



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

ÁLON DOS SANTOS BAHIA
THALIA RAFAELA COELHO FIGUEIREDO

**TRANSFERÊNCIA DE EQUAÇÕES DE CHUVAS INTENSAS PARA LOCAIS SEM
REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS NO ESTADO DO PARÁ**

Belém
2023

ÁLON DOS SANTOS BAHIA
THALIA RAFAELA COELHO FIGUEIREDO

**TRANSFERÊNCIA DE EQUAÇÕES DE CHUVAS INTENSAS PARA LOCAIS SEM
REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS NO ESTADO DO PARÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Civil do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Professor Dr. Marcelo Figueiredo Massulo Aguiar

Belém

2023

**ÁLON DOS SANTOS BAHIA
THALIA RAFAELA COELHO FIGUEIREDO**

**Transferência de equações de chuvas intensas para locais em que não há
registros pluviométricos**

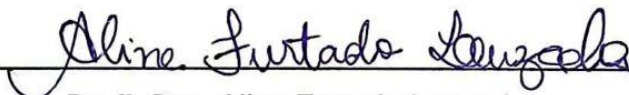
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia Civil do Instituto de
Tecnologia da Universidade Federal do Pará, como
parte dos requisitos para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Belém, 20 de dezembro de 2023

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Marcelo Figueiredo Massulo Aguiar
Orientador



Prof^ª. Dra. Aline Furtado Louzada
Examinadora



Prof^ª. Ma. Ana Carolina Assmar Correia De Lima
Examinadora

Aprovado, com conceito EXC, em
20 de dezembro de 2023

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus, por nos dar força e perseverança nos momentos de dificuldades, instruindo nosso caminho ao final do curso de Bacharelado em Engenharia Civil, apesar dos contratemplos durante a graduação.

Agradecemos em especial, ao nosso orientador, Professor Dr. Marcelo Figueiredo Massulo Aguiar, pela orientação valiosa, paciência e incentivo ao longo de todo o processo. Seu comprometimento e expertise foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho

Gostaríamos de expressar nossa profunda gratidão aos nossos pais, Maria Lucia dos Santos, Nilson Cardoso Bahia, Maria do Céu Ribeiro Coelho Figueiredo e Robson dos Santos Figueiredo, cujo apoio incondicional foi fundamental para a realização deste TCC. A compreensão, paciência e incentivo que recebemos de vocês durante todo esse processo foram inestimáveis. Seu apoio financeiro, emocional e moral não apenas nos permitiu dedicar tempo e energia ao trabalho, mas também nos motivou a alcançar nossos objetivos acadêmicos.

Aos nossos amigos, agradecemos pelo apoio incondicional, compreensão e encorajamento durante toda a jornada acadêmica. Suas palavras de incentivo foram fonte de força nos momentos desafiadores.

Gostaríamos de dedicar um agradecimento especial à Professora Dra. Taiza Naiana Da Silva Ferreira por sua generosidade em ceder sua sala para nossa pesquisa durante a elaboração deste TCC. Sua atitude solidária proporcionou um ambiente propício ao avanço do trabalho e contribuiu significativamente para o seu sucesso.

Estendemos nossos agradecimentos a todos que, de alguma maneira, contribuíram para este trabalho. Seja com uma ajuda pontual, palavras de conforto ou até mesmo com um simples copo de café, reconhecemos e valorizamos cada gesto.

RESUMO

A geração de equações de chuvas são um fator inestimável para projetos de drenagem urbana e de rodovias. Daí a importância do investimento em estudos que possibilitem cada vez mais a extração de dados de chuvas críticas com maior precisão. No entanto, apesar de haver uma gama considerável de dados, para o estado do Pará, há uma carência de estações de coletas de precipitação para alguns municípios ou mesmo dados insuficientes e pouco confiáveis. Sendo assim, objetiva-se verificar a possibilidade de utilização de dados pluviométricos de municípios vizinhos com intuito de determinar equações sintéticas que atendam às localidades desprovidas dessas informações. Para tanto, foram utilizados 12 postos de coleta no nordeste do estado do Pará para analisar precipitações máximas anuais, médias e desvios padrão. Aplicando métodos como Gumbel e desagregação de chuvas, foram obtidas as equações de chuva e validadas por coeficientes de eficiência (COE). Os postos foram agrupados em três conjuntos de 4 estações cada, um deles se localiza no centro não excedendo 50 km dos demais, com isso fez-se a interpolação pelo método do inverso de uma potência da distância, com distintos expoentes possíveis (ID1, ID2, ID3, ID4 e ID5), obtida a equação sintética de chuvas, analise-se a qualidade por erro percentual entre as intensidades reais dos postos centrais e as intensidades sintéticas, obtidas da interpolação. Os principais resultados sugerem que, o método de transferência de equações de chuvas tende a ter um alto grau de incerteza, devido às diferentes características climáticas presentes em cada município. No entanto, conclui-se que é possível transferir equações de chuvas de estações adjacentes, contudo, recomendando-se utilizar um fator de segurança de 13 a 18%.

Palavras-chave: Chuvas intensas. Equações de chuvas. Interpolação de equações. Estado do Pará. Drenagem de Rodovias

ABSTRACT

The generation of rainfall equations is invaluable for urban and highway drainage projects. Hence, there is a critical need to invest in studies enabling the extraction of data on critical rainfall with increased precision. However, despite a considerable amount of data, the state of Pará faces a shortage of precipitation collection stations for some municipalities, or even insufficient and unreliable data. Therefore, the objective is to assess the possibility of using rainfall data from neighboring municipalities to establish synthetic equations that cater to locations lacking such information. For this purpose, 12 collection points in the northeast of the state of Pará were utilized to analyze maximum annual precipitation, averages, and standard deviations. Applying methods such as Gumbel and rainfall disaggregation, rainfall equations were derived and validated using efficiency coefficients (COE). The stations were grouped into three sets of 4 stations each, with one located centrally not exceeding 50 km from the others. Interpolation was then performed using the inverse power-distance method with different possible exponents (ID1, ID2, ID3, ID4, and ID5). Once the synthetic rainfall equation was obtained, quality analysis was conducted through percentage error between the real intensities of the central stations and the synthetic intensities obtained from interpolation. The main results suggest that the method of transferring rainfall equations tends to have a high degree of uncertainty due to the different climatic characteristics present in each municipality. However, it is concluded that it is possible to transfer rainfall equations from adjacent stations, recommending the use of a safety factor of 13 to 18%.

Keywords: Intense rainfall. Rainfall equations. Equation interpolation. State of Pará. Highway drainage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Organograma de processos metodológicos para transferência de equações de chuvas	34
Figura 2 - Localização do Estado do Pará.....	35
Figura 3 - Localização do 1º grupo de postos de coleta	36
Figura 4 - Localização do 2º grupo de postos de coleta	36
Figura 5- Localização do 3º grupo de postos de coleta	37
Figura 6 – Gráfico da relação entre $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para TR = 5 anos da estação de Belém.....	50
Figura 7 – Gráfico da relação entre $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para TR = 10 anos da estação de Belém.....	50
Figura 8 – Gráfico da relação entre $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para TR = 15 anos da estação de Belém.....	51
Figura 9 – Gráfico da relação entre $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para TR = 20 anos da estação de Belém.....	51
Figura 10 – Gráfico da relação entre $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para TR = 25 anos da estação de Belém.....	52
Figura 11 – Gráfico da relação entre $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para TR = 50 anos da estação de Belém.....	52
Figura 12 – Gráfico da relação entre $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para TR = 100 anos da estação de Belém	53
Figura 13 – Gráfico da relação entre $\ln(Z)$ e $\ln(TR)$ para a estação de Belém.....	57
Figura 14 – Pluviometria Mensal de Belém.....	79
Figura 15 – Pluviometria Mensal de Mosqueiro.....	79
Figura 16 – Pluviometria Mensal de Santa Izabel do Pará.....	80
Figura 17 – Pluviometria Mensal de Castanhal	80
Figura 18 – Pluviometria Mensal de Primavera	81
Figura 19 – Pluviometria Mensal de Capanema	81
Figura 20 – Pluviometria Mensal de Santa Maria do Pará	82
Figura 21 – Pluviometria Mensal de Santa Luzia do Pará.....	82
Figura 22 – Pluviometria Mensal de Fazenda Urucure.....	83
Figura 23 – Pluviometria Mensal de Tomé-Açu	83
Figura 24 – Pluviometria Mensal de Acampamento Mendes Junior.....	84

Figura 25 – Pluviometria Mensal de PA-256 / Rio Acara-Mirim84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coeficiente de desagregação da chuva de 24 h de duração	26
Tabela 2 - Valores mínimos de precipitação.....	27
Tabela 3 - Classificação dos valores obtidos no COE.....	30
Tabela 4 - Informações das séries históricas dos postos de coleta do grupo 1.....	38
Tabela 5 - Informações das séries históricas dos postos de coleta do grupo 2.....	38
Tabela 6 - Informações das séries históricas dos postos de coleta do grupo 3.....	39
Tabela 7 - Tratamento de dados das estações estudadas	44
Tabela 8 - Distribuição de probabilidades de Gumbel para a estação de Belém.....	46
Tabela 9 - Desagregação de chuvas de DAEE/CETESB para a estação de Belém.	46
Tabela 10 - Desagregação de chuvas de DAEE/CETESB do grupo 1 para TR de 10 anos	47
Tabela 11 - Desagregação de chuvas de DAEE/CETESB do grupo 2 para TR de 10 anos	47
Tabela 12 - Desagregação de chuvas de DAEE/CETESB do grupo 3 para TR de 10 anos	47
Tabela 13- Relação entre as intensidades das chuvas do grupo 1 para TR de 10 anos	48
Tabela 14 - Relação entre as intensidades das chuvas do grupo 2 para TR de 10 anos.....	48
Tabela 15 - Relação entre as intensidades das chuvas do grupo 3 para TR de 10 anos	49
Tabela 16 – Obtenção de $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para TR = 5 anos da estação de Belém....	53
Tabela 17 – Obtenção de $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para TR = 10 anos da estação de Belém...	54
Tabela 18 – Obtenção de $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para TR = 15 anos da estação de Belém...	54
Tabela 19 – Obtenção de $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para TR = 20 anos da estação de Belém...	55
Tabela 20 – Obtenção de $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para TR = 25 anos da estação de Belém...	55
Tabela 21 – Obtenção de $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para TR = 50 anos da estação de Belém...	56
Tabela 22 – Obtenção de $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para TR = 100 anos da estação de Belém.	56
Tabela 23 – Equações da reta e valores (d), $\ln(Z)$ e $\ln(TR)$ extraídos das Figuras 6 a 12, para Belém.....	57
Tabela 24 – Valores de $\ln(a)$ e parâmetros (a) e (b) extraídos da Figura 13, para a cidade de Belém	58

Tabela 25 – Valores do COE para as cidades do grupo 1	61
Tabela 26 – Valores do COE para as cidades do grupo 2	62
Tabela 27 – Valores do COE para as cidades do grupo 3	62
Tabela 28 – Parâmetros determinados pelo método de interpolação do inverso de uma potência da distância para equação sintética de Santa Izabel do Pará	64
Tabela 29 – Erros percentuais entre os valores de intensidade real versus sintéticas para cidade de Santa Izabel do Pará.....	66
Tabela 30 – Erros percentuais entre os valores de intensidade real versus sintéticas para cidade Capanema	66
Tabela 31 – Erros percentuais entre os valores de intensidade real versus sintéticas para cidade Tomé-Açú.....	66
Tabela 32 – Precipitações máximas referentes a cada ano estudado no município de Belém.....	85
Tabela 33 – Precipitações máximas referentes a cada ano estudado no município de Mosqueiro	85
Tabela 34 – Precipitações máximas referentes a cada ano estudado no município de Castanhal.....	86
Tabela 35 – Precipitações máximas referentes a cada ano estudado no município de Santa Izabel do Pará	86
Tabela 36 – Precipitações máximas referentes a cada ano estudado no município de Primavera.....	87
Tabela 37 – Precipitações máximas referentes a cada ano estudado no município de Santa Luzia do Pará.....	87
Tabela 38 – Precipitações máximas referentes a cada ano estudado no município de Santa Maria do Pará.....	87
Tabela 39 – Precipitações máximas referentes a cada ano estudado no município de Capanema	88
Tabela 40 – Precipitações máximas referentes a cada ano estudado no município de Tomé-Açu.....	88
Tabela 41 – Precipitações máximas referentes a cada ano estudado no município de Acampamento Mendes Junior.....	88
Tabela 42 – Precipitações máximas referentes a cada ano estudado no município de Fazenda Urucure.....	89

Tabela 43 – Precipitações máximas referentes a cada ano estudado no município de PA-256 / Rio Acara-Mirim.....	89
Tabela 44 - Distribuição de probabilidades de Gumbel para a estação de Mosqueiro..	90
Tabela 45 - Distribuição de probabilidades de Gumbel para a estação de Santa Izabel do Pará	90
Tabela 46 - Distribuição de probabilidades de Gumbel para a estação de Castanhal...	91
Tabela 47 - Distribuição de probabilidades de Gumbel para a estação de Primavera...	91
Tabela 48 - Distribuição de probabilidades de Gumbel para a estação de Capanema.	92
Tabela 49 - Distribuição de probabilidades de Gumbel para a estação de Santa Maria do Pará.....	92
Tabela 50 - Distribuição de probabilidades de Gumbel para a estação de Santa Luzia do Pará.....	93
Tabela 51 - Distribuição de probabilidades de Gumbel para a estação de Fazenda Urucure.....	93
Tabela 52 - Distribuição de probabilidades de Gumbel para a estação de Tomé-Açu...	94
Tabela 53 - Distribuição de probabilidades de Gumbel para a estação de Acampamento Mendes Junior.....	94
Tabela 54 - Distribuição de probabilidades de Gumbel para a estação de PA-256 / Rio Acara-Mirim	95
Tabela 55 - Desagregação de chuvas de DAEE/CETESB para a estação de Mosqueiro.....	96
Tabela 56 - Desagregação de chuvas de DAEE/CETESB para a estação de Santa Izabel do Pará	96
Tabela 57 - Desagregação de chuvas de DAEE/CETESB para a estação de Castanhal.....	97
Tabela 58 - Desagregação de chuvas de DAEE/CETESB para a estação de Primavera.....	97
Tabela 59 - Desagregação de chuvas de DAEE/CETESB para a estação de Capanema	98

Tabela 60 - Desagregação de chuvas de DAEE/CETESB para a estação de Santa Maria do Pará.....	98
Tabela 61 - Desagregação de chuvas de DAEE/CETESB para a estação de Santa Luzia do Pará	99
Tabela 62 - Desagregação de chuvas de DAEE/CETESB para a estação de Fazenda Urucure.....	99
Tabela 63 - Desagregação de chuvas de DAEE/CETESB para a estação de Tomé-Açu	100
Tabela 64 - Desagregação de chuvas de DAEE/CETESB para a estação de Acampamento Mendes Junior	100
Tabela 65 - Desagregação de chuvas de DAEE/CETESB para a estação de PA-256 / Rio Acara-Mirim	101
Tabela 66 - Desagregações das chuvas para TR de 5 anos	102
Tabela 67 - Desagregações das chuvas para TR de 15 anos.....	103
Tabela 68 - Desagregações das chuvas para TR de 20 anos	104
Tabela 69 - Desagregações das chuvas para TR de 25 anos	105
Tabela 70 - Desagregações das chuvas para TR de 50 anos	106
Tabela 71 - Desagregações das chuvas para TR de 100 anos	107
Tabela 72 - Relação entre as intensidades das chuvas para TR de 5 anos	108
Tabela 73 - Relação entre as intensidades das chuvas para TR de 15 anos.....	109
Tabela 74 - Relação entre as intensidades das chuvas para TR de 20 anos.....	110
Tabela 75 - Relação entre as intensidades das chuvas para TR de 25 anos.....	111
Tabela 76 - Relação entre as intensidades das chuvas para TR de 50 anos.....	112
Tabela 77 - Relação entre as intensidades das chuvas para TR de 100 anos.....	113
Tabela 78 – Equações da reta e valores de (d) , $\ln(Z)$ e $\ln(TR)$, extraídos dos gráficos da relação entre $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para a estação de Mosqueiro	114
Tabela 79 – Valores de $\ln(a)$ e parâmetros (a) e (b) , extraídos do gráfico da relação entre $\ln(Z)$ e $\ln(TR)$ para a estação de Mosqueiro	114
Tabela 80 – Equações da reta e valores de (d) , $\ln(Z)$ e $\ln(TR)$, extraídos dos gráficos da relação entre $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para a estação de Santa Izabel do Pará	114
Tabela 81 – Valores de $\ln(a)$ e parâmetros (a) e (b) , extraídos do gráfico da relação entre $\ln(Z)$ e $\ln(TR)$ para a estação de Santa Izabel do Pará	115
Tabela 82 – Equações da reta e valores de (d) , $\ln(Z)$ e $\ln(TR)$, extraídos dos gráficos da relação entre $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para a estação de Castanhal	115

Tabela 83 – Valores de $\ln(a)$ e parâmetros (a) e (b), extraídos do gráfico da relação entre $\ln(Z)$ e $\ln(TR)$ para a estação de Castanhal.....	115
Tabela 84 – Equações da reta e valores de (d), $\ln(Z)$ e $\ln(TR)$, extraídos dos gráficos da relação entre $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para a estação de Primavera	116
Tabela 85 – Valores de $\ln(a)$ e parâmetros (a) e (b), extraídos do gráfico da relação entre $\ln(Z)$ e $\ln(TR)$ para a estação de Primavera	116
Tabela 86 – Equações da reta e valores de (d), $\ln(Z)$ e $\ln(TR)$, extraídos dos gráficos da relação entre $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para a estação de Capanema	116
Tabela 87 – Valores de $\ln(a)$ e parâmetros (a) e (b), extraídos do gráfico da relação entre $\ln(Z)$ e $\ln(TR)$ para a estação de Capanema	117
Tabela 88 – Equações da reta e valores de (d), $\ln(Z)$ e $\ln(TR)$, extraídos dos gráficos da relação entre $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para a estação de Santa Maria do Pará.....	117
Tabela 89 – Valores de $\ln(a)$ e parâmetros (a) e (b), extraídos do gráfico da relação entre $\ln(Z)$ e $\ln(TR)$ para a estação de Santa Maria do Pará	117
Tabela 90 – Equações da reta e valores de (d), $\ln(Z)$ e $\ln(TR)$, extraídos dos gráficos da relação entre $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para a estação de Santa Luzia do Pará	118
Tabela 91 – Valores de $\ln(a)$ e parâmetros (a) e (b), extraídos do gráfico da relação entre $\ln(Z)$ e $\ln(TR)$ para a estação de Santa Luzia do Pará	118
Tabela 92 – Equações da reta e valores de (d), $\ln(Z)$ e $\ln(TR)$, extraídos dos gráficos da relação entre $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para a estação de Fazenda Urucure.....	118
Tabela 93 – Valores de $\ln(a)$ e parâmetros (a) e (b), extraídos do gráfico da relação entre $\ln(Z)$ e $\ln(TR)$ para a estação de Fazenda Urucure.....	119
Tabela 94 – Equações da reta e valores de (d), $\ln(Z)$ e $\ln(TR)$, extraídos dos gráficos da relação entre $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para a estação de Tomé-Açu	119
Tabela 95 – Valores de $\ln(a)$ e parâmetros (a) e (b), extraídos do gráfico da relação entre $\ln(Z)$ e $\ln(TR)$ para a estação de Tomé-Açu.....	119
Tabela 96 – Equações da reta e valores de (d), $\ln(Z)$ e $\ln(TR)$, extraídos dos gráficos da relação entre $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para a estação de Acampamento Mendes Junior ..	120
Tabela 97 – Valores de $\ln(a)$ e parâmetros (a) e (b), extraídos do gráfico da relação entre $\ln(Z)$ e $\ln(TR)$ para a estação de Acampamento Mendes Junior	120
Tabela 98 – Equações da reta e valores de (d), $\ln(Z)$ e $\ln(TR)$, extraídos dos gráficos da relação entre $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para a estação de PA-256 / Rio Acara-Mirim	120
Tabela 99 – Valores de $\ln(a)$ e parâmetros (a) e (b), extraídos do gráfico da relação entre $\ln(Z)$ e $\ln(TR)$ para a estação de PA-256 / Rio Acara-Mirim	121

Tabela 100 – Valores do P-Value para as equações de $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ do grupo 1..	122
Tabela 101 – Valores do P-Value para as equações de $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ do grupo 2..	122
Tabela 102 – Valores do P-Value para as equações de $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ do grupo 3..	123
Tabela 103 – Valores do P-Value para as equações de $\ln(Z)$ e $\ln(TR)$	123
Tabela 104 – Parâmetros determinados pelo método de interpolação do inverso de uma potência da distância para equação sintética de Capanema	124
Tabela 105 – Parâmetros determinados pelo método de interpolação do inverso de uma potência da distância para equação sintética de Tomé-Açú	124

LISTA DE ABREVIATURAS

Em - Evento observado

Es - Evento Simulado

\overline{Es} - Média de evento simulado

et al - e outros

ID - Inverso da distância

Ir - Intensidade real

Is - Intensidade sintética

S - Desvio Padrão de precipitação máxima

tc - Tempo de concentração

TR - Tempo de retorno

\overline{X} - Média de precipitação máxima

X_{TR} - Precipitação máxima diária para determinado tempo de retorno

Y_{TR} - Variável reduzida da distribuição de Gumbel para determinado tempo de retorno

LISTA DE SIGLAS

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

COE - Coeficiente de Eficiência

DAEE - Departamento de Águas e Energia

IDF - Intensidade Duração e Frequência

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

MAP - Ministério da Agricultura e Pecuária

RHN - Rede Meteorológica Nacional

SNIRH - Sistema Nacional de Informações Sobre Recursos Naturais

OMM - Organização Meteorológica Mundial

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Objetivos	17
1.1.1 Objetivo geral	18
1.1.2 Objetivos específicos.....	18
1.2 Justificativa	18
1.3 Estrutura do trabalho	19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1 Importância de se registrar o histórico de chuvas	20
2.2 Análise dos procedimentos de derivação das relações IDF e sua utilização na estimação de equações de precipitação	23
2.2.1 Precipitações pluviais máximas.....	23
2.2.2 Modelagem estocástica de equações de chuva	24
2.2.3 Método de desagregação da chuva.....	25
2.2.4 Geração de relação IDF.....	27
2.2.5 Avaliação Estatística.....	29
2.3 Transferência de equações de chuva	30
2.3.1 Método de análise de qualidade da equação de chuva sintética	32
3 MÉTODO	34
3.1 Caracterização da área de estudo	34
3.2 Análise dos dados pluviométricos	39
3.3 Modelagem estocástica da precipitação	40
3.4 Desagregação das Chuvas	40
3.5 Geração das equações de chuvas intensas reais	40
3.6 Avaliação Estatística	41
3.6.1 Coeficiente de eficiência Nash e Sutcliffe.....	41
3.6.2 VALOR P	41
3.7 Geração da equação de chuva sintética	41
3.8 Avaliação da qualidade da equação de chuva sintética	42
4 – APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	43
4.1 Apresentação e análise dos dados das estações pluviométricas	43
4.2 Modelagem estocástica da precipitação	45
4.3 Método de desagregação de chuvas	46

4.4 Geração das equações de chuvas intensas	49
4.5 Validação das equações de chuvas intensas	60
4.5.1 Validação por meio do Coeficiente de Eficiência (COE)	60
4.5.2 Validação por meio do Valor-P	63
4.6 Geração da equação de chuva sintética	63
4.7 Avaliação da qualidade da equação de chuva sintética	65
4.8 Considerações Finais	67
5 CONCLUSÃO	69
5.1 Sugestões para trabalhos futuros	71
REFERÊNCIAS	72
APÊNDICE A – PLUVIOGRAMAS DOS MUNICÍPIOS ESTUDADOS	79
APÊNDICE B – MÁXIMAS CHUVAS MENSAS REGISTRADAS PARA AS SÉRIES HISTÓRICAS DOS POSTOS DE COLETA ESTUDADO ESTUDADOS	85
APÊNDICE C – DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADES PELO MÉTODO DE GUMBEL PARA AS ESTAÇÕES EM ESTUDO (EXCETO BELÉM)	90
APÊNDICE D – DESAGREGAÇÃO DE CHUVAS DE DAEE/CETESB PARA AS ESTAÇÕES EM ESTUDO (EXCETO BELÉM)	96
APÊNDICE E – DESAGREGAÇÃO DE CHUVA PARA OS POSTOS DE COLETA ESTUDADOS (EXCETO 10 ANOS)	102
APÊNDICE F – INTENSIDADE DE CHUVA PARA OS POSTOS DE COLETA ESTUDADOS (EXCETO 10 ANOS)	108
APÊNDICE G – PAR METROS DAS EQUAÇÕES DE CHUVAS INTENSAS PARA AS CIDADES EM ESTUDO (EXCETO BELÉM)	114
APÊNDICE H - VALORES DE P-VALUE REFERENTES AOS GRÁFICOS DA EQUAÇÃO DE LN (I) e LN (TC+C) E EQUAÇÃO DE LN (Z) e LN (TR)	122
APÊNDICE I – PAR METROS DETERMINADOS PELO MÉTODO DE INTERPOLAÇÃO DO INVERSO DE UMA POTÊNCIA DA DISTÂNCIA (EXCETO SANTA IZABEL DO PARÁ)	124

1 INTRODUÇÃO

O conhecimento das chuvas críticas de uma determinada região, seja com finalidades construtivas, seja para conhecimento geral, é essencial para o êxito de um projeto de engenharia ligado a obras hidráulicas. O planejamento de drenagem urbana e de rodovias, a construção de hidrelétricas ou mesmo a irrigação agrícola, são exemplos de projetos que possuem como fator imprescindível a compreensão das características das chuvas, afinal quanto mais precisa a estimativa das precipitações mais é possível determinar se um projeto será viável. Com isso, houve maior interesse em registrar a ocorrência de chuvas ao longo dos anos. Vale destacar que, as primeiras equações de chuvas para o Brasil foram definidas por Otto Pfafstetter (1957), para 98 postos pluviográficos e pluviométricos e, a partir desse estudo, foram atualizando-se as relações IDF para diversos municípios. Atualmente a catalogação dos dados de chuvas é feita por órgãos federais, estaduais e municipais, responsáveis pela instalação e manutenção de estações pluviométricas compostas por medidores de precipitação. Estes postos de coleta ajudam a compreender o comportamento das chuvas e, por conseguinte, das mudanças climáticas ocorridas ao longo dos anos. Os postos de coleta estão distribuídos por todo o Brasil, no entanto, apesar da grande abrangência das estações de coleta, ainda hoje há locais desprovidos de estações de coleta de chuvas, ou que não possuem dados suficientes para estudo.

