,998	-0,288	-0,223
Quixadá	GAMMA 2P	F	0,995	0,025	0,999	-0,005	1,001	-0,455	0,084
Quixelô	GUMBEL	G	0,997	0,020	0,999	-0,006	1,001	-0,553	0,202
Quixeramobim	LOG NORMAL 2P	G	0,996	0,020	0,999	-0,005	1,001	-0,477	0,099
Quixerê	LOG NORMAL 2P	E	0,993	0,028	0,998	-0,007	1,003	-0,538	0,354
Redenção	GAMMA 3P	D	0,989	0,034	0,998	-0,003	1,001	-0,185	0,089
Reriutaba	GAMMA 2P	D	0,989	0,034	0,997	-0,006	1,001	-0,341	0,131
Russas	GAMMA 3P	E	0,993	0,028	0,998	-0,004	1,002	-0,338	0,208
Saboeiro	GAMMA 3P	G	0,994	0,025	0,998	-0,013	1,005	-0,822	0,602

**APÊNDICE A: ÍNDICES DE VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DO AJUSTE DOS
PARÂMETROS DA EQUAÇÃO IDF, DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE E
ISOZONA RELACIONADOS A CADA POSTO PLUVIOMÉTRICO**

Cidade	Distribuição utilizada	Isozona Taborga	R ²	EPE	NASH	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$t\hat{\alpha}$	$t\hat{\beta}$
Salitre	GUMBEL	F	0,995	0,024	0,999	-0,007	1,006	-0,583	0,777
Santa Quitéria	GAMMA 2P	E	0,992	0,029	0,998	-0,007	1,004	-0,458	0,402
Santana do Acaraú	LOG NORMAL 2P	C	0,984	0,041	0,996	-0,003	1,000	-0,173	-0,010
Santana do Cariri	GUMBEL	G	0,996	0,020	0,999	-0,007	1,002	-0,574	0,353
São Benedito	LOG NORMAL 3P	D	0,989	0,034	0,997	-0,005	1,003	-0,398	0,256
São Gonçalo do Amarante	LOG NORMAL 3P	C	0,983	0,042	0,996	-0,005	1,003	-0,330	0,219
São João do Jaguaribe	LOG NORMAL 2P	F	0,995	0,024	0,999	-0,007	1,005	-0,584	0,609
São Luis do Curu	LOG NORMAL 2P	C	0,984	0,041	0,983	-0,006	1,004	-0,295	0,276
Senador Pompeu	GAMMA 3P	H	0,996	0,020	0,999	-0,003	1,003	-0,229	0,468
Senador Sá	GAMMA 2P	C	0,983	0,042	0,996	-0,003	1,002	-0,160	0,127
Sobral	GAMMA 2P	D	0,989	0,034	0,998	-0,004	1,001	-0,294	0,061
Solonópole	GAMMA 2P	H	0,997	0,018	0,999	0,000	0,999	-0,012	-0,218
Tabuleiro do Norte	GUMBEL	F	0,995	0,023	0,999	-0,007	1,004	-0,615	0,559
Tamboril	GAMMA 3P	F	0,995	0,024	0,999	-0,003	1,002	-0,311	0,325
Tarrafas	GAMMA 3P	G	0,996	0,020	0,999	-0,006	1,002	-0,555	0,328
Tauá	GUMBEL	G	0,996	0,020	0,999	-0,006	1,004	-0,682	0,599
Tejuçuoca	GAMMA 3P	D	0,989	0,034	0,998	-0,003	0,999	-0,229	-0,085
Tianguá	GAMMA 2P	D	0,989	0,034	0,998	-0,004	1,001	-0,291	0,052
Trairi	LOG NORMAL 3P	C	0,983	0,042	0,996	-0,007	1,003	-0,353	0,235
Tururu	GUMBEL	C	0,984	0,041	0,997	-0,002	0,999	-0,129	-0,063
Ubajara	GUMBEL	D	0,990	0,032	0,998	-0,005	1,002	-0,326	0,151
Umari	GUMBEL	G	0,996	0,020	0,999	-0,005	1,003	-0,488	0,544
Unirim	GUMBEL	C	0,984	0,041	0,997	-0,002	0,999	-0,136	-0,051
Uruburetama	LOG NORMAL 3P	C	0,983	0,042	0,996	-0,003	1,001	-0,229	0,075
Uruoca	LOG NORMAL 2P	C	0,984	0,041	0,996	-0,005	1,003	-0,218	0,249
Varjota	GAMMA 2P	D	0,989	0,034	0,998	-0,003	1,001	-0,199	0,109
Várzea Alegre	LOG NORMAL 3P	G	0,996	0,020	0,999	-0,007	1,001	-0,507	0,128
Viçosa do Ceará	GAMMA 3P	D	0,990	0,033	0,998	-0,004	0,999	-0,265	-0,057

APÊNDICE B: MAPA DE ISOZONAS E POSTOS PLUVIOMÉTRICOS DO ESTADO DO CEARÁ.