Na falta de abrangência dos postos de coletas de precipitações é recomendável a utilização de métodos alternativos para estimativa de equações de chuva de projeto com dados de estações pluviométricas vizinhas como recomendado por Silva et al. (1999), Pinto (1999) e Assad et al. (1994) que sugerem trabalhar com métodos que determinam uma média ponderada dos parâmetros da equação de chuvas intensas pelo inverso da distância. No entanto, nos diferentes estudos analisados nota-se uma alta quantidade de amostras para geração de chuvas sintéticas a um determinado local, esse excedente de dados mostra-se dispendioso, uma vez que gera um grande gasto de recursos em softwares e tempo na coleta e tratamento de dados. Sendo assim, objetiva-se verificar a possibilidade de transferência de dados de 3 estações de coletas próximas para geração de uma nova equação.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Verificar a possibilidade de produzir equações de chuva sintéticas, a partir de equações de chuvas reais geradas utilizando 3 estações vizinhas, não excedendo a distância de 50 Km do posto central estudado, utilizando o método de interpolação do inverso de uma potência da distância.

1.1.2 Objetivos específicos

- Analisar os dados hidrológicos disponíveis;
- Calcular as chuvas de projeto típicas de elementos de drenagem superficial, subsuperficial e de transposição de talvegue de rodovias;
- Mensurar o nível de erro da equação de chuva sintética, em função da distância entre as estações usadas para a geração do modelo, para distância menor que 50 km.

1.2 Justificativa

Sendo o Pará um estado caracterizado pela alta frequência de chuvas intensas e duradouras, com um histórico de intensos eventos hidrológicos, como inundações e enchentes. A exemplo, em obras de drenagem, as chuvas vinculadas às falhas no planejamento urbano podem causar alagamentos, enchentes e inundações de dispositivos de drenagem (como os bueiros de transposição de talvegues), podendo sobrecarregá-los e/ou rompê-los, ocasionando o acúmulo de precipitação na superfície e interrupção do tráfego nas rodovias. Sabendo-se da inviabilidade em se realizar o dimensionamento de infraestruturas hidráulicas em localidades sem postos de coletas ou que possuem dados desatualizados e pouco confiáveis, é importante verificar métodos de transferência de chuvas intensas, a fim de contribuir para o estudo hidrológico, principalmente, para o Estado do Pará, em razão do seu clima, com grande ocorrência de chuvas e poucos estudos sobre esta área.

Sendo assim, a possibilidade de geração de equações sintéticas de chuvas de projeto para áreas ainda não providas de dados pluviométricos será um meio de dotar os projetistas de drenagem com uma ferramenta imprescindível, reduzindo assim a incerteza.

1.3 Estrutura do trabalho

O presente trabalho está disposto em 5 capítulos. Ademais desta introdução está composto pelo capítulo 2 que trata da revisão literária, elucidando sobre a importância do estudo e registro das chuvas, os portais responsáveis pela coleta de dados, como os processos para coleta e tratamento de dados ocorrem, bem como as ferramentas usuais para utilização na coleta das informações de precipitação. Além do mais, nesta seção destaca-se o método para obtenção de equação de chuvas intensas, salientando o método de Gumbel e método DAEE/CETESB para desagregação de chuvas. Outrossim, discorre-se sobre métodos estatísticos que permitem avaliar a qualidade das equações de chuvas reais e interpoladas.

O desenvolvimento do método de trabalho está contido no capítulo 3, descrevendo o processo de cálculo das equações de chuvas. Além disso, o capítulo descreve como se deu o cálculo de transferência de equações.

O capítulo 4 apresenta os dados obtidos para os 12 postos de coleta, exibindo em detalhe, o processo para geração das equações de chuvas intensas, com ênfase na estação de Belém, realizando-se o mesmo procedimento para as demais 11 estações. Ademais neste capítulo elucidam-se como ocorreu a organização das estações entre grupos, de modo a atender os quesitos mínimos no que tange disposição da localização geográfica das estações e distâncias entre as mesmas, objetivando a aplicação do método de interpolação para geração de equações de chuvas sintéticas.

Por último, no capítulo 5, conclui-se o trabalho destacando-se os principais resultados obtidos, de modo prático e direto, além de propor sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção abordam-se conceitos essenciais para o cálculo das equações de chuvas e para interpolação de equações. Além do mais, retratou-se sua importância em diversos setores da construção e avanço tecnológico e científico, com enfoque principal em obras de drenagem de rodovias.

2.1 Importância de se registrar o histórico de chuvas

As chuvas representam um evento climático de extrema importância para os seres humanos. Ao longo da evolução ficou evidente sua notoriedade para o crescimento tecnológico e científico da população. Por esse motivo, diversos estudos de observação, coleta e tratamento de dados de chuvas são realizados por todo o mundo. Com intuito de caracterizar o que se mostra um fenômeno totalmente aleatório no que se refere ao quantitativo, segundo o ponto de vista hidrológico (TUCCI, 2005).

E, no que se refere a estudo de chuvas, existem quatro características principais a serem levadas em consideração, são elas, Altura Pluviométrica, Intensidade, Duração e Frequência. A altura pluviométrica caracteriza-se por uma lâmina de água depositada e acumulada em uma superfície plana e impermeável, já a intensidade estabelece uma relação entre altura pluviométrica e a duração da precipitação. A duração consiste no tempo contado do início da precipitação até seu fim e a frequência retrata a ocorrência da precipitação.

Com as características de chuvas obtidas é possível traçar equações padrões para diferentes regiões e assim aplicá-las em diferentes atividades, como projetos de obras de drenagem. Essas equações de chuvas de projeto são obtidas a partir da coleta e tratamento de dados da região de estudo durante um determinado período de tempo, esses dados podem ser obtidos através de aparelhos que realizam a coleta das precipitações, tais como pluviógrafos e pluviômetros.

Os pluviógrafos são equipamentos automatizados que registram a intensidade de chuvas e geram um gráfico denominado pluviograma, o qual faz basicamente uma relação entre o tempo, no eixo horizontal e a precipitação no eixo vertical. Já os pluviômetros são aparelhos responsáveis por coletar as águas das chuvas em um período de 24 horas. Geralmente, são feitas leituras diárias dos dados coletados, no qual a água é transportada a um recipiente graduado para interpretação dos dados. Os pluviômetros são mais utilizados em relação aos

pluviógrafos devido sua facilidade de manuseio e baixo custo. Já os pluviógrafos são geralmente utilizados em estações meteorológicas por possuírem um alto custo.

No Brasil, para a compreensão do fenômeno pluviométrico existem órgãos que realizam a coleta e análise de dados de chuvas. Dentre estes, está a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), responsável pela regulação de contratos e serviços no que diz respeito à utilização de recursos hídricos. O Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), encarregado de realizar a coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos, é um, dentre outros sistemas, de responsabilidade da ANA. Integrasse ao SNIRH, o portal Hidroweb, uma ferramenta que oferecesse acesso ao conjunto de informações coletadas sobre dados climáticos e meteorológicos do país.

O portal Hidroweb é um instrumento essencial para toda a sociedade e Instituições públicas ou privadas, uma vez que, as bases coletadas pelas estações hidrometeorológicas são utilizadas nos diferentes setores da indústria, sejam estes econômicos, como irrigação, já que para a agricultura, a captação de água da chuva é uma alternativa para a irrigação do plantio. E essa prática permite evitar o desperdício dos mananciais naturais e minimizar o problema de estiagens severas em épocas do ano. Na navegação, traçar um perfil de chuvas é essencial para que as viagens sigam um planejamento segundo o perfil climático e a tripulação permaneça segura. Na geração de energia, uma vez que as hidrelétricas dependem dos níveis de água. Já no mercado construtivo, faz parte da elaboração de projetos, manutenção e operação de infraestruturas como barragens, drenagem pluvial urbana, bueiros e telhados. As informações disponíveis no portal referem-se à coleta convencional dos dados, com registros diários feitos pelos observadores e medições por profissionais da área.

Além disso, o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), também disponibiliza registros de dados de chuvas, e é responsável por monitorar e prevenir desastres naturais. A nível estadual, o Pará também possui o portal HIDROMET o qual, realiza o monitoramento de eventos críticos hidrometeorológicos nos principais rios do estado do Pará.

Outro responsável pela disponibilização de dados meteorológicos é o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), uma Instituição pública regida pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAP). O Órgão representa o Brasil junto à Organização Meteorológica Mundial (OMM), e, entre suas atribuições são elaborar e divulgar,

diariamente, a previsão do tempo, avisos e boletins meteorológicos especiais; promover a execução de estudos e levantamentos meteorológicos e climatológicos aplicados à agricultura e outras atividades. Esta minúcia na elaboração de um padrão nas mudanças climáticas ajuda a entender como as temperaturas e chuvas se relacionam e como interferem na sociedade.

Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), houveram mudanças climáticas significativas durante os últimos 60 anos. Uma pesquisa realizada pelo órgão mostra a variação de temperatura em diversas regiões do Brasil durante o período de 1991 a 2020. De modo geral houve um aumento significativo das temperaturas em 1,5° C e diminuição de chuvas.

“Tudo está relacionado”: enchentes, incêndios, ondas de calor, recordes de temperatura e o aumento de eventos extremos. Assim reflete a professora Ana Maria Heuminski de Ávila, do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (Cepagri) da Unicamp (Coll, 2020).

Esses estudos climáticos permitem identificar quais mudanças causam alteração no regime de chuvas, o qual por sua vez podem alterar o sistema de drenagem. A ocorrência de chuvas intensas e rápidas está atrelada comumente ao verão, no entanto com as mudanças e impactos no clima, tornam-se cada vez mais frequentes e traz como consequências deslizamentos de terras, enchentes, erosão e outros acidentes mais alarmantes. Essas ocorrências causam grandes prejuízos para a população, como ocorrido no Maranhão, onde pelo menos 7700 pessoas estão desabrigadas ou desalojadas e desde março (2023) já foram registradas 6 mortes devido às fortes chuvas. (Nassif, 2023)

Portanto, diante desse contexto, é inegável a importância do planejamento de drenagem urbana. Seu principal propósito é mitigar os problemas decorrentes do excesso de água, ao canalizar o sistema pluvial por meio de uma rede de estruturas e canalizações nas vias urbanas. Estas, por sua vez, direcionam as águas pluviais para canaletas, bueiros, galerias e outros dispositivos, permitindo, assim, o encaminhamento adequado dessas águas para tratamento e reaproveitamento. Em conclusão, o planejamento de drenagem urbana desempenha um papel fundamental na gestão sustentável dos recursos hídricos em ambientes urbanos, contribuindo para a redução de enchentes e o aproveitamento eficiente da água pluvial.

2.2 Análise dos procedimentos de derivação das relações IDF e sua utilização na estimação de equações de precipitação

A equação de chuva é um componente fundamental na hidrologia e meteorologia, sendo uma ferramenta matemática utilizada para estimar a intensidade da precipitação pluviométrica em uma determinada área geográfica durante um período específico. Essa equação descreve a relação entre a taxa de precipitação e diversos fatores, como a área de estudo, o tempo, a estação do ano e as condições atmosféricas. Geralmente, a equação de chuva é baseada em dados históricos de precipitação e utiliza modelos estatísticos para fazer projeções futuras, o que é de grande importância para o planejamento de recursos hídricos, previsão de cheias e gerenciamento de riscos em diversas aplicações, incluindo agricultura, engenharia civil e gestão de recursos naturais.

Conforme citado por Wilken (1978), no contexto de projetos relacionados a sistemas de drenagem de águas pluviais, é essencial realizar observações de chuvas com o objetivo de derivar uma equação que considere parâmetros cruciais, a saber: intensidade, duração e frequência. A intensidade representa a medida da quantidade de chuva que se precipita em um determinado intervalo de tempo, expressa geralmente em milímetros por hora ou por minuto, sendo fundamental para a avaliação da capacidade de escoamento e dimensionamento de estruturas de drenagem. A duração, por sua vez, refere-se ao período temporal durante o qual a precipitação ocorre, também denominado de tempo de concentração (t_c), desempenhando um papel central na análise de eventos pluviais. Por fim, a frequência diz respeito à probabilidade de que uma determinada intensidade de chuva seja igualada ou superada em um dado intervalo de tempo, também conhecida como tempo de retorno (T_R), possibilitando estimativas de riscos e a tomada de decisões cruciais em planejamento urbano e gestão de recursos hídricos.

2.2.1 Precipitações pluviais máximas

Segundo TUCCI (2000) A precipitação máxima, entendida como um evento climático extremo, apresenta características peculiares que a tornam crítica para uma área ou bacia hidrográfica. A fim de compreender a variabilidade da precipitação pluvial, é fundamental analisar a sua distribuição. Para alcançar esse objetivo, é necessário conduzir uma minuciosa análise de distribuição e realizar testes estatísticos que permitam determinar qual função de distribuição de

probabilidade se mostra mais apropriada para calcular a probabilidade de ocorrência de um determinado fenômeno.

Esse evento climático tende a ocorrer no mesmo mês a cada ano, evidenciando o ciclo anual das precipitações. Dado o seu caráter extremo, ele representa o principal fator condutor na formulação da equação de chuva. Essa equação, por sua vez, desempenha um papel central no processo de conservação do solo, estradas, barragens e drenagem, para cujo dimensionamento adequado é necessário conhecer ocorrências extremas, segundo VIEIRA et al. (1991).

Para obter esse parâmetro, o primeiro passo é a aquisição dos dados meteorológicos no local de estudo. Neste projeto, utilizou-se a ferramenta HIDROWEB, que disponibiliza pontos de coleta de informações em todo o território brasileiro. Em seguida, selecionam-se apenas os dados que passaram por um processo de consistência, ou seja, aqueles que foram analisados e considerados próximos dos valores reais. Estes dados passam, então, por um tratamento que visa eliminar quaisquer lacunas ou omissões.

Por fim, após o tratamento dos dados, torna-se possível identificar a precipitação pluvial máxima registrada em cada ano. Esses registros são então compilados e utilizados na próxima etapa do cálculo da equação de chuva. Vale ressaltar que, neste trabalho, os anos selecionados para a coleta de dados foram uniformes para as os postos de coleta de cada grupo estudado. Após a coleta da precipitação máxima ao longo de todos esses anos, é realizada uma média e calculado o desvio padrão desses valores, para serem usados nos próximos procedimentos, conforme mencionado por Mendes & Rêgo (2021).

2.2.2 Modelagem estocástica de equações de chuva

Com o avanço tecnológico é possível solucionar diversas equações consideradas complexas e a combinação de grandes sequências de dados deixou de ser um problema. Inúmeros modelos de distribuição probabilísticas e métodos de estimação dos parâmetros para equação de chuvas foram propostos por meio da literatura científica. Tendo isso em vista, Batista *et al.* (2018) cita cinco métodos: Gamma II, Gamma III, Log Normal II, Log normal III e Gumbel. A distribuição de Gumbel foi elaborada por Emil Julius Gumbel e objetiva modelar valores de ocorrência de um determinado fenômeno (COTTA et al., 2016).

Os tempos de retorno utilizados no método são 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100, selecionando ocorrências que possuem as maiores precipitações diárias. Para tal, utilizou-se as seguintes equações, o qual, conforme Pinto (1995) apresentam os parâmetros estatísticos para determinação da precipitação máxima diária (X_{TR}) para cada tempo de retorno (T_R), mediante os dados de precipitação máxima (X_{TR}) de cada ano da série histórica e sua média (X) e desvio padrão médio (S).

$$Y_{TR} = - \ln \{ - \ln [1 - (1 / T_R)] \} \quad (1)$$

$$K_{TR} = - 0,45 + 0,78 \times Y_{TR} \quad (2)$$

$$X_{TR} = X_M + K_{TR} \times S \quad (3)$$

Em que:

Y_{TR} - Variável reduzida da distribuição de Gumbel;

T_R - Tempo de retorno (anos);

X_{TR} - Precipitação máxima diária para determinado T_R (mm)

K_{TR} - Fator de frequência (adimensional);

X_M - Média de precipitação máxima diária (mm)

S - Desvio padrão de dos dados de precipitação máxima diária (mm)

2.2.3 Método de desagregação da chuva

Após a obtenção da precipitação máxima ajustada para cada período de retorno, realiza-se um processo de desagregação dessa chuva de 24 horas em intervalos menores de tempo. Existem diversos métodos disponíveis para executar essa tarefa, destacando-se o Método das Isozonas, especialmente recomendado para áreas com escassa disponibilidade de postos pluviométricos. Além disso, há o método de desagregação proposto pelo DAEE/CETESB (1980), que utiliza o fator 1,14 para converter o parâmetro de um dia para 24 horas e, posteriormente, dividi-lo em intervalos de tempo menores.

Neste projeto, adotou-se o método desenvolvido pelo Departamento de Águas e Energia do Estado de São Paulo (DAEE) e pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), conforme detalhado no livro "Drenagem Urbana: Manual de Projeto". Este método, conhecido como método DAEE/CETESB,

é utilizado para a desagregação da chuva em durações de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 360, 480, 600, 720 e 1440 minutos. Ele se vale de coeficientes, que serão multiplicados pelo fator X_{TR} resultando nos valores desagregados, conforme apresentados na Tabela 1, os quais permitem gerar pontos suficientes para a elaboração das relações de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) referentes a diferentes períodos de retorno e foram gerados a partir do estudo de chuvas intensas do clássico estudo de Pfafstetter (1957),

Além disso, este método é indispensável em um projeto de transferência de equação de chuva, uma vez que ele equaliza dois de seus parâmetros, simplificando a transferência para que apenas os valores dos parâmetros "a" e "b" necessitem ser considerados durante o processo, conforme demonstrado no trabalho de OLIVEIRA (2017).

Tabela 1 - Coeficiente de desagregação da chuva de 24 h de duração.

Duração	Coeficiente	Duração	Coeficientes
24h/24h	1,14	30min/h	0,74
12h/24h	0,85	25min/30min	0,91
10h/24h	0,82	20min/30min	0,81
8h/24h	0,78	15min/30min	0,7
6h/24h	0,72	10min/30min	0,54
1h/24h	0,42	5min/30min	0,34

Fonte: Adaptado de DAEE/CETESB (1980).

Posteriormente, é imperativo verificar se os valores obtidos atendem aos critérios mínimos para serem categorizados como chuvas intensas, mediante uma análise das durações e precipitações, comparando-os com os valores de referência da Tabela 2. Dessa maneira, com os valores obtidos para as chuvas máximas em diversas durações e períodos de retorno de 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos, torna-se possível estimar cada parâmetro da equação que expressa a relação IDF.

Tabela 2 - Valores mínimos de precipitação.

VALORES MÍNIMOS DE PRECIPITAÇÃO														
DURAÇÃO (MINUTOS)	5	10	15	20	30	45	60	120	180	240	360	480	720	1440
PRECIPITAÇÃO ADOTADA (mm)	5	10	15	20	25	25	25	30	35	35	40	40	50	50

Fonte: DAEE/CETESB (1980).

2.2.4 Geração de relação IDF

A relação IDF, que expressa as características das chuvas intensas, é representada por meio de curvas que são obtidas em função da duração da precipitação (eixo das abscissas) e da intensidade (eixo das ordenadas), associadas a cada período de retorno (BACK, 1997). Nesse contexto, é necessário desenvolver as relações IDF e, a partir delas, derivar as equações para chuvas intensas, que dependem dos períodos de retorno e dos tempos de concentração, conforme demonstrado na Equação 4.

$$i = \frac{a \times TR^b}{(tc + c)^d} \quad (4)$$

Em que:

i = intensidade (mm/h)

a, b, c, d = constantes relacionadas a cada local de estudo (constante)

TR = tempo de retorno (anos)

tc = tempo de concentração (minutos)

Dessa forma, ao obter-se os valores das precipitações de menor duração, torna-se possível a construção das relações IDF e a determinação dos parâmetros (a), (b), (c) e (d). Conforme apontado por Wilken (1978), é essencial atentar-se ao parâmetro “ c ” (constante de anamorfismo), expresso em minutos, uma vez que ele constitui uma correção relativa à duração da precipitação. A adição de “ c ” a “ t ” para cada ponto na curva permite o deslocamento dos pontos, reduzindo assim a

dispersão dos dados, aproximando-os de uma linha reta. É importante destacar que esta constante "c" permanecerá invariável para todas as equações.

Os resultados obtidos a partir da equação devem ser minuciosamente avaliados, visando minimizar potenciais erros de ajuste nas relações IDF. Isso é fundamental para assegurar que a equação estimada para chuvas intensas não apresente resultados que carecem de credibilidade, como destacado por Gomes (2011).

Posteriormente, decompõem-se a Equação 4 em duas novas equações, designadas como Equação 5 e 6, em que 'Z' representa uma constante de substituição exclusivamente utilizada na aplicação deste método.

$$Z = a \times TR^b \quad (5)$$

$$i = \frac{Z}{(tc + c)^d} \quad (6)$$

Ao multiplicar ambos os lados por logaritmo natural e aplicar as regras da função logarítmica às Equações 5 e 6, as Equações 7 e 8 são obtidas, as quais se apresentam na forma de uma equação linear, como demonstrado na equação 9.

$$\ln(Z) = \ln(a) + b \cdot \ln(TR) \quad (7)$$

$$\ln(i) = \ln(Z) - d \cdot \ln(tc + c) \quad (8)$$

$$Y = A + BX \quad (9)$$

A determinação da constante de anamorfismo (c) é conduzida por meio de tentativas, permitindo a conversão da curva intensidade-duração em uma reta. Isso é alcançado ao atribuir valores de modo a maximizar o coeficiente de determinação ou variância (R^2), utilizando o software EXCEL. Esse procedimento auxilia na análise e na determinação dos demais parâmetros.

A partir da Equação 8 para cada período de retorno, os valores de 'd' são determinados, esse valor permanece constante e é uniforme em todas as equações.

Em seguida, realizou-se a média desses valores, obtendo o 'd' final, juntamente com o valor de 'Ln(Z)'. Posteriormente, a Equação 7 foi utilizada para a obtenção dos valores 'a' e 'b'. Dado que o valor de 'c' já foi estimado, basta substituir os parâmetros (a), (b), (c) e (d) na Equação 6 para a obtenção da equação de chuva.

2.2.5 Avaliação Estatística

Segundo Stigler (1986), os métodos estatísticos são uma combinação de Ciência, tecnologia e lógica com a finalidade de solucionar problemas e verificar a confiabilidade de diferentes hipóteses matemáticas em variadas áreas de conhecimento. Essas ferramentas estatísticas permitem analisar uma grande base de dados em um tempo crível e permite que as pesquisas ocorram de forma rápida e segura. Atualmente, existem centenas de métodos e aplicativos que realizam a análise estatística de dados e correlacionam as informações para determinar se sua base de confiança é boa.

Dentre as diferentes opções de avaliação estatística e com intuito de analisar os dados obtidos foram usados o Coeficiente de Eficiência de Nash e Sutcliffe (COE) e o P-Value. O COE é considerado um dos mais importantes critérios para avaliar a credibilidade dos dados, de acordo com Oliveira (2017). A equação 10 é usada para o cálculo de COE e posteriormente com os resultados faz-se a avaliação conforme a tabela 3.

$$COE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Em - Es)^2}{\sum_{i=1}^n (Em - \overline{Es})^2} \quad (10)$$

Em que:

Em - evento observado;

Es - evento simulado;

n - número de eventos;

\overline{Es} - média do evento observado no período de simulação

Tabela 3 - Classificação dos valores obtidos no COE

Variação do COE	Avaliação
Maior que 0,75	Bom Desempenho
Entre 0,36 e 0,75	Desempenho Aceitável
Menor que 0,36	Modelo Inaceitável

Fonte: SILVA et al. (2008).

Já o P-value é classificado como a probabilidade de se encontrar valores maiores ou iguais ao evento que se está estudando. Funciona igualmente como um parâmetro que qualifica a confiabilidade dos dados encontrados. O valor estimado para rejeição da hipótese nula é de 0,05. E, sugere que, quando não há nenhuma diferença, um valor extremo é esperado menos de 5% das vezes. Para o cálculo do valor P utilizou-se a ferramenta do Excel, no qual o teste de hipóteses foi aplicado em todas as equações necessárias para definir os parâmetros (a), (b), (c), (d) das equações de chuvas.

2.3 Transferência de equações de chuva

Como supracitado, as equações de chuva desempenham um papel imprescindível em diferentes áreas do conhecimento, tais como desenvolvimento de projetos de drenagem de rodovias. No entanto, é sabido que os pontos de coleta, apesar de distribuídos em diferentes estados e cidades do Brasil, não abrangem todas as localidades, sendo inviável devido a razões evidentes. Todavia, com o intuito de otimizar e oferecer trabalhabilidade e precisão para os resultados e equações que virão a ser utilizadas posteriormente, atualmente utilizam-se diferentes métodos de transferência de equações de chuvas.

Quadros et al. (2011) utilizou o método de distribuição generalizada de valores extremos (GEV) para realizar o ajuste dos valores mais próximos à realidade quando há necessidade de extrapolação dos dados com grandes períodos de retorno e com intuito de contribuir para o planejamento de atividades que são influenciadas pela intensidade de água precipitada foi ajustado um modelo de distribuição de probabilidade de chuva intensa por meio da GEV, utilizando

momentos LH para estimar seus parâmetros e o teste estatístico proposto por Wang (1998) para verificação da qualidade dos ajustes desenvolvidos no ambiente Matlab. Os resultados obtidos mostram que todos os ajustes foram aceitos pelo teste de Wang com 5% de significância.

Silva et al. (1999), Pinto (1999) e Assad et al. (1994) sugerem trabalhar com métodos que determinam uma média ponderada dos parâmetros “a”, “b”, “c” e “d” da equação de chuvas intensas pelo inverso da distância, usualmente com o quadrado da distância, obtendo assim, equações de chuvas intensas para locais desprovidos de dados pluviométricos. Utilizando dados de pontos de coleta próximos a região desejada.

Cecílio et al. (2003) realizou um estudo com informações disponíveis em 171 localidades do estado de Minas Gerais, 625 diferentes combinações entre os quatro parâmetros da equação de chuvas (a, b, c e d) interpolados com a metodologia do inverso da potência da distância, através de 5 diferentes potências. Os resultados encontrados mostraram que em todas as combinações tendem a superestimar a intensidade de precipitação. A interpolação de “a” e “d” com o inverso da quinta potência da distância, “b” com o inverso da distância e “c” com o inverso do cubo da distância, apresentou melhores resultados na estimativa da intensidade de precipitação.

Voltz & Webster (1990) e Gotway et al. (1996) concluíram que a krigagem, método geoestatístico que leva em consideração as características espaciais de autocorrelação de variáveis regionalizadas, proporcionou melhores resultados, quando comparada, respectivamente, a *splines* cúbicas e métodos de inverso da distância, dentre eles o expoente 2.

Dirks et al. (1998) realizaram estudos com interpoladores espaciais para chuvas anuais, mensais, diárias e horárias para a ilha de Norfolk na Nova Zelândia. Seus resultados mostraram que os métodos de krigagem e inverso do quadrado da distância se sobressaíram em relação em relação a polígonos de Thiessen, *splines* cúbicas e inverso da distância com 1, 3 e 4. Todavia, os autores não propõem qual dos dois métodos citados poderia oferecer maior precisão.

Pruski et al. (2002) desenvolveram um “software” (PLÚVIO 1.3) o qual permite, utilizando processos de interpolação, a determinação de equações de chuvas intensas para qualquer localidade dos estados do Espírito Santo, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro e São Paulo. Esta interpolação é realizada

independentemente para cada um dos parâmetros da equação, sendo utilizadas todas as informações disponíveis dos estados citados. Os resultados encontrados a partir dos fatores de ponderação utilizados, correspondem ao inverso do quadrado da distância entre a localidade para a qual a equação é desejada e as localidades em que o parâmetro é conhecido. Todavia, apesar de o fator de ponderação proporcional do quadrado da distância ter apresentado desempenho satisfatório, diversos fatores de ponderação têm sido recomendados, como supracitado em parágrafos anteriores.

Mas, devido à importância do conhecimento das equações de chuvas intensas, a dificuldade de sua determinação e facilidade da interpolação dos parâmetros, tendo previamente um número adequado de equações ou dados para obtê-las, foi utilizado o método de interpolação do inverso de uma potência da distância. Neste processo interpolador o valor atribuído à célula interpolada é obtido a partir da média ponderada que utiliza o peso dos postos mais próximos, ponderados pelo inverso da potência da distância, como é observado na equação 11.

$$G_i = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i/d_i^m)}{\sum_{i=1}^n (1/d_i^m)} \quad (11)$$

Onde:

G₁ – Valor estimado na célula interpolada

X_i – Valor i-ésimo posto de controle

D_i – Distância euclidiana entre o i-ésimo posto de controle e a célula interpolada

m – Expoente da distância euclidiana

Na interpolação dos parâmetros utilizou-se cinco diferentes expoentes da distância: 1 (ID1), 2 (ID2), 3 (ID3), 4 (ID4) e 5 (ID5). E a partir da análise dos dados obtidos, é escolhido aquele que oferecer melhores resultados.

2.3.1 Método de análise de qualidade da equação de chuva sintética

Para a verificação da qualidade das equações sintéticas encontradas por meio da transferência de equações de chuvas, aplica-se o método de análise que consiste em calcular o erro por meio do comparativo de intensidade de equação de chuvas sintéticas versus reais. Com os dados obtidos por meio da interpolação, usou-se os novos parâmetros a, b, c e d, e, para tempos de retorno de 10, 1 e 25 anos e tempos de concentração de 5, 60 e 10 minutos respectivamente, obteve-se a nova intensidade. E posteriormente para os mesmos tempos de retorno e concentração foi obtida a intensidade de chuvas com os parâmetros reais, advindos do tratamento de dados da estação de estudo. Para o cálculo de erro percentual entre ambas intensidades, tem-se a equação 12.

$$EP = \frac{100 \cdot (Ir - Is)}{Ir} \quad (12)$$

Onde:

EP - Erro percentual entre os valores de intensidade

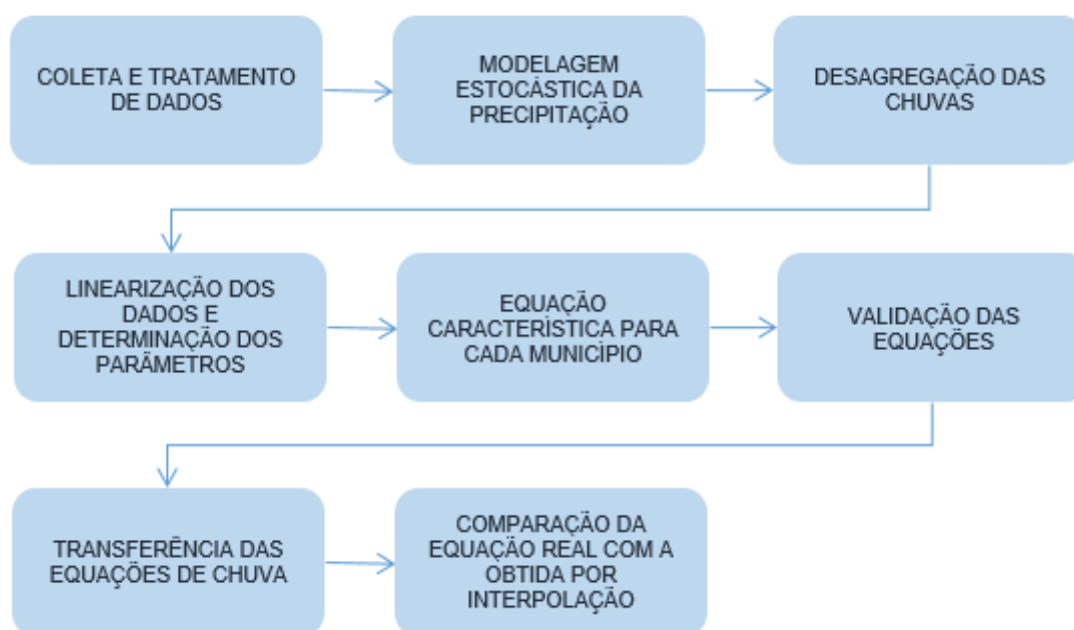
Ir - Intensidade calculada com os valores reais de a, b, c e d

Is - Intensidade calculada com os valores interpolados de a, b, c e d

3 MÉTODO

Neste capítulo, caracterizou-se a área de estudo, que está dividida em 12 estações de medição pluviométrica. Os dados dessas estações podem ser acessados por meio do Portal HIDROWEB. Além disso, foram definidos os métodos empregados para estabelecer e verificar as equações de chuva de cada município. O *software* Microsoft Excel foi utilizado para processar os dados e alcançar os resultados desejados. Para a distribuição de probabilidades, adotou-se os princípios de Gumbel, enquanto que a fragmentação da precipitação diária em chuvas de menor duração foi realizada de acordo com o método preconizado pelo DAEE/CETESB (1980). Este procedimento foi executado em consonância com o organograma ilustrado na figura (1).

Figura 1 - Organograma de processos metodológicos para transferência de equações de chuvas



Fonte: Autoria própria (2023)

3.1 Caracterização da área de estudo

O Estado do Pará, uma das 27 unidades federativas do Brasil, encontra-se situado na Região Norte, tendo como capital o município de Belém. Destaca-se como a segunda maior unidade federativa do país em termos de extensão territorial, abarcando uma área de 1.245.870,798 km², o que o posiciona como a décima-terceira maior subdivisão territorial em escala global. Notavelmente, sua extensão supera a área total da Região Sudeste brasileira, composta por quatro

estados, sendo ligeiramente inferior à dimensão do estado norte-americano do Alasca. Na figura 2, está representada a localização do estado do Pará no Brasil.

Figura 2 - Localização do Estado do Pará.

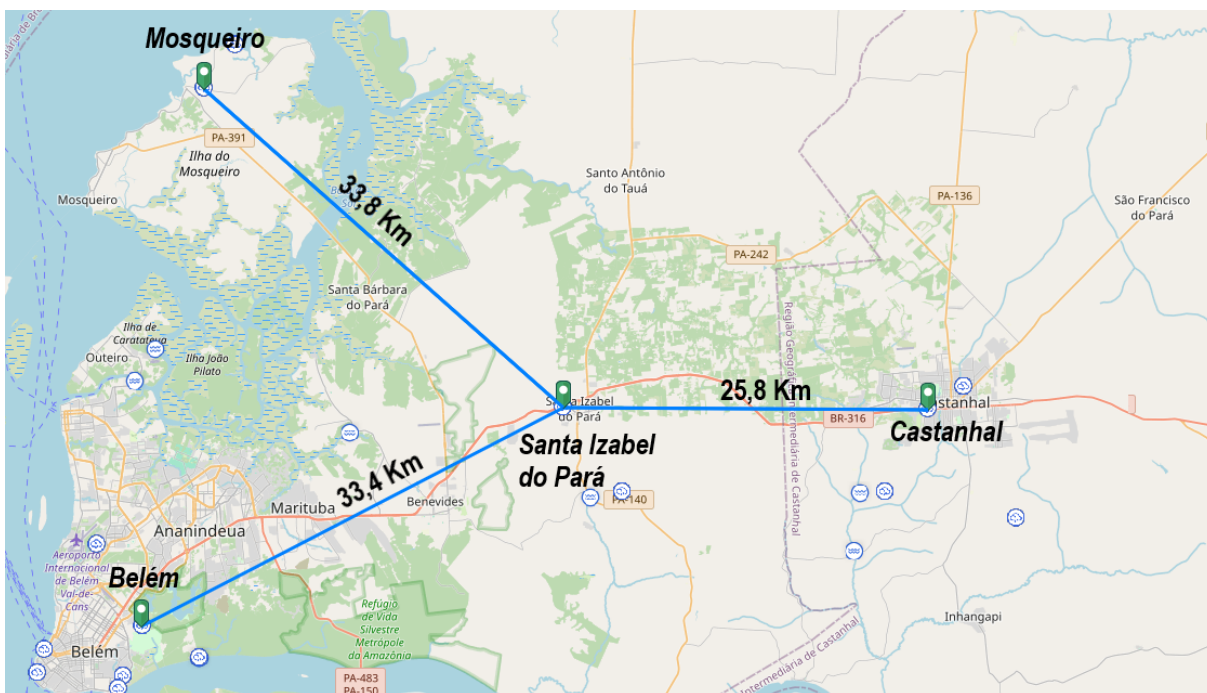


Fonte: Mapsof.net - adaptado (2018)

Com o propósito de formular uma equação de chuva para um posto central, a partir de dados de três postos distintos, e posteriormente compará-la com uma equação real já existente para ponto central supracitado, foram escolhidas doze estações de coleta pluviométrica no nordeste do estado do Pará. Essas estações compreendem Belém, Mosqueiro (Belém), Santa Izabel do Pará, Castanhal, Primavera, Capanema, Santa Maria do Pará, Santa Luzia do Pará, Fazenda Urucure (Acará), Tomé-Açu, Acampamento Mendes Junior (São Domingos do Capim) e PA 256 / Acara-Mirim (Tomé-Açu), escolhidas por sua formatação geográfica.

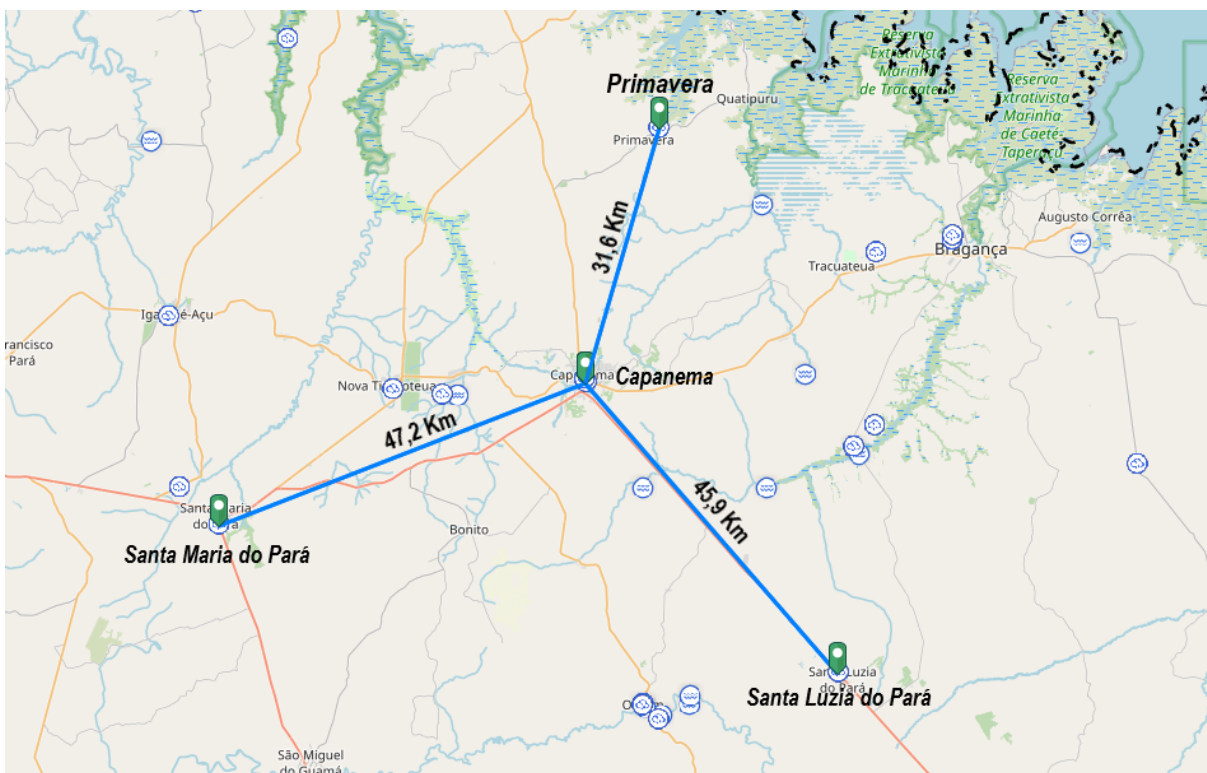
Dentro dos doze postos de coleta, foram organizados em três grupos, cada um composto por quatro postos. Cada grupo possui um posto central, e os postos vizinhos não excederam mais de 50 km desse posto central, de forma a assegurar que as localidades apresentam semelhanças significativas em termos de vegetação e clima. A disposição dos postos de coleta em seus respectivos grupos, assim como a distância deles em relação ao posto central, está delineada nas Figuras 3, 4 e 5.

Figura 3 - Localização do 1º grupo de postos de coleta.



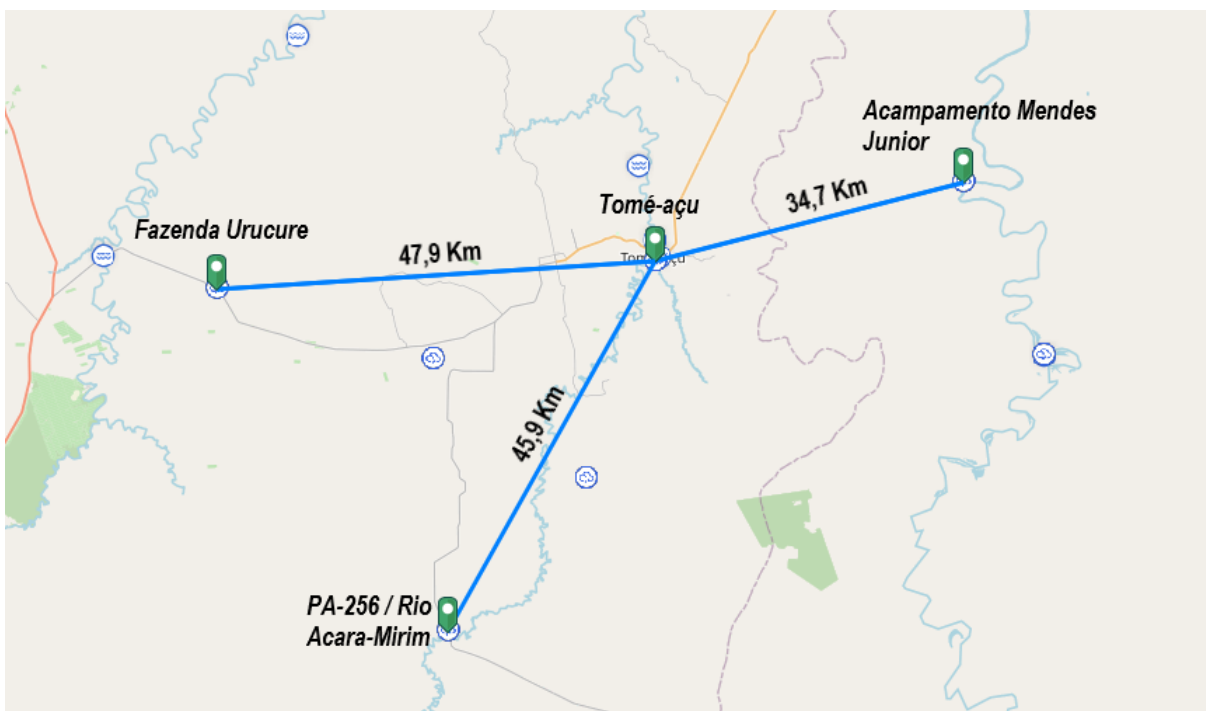
Fonte: HIDROWEB - adaptado (2023).

Figura 4 - Localização do 2º grupo de postos de coleta.



Fonte: HIDROWEB - adaptado (2023).

Figura 5 - Localização do 3º grupo de postos de coleta.



Fonte: HIDROWEB - adaptado (2023)

Os dados das estações meteorológicas selecionadas foram obtidos a partir do aplicativo HIDROWEB, acessível no site da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Foram estabelecidos critérios de seleção, que incluíram a disponibilidade de dados por um período mínimo de 10 anos e, de preferência, dados já submetidos a processos de consistência. Além disso, realizou-se um cotejamento dos anos em que os dados foram coletados, a fim de assegurar que dentro do grupo todos compartilhassem os mesmos anos de registros de precipitação pluviométrica. Essa proporção pode ser visualizada nas tabelas 4, 5 e 6, que também inclui o código da estação de coleta de chuva e sua localização exata no mapa.

Tabela 4 - Informações das séries históricas dos postos de coleta do grupo 1

NOME	CÓDIGO	LATITUDE (°)	LONGITUDE (°)	ALTITUDE (m)	SÉRIES HISTÓRICAS DISPONÍVEIS (ANOS)	SÉRIES HISTÓRICAS UTILIZADA (ANOS)
MOSQUEIRO	148012	-1,09	-48,40	10	1982 a 2008	
SANTA IZABEL DO PARÁ	148003	-1,30	-48,17	34	1972 a 2005	
CASTANHAL	147007	-1,30	-47,94	47	1972 a 1984 1986 a 1992 1995 a 1999 2001 a 2006	1982 a 1984 1986 a 1992 1995 a 1998
BELÉM	148002	-1,44	-48,44	10	1949 a 1964 1966 a 1998	

Fonte: HIDROWEB (2023)

Tabela 5 - Informações das séries históricas dos postos de coleta do grupo 2

NOME	CÓDIGO	LATITUDE (°)	LONGITUDE (°)	ALTITUDE (m)	SÉRIES HISTÓRICAS DISPONÍVEIS (ANOS)	SÉRIES HISTÓRICAS UTILIZADA (ANOS)
PRIMAVERA	47004	-0,93	-47,10	48	1996 a 2006	
CAPANEMA	147002	-1,20	-47,18	24	1966 a 2006	1996 a 1998
SANTA MARIA DO PARÁ	147018	-1,36	-47,57	46	1992 a 2006	2000 a 2006
SANTA LUZIA DO PARÁ	146011	-1,52	-46,91	43	1966 a 2006	

Fonte: HIDROWEB (2023)

Tabela 6 - Informações das séries históricas dos postos de coleta grupo 3

NOME	CÓDIGO	LATITUDE (°)	LONGITUDE (°)	ALTITUDE (m)	SÉRIES HISTÓRICAS DISPONÍVEIS (ANOS)	SÉRIES HISTÓRICAS UTILIZADA (ANOS)
FAZENDA URUCURE	248001	-2,45	-48,58	25	1982 a 2005	
TOMÉ-AÇU	248003	-2,42	-48,15	45	1984 a 2005	
ACAMPAMENT O MENDES JUNIOR	247008	-2,34	-47,85	20	1995 a 2005	1995 a 2004
PA-256 / RIO ACARA-MIRIM	248006	-2,78	-48,35	45	1990 a 2005	

Fonte: HIDROWEB (2023)

3.2 Análise dos dados pluviométricos

Inicialmente, houve a necessidade de processar os dados provenientes dos 12 postos de coleta, selecionados de acordo com os critérios delineados no item 3.1. Para esse propósito, procedeu-se à organização de cada série temporal em ordem decrescente com base nos anos, viabilizando a extração dos valores máximos de precipitação diária registrados mensalmente. Adicionalmente, coletou-se dados relativos ao total de chuvas ocorridas no mês e ao dia de maior pluviosidade. Este processo foi conduzido ao longo do período de análise estabelecido para cada um dos três grupos definidos.