Fonte: A autora.

ANEXO A – TABELA DA DISTRIBUIÇÃO QUI-QUADRADO

Graus de liberdade	$\chi^2_{0,100}$	$\chi^2_{0,050}$	$\chi^2_{0,025}$	$\chi^2_{0,010}$	$\chi^2_{0,005}$
1	2,70554	3,84146	5,02389	6,63490	7,87944
2	4,60517	5,99147	7,37776	9,21034	10,5966
3	6,25139	7,81473	9,34840	11,3449	12,8381
4	7,77944	9,48773	11,1433	13,2767	14,8602
5	9,23635	11,0705	12,8325	15,0863	16,7496
6	10,6446	12,5916	14,4494	16,8119	18,5476
7	12,0170	14,0671	16,0128	18,4753	20,2777
8	13,3616	15,5073	17,5346	20,0902	21,9550
9	14,6837	16,9190	19,0228	21,6660	23,5893
10	15,9871	18,3070	20,4831	23,2093	25,1882
11	17,2750	19,6751	21,9200	24,7250	26,7569
12	18,5494	21,0261	23,3367	26,2170	28,2995
13	19,8119	22,3621	24,7356	27,6883	29,8194
14	21,0642	23,6848	26,1190	29,1413	31,3193
15	22,3072	24,9958	27,4884	30,5779	32,8013
16	23,5418	26,2962	28,8454	31,9999	34,2672
17	24,7690	27,5871	30,1910	33,4087	35,7185
18	25,9894	28,8693	31,5264	34,8053	37,1564
19	27,2036	30,1435	32,8523	36,1908	38,5822
20	28,4120	31,4104	34,1696	37,5662	39,9968
21	29,6151	32,6705	35,4789	38,9321	41,4010
22	30,8133	33,9244	36,7807	40,2894	42,7956
23	32,0069	35,1725	38,0757	41,6384	44,1813
24	33,1963	36,4151	39,3641	42,9798	45,5585
25	34,3816	37,6525	40,6465	44,3141	46,9278
26	35,5631	38,8852	41,9232	45,6417	48,2899
27	36,7412	40,1133	43,1944	46,9630	49,6449
28	37,9159	41,3372	44,4607	48,2782	50,9933
29	39,0875	42,5569	45,7222	49,5879	52,3356
30	40,2560	43,7729	46,9792	50,8922	53,6720
40	51,8050	55,7585	59,3417	63,6907	66,7659
50	63,1671	67,5048	71,4202	76,1539	79,4900
60	74,3970	79,0819	83,2976	88,3794	91,9517
70	85,5271	90,5312	95,0231	100,425	104,215
80	96,5782	101,879	106,629	112,329	116,321
90	107,565	113,145	118,136	124,116	128,299
100	118,498	124,342	129,561	135,807	140,169

ANEXO B – TABELA DA DISTRIBUIÇÃO LILLIEFORS

Dimensão da amostra	Nível de significância (α)				
	0.20	0.15	0.10	0.05	0.01
n					
4	0.300	0.319	0.352	0.381	0.417
5	0.285	0.299	0.315	0.337	0.405
6	0.265	0.277	0.294	0.319	0.364
7	0.217	0.253	0.276	0.300	0.348
8	0.233	0.244	0.261	0.285	0.331
9	0.223	0.233	0.249	0.271	0.311
10	0.215	0.224	0.239	0.258	0.294
11	0.206	0.217	0.230	0.249	0.284
12	0.199	0.212	0.223	0.242	0.275
13	0.190	0.202	0.214	0.234	0.268
14	0.183	0.194	0.207	0.227	0.261
15	0.177	0.187	0.201	0.220	0.257
16	0.173	0.182	0.195	0.213	0.250
17	0.169	0.177	0.189	0.206	0.245
18	0.166	0.173	0.184	0.200	0.239
19	0.163	0.169	0.179	0.195	0.235
20	0.160	0.166	0.174	0.190	0.231
25	0.149	0.153	0.165	0.180	0.203
30	0.131	0.136	0.144	0.161	0.187
>30	$\frac{0.730}{\sqrt{n}}$	$\frac{0.768}{\sqrt{n}}$	$\frac{0.805}{\sqrt{n}}$	$\frac{0.886}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.031}{\sqrt{n}}$