O registro histórico de precipitações apresenta lacunas que demandam preenchimento antes de prosseguir com o tratamento dos dados. Essas lacunas podem manifestar-se de diversas formas, seja pela ausência dos três dados mensais necessários ou apenas de alguns deles, podendo ocorrer em meses consecutivos ou de maneira intermitente. Ressalta-se que existem variados métodos estatísticos e ferramentas computacionais para a interpolação de falhas, incluindo o Método de Ponderação Regional, o Método de Regressão Linear Simples e Múltipla, e o Método de Ponderação Regional baseado em Regressões Lineares. No entanto,

visando simplificar a análise e observando que o preenchimento de falhas por meio das medianas é uma abordagem mais direta, optou-se por utilizar essa técnica.

Assim, foram estabelecidas as precipitações máximas para cada ano, seguidas pelo cálculo da média e do desvio-padrão desses valores. Estes últimos constituem as principais métricas a serem empregadas nos modelos de chuva, uma vez que são concebidos para contemplar o cenário mais crítico. Por meio desse tratamento dos dados, tornou-se viável extrair informações significativas sobre cada município, destacando-se a identificação dos anos mais pluviosos, os meses com as maiores e menores precipitações, bem como o registro das chuvas mais intensas e críticas.

3.3 Modelagem estocástica da precipitação

Para a elaboração do modelo de distribuição de probabilidade, foi adotado o método de Gumbel, muito utilizado e eficaz, que proporciona resultados robustos na determinação das equações. As análises foram conduzidas empregando as Equações 1, 2 e 3, conforme detalhado no capítulo 2, e contemplaram intervalos de tempo de retorno de 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos. Adicionalmente, para a modelagem, foram utilizadas a média das máximas de chuva e o desvio padrão, representando uma abordagem convencional que tem se mostrado eficiente na obtenção das equações necessárias (CRUZ et al., 2019; OLIVEIRA, 2017; OLIVEIRA et al., 2008 SOUZA et al., 2012).

3.4 Desagregação das Chuvas

Para realizar a desagregação das chuvas, optou-se pelo método DAEE/CETESB (1980), método esse que consolida valores de "c" e "d" para todas as equações, uma escolha respaldada por diversos estudos que demonstraram sua eficácia na determinação das precipitações máximas (BARBOSA et al., 2000; COSTA et al., 2001; SILVA et al., 2003). Nesse método, inicialmente, procedeu-se à multiplicação dos valores das chuvas diárias por um fator de segurança de 1,14, visando a conversão desses valores para chuvas de 24 horas, esse processo foi repetido para todos os tempos de retorno propostos.

3.5 Geração das equações de chuvas intensas reais

Para a determinação dos parâmetros "a", "b", "c" e "d", adotou-se o método proposto por Villela (1975), conforme detalhado no item 2.2.4. Inicialmente, procedeu-se à divisão da precipitação gerada, conforme especificado no item 3.5, pelo tempo de duração da chuva previamente selecionado no item 2.2.3, expresso em unidades de hora. Subsequentemente, foi estabelecido um valor para o parâmetro "c" de forma a otimizar o coeficiente de determinação (R^2) o mais próximo possível de 1.

Em seguida, recorreu-se às Equações 7, 8 e 9 para determinar os demais fatores da equação de chuva, completando assim o processo de geração dos parâmetros necessários.

3.6 Avaliação Estatística

3.6.1 Coeficiente de eficiência Nash e Sutcliffe

Após a determinação das equações de chuva para às 12 estações de coleta aplicou-se métodos estatísticos com intuito de verificar o nível de eficiência em cada uma das equações. O método foi aplicado aos tempos de retorno de 5,10,15,20,25, 50 e 100 conforme item 2.2.2, relacionando intensidades reais e intensidades encontradas a partir dos parâmetros calculados como explicitado no item 3.6, com estes fatores definidos realizou-se uma confrontação entre ambos os resultados.

3.6.2 VALOR P

O valor P foi calculado para reforçar a confiabilidade das Equações 7 e 8 geradas por cada um dos tempos de retorno, de 5,10,15,20,25, 50 e 100 conforme item 2.2.2 e Equação 9 segundo item 2.2.4, correlacionando a dependência entre y e x. Para os resultados obtidos o limite para rejeitar a hipótese nula foi estabelecido em 0,05, indicando que, quando não há diferença significativa, é esperado obter um valor tão extremo para a estatística de teste em menos de 5% das situações.

3.7 Geração da equação de chuva sintética

Após o tratamento dos dados das 3 estações ao redor da estação central de cada um dos 3 grupos e obtenção dos parâmetros "a", "b", "c" e "d" para cada estação analisada, foi possível realizar a transferência de equações pelo método de interpolação do inverso da potência da distância (G_i). No qual foram calculados os

novos parâmetros interpolados, variando apenas a potência entre 1(ID1), 2(ID2), 3 (ID3), 4(ID4) e 5 (ID5). Por fim, estabeleceu-se dentre as 25 possíveis combinações qual melhor representa as equações reais para as estações de coleta centrais de Santa Izabel do Pará, Capanema e Tomé-Açú. Gerou-se assim, a nova equação sintética.

3.8 Avaliação da qualidade da equação de chuva sintética

Em posse de ambas equações, reais e sintéticas, dos 3 postos centrais de coleta, partiu-se para o cálculo do erro percentual (EP). Calculou-se as intensidades das equações reais e sintéticas, para diferentes dispositivos de drenagem (superficial, subsuperficial e transposição de talwegues) para então comparar os resultados obtidos, conforme descrito no item 2.3.1.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Na seção atual são apresentados e discutidos os resultados das equações sintéticas interpoladas para os 3 grupos objetos de estudo das 12 estações de coletas de chuvas (Belém, Mosqueiro, Santa Izabel do Pará, Castanhal, Primavera, Capanema, Santa Maria do Pará, Santa Luzia do Pará, Fazenda Urucure, Tomé-Açu, Acampamento Mendes Junior e PA 256 / Acara-Mirim). Também realizou-se a análise de qualidade das equações sintéticas em detrimento das equações reais dos pontos de coletas centrais nos 3 grupos selecionados, por meio de comparativo de erro percentual entre intensidade de chuvas.

4.1 Apresentação e análise dos dados das estações pluviométricas

Para obtenção das equações de chuvas das estações citadas anteriormente, foram coletados e processados os dados disponíveis no portal HIDROWEB, seguindo-se as etapas estabelecidas no organograma da Figura 1, no capítulo 3. A escolha dos postos de coleta baseou-se na distribuição geográfica dos mesmos e a maior quantidade de dados consecutivos e consistidos, como explicitado no item 3.1. Além disso, em detrimento das descontinuidades nas séries de algumas estações, fez-se necessário preencher algumas lacunas com a mediana dos valores de cada ano, correspondentes ao mês em que ocorreu a falha do preenchimento.

Após tratamento dos dados obteve-se a média mensal, a máxima diária média e a média de dias de chuvas para os 12 meses do ano de todas as séries estudadas, o qual permitiu criar os pluviogramas de cada estação, conforme evidenciado no Apêndice A. Também foram extraídas, as máximas chuvas mensais de cada ano, indicadas no Apêndice B. Na Tabela 7 tem-se os resultados sintetizados dos dados contidos no Apêndice A e B, com os meses mais e menos chuvosos, a chuva crítica, a média e o desvio padrão de cada posto de coleta.

Tabela 7 - Tratamento de dados das estações estudadas

Posto de coleta	Meses mais chuvosos	Meses menos chuvosos	Chuva crítica diária	Média da Precipitação diária máxima	Desvio Padrão dos dados de precipitação máxima
Belém	Março e Abril	Setembro e Outubro	117,50 mm (1991)	89,29 mm	21,24 mm
Mosqueiro	Março e Abril	Setembro e Novembro	224,50 mm (1992)	108,68 mm	40,66 mm
Santa Izabel do Pará	Março e Abril	Setembro e Outubro	96,30 mm (1995)	79,27 mm	14,55 mm
Castanhal	Março e Abril	Setembro e Novembro	193,40 mm (1991)	93,21 mm	36,42 mm
Primavera	Março e Abril	Outubro e Novembro	130,40 mm (1997)	104,31 mm	14,57 mm
Capanema	Março e Abril	Setembro e Outubro	117,50 mm (1991)	100,81 mm	29,76 mm
Santa Maria do Pará	Março e Abril	Outubro e Novembro	107,30 mm (2005)	73,26 mm	21,51 mm
Santa Luzia do Pará	Março e Abril	Outubro e Novembro	121,40 mm (2001)	77,88 mm	27,73 mm
Fazenda Urucure	Março e Abril	Setembro e Novembro	157,30 mm (1995)	98,10 mm	26,51 mm
Tomé-Açu	Março e Abril	Agosto e Setembro	135,70 mm (1996)	99,99 mm	19,56 mm
Acampamento Mendes Junior	Março e Abril	Agosto e Setembro	146,20 mm (1996)	94,83 mm	29,33 mm
Pa-256 / Rio Acara-Mirim	Março e Abril	Agosto e Setembro	127,20 mm (2021)	94,65 mm	18,47 mm

Fonte: Autoria própria (2023).

Com os dados informados na tabela 7, obteve-se que a maior chuva crítica diária ocorreu na estação de Mosqueiro (224,50 mm) e a menor chuva crítica diária foi observada na estação de Santa Izabel do Pará (96,30 mm). A estação de Mosqueiro apesar de ter obtido a maior média de precipitação diária máxima (108,68 mm) como esperado, também obteve o maior desvio padrão (40,66 mm) o que indica uma elevada variação entre as precipitações máximas.

Além disso, Primavera registrou o menor desvio padrão dos dados de precipitação máxima (14,55 mm), dentre as demais estações, indicando o baixo grau de dispersão em relação ao conjunto de dados de precipitações máximas e a homogeneidade da amostra.

Pontua-se que em todas as estações houve coincidência dos meses mais chuvosos, sendo eles março e abril, uma ocorrência esperada, visto que trata-se do período mais chuvoso do ano na região Norte e Nordeste do Brasil, tendo seu ápice no mês de março. No entanto, para os registros com menos chuvas houve variação entre os meses de agosto, setembro, outubro e novembro.

4.2 Modelagem estocástica da precipitação

O processo para cálculo das equações de chuvas foi detalhado para a cidade de Belém, uma vez que o mesmo passo a passo será utilizado para definir as demais estações e seus resultados estão disponíveis no Apêndice C.

Em posse dos dados de precipitação máxima de cada ano, a média aritmética e desvio padrão dessas chuvas, aplicou-se o método de distribuição de probabilidades de Gumbel para os dados referentes a estação pluviométrica de Belém, por meio das equações 1, 2 e 3 para os tempos de retorno (T_R) de 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos, conforme Tabela 8. A seguir tem-se as expressões calculadas à $T_R = 5$ anos. Os demais tempos de retorno são encontrados de forma similar. Ressaltando que, os valores de \bar{x} e S são apresentados na tabela 7.

$$Y_{TR} = -\ln \{ -\ln [1 - (1 / 5)] \} = 1,4999$$

$$K_{TR} = -0,45 + 0,78 \times Y_{TR} = -0,45 + 0,78 \times 1,4999 = 0,7200$$

$$X_{TR} = \bar{x} + K_{TR} \times S = 89,29 + 0,7200 \times 21,24 = 104,58 \text{ mm}$$

Tabela 8 - Distribuição de probabilidades de Gumbel para a estação de Belém

TR (anos)	Variável reduzida da distribuição de Gumbel (YTR)	Fator de Frequência (KTR)	Precipitação máxima diária para cada TR (XTR)
5	1,50	0,72	104,58
10	2,25	1,31	117,01
15	2,67	1,64	124,03
20	2,97	1,87	128,94
25	3,20	2,04	132,72
50	3,90	2,59	144,38
100	4,60	3,14	155,94

Fonte: Autoria própria (2023).

4.3 Método de desagregação de chuvas

Em posse dos valores de precipitação máxima diária para cada TR, obtidos na Tabela 8, multiplicou-se a um fator de segurança resultando nas precipitações (P) para 24 horas. Novamente, detalhar-se-á apenas o cálculo para a estação de Belém na tabela 9. Para as outras 11 estações, o procedimento é análogo e os dados estão indicados no Apêndice D.

Tabela 9 - Desagregação de chuvas de DAEE/CETESB para a estação de Belém

Tr (anos)	XTR	Fator de Segurança	P 24 horas
5	104,58	1,14	119,22
10	117,01	1,14	133,39
15	124,03	1,14	141,39
20	128,94	1,14	146,99
25	132,72	1,14	151,30
50	144,38	1,14	164,59
100	155,94	1,14	177,78

Fonte: Autoria própria (2023).

Por seguinte, como descrito na Tabela 1 do capítulo 2, encontrou-se os valores desagregados para cada um dos tempos de retorno. Nas tabelas 10, 11 e 12 a seguir têm-se os valores para os 12 postos de coletas, desagregados para os tempos de retorno de 10 anos, sendo os demais apresentados no Apêndice E.

Tabela 10 - Desagregação de chuvas de DAEE/CETESB do grupo 1 para TR de 10 anos

Posto de coleta	1440 min	720 min	600 min	480 min	360 min	60 min	30 min	25 min	20 min	15 min	10 min	5 min
Belém	133,4	113,4	109,4	104,0	96,0	56,0	41,5	37,7	33,6	29,0	22,4	14,1
Mosqueiro	184,4	156,7	151,2	143,8	132,8	77,4	57,3	52,2	46,4	40,1	30,9	19,5
Santa Izabel do Pará	112,0	95,2	91,9	87,4	80,7	47,0	34,8	31,7	28,2	24,4	18,8	11,8
Castanhal	160,5	136,4	131,6	125,2	115,5	67,4	49,9	45,4	40,4	34,9	26,9	17,0

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 11 - Desagregação de chuvas de DAEE/CETESB do grupo 2 para TR de 10 anos

Posto de coleta	1440 min	720 min	600 min	480 min	360 min	60 min	30 min	25 min	20 min	15 min	10 min	5 min
Primavera	140,6	119,5	115,3	109,7	101,2	59,1	43,7	39,8	35,4	30,6	23,6	14,9
Capanema	159,2	135,3	130,6	124,2	114,6	66,9	49,5	45,0	40,1	34,6	26,7	16,8
Santa Maria do Pará	115,5	98,2	94,7	90,1	83,2	48,5	35,9	32,7	29,1	25,1	19,4	12,2
Santa Luzia do Pará	130,0	110,5	106,6	101,4	93,6	54,6	40,4	36,8	32,7	28,3	21,8	13,7

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 12 - Desagregação de chuvas de DAEE/CETESB do grupo 3 para TR de 10 anos

Posto de coleta	1440 min	720 min	600 min	480 min	360 min	60 min	30 min	25 min	20 min	15 min	10 min	5 min
Fazenda Urucure	151,3	128,6	124,1	118,0	108,9	63,5	47,0	42,8	38,1	32,9	25,4	16,0
Tomé-Açu	143,1	121,6	117,3	111,6	103,0	60,1	44,5	40,5	36,0	31,1	24,0	15,1
Acampamento Mendes Junior	151,8	129,0	124,4	118,4	109,3	63,7	47,2	42,9	38,2	33,0	25,5	16,0
Pa-256 / Rio Acara-Mirim	135,4	115,1	111,0	105,6	97,5	56,9	42,1	38,3	34,1	29,5	22,7	14,3

Fonte: Autoria própria (2023)

Por fim, com os valores desagregados de cada um dos 12 postos de coleta, foram divididos pelos seus respectivos tempos de controle. Isso permitirá a geração das relações entre Intensidade, Duração e Frequência, as quais serão apresentadas nas Tabelas 13, 14 e 15 para os tempos de retorno de 10 anos para os 12 postos de coleta. Esses resultados serão posteriormente compilados e apresentados no Apêndice F.

Tabela 13- Relação entre as intensidades das chuvas do grupo 1 para TR de 10 anos

Posto de coleta	1440 min	720 min	600 min	480 min	360 min	60 min	30 min	25 min	20 min	15 min	10 min	5 min
Belém	5,6	9,4	10,9	13,0	16,0	56,0	82,9	90,5	100,7	116,1	134,3	169,2
Mosqueiro	7,7	13,1	15,1	18,0	22,1	77,4	114,6	125,2	139,3	160,5	185,7	233,8
Santa Izabel do Pará	4,7	7,9	9,2	10,9	13,4	47,0	69,6	76,0	84,6	97,5	112,8	142,0
Castanhal	6,7	11,4	13,2	15,7	19,3	67,7	100,2	109,4	121,7	140,2	162,3	204,4

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 14 - Relação entre as intensidades das chuvas do grupo 2 para TR de 10 anos

Posto de coleta	1440 min	720 min	600 min	480 min	360 min	60 min	30 min	25 min	20 min	15 min	10 min	5 min
Primavera	5,9	10,0	11,5	13,7	16,9	59,1	87,4	95,4	106,2	122,4	141,6	178,3
Capanema	6,6	11,3	13,1	15,5	19,1	66,9	99,0	108,1	120,2	138,6	160,3	201,9
Santa Maria do Pará	4,8	8,2	9,5	11,3	13,9	48,5	71,8	78,4	87,3	100,5	116,3	146,5
Santa Luzia do Pará	5,4	9,2	10,7	12,7	15,6	54,6	80,8	88,3	98,2	113,2	131,0	164,9

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 15 - Relação entre as intensidades das chuvas do grupo 3 para TR de 10 anos

Posto de coleta	1440 min	720 min	600 min	480 min	360 min	60 min	30 min	25 min	20 min	15 min	10 min	5 min
Fazenda Urucure	6,3	10,7	12,4	14,8	18,2	63,5	94,0	102,7	114,3	131,7	152,3	191,8
Tomé-Açu	6,0	10,1	11,7	14,0	17,2	60,1	88,9	97,1	108,1	124,5	144,1	181,4
Acampamento Mendes Junior	6,3	10,7	12,4	14,8	18,2	63,7	94,3	103,0	114,6	132,1	152,8	192,4
Pa-256 / Rio Acara-Mirim	5,6	9,6	11,1	13,2	16,2	56,9	84,2	91,9	102,3	117,8	136,3	171,7

Fonte: Autoria própria (2023).

A partir da observação dos resultados nas tabelas 9 e 10, vê-se que, para o tempo de retorno de 10 anos, os valores mais elevados de intensidade de chuvas encontram-se em Mosqueiro e Castanhal, para um tempo de duração de 5 minutos, permanecendo com as maiores intensidades para os tempos de 60 e 1440 minutos. Os menores valores de intensidade de chuva estão localizados em Santa Izabel do Pará e Santa Maria do Pará para um tempo de duração de 5, 60 e 1440 minutos. Sendo assim, conclui-se que Mosqueiro tende a chuvas mais intensas em período de tempo curto, um fator preocupante quando se trata de drenagem de rodovias.

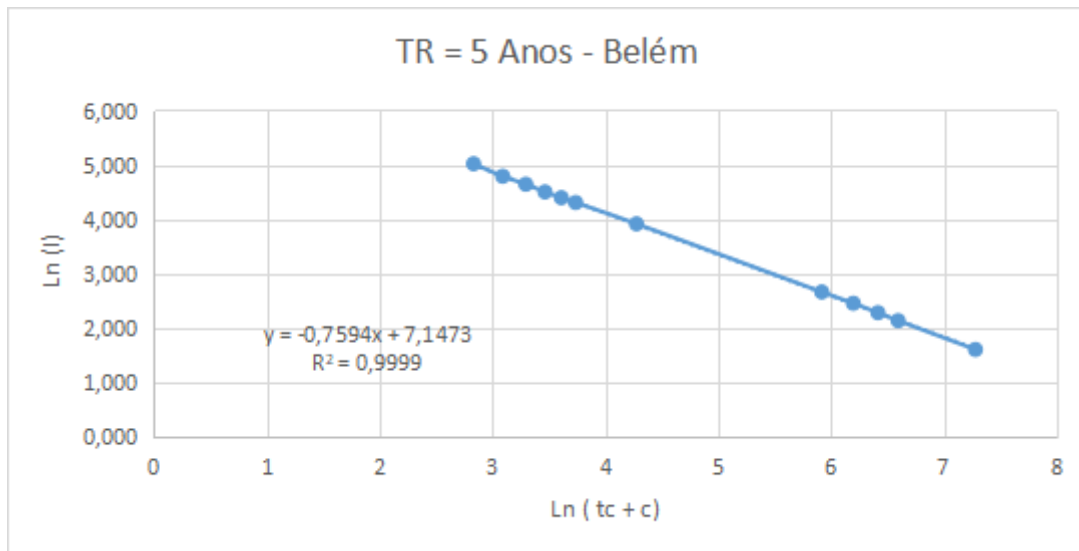
4.4 Geração das equações de chuvas intensas

A explicação do desenvolvimento do cálculo para derivar as equações de chuvas intensas foi abordada exclusivamente para a cidade de Belém, visando a clareza na apresentação dos resultados. Vale ressaltar que as demais equações foram obtidas mediante um processo de cálculo semelhante e estão documentadas no Apêndice E. Após a aplicação dos métodos para distribuição de probabilidades e desagregação de chuvas específicos para o município de Belém, foram determinados os valores dos parâmetros (a), (b), (c) e (d) na equação que descreve as chuvas intensas.

A etapa inicial do ajuste envolveu a variação do parâmetro "c" no cálculo de $\ln(t+c)$, relacionado à determinação de $\ln(i)$ para a formulação da equação 8. Essa análise de dados, realizada no software EXCEL, visou obter o valor ideal para "c", garantindo um coeficiente de determinação (R^2) próximo de 1 na regressão linear

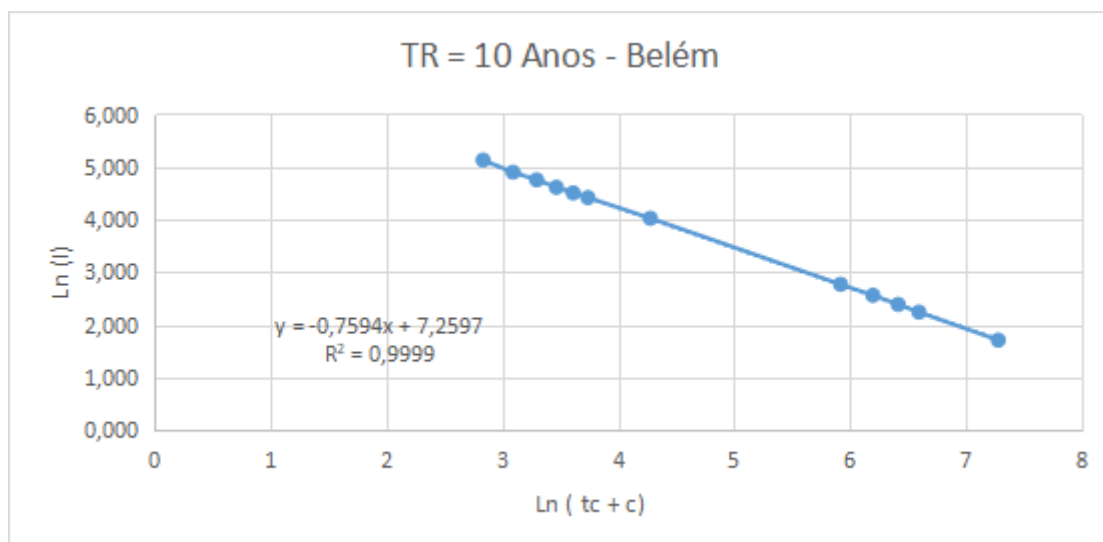
entre $\ln(tc + c)$ e $\ln(i)$. O ajuste foi repetido até encontrar um valor adequado para todos os casos. Os resultados promissores de R^2 são apresentados nas figuras 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12, representando os tempos de retorno de 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos, respectivamente.

Figura 6 – Gráfico da relação entre $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para TR = 5 anos da estação de Belém



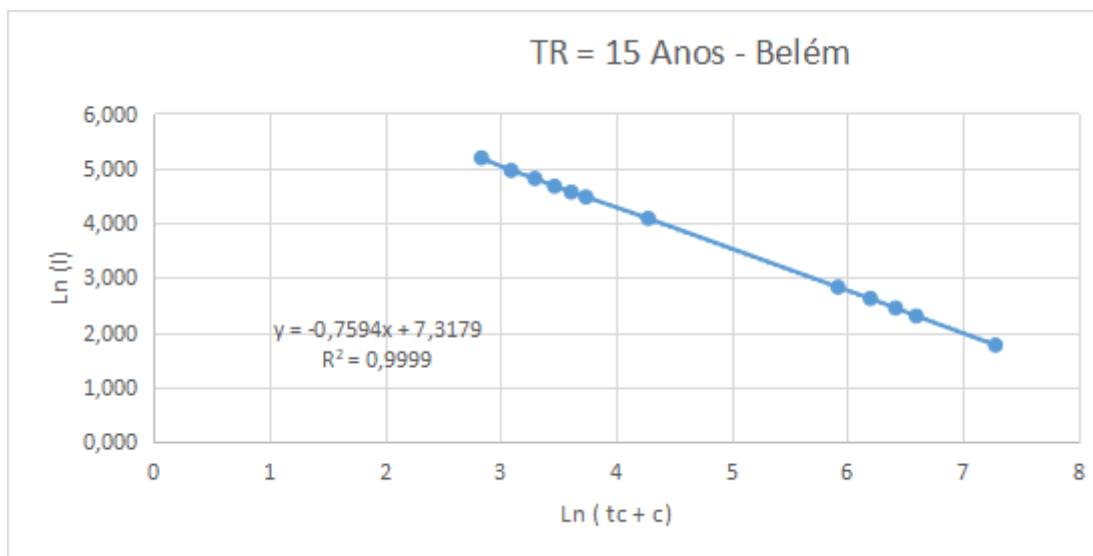
Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 7 – Gráfico da relação entre $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para TR = 10 anos da estação de Belém



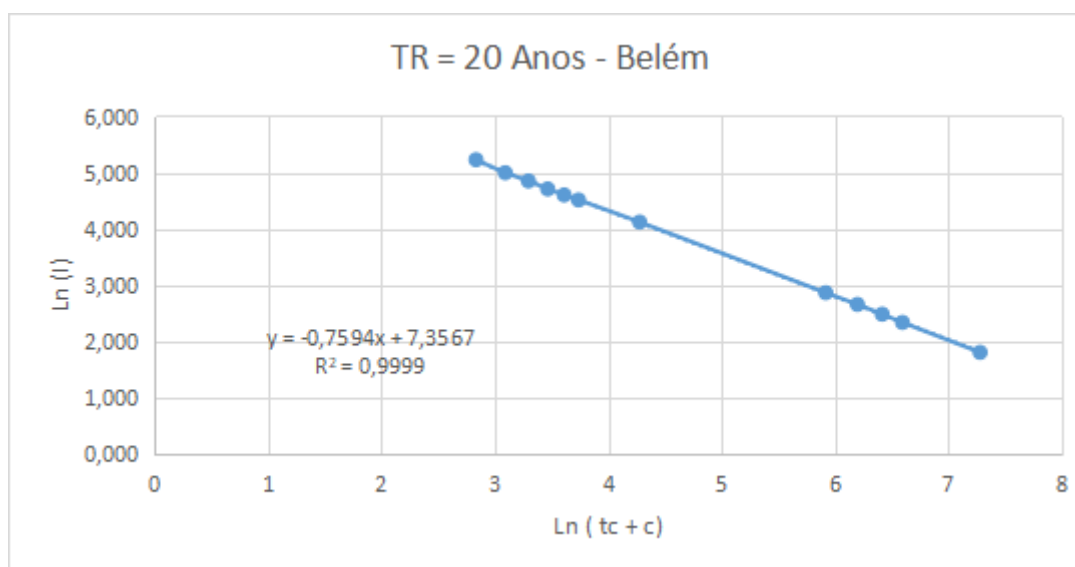
Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 8 – Gráfico da relação entre $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para TR = 15 anos da estação de Belém



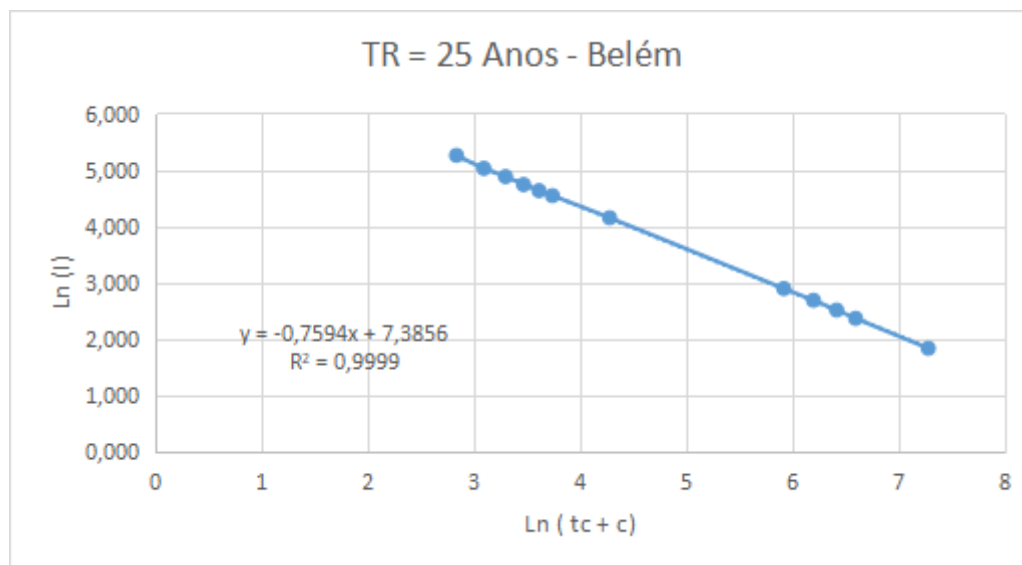
Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 9 – Gráfico da relação entre $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para TR = 20 anos da estação de Belém



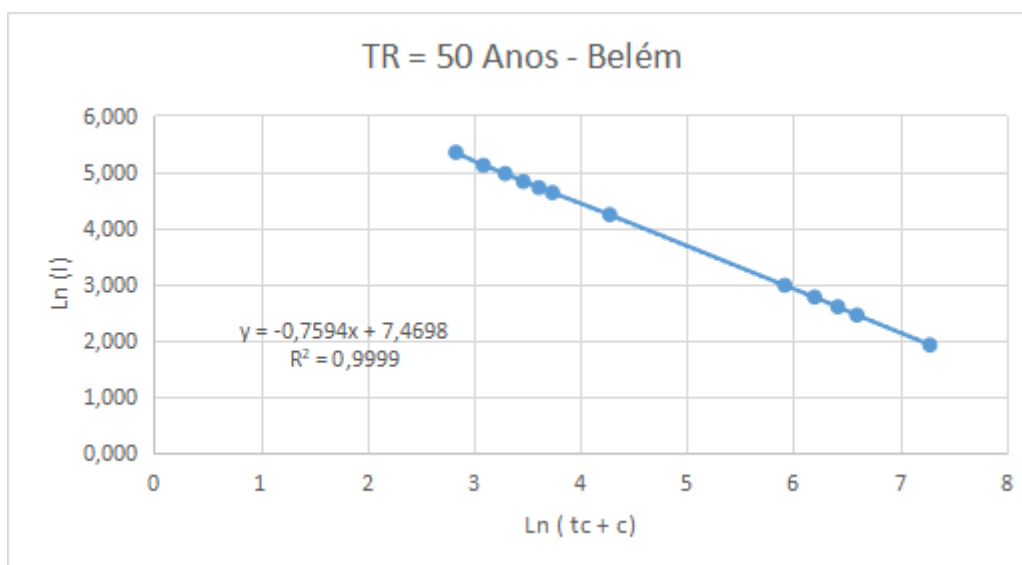
Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 10 – Gráfico da relação entre $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para TR = 25 anos da estação de Belém



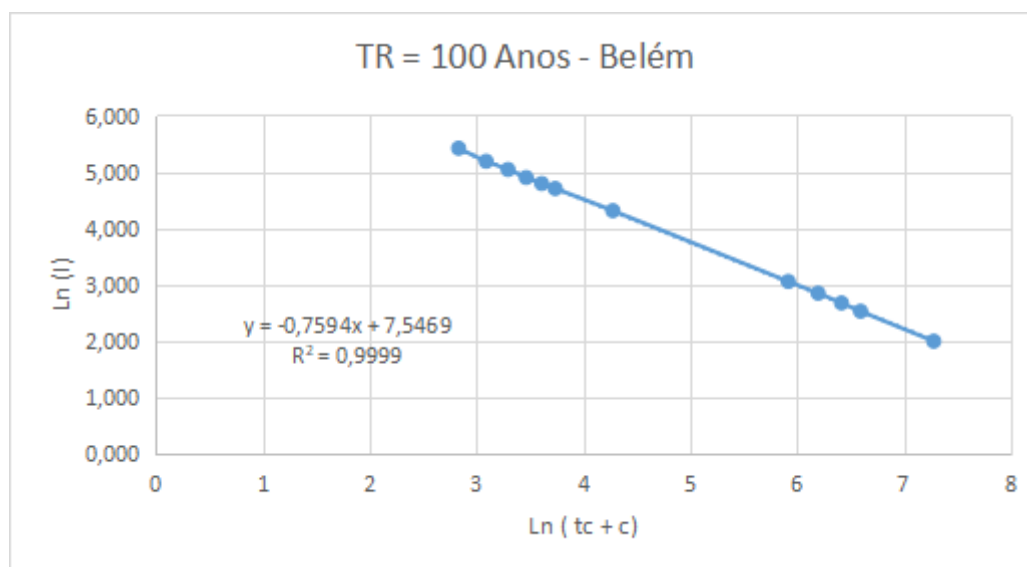
Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 11 – Gráfico da relação entre $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para TR = 50 anos da estação de Belém



Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 12 – Gráfico da relação entre $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para TR = 100 anos da estação de Belém



Fonte: Autoria própria (2023)

Conseqüentemente, o valor de "c" foi determinado como sendo 12, e os resultados foram detalhadamente apresentados, incluindo os pontos utilizados na desagregação de chuva, nas tabelas 16, 17, 18, 19, 20, 21 e 22.

Tabela 16 – Obtenção de $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para TR = 5 anos da estação de Belém

P (mm)	tc (min)	tc (h)	I (mm/h)	$\ln(I)$	$\ln(tc+c)$
119,22	1440	24,00	4,97	1,60	7,28
101,34	720	12,00	8,44	2,13	6,60
97,76	600	10,00	9,78	2,28	6,42
92,99	480	8,00	11,62	2,45	6,20
85,84	360	6,00	14,31	2,66	5,92
50,07	60	1,00	50,07	3,91	4,28
37,05	30	0,50	74,11	4,31	3,74
33,72	25	0,42	80,92	4,39	3,61
30,01	20	0,33	90,04	4,50	3,47
25,94	15	0,25	103,75	4,64	3,30
20,01	10	0,17	120,05	4,79	3,09
12,60	5	0,08	151,18	5,02	2,83

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 17 – Obtenção de $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para TR = 10 anos da estação de Belém

P (mm)	tc (min)	tc (h)	I (mm/h)	Ln (I)	Ln (tc +c)
133,39	1440	24,00	5,56	1,72	7,28
113,38	720	12,00	9,45	2,25	6,60
109,38	600	10,00	10,94	2,39	6,42
104,05	480	8,00	13,01	2,57	6,20
96,04	360	6,00	16,01	2,77	5,92
56,03	60	1,00	56,03	4,03	4,28
41,46	30	0,50	82,92	4,42	3,74
37,73	25	0,42	90,55	4,51	3,61
33,58	20	0,33	100,74	4,61	3,47
29,02	15	0,25	116,08	4,75	3,30
22,39	10	0,17	134,33	4,90	3,09
14,10	5	0,08	169,15	5,13	2,83

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 18 – Obtenção de $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para TR = 15 anos da estação de Belém

P (mm)	tc (min)	tc (h)	I (mm/h)	Ln (I)	Ln (tc +c)
141,39	1440	24,00	5,89	1,77	7,28
120,18	720	12,00	10,02	2,30	6,60
115,94	600	10,00	11,59	2,45	6,42
110,28	480	8,00	13,79	2,62	6,20
101,80	360	6,00	16,97	2,83	5,92
59,38	60	1,00	59,38	4,08	4,28
43,94	30	0,50	87,89	4,48	3,74
39,99	25	0,42	95,97	4,56	3,61
35,59	20	0,33	106,78	4,67	3,47
30,76	15	0,25	123,04	4,81	3,30
23,73	10	0,17	142,38	4,96	3,09
14,94	5	0,08	179,29	5,19	2,83

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 19 – Obtenção de $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para TR = 20 anos da estação de Belém

P (mm)	tc (min)	tc (h)	I (mm/h)	Ln (I)	Ln (tc +c)
146,99	1440	24,00	6,12	1,81	7,28
124,94	720	12,00	10,41	2,34	6,60
120,53	600	10,00	12,05	2,49	6,42
114,65	480	8,00	14,33	2,66	6,20
105,83	360	6,00	17,64	2,87	5,92
61,74	60	1,00	61,74	4,12	4,28
45,68	30	0,50	91,37	4,51	3,74
41,57	25	0,42	99,77	4,60	3,61
37,00	20	0,33	111,01	4,71	3,47
31,98	15	0,25	127,92	4,85	3,30
24,67	10	0,17	148,02	5,00	3,09
15,53	5	0,08	186,39	5,23	2,83

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 20 – Obtenção de $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para TR = 25 anos da estação de Belém

P (mm)	tc (min)	tc (h)	I (mm/h)	Ln (I)	Ln (tc +c)
151,30	1440	24,00	6,30	1,84	7,28
128,61	720	12,00	10,72	2,37	6,60
124,07	600	10,00	12,41	2,52	6,42
118,02	480	8,00	14,75	2,69	6,20
108,94	360	6,00	18,16	2,90	5,92
63,55	60	1,00	63,55	4,15	4,28
47,02	30	0,50	94,05	4,54	3,74
42,79	25	0,42	102,70	4,63	3,61
38,09	20	0,33	114,27	4,74	3,47
32,92	15	0,25	131,67	4,88	3,30
25,39	10	0,17	152,36	5,03	3,09
15,99	5	0,08	191,86	5,26	2,83

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 21 – Obtenção de $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para TR = 50 anos da estação de Belém

P (mm)	tc (min)	tc (h)	I (mm/h)	Ln (I)	Ln (tc +c)
164,59	1440	24,00	6,86	1,93	7,28
139,90	720	12,00	11,66	2,46	6,60
134,96	600	10,00	13,50	2,60	6,42
128,38	480	8,00	16,05	2,78	6,20
118,50	360	6,00	19,75	2,98	5,92
69,13	60	1,00	69,13	4,24	4,28
51,15	30	0,50	102,31	4,63	3,74
46,55	25	0,42	111,72	4,72	3,61
41,43	20	0,33	124,30	4,82	3,47
35,81	15	0,25	143,23	4,96	3,30
27,62	10	0,17	165,74	5,11	3,09
17,39	5	0,08	208,71	5,34	2,83

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 22 – Obtenção de $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para TR = 100 anos da estação de Belém

P (mm)	tc (min)	tc (h)	I (mm/h)	Ln (I)	Ln (tc +c)
177,78	1440	24,00	7,41	2,00	7,28
151,11	720	12,00	12,59	2,53	6,60
145,78	600	10,00	14,58	2,68	6,42
138,67	480	8,00	17,33	2,85	6,20
128,00	360	6,00	21,33	3,06	5,92
74,67	60	1,00	74,67	4,31	4,28
55,25	30	0,50	110,51	4,71	3,74
50,28	25	0,42	120,67	4,79	3,61
44,75	20	0,33	134,26	4,90	3,47
38,68	15	0,25	154,71	5,04	3,30
29,84	10	0,17	179,02	5,19	3,09
18,79	5	0,08	225,43	5,42	2,83

Fonte: Autoria própria (2023)

Dado que cada equação da reta apresenta valores iguais para a constante das regressões (conforme Tabela 23), definiu-se o parâmetro "d" como essa constante, resultando em um valor de 0,7594. Adicionalmente, foram extraídos os

valores de $\ln(Z)$, que corresponde à constante que não acompanha a variável "x", e $\ln(TR)$, que é o logaritmo natural para cada tempo de retorno, conforme apresentado na Tabela 23.

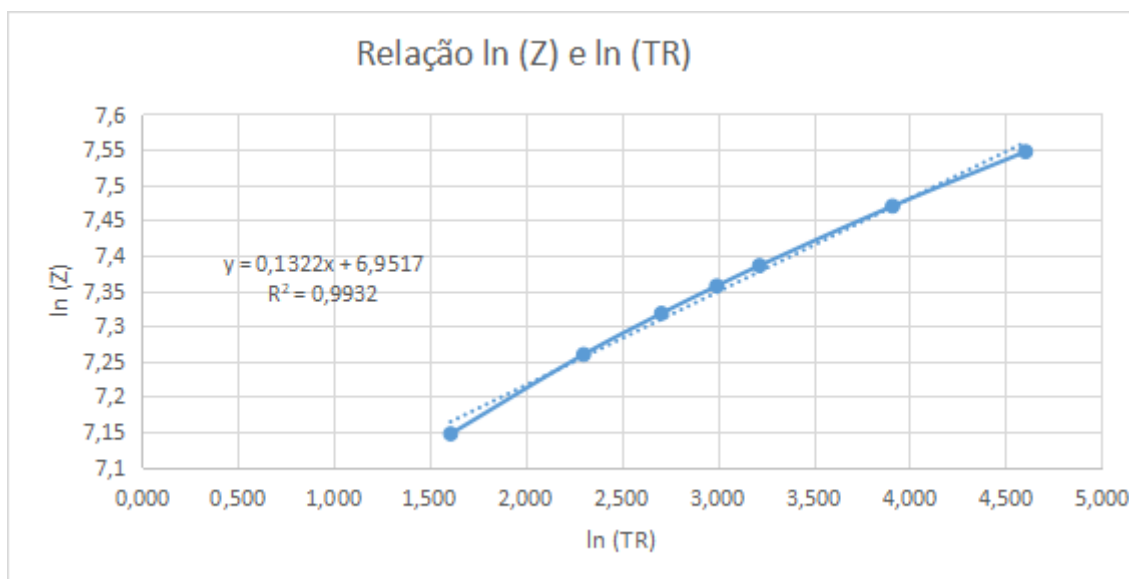
Tabela 23 – Equações da reta e valores (d), $\ln(Z)$ e $\ln(TR)$ extraídos das Figuras 6 a 12, para Belém

Equações	R ²	TR (anos)	d	Ln (Z)	Ln (TR)
$y = -0,7594x + 7,1473$	0,9999	5	0,7594	7,1473	1,609
$y = -0,7594x + 7,2597$	0,9999	10	0,7594	7,2597	2,303
$y = -0,7594x + 7,3179$	0,9999	15	0,7594	7,3179	2,708
$y = -0,7594x + 7,3567$	0,9999	20	0,7594	7,3567	2,996
$y = -0,7594x + 7,3856$	0,9999	25	0,7594	7,3856	3,219
$y = -0,7594x + 7,4698$	0,9999	50	0,7594	7,4698	3,912
$y = -0,7594x + 7,5469$	0,9999	100	0,7594	7,5469	4,605

Fonte: Autoria própria (2023)

Os coeficientes (a) e (b) na equação de chuvas intensas foram obtidos por meio da correlação entre $\ln(Z)$ e $\ln(TR)$. Os dados correspondentes a esses valores estão detalhados na Tabela 23 e foram representados graficamente, gerando a Figura 13.

Figura 13 – Gráfico da relação entre $\ln(Z)$ e $\ln(TR)$ para a estação de Belém



Fonte: Autoria própria (2023)

A partir da equação linear derivada do gráfico da Figura 13, foram determinados os valores de $\ln(a)$, bem como os parâmetros (a) e (b), como evidenciado na Tabela 24. É importante salientar que "a" representa a operação inversa de $\ln(a)$, ou seja, $\exp(\ln(a))$.

Tabela 24 – Valores de $\ln(a)$ e parâmetros (a) e (b) extraídos da Figura 13, para a cidade de Belém

$\ln(a)$	a	b	R^2
6,9517	1044,924591	0,1322	0,9932

Fonte: Autoria própria (2023)

Dessa forma, após a obtenção de todos os parâmetros da equação de chuvas, a Equação 4 foi aplicada para expressar a formulação das chuvas intensas específicas para o município de Belém, como descrito a seguir:

$$i = \frac{a \times Tr^b}{(tc + c)^d} = \frac{1044,924591 \times Tr^{0,1322}}{(tc + 12)^{0,7594}}$$

É importante ressaltar que, ao determinar os parâmetros das equações de chuvas intensas para as demais cidades analisadas, adotou-se o mesmo procedimento detalhado para Belém. Os resultados desse processo estão documentados nas tabelas apresentadas no Apêndice G. As equações 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 e 24 contém a relação dos parâmetros das equações correspondentes aos 12 postos de coleta estudados.

Belém

$$i = \frac{a \times Tr^b}{(tc + c)^d} = \frac{1044,9246 \times TR^{0,1322}}{(tc + 12)^{0,759}} \quad (13)$$

Mosqueiro

$$i = \frac{a \times Tr^b}{(tc + c)^d} = \frac{1297,7665 \times TR^{0,1774}}{(tc + 12)^{0,759}} \quad (14)$$

Santa Izabel do Pará

$$i = \frac{a \times Tr^b}{(tc + c)^d} = \frac{925,3759 \times TR^{0,1096}}{(tc + 12)^{0,759}} \quad (15)$$

Castanhal

$$i = \frac{a \times Tr^b}{(tc + c)^d} = \frac{1100,9184 \times TR^{0,1096}}{(tc + 12)^{0,759}} \quad (16)$$

Primavera

$$i = \frac{a \times Tr^b}{(tc + c)^d} = \frac{1219,3827 \times TR^{0,0888}}{(tc + 12)^{0,759}} \quad (17)$$

Capanema

$$i = \frac{a \times Tr^b}{(tc + c)^d} = \frac{1187,4934 \times TR^{0,1529}}{(tc + 12)^{0,759}} \quad (18)$$

Santa Maria do Pará

$$i = \frac{a \times Tr^b}{(tc + c)^d} = \frac{862,8147 \times TR^{0,1524}}{(tc + 12)^{0,759}} \quad (19)$$

Santa Luzia do Pará

$$i = \frac{a \times Tr^b}{(tc + c)^d} = \frac{926,6723 \times TR^{0,1722}}{(tc + 12)^{0,759}} \quad (20)$$

Fazenda Urucure

$$i = \frac{a \times Tr^b}{(tc + c)^d} = \frac{1151,8216 \times TR^{0,1442}}{(tc + 12)^{0,759}} \quad (21)$$

Tomé-Açu

$$i = \frac{a \times Tr^b}{(tc + c)^d} = \frac{1167,4767 \times TR^{0,1149}}{(tc + 12)^{0,759}} \quad (22)$$

Acampamento Mendes Junior

$$i = \frac{a \times Tr^b}{(tc + c)^d} = \frac{1119,3462 \times TR^{0,1576}}{(tc + 12)^{0,759}} \quad (23)$$

PA-256 / Rio Acara-Mirim

$$i = \frac{a \times Tr^b}{(tc + c)^d} = \frac{1105,1098 \times TR^{0,1147}}{(tc + 12)^{0,759}} \quad (24)$$

4.5 Validação das equações de chuvas intensas

4.5.1 Validação por meio do Coeficiente de Eficiência (COE)

Portanto, uma vez estabelecidas as equações de chuvas intensas para os 12 pontos de coleta, procedeu-se à validação utilizando o Coeficiente de Eficiência (COE), conforme expresso na equação 10. Para tal, os Eventos Observados (Em) foram baseados nos dados de intensidade de chuva associados a cada tempo de retorno (5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos) e tempo de concentração (1440, 720, 600, 480, 360, 60, 30, 25, 20, 15, 10 e 5 minutos) para a cidade de Belém, conforme apresentado na Tabela 9, e no Apêndice D para os demais municípios.

A seguir, os Eventos Simulados (Es) foram calculados, representando os valores de intensidade de chuva obtidos a partir das equações específicas de cada município (equação 4), utilizando as constantes "a", "b", "c" e "d" indicadas nas equações 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 e 24. A comparação com os Eventos Observados (Em) na elaboração das relações IDF envolveu a utilização dos mesmos pares de pontos (TR, tc), ou seja, TR (5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos) e tc (1440, 720, 600, 480, 360, 60, 30, 25, 20, 15, 10 e 5 minutos).

Por último, a média dos eventos simulados foi calculada e a fórmula descrita na equação 10 foi aplicada. Os valores de Em, Es e \overline{Es} para a cidade de Belém, juntamente com o resultado do COE. Dessa forma, as equações foram validadas considerando cada período de retorno, correspondente ao período dos Eventos. As expressões a seguir delineiam o processo de cálculo para TR 5 anos de Belém na tabela 25, sendo que as demais linhas foram calculadas de maneira análoga e documentadas para as demais cidades na Tabela 26 e 27.

$$COE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Em - Es)^2}{\sum_{i=1}^n (Em - \overline{Es})^2}$$

$$Es = \frac{1044,924591 \times 5^{0,1322}}{(1440 + 12)^{0,7594}} = 5,132 \text{ mm/h .}$$

$$COE = 1 - \frac{[(4,97 - 5,132)^2 + (8,44 - 8,633)^2 + (9,78 - 9,891)^2 + (11,62 - 11,674)^2 + (14,31 - 14,435)^2 + (50,07 - 50,238)^2 + (74,11 - 75,647)^2 + (80,92 - 83,291)^2 + (90,04 - 92,999)^2 + (103,75 - 105,806)^2 + (120,05 - 123,610)^2 + (151,18 - 150,344)^2]}{[(4,97 - 60,975)^2 + (8,44 - 60,975)^2 + (9,78 - 60,975)^2 + (11,62 - 60,975)^2 + (14,31 - 60,975)^2 + (50,07 - 60,975)^2 + (74,11 - 60,975)^2 + (80,92 - 60,975)^2 + (90,04 - 60,975)^2 + (103,75 - 60,975)^2 + (120,05 - 60,975)^2 + (151,18 - 60,975)^2]}$$

$$COE = 1 - 0,0012 = 0,9988$$

Tabela 25 – Valores do COE para as cidades do grupo 1

TR	Valores de COE por município			
	Belém	Mosqueiro	Santa Izabel do Pará	Castanhal
5	0,9988	0,9974	0,9991	0,9974
10	0,9993	0,9992	0,9994	0,9993
15	0,9992	0,9992	0,9993	0,9992
20	0,9991	0,9992	0,9992	0,9992
25	0,9991	0,9988	0,9993	0,9993
50	0,9994	0,9994	0,9994	0,9990
100	0,9990	0,9982	0,9992	0,9942
Média	0,9991	0,9988	0,9993	0,9982

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 26 – Valores do COE para as cidades do grupo 2

TR	Valores de COE por município			
	Primavera	Capanema	Santa Maria do Pará	Santa Luzia do Pará
5	0,9993	0,9983	0,9983	0,9976
10	0,9994	0,9993	0,9993	0,9993
15	0,9993	0,9990	0,9990	0,9988
20	0,9993	0,9989	0,9990	0,9987
25	0,9993	0,9990	0,9990	0,9988
50	0,9994	0,9994	0,9994	0,9990
100	0,9990	0,9982	0,9992	0,9942
Média	0,9991	0,9988	0,9993	0,9982

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 27 – Valores do COE para as cidades do grup 3

TR	Valores de COE por município			
	Fazenda Urucure	Tomé-Açu	Acampamento Mendes Junior	PA-256 / Rio Acara-Mirim
5	0,9985	0,9990	0,9981	0,9990
10	0,9993	0,9994	0,9993	0,9994
15	0,9991	0,9992	0,9990	0,9992
20	0,9990	0,9992	0,9989	0,9992
25	0,9991	0,9992	0,9990	0,9992
50	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994
100	0,9989	0,9992	0,9987	0,9992
Média	0,9990	0,9992	0,9989	0,9992

Fonte: Autoria própria (2023)

Ao examinar os resultados do Coeficiente de Eficiência, observou-se que os desempenhos mais favoráveis foram alcançados para os Tempos de Retorno de 50 anos, enquanto os Tempos de Retorno de 5 e 100 anos apresentaram coeficientes inferiores. Destaca-se que a média dos valores variaram entre 0,9993 e 0,9982,

onde apenas foram diferir uns dos outros na 3 casa decimal, demonstrando a coesão dos resultados.

Em resumo, os valores obtidos estão consideravelmente acima de 0,75, garantindo o bom desempenho das equações e validando sua aplicabilidade, conforme indicado na Tabela 3. Essas equações podem ser empregadas com confiança na determinação de precipitações máximas para diversas finalidades, incluindo o dimensionamento de estruturas de drenagem urbana e rodoviária, atividades agrícolas e projetos relacionados à energia.

4.5.2 Validação por meio do Valor-P

Assim, com o fator COE estabelecido, o *P-Value* foi empregado para avaliar a qualidade das correlações. Inicialmente, a análise foi focada nas relações entre os parâmetros $\ln(i)$ e $\ln(tc + c)$, apresentados nas Tabelas 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22 e 23. Utilizou-se a ferramenta EXCEL para calcular esse valor, e esse procedimento foi aplicado aos 11 postos de coleta além de Belém de maneira análoga.

Ao analisar os resultados do valor P (*P-value*) compreendidos no Apêndice H, os valores obtidos estão consideravelmente abaixo de 0,05 ou 5%, o que assegura uma correlação significativa entre os fatores analisados e valida sua aplicabilidade, conforme indicado no Item 2.2.5.

4.6 Geração da equação de chuva sintética

As equações sintéticas geradas pelo método de interpolação do inverso de uma potência da distância permitiram a utilização de 5 diferentes expoentes, sendo eles 1(ID1), 2 (ID2), 3 (ID3), 4 (ID4) e 5 (ID5), resultando em 5 valores para cada parâmetro interpolado, nesse caso (a) e (b) como elucidado na Tabela 28.

Tabela 28 – Parâmetros determinados pelo método de interpolação do inverso de uma potência da distância para equação sintética de Santa Izabel do Pará

Expoentes	a	b
ID1	1143,116	0,169
ID2	1138,215	0,171
ID3	1133,316	0,173
ID4	1128,574	0,175
ID5	1124,130	0,177

Fonte: Autoria própria (2023)

Com esses resultados realizou-se 25 combinações possíveis, constatando-se que para o parâmetro “a” os melhores resultados vieram do inverso da quinta potência da distância (ID5) e para o “b” aplicando-se o inverso da distância (ID1). A seguir tem-se as equações G_i , para a estação de Santa Izabel do Pará, geradas pela combinação ID5-ID1 para o parâmetro a e b, respectivamente.

$$G_i(a) = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i/d_i^m)}{\sum_{i=1}^n (1/d_i^m)} = \frac{\left(\frac{1044,924}{(33,4)^5}\right) + \left(\frac{1297,766}{(25,8)^5}\right) + \left(\frac{1100,918}{(33,8)^5}\right)}{\left(\frac{1}{(33,4)^5}\right) + \left(\frac{1}{(25,8)^5}\right) + \left(\frac{1}{(33,8)^5}\right)} = 1124,129$$

$$G_i(b) = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i/d_i^m)}{\sum_{i=1}^n (1/d_i^m)} = \frac{\left(\frac{0,132}{(33,4)}\right) + \left(\frac{0,189}{(25,8)}\right) + \left(\frac{0,177}{(33,8)}\right)}{\left(\frac{1}{(33,4)}\right) + \left(\frac{1}{(25,8)}\right) + \left(\frac{1}{(33,8)}\right)} = 0,169$$

Por conseguinte com os parâmetros (a), (b), (c) e (d) definidos, é possível gerar uma equação de chuva sintética para a cidade de Santa Izabel do Pará.

$$i = \frac{a \times Tr^b}{(tc + c)^d} = \frac{1124,12 \times TR^{0,169}}{(12 + tc)^{0,759}}$$

Os demais parâmetros (a) e (b) para as cidades centrais de Capanema e Tomé-Açú estão elucidados no Apêndice I. A seguir tem-se as equações sintéticas de chuva de Capanema e Tomé-Açú, respectivamente.

$$i = \frac{a \times Tr^b}{(tc + c)^d} = \frac{1174,07 \times TR^{0,131}}{(tc+12)^{0,759}}$$

$$i = \frac{a \times Tr^b}{(tc + c)^d} = \frac{1121,39 \times TR^{0,140}}{(tc+12)^{0,759}}$$

4.7 Avaliação da qualidade da equação de chuva sintética

Definidas as equações sintéticas de chuvas, partiu-se para análise da qualidade das equações por meio da porcentagem de erro encontrada entre equações de intensidades reais e sintéticas como discorrido no item 2.3.1. A seguir mostra-se ambas equações de Santa Izabel do Pará.

Equação real

Equação sintética

$$i(r) = \frac{925,38 \times TR^{0,1096}}{(tc + 12)^{0,7594}}$$

$$i(s) = \frac{1124,12 \times TR^{0,169}}{(12 + tc)^{0,759}}$$

Posteriormente, aplicando-se diferentes tempos de retorno e concentração para dispositivos de drenagem superficial, subsuperficial e talvegues de transposição, encontrou-se as intensidades reais e sintéticas. Que, subsequentemente foram inseridas na equação E_p de erro percentual. A seguir tem-se o erro calculado para cidade de Santa Izabel do Pará, com $TR = 10$ anos e $tc = 5$ minutos, drenagem superficial.

$$E_p = \frac{100 \times (ir - is)}{ir} = \frac{100 \times (102,73 - 142,946)}{102,73} = - 39,143\%$$

Os demais erros percentuais calculados para as cidades de Santa Izabel do Pará, Capanema e Tomé-Açú, nos diferentes tempos de retorno e concentração, estão documentados nas Tabelas 29, 30 e 31.

Tabela 29 – Erros percentuais entre os valores de intensidade real versus sintéticas para cidade de Santa Izabel do Pará

Dispositivo de drenagem	TR (anos)	tc (minutos)	intensidade real (mm/h)	intensidade sintética (mm/h)	EP (%)
Superficial	10	5	102,73	142,87	-39,06
Subsuperficial	1	60	13,90	16,88	-21,47
Transposição de talvegues	25	10	79,36	116,51	-46,81

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 30 – Erros percentuais entre os valores de intensidade real versus sintéticas para cidade Capanema

Dispositivo de drenagem	TR (anos)	tc (minutos)	intensidade real (mm/h)	intensidade sintética (mm/h)	EP (%)
Superficial	10	5	145,66	121,94	16,28
Subsuperficial	1	60	17,83	15,70	11,95
Transposição de talvegues	25	10	117,07	96,10	17,91

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 31 – Erros percentuais entre os valores de intensidade real versus sintéticas para cidade Tomé-Açú

Dispositivo de drenagem	TR (anos)	tc (minutos)	intensidade real (mm/h)	intensidade sintética (mm/h)	EP (%)
Superficial	10	5	131,20	133,63	-1,85
Subsuperficial	1	60	17,53	16,84	3,96
Transposição de talvegues	25	10	101,85	106,22	-4,30

Fonte: Autoria própria (2023)

A partir dos resultados obtidos conclui-se que apesar de a maioria dos erros terem estimativas que majoram o valor das intensidades reais de chuvas em duas cidades, Santa Izabel do Pará e Tomé-Açú, resultado este, que está a favor da segurança, há também erros que estimam intensidades menores do que as previstas nos valores reais, como é o caso de Capanema. Em vista dessas

variações dos erros percentuais, têm-se que o método de transferência de equações de chuvas apesar de eficaz, deve ser utilizado com algumas ressalvas. Neste caso, a partir dos dados obtidos, calculou-se a média dos erros positivos para as cidades centrais, resultando em 13% e o desvio padrão 5%, culminado em um fator de segurança de 13% a 18%.

4.8 Considerações Finais

Diante do exposto, evidencia-se a imprescindibilidade do método de transferência de equação de chuva, uma vez que sem ele seria inviável a estimação da precipitação em locais desprovidos de postos de coleta. Entretanto, a imprevisibilidade das chuvas, que podem variar significativamente mesmo entre cidades próximas, constitui um desafio inerente, resultando em dificuldades para alcançar níveis reduzidos de erro. Não obstante os desafios, este estudo ainda se revela aplicável para projetos de drenagem, pois representa um meio viável de estipulação da chuva. Recomenda-se, contudo, a adoção de um coeficiente de segurança na faixa de 13% a 18%, a fim de mitigar os impactos de eventuais imprecisões.

É notável que uma das principais limitações encontradas neste estudo foi a ausência de dados confiáveis das séries históricas, resultado da falha da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico em disponibilizar informações pluviométricas recentes. A interrupção do acesso ao portal por um período superior a 60 dias, de Setembro a Novembro de 2023, não apenas prejudicou a obtenção de dados para este trabalho, mas também impactou profissionais e pesquisadores que dependem dessas informações. A falta de atualização das medições de chuvas no portal da agência dificultou a análise de dados mais recentes, limitando a obtenção de equações de chuvas mais precisas. No contexto deste estudo, foi possível analisar dados consolidados apenas até 2006, o que comprometeu uma análise mais aprofundada das chuvas mais recentes.

A análise realizada permite considerar a transferência de equações de chuva, o que pode ser altamente benéfico em diversos projetos e obras de drenagem. Em muitas localidades, a obtenção de dados pluviométricos é limitada devido à escassez desses dados, à presença de bancos de dados reduzidos ou lacunas nas séries históricas. Em casos nos quais há dados disponíveis, a falta de consistência

nesses registros também pode ser um desafio, reduzindo a confiabilidade e aceitação dos mesmos.

É importante destacar que a aplicação do método proposto foi conduzida considerando as especificidades bioclimáticas do Pará. Embora os métodos empregados possam ser facilmente adaptados para outras regiões, a transposição dos resultados e conclusões apresentados neste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) para localidades distintas pode resultar em consideráveis variações. Essas discrepâncias são especialmente significativas em áreas menos propensas a precipitações, divergindo das condições predominantes nas regiões amazônicas, onde este estudo foi realizado.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho abordou a relevância das equações de chuvas intensas, destacando sua importância em diversas atividades, como agricultura, geração de energia elétrica e projetos hidráulicos, incluindo vertedouros de barragens e sistemas de drenagem urbana e rodoviária. O objetivo principal foi desenvolver um modelo de interpolação confiável que engloba um número reduzido de postos de coleta, empregando a distribuição de probabilidade de Gumbel e o método de desagregação de chuvas do DAEE/CETESB (1980).

Ao longo do trabalho, foram geradas relações IDF para cada local estudado, utilizando análises das séries históricas disponíveis no Portal HIDROWEB. Adicionalmente, realizou-se uma comparação entre os resultados obtidos pela equação interpolada e uma equação real. Por fim, foram calculadas as chuvas de projeto para dispositivos de drenagem em rodovias.

Frente aos resultados alcançados, é relevante destacar que:

- Os meses mais chuvosos em todas as cidades foram março e abril, enquanto os meses com menor índice pluviométrico se concentraram em agosto, setembro, outubro e novembro, variando conforme a localização geográfica de cada cidade. De maneira geral, as cidades situadas mais distantes do oceano enfrentam estiagem crítica em agosto e setembro, enquanto as localizadas mais próximas ao oceano têm outubro e novembro como o mês mais seco;
- Foram geradas relações de intensidade, duração e frequência para cada estado, utilizando o método de distribuição de probabilidade de Gumbel e o método de desagregação de chuvas do DAEE/CETESB (1980). Em termos gerais, observou-se que os resultados mantiveram uma coerência, refletindo consistência nos valores obtidos;
- Foram derivadas as 12 equações de chuvas intensas a partir das relações IDF, utilizando o método de linearização proposto por Villela (1975). Nesses cálculos, o coeficiente "a" demonstrou uma variação moderada, transitando de 862,8147 a 1297,7665, em contrapartida, o coeficiente "b" apresentou oscilações mais expressivas, abrangendo valores que variaram de 0,0888 a 0,1899. Enquanto o parâmetro "c" foi fixado em 12 e o parâmetro "d" consolidou-se em 0,7594;

- A validação das equações utilizando o Coeficiente de Eficiência de Nash e Sutcliffe (COE) revelou um desempenho consistente, com todos os COEs sempre superiores a 0,90. Além disso, foi observado que o tempo de retorno que gerou o maior coeficiente foi de 10 anos, enquanto o menor foi para um período de 50 anos;
- Todos os valores gráficos apresentaram excelente correlação, refletindo em valores de *p-value* que não se aproximaram sequer do limite máximo de 5%;
- Os postos de coleta que registraram as maiores precipitações foram Mosqueiro, que está em consonância com sua localização mais ao norte e próxima ao litoral. Por outro lado, os que apresentaram as menores precipitações foram Santa Izabel do Pará, Santa Maria do Pará e Santa Luzia do Pará;
- Observou-se que, pelo método atual de interpolação, com a desagregação de chuva não levando em consideração o tipo de clima e mantendo a mesma quantidade de anos coletados para todas as cidades, os pontos "c" e "d" não sofreram alterações. Isso facilitou nas combinações que serão feitas dos parâmetro, pois só seria necessário interpolar "a" e "b";
- No que diz respeito aos parâmetros para o dispositivo de drenagem subsuperficial, este foi o que apresentou os melhores valores de interpolação, variando seu erro de -21,47 a 11,95, parâmetros aceitáveis com a proposta do trabalho.
- Para os equívocos associados às magnitudes com períodos de recorrência de 25 anos e tempo de concentração de 10 minutos, é crucial atentar para as discrepâncias mais significativas. Tanto na subestimação quanto na superestimação, com erro variando de -46,81 a 17,91.
- Com períodos de recorrência de 10 anos e tempo de concentração de 5 minutos, nota-se que houve uma grande discrepância entre seus valores, variando seu erro de -39,06 a 16,28, promovendo uma certa incerteza perante esse dispositivo de drenagem;
- Nesse contexto, é possível afirmar que a transferência de uma equação de chuva se mostra viável ao utilizar apenas três postos de coleta adjacentes, desde que esses atendam aos pré-requisitos estabelecidos neste trabalho.

Em resumo, o presente trabalho abordou a análise de parâmetros suscetíveis a grandes variações, destacando notadamente sua orientação predominante para o

aumento da precipitação, resultando em infraestruturas superdimensionadas. Contudo, ressalta-se que essa abordagem visa primordialmente assegurar a robustez e segurança das estruturas. Recomenda-se, portanto, a implementação de um coeficiente de segurança como medida mitigatória. Ao empregar esse método, verifica-se que o erro de subestimação oscila entre 3,96% e 17,91%, justificando a sugestão de um fator de segurança situado na faixa de 13% a 18%. É essencial notar que o estudo foi conduzido em uma amostra composta por apenas 12 postos de coleta pluviométrica. Essa limitação decorreu de restrições temporais e da escassez de dados recentes, uma vez que o Portal HIDROWEB disponibilizou informações consolidadas com datas ainda não atualizadas.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

É importante que sejam conduzidos estudos adicionais e pesquisas complementares. Sugere-se a atualização das equações para um maior número de municípios no estado. Além disso, seria interessante explorar diferentes abordagens, seja utilizando diversos softwares para a geração das equações, seja empregando métodos alternativos para o cálculo de distribuição de probabilidade e desagregação de chuvas. Além disso, seria enriquecedor explorar diferentes métodos de interpolação entre os novos parâmetros de chuva encontrados, considerando distâncias mais amplas do que as propostas inicialmente ou até mesmo incorporando um maior número de postos de coleta.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Ministério do Desenvolvimento Regional. **Mudanças climáticas e recursos hídricos**. c2021.

Disponível em:

<https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/panoramadas-aguas/mudancas-climaticas-recursos-hidricos>. Acesso em: 25 nov. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **HidroWeb**:

Sistemas de informações hidrológicas. Disponível em:

<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>.

AGÊNCIA MINAS. **DER-MG atua em rompimento de ponte causado por fortes chuvas na Zona da Mata**. [S. l.], 12 jan. 2021. Disponível em:

<http://www.agenciaminas.mg.gov.br/noticia/der-mg-atua-em-rompimento-de-ponteca-usado-por-fortes-chuvas-na-zona-da-mata>. Acesso em: 30 nov. 2023.

ASSAD, M.L.L.; ASSAD, E.D. & EVANGELHISTA, B.A. **Chuvas extremas na região dos cerrados**. In: ASSAD, C.D., coord. Chuva no cerrado: análise e espacialização. Brasília, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1994. p.49-54.

BACK, A. J. et al. Análise de chuvas intensas para projetos de drenagem. **Revista Técnico-Científica de Engenharia Civil**, Santa Catarina, v. 2, n. 1, p. 14-18, 2019.

DOI: 10.18616/civiltec.v2i1.5335. Disponível em:

<http://periodicos.unesc.net/engcivil/article/view/5335>. Acesso em: 15 set. 2023.

BACK, A. J. **Equação de chuvas para a região de Urussanga**, SC. Ver. Tecnol. Ambiente. Criciúma, v. 3, n. 2, p. 31-36, jul/dez. 1997

BATISTA, T. L.; ALVES, F. M.; TAVARES, P. R. L. **Utilização de dados pluviométricos para o desenvolvimento de equações IDF da região metropolitana de Fortaleza- CE**, Brasil. Revista DAE, Ceará, v. 66, n. 211, p 118-129, set. 2018. Disponível em:

http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_211_n_1718.pdf. Acesso em: 02 nov. 2023.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. (org). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2ed. Porto Alegre: Ed. da Universidade/UFRGS: ABRH, 2000. cap. 5, p.177 – 241.

CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F. Interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas com uso do inverso de potências da distância. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 501–504, dez. 2003.

COLL, L. **A estreita relação entre mudanças climáticas e o aumento de eventos extremos**. São Paulo, 2020. Disponível em: <https://www.unicamp.br/unicamp/index.php/ju/noticias/2020/02/27/estreita-relacao-entre-mudancas-climaticas-e-o-aumento-de-eventos-extremos>. Acesso em: 2 dez. 2023.

COTTA, H. H. A.; CORREA, W. de S. C.; ALBUQUERQUE, T. T. de A. **Aplicação da distribuição de Gumbel para valores extremos de precipitação no município de Vitória- ES**. Revista Brasileira de Climatologia, Curitiba, Ano 12, v. 19, p 203-2017, dez. 2016. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/39440/29391>. Acesso em: 03 nov. 2023.

CRUZ, J. da S. et al. **Equações de chuvas intensas com dados CPC Morphing Technique (CMORPH) para o município de Altamira - PA**. IRRIGA, [S. I.], v. 24, n. 1, p. 192–207, 2019. DOI: 10.15809/irriga.2019v24n1p192-207. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/3654>. Acesso em: 29 nov. 2023.

DAEE/ CETESB – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA; COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Drenagem urbana**: manual de projeto. 2° ed. corrigida. São Paulo: DAEE/ CETESB, 1980. 492 p.

DAEE/ USP – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA;
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Equações de chuvas intensas do estado de São Paulo**. São Paulo: DAEE/ USP, 1999. 141 p. Disponível em:
http://www.leb.esalq.usp.br/leb/disciplinas/Fernando/leb1440/Aula%203/DAEE_Eq_Chuvas_SP.pdf. Acesso em: 02 dez. 2023.

DIRKS, K.N.; HAY, J.E.; STOW, C.D. & HARRIS, D. Highresolution studies of rainfall on Norfolk Island Part II: **Interpolation of rainfall data**. J. Hydrol., 208:187-193, 1998

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2005. 133 p. IPR 715. Disponível em:
https://www.gov.br/dnit/ptbr/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-demaneuais/vigentes/715_manual_de_hidrologia_basica.pdf. Acesso em: 8 set. 2023.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Drenagem de Rodovias**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 333 p. IPR 724. Disponível em:
https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/724_manual_drenagem_rodovias.pdf. Acesso em: 8 set. 2023.

FENDRICH, Roberto. **Chuvas intensas para obras de drenagem no Estado do Paraná**. 1. ed. Curitiba- PR: Champagnat, 1998. 99 p.

GOMES, Ariel Ortiz. Modelagem Estatística da Precipitação: **estudo de caso bacia do Rio Taquarizinho/ MS**. 2011. 63 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2011. Disponível em:
<https://repositorio.ufms.br/bitstream/123456789/2185/1/Ariel%20Ortiz%20Gomes.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2023.

GOTWAY, C.A.; FERGUSON, R.B.; HERGERT, G.W. & PETERSON, T.A. **Comparison of Kriging and Inversedistance methods for mapping soil parameters**. Soil Sci. Soc. Am. J., 60:1237-1247, 1996.

MENDES, I. M. S.; RÊGO, P. M. M. **Determinação de equações de chuvas intensas para o estado do Pará com foco nas obras de drenagem rodoviária**. Belém - PA, 2021. Disponível em: https://bdm.ufpa.br:8443/jspui/bitstream/prefix/3628/1/TCC_DeterminacaoEquacoesChuvas.pdf. Acesso em: 13 set. 2023.

MELLO, C. R. et al. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 925–933, out. 2003.

MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA (Brasil). Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **DNIT alerta para rompimento de bueiros na BR- 82 155/PA**. [S. l.], 5 mar. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/central-deconteudos/noticias-alerta-de-servicos/dnit-alerta-para-rompimento-de-bueiros-na-br155-pa>. Acesso em: 15 set. 2023.

NASSIF, T. **Não se pode construir novas casas onde a gente sabe que vai dar enchente**, diz Lula em visita ao MA. São Paulo, 2023. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/nao-se-pode-construir-novas-casas-onde-a-gente-sabe-que-vai-dar-enchente-diz-lula-em-visita-ao-ma/>. Acesso em: 3 nov. 2023.

OLIVEIRA, L. F. C. et al. Métodos de estimativa de precipitação máxima para o Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 6, p. 620-625, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/Y6w5P8JL9RShqcwNcXDyqrG/?format=pdf&>. Acesso em: 10 set. 2021.

OLIVEIRA, R. S. **Determinação da equação de chuvas intensas para o município de Toledo / PR**. Toledo - PR, 2017. Disponível em:

<https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/15676/1/determinacaoequacaochuvasintensas.pdf>. Acesso em: 02 out. 2023.

PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. (org). **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2003.

PFAFSTETTER, Otto. Chuvas Intensas no Brasil, **Departamento Nacional de Obras de Saneamento**, Ministério do Interior, Rio de Janeiro, 1957. 426 p.

PINTO, F. A. Chuvas intensas no estado de Minas Gerais: **análises e modelos**. Viçosa: UFV, 1995. 87p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Viçosa, 1995.

PINTO, F.R.L. Equações de intensidade-duração-freqüência da precipitação para os estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo: **estimativa e espacialização**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 70p.

Pruski, F.F.; Calijuri, M.L.; Bhering, E.M.; Silva, J.M.A. **Metodologia baseada no uso de sistemas de informações geográficas para obtenção de equações de chuvas intensas em qualquer localidade do Estado do Paraná**. Revista Engenharia na Agricultura, Viçosa, v.5, n.3, p.254-265, 1997.

QUADROS, L. E. DE; QUEIROZ, M. M. F. DE; BOAS, M. A. V. **Distribuição de frequência e temporal de chuvas intensas**. Acta Scientiarum. Agronomy, v. 33, n. 3, 22 jun. 2011.

SILVA, D.D.; VALVERDE, A.E.L.; PRUSKI, F.F. & GONÇALVES, R.A.B. **Estimativa e espacialização dos parâmetros da equação de intensidade-duração-freqüência da precipitação para o Estado de São Paulo**. R. Eng. Agric., 7:70-87, 1999.

SOUZA, R. O. R. de M. et al. **Equações de chuvas intensas para o Estado do Pará**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 16, n. 9, p. 999-1005, 2012. Disponível em:
<http://www.agriambi.com.br/revista/v16n09/v16n09a11.pdf>. Acesso em: 03 dez. 2023.

STIGLER, S. M. The history of statistics: **the measurement of uncertainty before 1900**. Cambridge: Belknap Press of Harvard University Press, 1986.

STUDART, T. M. C. Hidrologia: **Precipitação**. Universidade Federal do Ceará - UFC. Ceará, Cap. 5, p. 5.1-5.22. 2006. Apostila. Disponível em: https://aedmoodle.ufpa.br/pluginfile.php/320841/mod_folder/content/0/Livro%20Hidrogeologia.pdf?forcedownload=1. Acesso em: 5 ago. 2023.

TORRICO, J. J. T. **Práticas Hidrológicas**. Rio de Janeiro: Transcon, 1974. 120 p.

TUCCI, C. E. M., org. Hidrologia: **ciência e aplicação**. 2ed. Porto Alegre: Ed. Da Universidade/UFRGS: ABRH, 2000.

TUCCI, C. E. M. Programa de drenagem sustentável: **apoio ao desenvolvimento do manejo das águas pluviais urbanas – Versão 2.0**. Brasília: Ministério das Cidades, 2005.

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

VIEIRA, D. B.; LOMBARDI NETO, F.; SANTOS, R. P. Análise das intensidades de chuvas em Pindorama (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 18, n. 2, p. 255-260, maio/ago. 1994.

VIEIRA, S.R.; LOMBARDI NETO, F. & BURROWS, I.T. **Mapeamento da chuva diária máxima provável para o estado de São Paulo**. R. Bras. Ci. Solo, 15:93-98, 1991.

VOLTZ, M. & WEBSTER, R. A comparison of kriging, **cubic splines and classification for predicting soil properties from sample information**. J. Soil Sci., 41:473-490, 1990.

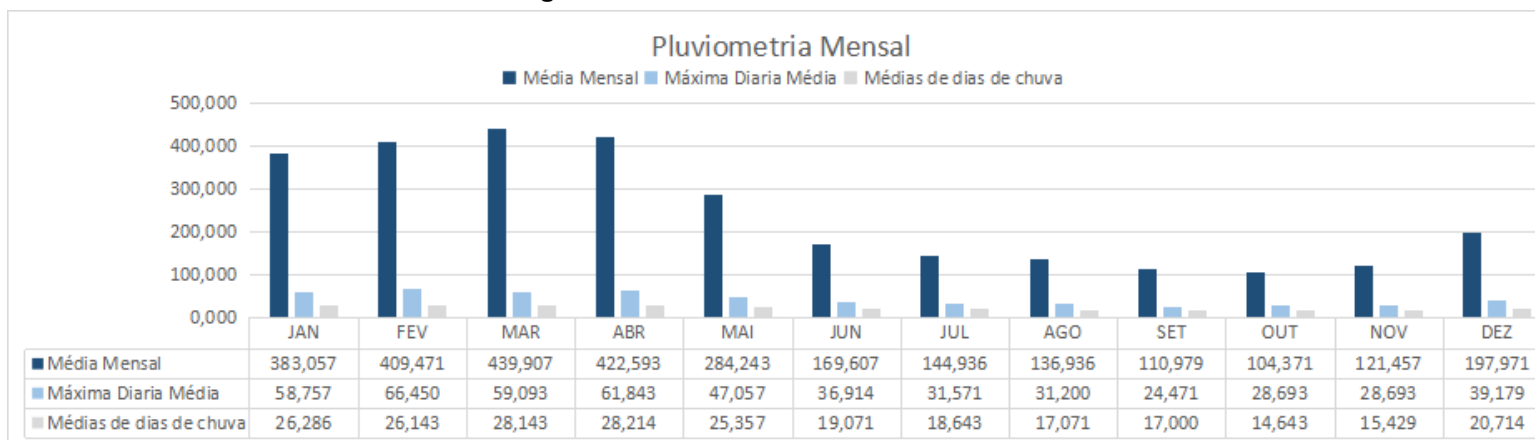
Wang, Q. J. **Approximate goodness-of-fit test of fitted generalized**

extreme value distribution using LH moments, Water Resources Research, Washington, v.34, n.12, p.3497-3502, 1998.

WILKEN, P. S. **Engenharia de drenagem superficial**. São Paulo: CETESB, 1978.

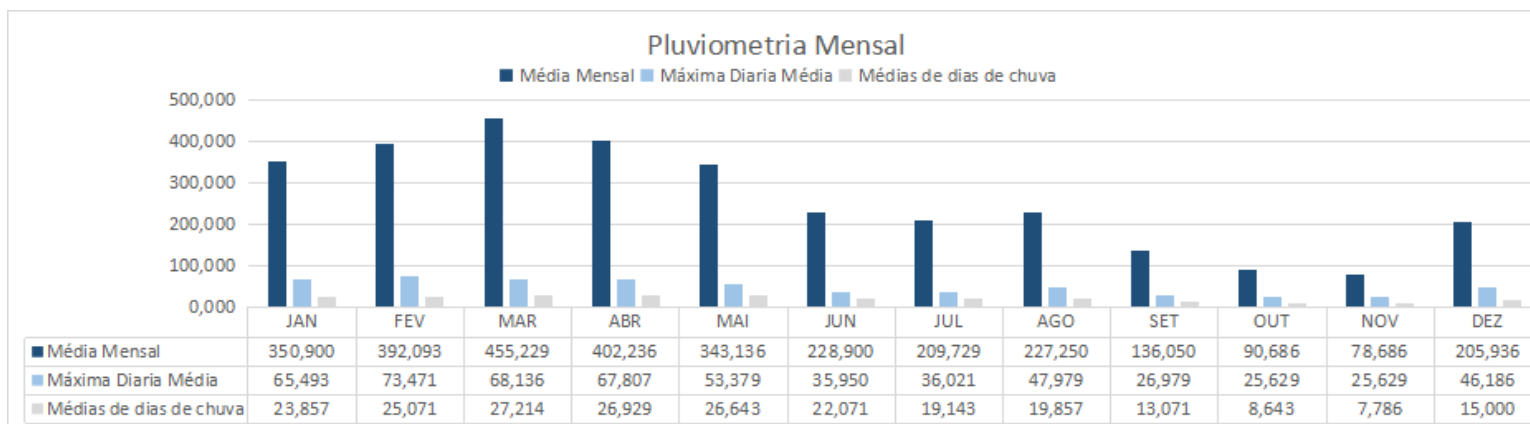
APÊNDICE A – PLUVIOGRAMAS DOS MUNICÍPIOS ESTUDADOS

Figura 14 – Pluviometria Mensal de Belém



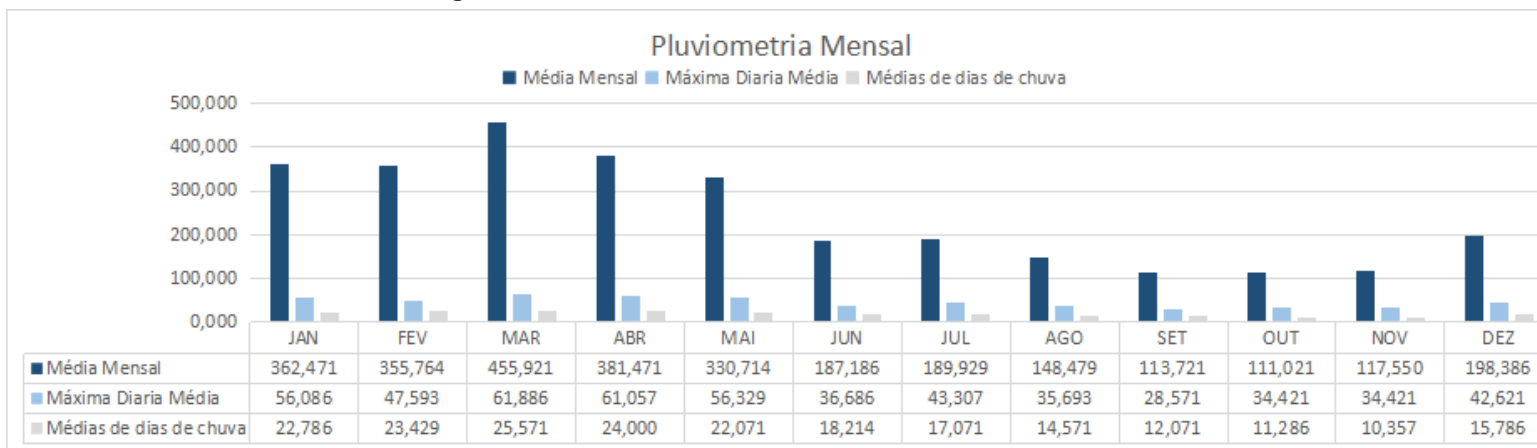
Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 15 – Pluviometria Mensal de Mosqueiro



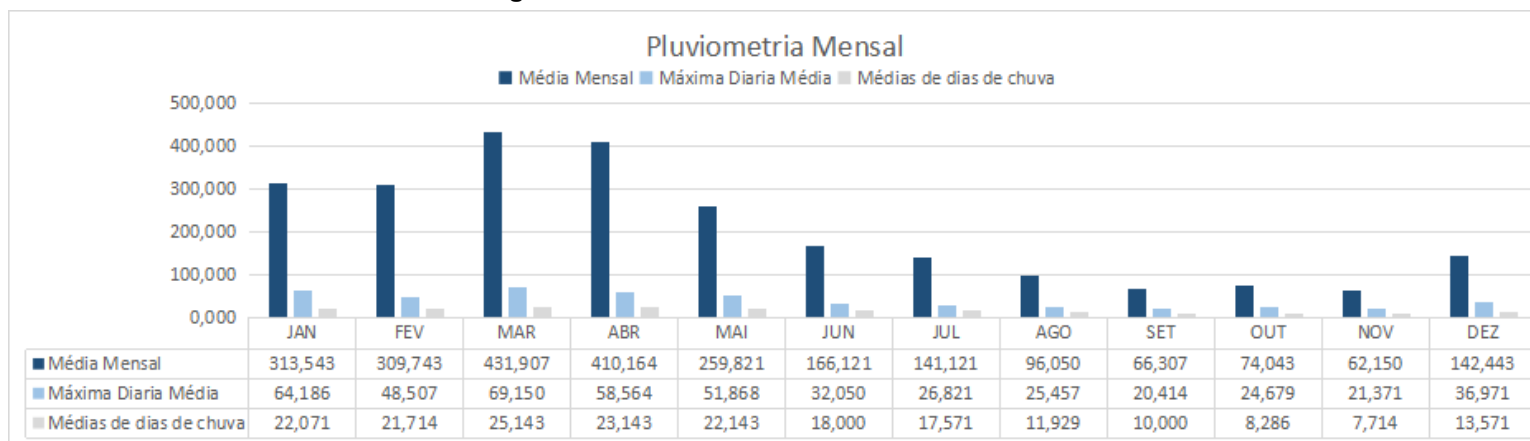
Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 16 – Pluviometria Mensal de Santa Izabel do Pará



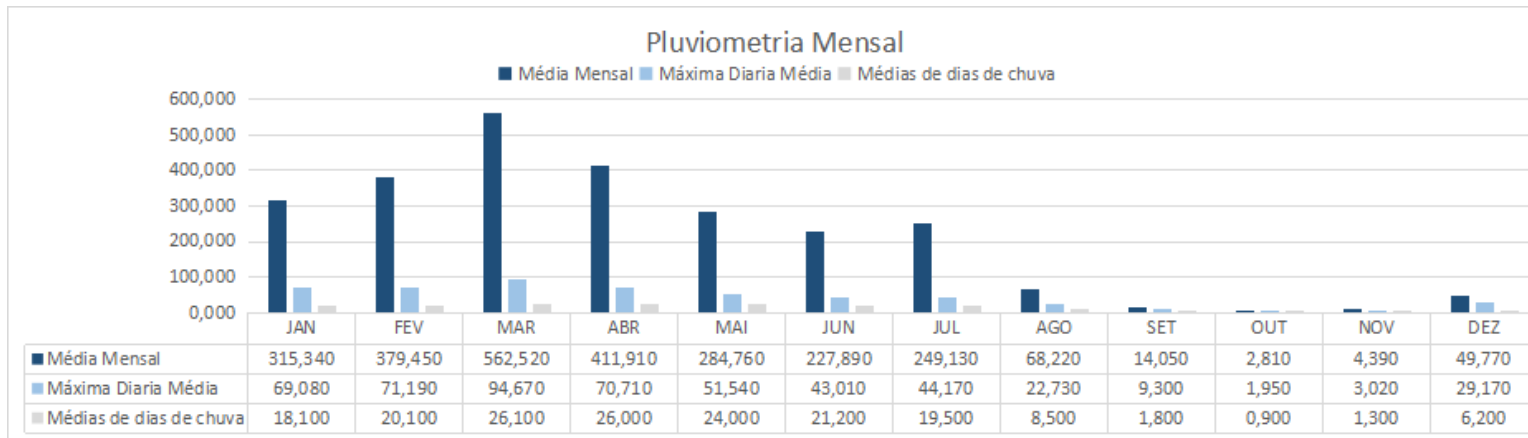
Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 17 – Pluviometria Mensal de Castanhal



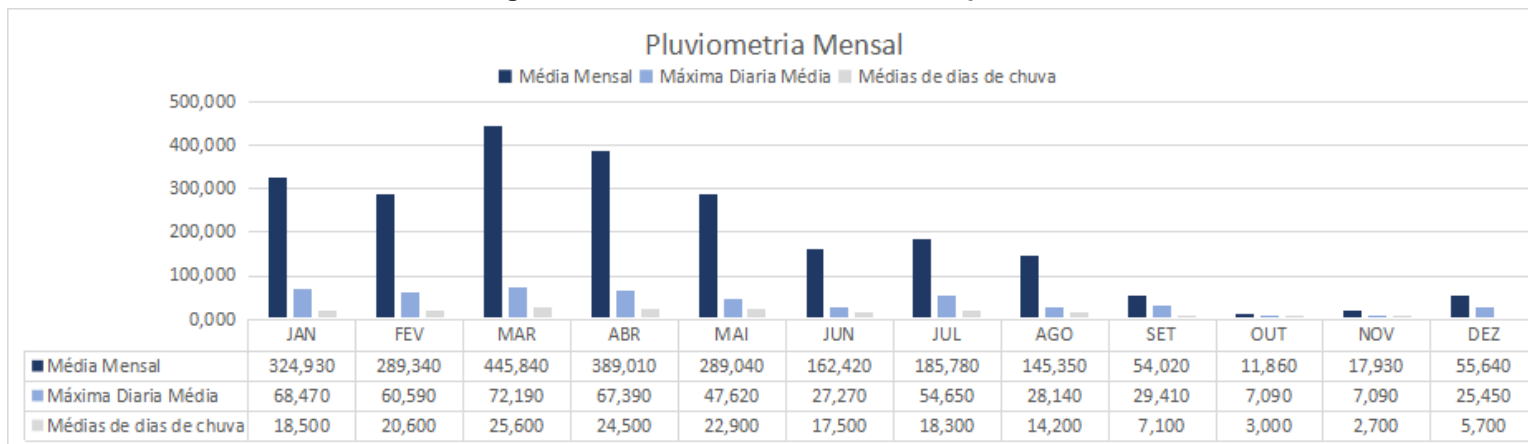
Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 18 – Pluviometria Mensal de Primavera



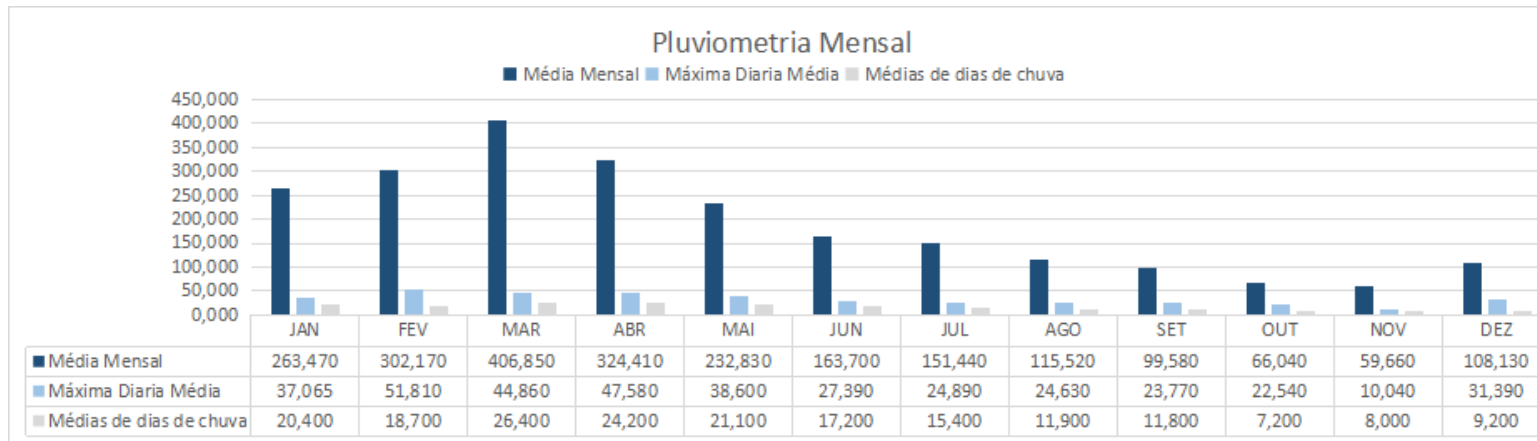
Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 19 – Pluviometria Mensal de Capanema



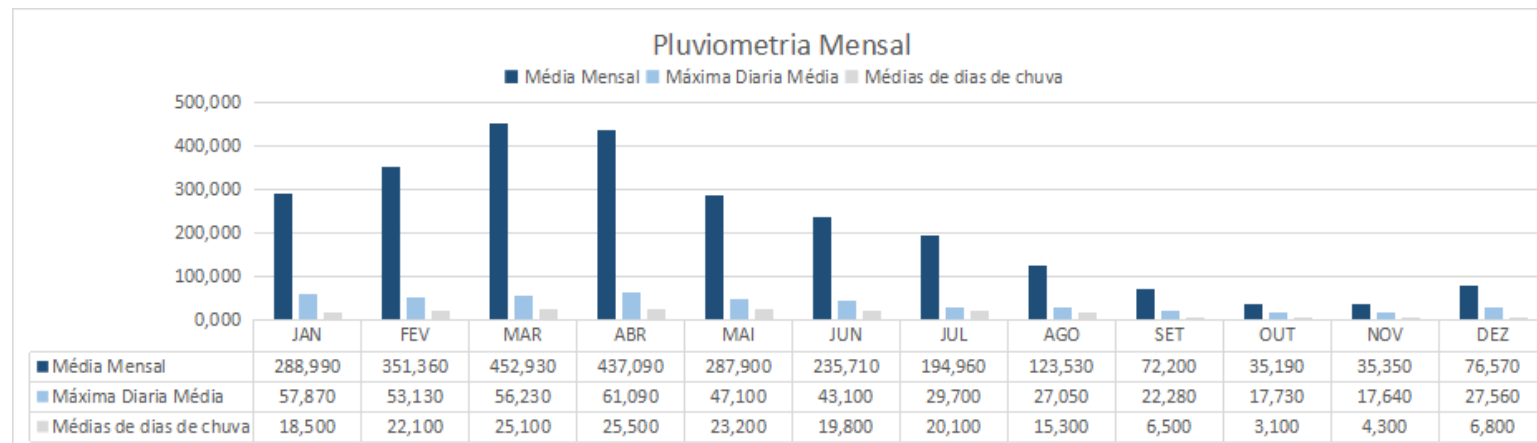
Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 20 – Pluviometria Mensal de Santa Maria do Pará



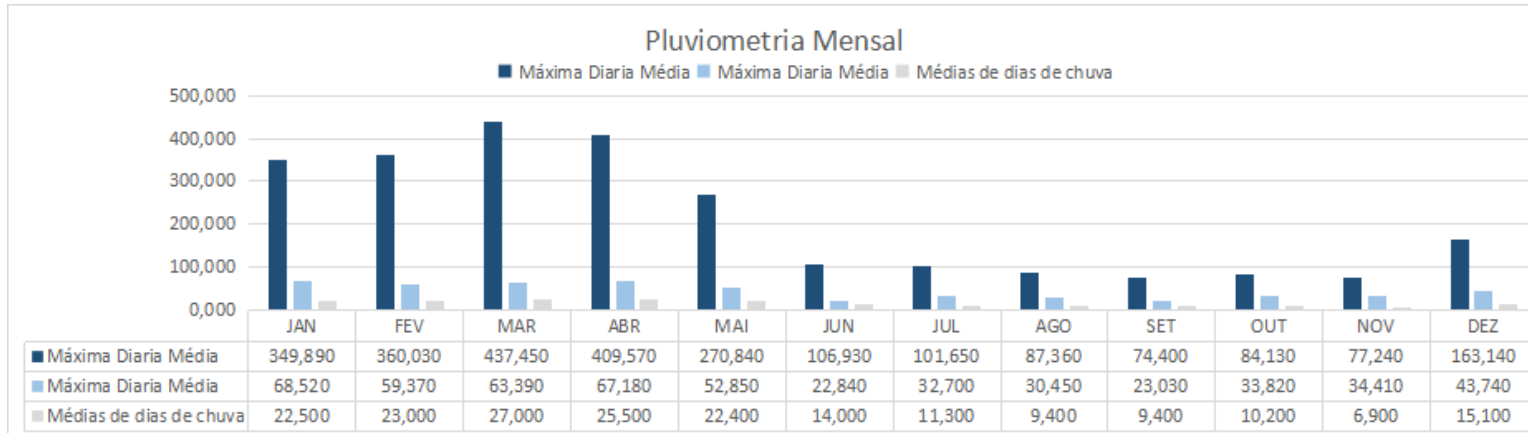
Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 21 – Pluviometria Mensal de Santa Luzia do Pará



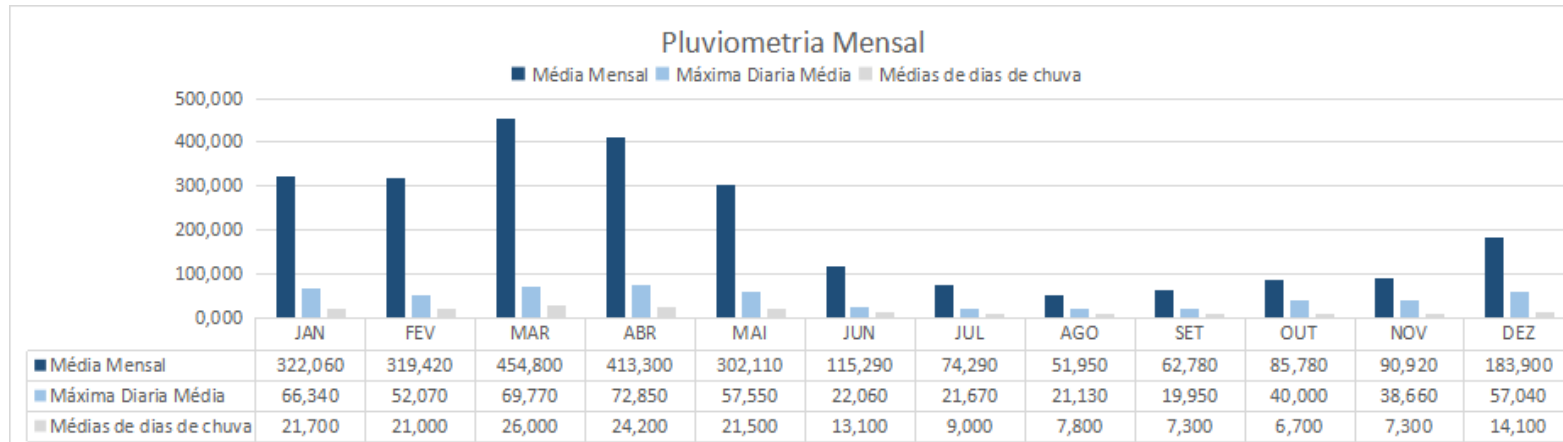
Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 22 – Pluviometria Mensal de Fazenda Urucure



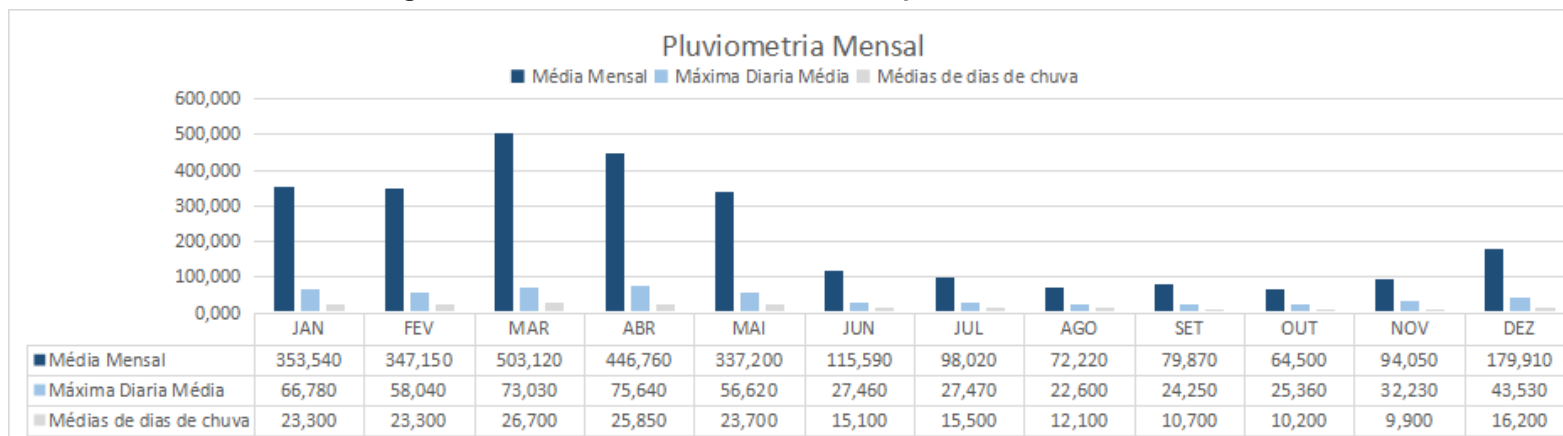
Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 23 – Pluviometria Mensal de Tomé-Açu



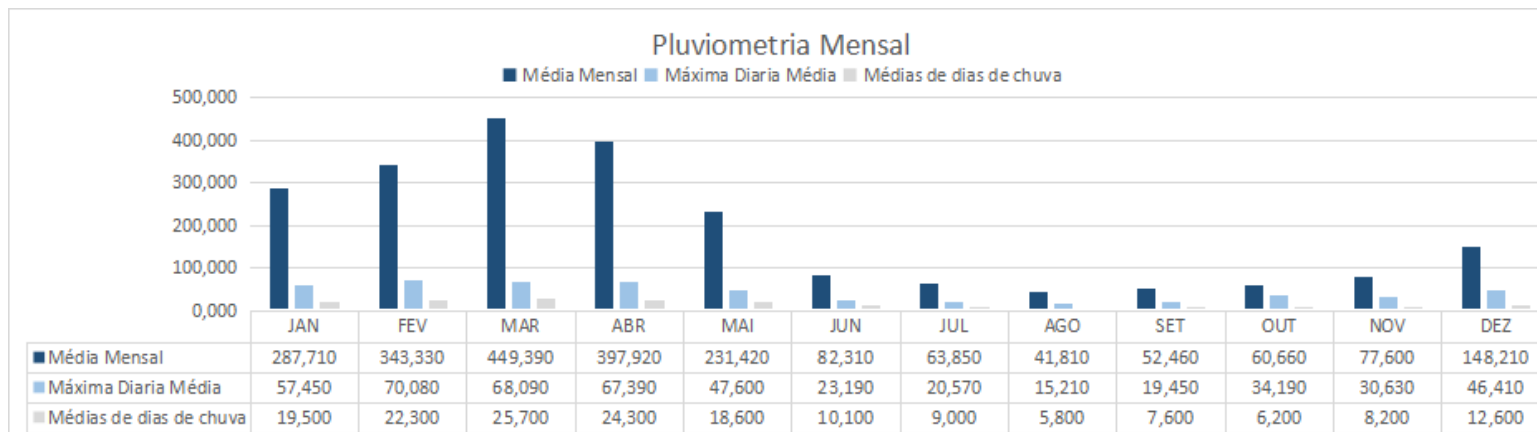
Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 24 – Pluviometria Mensal de Acampamento Mendes Junior



Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 25 – Pluviometria Mensal de PA-256 / Rio Acara-Mirim



Fonte: Autoria própria (2023)

APÊNDICE B – MÁXIMAS CHUVAS MENSAIS REGISTRADAS PARA AS SÉRIES HISTÓRICAS DOS POSTOS DE COLETA ESTUDADO ESTUDADOS

Tabela 32 – Precipitações máximas referentes a cada ano estudado no município de Belém

ANO	P (mm)	ANO	P (mm)	ANO	P (mm)
1982	58,7	1988	85,4	1995	96,2
1983	49,6	1989	99,6	1996	99,7
1984	107,0	1990	76,8	1997	75,7
1986	84,2	1991	117,5	1998	112,5
1987	70,9	1992	116,2		

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 33 – Precipitações máximas referentes a cada ano estudado no município de Mosqueiro

ANO	P (mm)	ANO	P (mm)	ANO	P (mm)
1982	88,6	1988	91,9	1995	121,1
1983	100,0	1989	125,6	1996	122,3
1984	68,9	1990	94,6	1997	108,0
1986	114,4	1991	135,4	1998	61,3
1987	64,9	1992	224,5		

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 34 – Precipitações máximas referentes a cada ano estudado no município de Castanhal

ANO	P (mm)	ANO	P (mm)	ANO	P (mm)
1982	74,4	1988	90,1	1995	43,9
1983	61,6	1989	139,1	1996	117,8
1984	63,6	1990	100,0	1997	90,5
1986	61,0	1991	193,4	1998	79,0
1987	71,9	1992	92,0		

Fonte: Aatoria própria (2023)

Tabela 35 – Precipitações máximas referentes a cada ano estudado no município de Santa Izabel do Pará

ANO	P (mm)	ANO	P (mm)	ANO	P (mm)
1982	104,8	1988	81,6	1995	96,3
1983	56,6	1989	81,1	1996	73,6
1984	72,0	1990	82,0	1997	94,3
1986	80,8	1991	55,9	1998	69,9
1987	67,6	1992	93,3		

Fonte: Aatoria própria (2023)

Tabela 36 – Precipitações máximas referentes a cada ano estudado no município de Primavera

ANO	P (mm)	ANO	P (mm)	ANO	P (mm)
1996	92,6	2001	106,6	2005	91,7
1997	130,4	2002	86,0	2006	103,0
1998	121,0	2003	117,6		
2000	101,2	2004	93,0		

Fonte: Aatoria própria (2023)

Tabela 37 – Precipitações máximas referentes a cada ano estudado no município de Santa Luzia do Pará

ANO	P (mm)	ANO	P (mm)	ANO	P (mm)
1996	100,5	2001	121,4	2005	117,4
1997	54,7	2002	52,3	2006	57,8
1998	90,0	2003	49,0		
2000	58,5	2004	77,2		

Fonte: Aatoria própria (2023)

Tabela 38 – Precipitações máximas referentes a cada ano estudado no município de Santa Maria do Pará

ANO	P (mm)	ANO	P (mm)	ANO	P (mm)
1996	54,3	2001	88,9	2005	107,3
1997	49,8	2002	68,8	2006	99,7
1998	62,4	2003	90,9		
2000	50,0	2004	60,5		

Fonte: Aatoria própria (2023)

Tabela 39 – Precipitações máximas referentes a cada ano estudado no município de Capanema

ANO	P (mm)	ANO	P (mm)	ANO	P (mm)
1996	112,8	2001	119,5	2005	97,2
1997	87,7	2002	76,6	2006	77,2
1998	101,6	2003	101,6		
2000	170,0	2004	63,9		

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 40 – Precipitações máximas referentes a cada ano estudado no município de Tomé-Açu

ANO	P (mm)	ANO	P (mm)	ANO	P (mm)
2004	85,1	2000	98,0	1996	135,7
2003	59,6	1999	97,8	1996	93,9
2002	105,4	1998	113,1		
2001	106,9	1997	104,4		

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 41 – Precipitações máximas referentes a cada ano estudado no município de Acampamento Mendes Junior

ANO	P (mm)	ANO	P (mm)	ANO	P (mm)
2004	98,5	2000	63,1	1996	146,2
2003	64,3	1999	98,9	1996	140,7
2002	69,8	1998	91,7		
2001	99,6	1997	75,5		

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 42 – Precipitações máximas referentes a cada ano estudado no município de Fazenda Urucure

ANO	P (mm)	ANO	P (mm)	ANO	P (mm)
2004	102,3	2000	100,0	1996	88,3
2003	71,1	1999	69,0	1996	157,3
2002	95,6	1998	126,3		
2001	83,1	1997	88,0		

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 43 – Precipitações máximas referentes a cada ano estudado no município de PA-256 / Rio Acara-Mirim

ANO	P (mm)	ANO	P (mm)	ANO	P (mm)
2004	86,1	2000	115,7	1996	74,4
2003	86,1	1999	109,0	1996	83,4
2002	87,7	1998	71,8		
2001	127,2	1997	105,1		

Fonte: Autoria própria (2023)

APÊNDICE C – DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADES PELO MÉTODO DE GUMBEL PARA AS ESTAÇÕES EM ESTUDO (EXCETO BELÉM)

Tabela 44 - Distribuição de probabilidades de Gumbel para a estação de Mosqueiro

TR (anos)	Variável reduzida da distribuição de Gumbel (YTR)	Fator de Frequência (KTR)	Precipitação máxima diária para cada TR (XTR)
5	1,50	0,72	137,95
10	2,25	1,31	161,75
15	2,67	1,64	175,18
20	2,97	1,87	184,58
25	3,20	2,04	191,82
50	3,90	2,59	214,13
100	4,60	3,14	236,27

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 45 - Distribuição de probabilidades de Gumbel para a estação de Santa Izabel do Pará

TR (anos)	Variável reduzida da distribuição de Gumbel (YTR)	Fator de Frequência (KTR)	Precipitação máxima diária para cada TR (XTR)
5	1,50	0,72	89,75
10	2,25	1,31	98,26
15	2,67	1,64	103,07
20	2,97	1,87	106,43
25	3,20	2,04	109,02
50	3,90	2,59	117,01
100	4,60	3,14	124,93

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 46 - Distribuição de probabilidades de Gumbel para a estação de Castanhal

TR (anos)	Variável reduzida da distribuição de Gumbel (YTR)	Fator de Frequência (KTR)	Precipitação máxima diária para cada TR (XTR)
5	1,50	0,72	118,92
10	2,25	1,31	141,36
15	2,67	1,64	154,03
20	2,97	1,87	162,89
25	3,20	2,04	169,72
50	3,90	2,59	190,76
100	4,60	3,14	211,65

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 47 - Distribuição de probabilidades de Gumbel para a estação de Primavera

TR (anos)	Variável reduzida da distribuição de Gumbel (YTR)	Fator de Frequência (KTR)	Precipitação máxima diária para cada TR (XTR)
5	1,50	0,72	114,80
10	2,25	1,31	123,33
15	2,67	1,64	128,15
20	2,97	1,87	131,52
25	3,20	2,04	134,11
50	3,90	2,59	142,11
100	4,60	3,14	150,05

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 48 - Distribuição de probabilidades de Gumbel para a estação de Capanema

TR (anos)	Variável reduzida da distribuição de Gumbel (YTR)	Fator de Frequência (KTR)	Precipitação máxima diária para cada TR (XTR)
5	1,50	0,72	122,24
10	2,25	1,31	139,66
15	2,67	1,64	149,49
20	2,97	1,87	156,37
25	3,20	2,04	161,67
50	3,90	2,59	178,00
100	4,60	3,14	194,21

Fonte: Aatoria própria (2023)

Tabela 49 - Distribuição de probabilidades de Gumbel para a estação de Santa Maria do Pará

TR (anos)	Variável reduzida da distribuição de Gumbel (YTR)	Fator de Frequência (KTR)	Precipitação máxima diária para cada TR (XTR)
5	1,50	0,72	88,75
10	2,25	1,31	101,34
15	2,67	1,64	108,44
20	2,97	1,87	113,42
25	3,20	2,04	117,25
50	3,90	2,59	129,05
100	4,60	3,14	140,77

Fonte: Aatoria própria (2023)

Tabela 50 - Distribuição de probabilidades de Gumbel para a estação de Santa Luzia do Pará

TR (anos)	Variável reduzida da distribuição de Gumbel (YTR)	Fator de Frequência (KTR)	Precipitação máxima diária para cada TR (XTR)
5	1,50	0,72	97,84
10	2,25	1,31	114,07
15	2,67	1,64	123,23
20	2,97	1,87	129,64
25	3,20	2,04	134,58
50	3,90	2,59	149,79
100	4,60	3,14	164,89

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 51 - Distribuição de probabilidades de Gumbel para a estação de Fazenda Urucure

TR (anos)	Variável reduzida da distribuição de Gumbel (YTR)	Fator de Frequência (KTR)	Precipitação máxima diária para cada TR (XTR)
5	1,50	0,72	117,19
10	2,25	1,31	132,71
15	2,67	1,64	141,46
20	2,97	1,87	147,59
25	3,20	2,04	152,31
50	3,90	2,59	166,86
100	4,60	3,14	181,30

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 52 - Distribuição de probabilidades de Gumbel para a estação de Tomé-Açu

TR (anos)	Variável reduzida da distribuição de Gumbel (YTR)	Fator de Frequência (KTR)	Precipitação máxima diária para cada TR (XTR)
5	1,50	0,72	114,07
10	2,25	1,31	125,52
15	2,67	1,64	131,98
20	2,97	1,87	136,50
25	3,20	2,04	139,98
50	3,90	2,59	150,71
100	4,60	3,14	161,36

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 53 - Distribuição de probabilidades de Gumbel para a estação de Acampamento Mendes Junior

TR (anos)	Variável reduzida da distribuição de Gumbel (YTR)	Fator de Frequência (KTR)	Precipitação máxima diária para cada TR (XTR)
5	1,50	0,72	115,95
10	2,25	1,31	133,12
15	2,67	1,64	142,81
20	2,97	1,87	149,59
25	3,20	2,04	154,81
50	3,90	2,59	170,91
100	4,60	3,14	186,88

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 54 - Distribuição de probabilidades de Gumbel para a estação de PA-256 / Rio Acara-Mirim

TR (anos)	Variável reduzida da distribuição de Gumbel (YTR)	Fator de Frequência (KTR)	Precipitação máxima diária para cada TR (XTR)
5	1,50	0,72	107,95
10	2,25	1,31	118,76
15	2,67	1,64	124,86
20	2,97	1,87	129,13
25	3,20	2,04	132,42
50	3,90	2,59	142,56
100	4,60	3,14	152,62

Fonte: Autoria própria (2023).

**APÊNDICE D – DESAGREGAÇÃO DE CHUVAS DE DAEE/CETESB PARA AS
ESTAÇÕES EM ESTUDO (EXCETO BELÉM)**

Tabela 55 - Desagregação de chuvas de DAEE/CETESB para a estação de Mosqueiro

TR (anos)	XTR	Fator de Segurança	P 24 horas
5	137,95	1,14	157,26
10	161,75	1,14	184,39
15	175,18	1,14	199,70
20	184,58	1,14	210,42
25	191,82	1,14	218,67
50	214,13	1,14	244,10
100	236,27	1,14	269,35

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 56 - Desagregação de chuvas de DAEE/CETESB para a estação de Santa Izabel do Pará

TR (anos)	XTR	Fator de Segurança	P 24 horas
5	89,75	1,14	102,31
10	98,26	1,14	112,02
15	103,07	1,14	117,50
20	106,43	1,14	121,33
25	109,02	1,14	124,29
50	117,01	1,14	133,39
100	124,93	1,14	142,42

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 57 - Desagregação de chuvas de DAEE/CETESB para a estação de Castanhal

TR (anos)	XTR	Fator de Segurança	P 24 horas
5	118,92	1,14	135,56
10	141,36	1,14	161,15
15	154,03	1,14	175,59
20	162,89	1,14	185,70
25	169,72	1,14	193,48
50	190,76	1,14	217,47
100	211,65	1,14	241,28

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 58 - Desagregação de chuvas de DAEE/CETESB para a estação de Primavera

TR (anos)	XTR	Fator de Segurança	P 24 horas
5	114,80	1,14	130,88
10	123,33	1,14	140,60
15	128,15	1,14	146,09
20	131,52	1,14	149,93
25	134,11	1,14	152,89
50	142,11	1,14	162,01
100	150,05	1,14	171,05

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 59 - Desagregação de chuvas de DAEE/CETESB para a estação de Capanema

TR (anos)	XTR	Fator de Segurança	P 24 horas
5	122,24	1,14	139,35
10	139,66	1,14	159,21
15	149,49	1,14	170,42
20	156,37	1,14	178,26
25	161,67	1,14	184,30
50	178,00	1,14	202,92
100	194,21	1,14	221,40

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 60 - Desagregação de chuvas de DAEE/CETESB para a estação de Santa Maria do Pará

TR (anos)	XTR	Fator de Segurança	P 24 horas
5	88,75	1,14	101,17
10	101,34	1,14	115,53
15	108,44	1,14	123,63
20	113,42	1,14	129,30
25	117,25	1,14	133,67
50	129,05	1,14	147,12
100	140,77	1,14	160,48

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 61 - Desagregação de chuvas de DAEE/CETESB para a estação de Santa Luzia do Pará

TR (anos)	XTR	Fator de Segurança	P 24 horas
5	97,84	1,14	111,54
10	114,07	1,14	130,04
15	123,23	1,14	140,48
20	129,64	1,14	147,79
25	134,58	1,14	153,42
50	149,79	1,14	170,76
100	164,89	1,14	187,98

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 62 - Desagregação de chuvas de DAEE/CETESB para a estação de Fazenda Urucure

TR (anos)	XTR	Fator de Segurança	P 24 horas
5	117,19	1,14	133,59
10	132,71	1,14	151,29
15	141,46	1,14	161,27
20	147,59	1,14	168,26
25	152,31	1,14	173,64
50	166,86	1,14	190,22
100	181,30	1,14	206,68

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 63 - Desagregação de chuvas de DAEE/CETESB para a estação de Tomé-Açu

TR (anos)	XTR	Fator de Segurança	P 24 horas
5	114,07	1,14	130,04
10	125,52	1,14	143,09
15	131,98	1,14	150,45
20	136,50	1,14	155,61
25	139,98	1,14	159,58
50	150,71	1,14	171,81
100	161,36	1,14	183,95

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 64 - Desagregação de chuvas de DAEE/CETESB para a estação de Acampamento Mendes Junior

TR (anos)	XTR	Fator de Segurança	P 24 horas
5	115,95	1,14	132,18
10	133,12	1,14	151,76
15	142,81	1,14	162,80
20	149,59	1,14	170,53
25	154,81	1,14	176,49
50	170,91	1,14	194,84
100	186,88	1,14	213,05

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 65 - Desagregação de chuvas de DAEE/CETESB para a estação de PA-256 / Rio Acara-Mirim

TR (anos)	XTR	Fator de Segurança	P 24 horas
5	107,95	1,14	123,06
10	118,76	1,14	135,39
15	124,86	1,14	142,34
20	129,13	1,14	147,21
25	132,42	1,14	150,96
50	142,56	1,14	162,52
100	152,62	1,14	173,98

Fonte: Autoria própria (2023)

**APÊNDICE E – DESAGREGAÇÃO DE CHUVA PARA OS POSTOS DE COLETA
ESTUDADOS (EXCETO 10 ANOS)**

Tabela 66 - Desagregações das chuvas para TR de 5 anos

Posto de coleta	1440 min	720 min	600 min	480 min	360 min	60 min	30 min	25 min	20 min	15 min	10 min	5 min
Belém	119,2	101,3	97,8	93,0	85,8	50,1	37,1	33,7	30,0	25,9	20,0	12,6
Mosqueiro	157,3	133,7	129,0	122,7	113,2	66,1	48,9	44,5	39,6	34,2	26,4	16,6
Santa Izabel do Pará	102,3	87,0	83,9	79,8	73,7	43,0	31,8	28,9	25,8	22,3	17,2	10,8
Castanhal	135,6	115,2	111,2	105,7	97,6	56,9	42,1	38,3	34,1	29,5	22,8	14,3
Primavera	130,9	111,2	107,3	102,1	94,2	55,0	40,7	37,0	32,9	28,5	22,0	13,8
Capanema	139,4	118,4	114,3	108,7	100,3	58,5	43,3	39,4	35,1	30,3	23,4	14,7
Santa Maria do Pará	101,2	86,0	83,0	78,9	72,8	42,5	31,4	28,6	25,5	22,0	17,0	10,7
Santa Luzia do Pará	111,5	94,8	91,5	87,0	80,3	46,8	34,7	31,5	28,1	24,3	18,7	11,8
Fazenda Urucure	133,6	113,6	109,5	104,2	96,2	56,1	41,5	37,8	33,6	29,1	22,4	14,1
Tomé-Açu	130,0	110,5	106,6	101,4	93,6	54,6	40,4	36,8	32,7	28,3	21,8	13,7
Acampamento Mendes Junior	132,2	112,4	108,4	103,1	95,2	55,5	41,1	37,4	33,3	28,8	22,2	14,0
PA-256 / Rio Acara-Mirim	123,1	104,6	100,9	96,0	88,6	51,7	38,2	34,8	31,0	26,8	20,7	13,0

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 67 - Desagregações das chuvas para TR de 15 anos

Posto de coleta	1440 min	720 min	600 min	480 min	360 min	60 min	30 min	25 min	20 min	15 min	10 min	5 min
Belém	141,4	120,2	115,9	110,3	101,8	59,4	43,9	40,0	35,6	30,8	23,7	14,9
Mosqueiro	199,7	169,7	163,8	155,8	143,8	83,9	62,1	56,5	50,3	43,4	33,5	21,1
Santa Izabel do Pará	117,5	99,9	96,3	91,6	84,6	49,3	36,5	33,2	29,6	25,6	19,7	12,4
Castanhal	175,6	149,3	144,0	137,0	126,4	73,7	54,6	49,7	44,2	38,2	29,5	18,6
Primavera	146,1	124,2	119,8	113,9	105,2	61,4	45,4	41,3	36,8	31,8	24,5	15,4
Capanema	170,4	144,9	139,7	132,9	122,7	71,6	53,0	48,2	42,9	37,1	28,6	18,0
Santa Maria do Pará	123,6	105,1	101,4	96,4	89,0	51,9	38,4	35,0	31,1	26,9	20,7	13,1
Santa Luzia do Pará	140,5	119,4	115,2	109,6	101,1	59,0	43,7	39,7	35,4	30,6	23,6	14,8
Fazenda Urucure	161,3	137,1	132,2	125,8	116,1	67,7	50,1	45,6	40,6	35,1	27,1	17,0
Tomé-Açu	150,5	127,9	123,4	117,4	108,3	63,2	46,8	42,6	37,9	32,7	25,3	15,9
Acampamento Mendes Junior	162,8	138,4	133,5	127,0	117,2	68,4	50,6	46,0	41,0	35,4	27,3	17,2
PA-256 / Rio Acara-Mirim	142,3	121,0	116,7	111,0	102,5	59,8	44,2	40,3	35,8	31,0	23,9	15,0

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 68 - Desagregações das chuvas para TR de 20 anos

Posto de coleta	1440 min	720 min	600 min	480 min	360 min	60 min	30 min	25 min	20 min	15 min	10 min	5 min
Belém	147,0	124,9	120,5	114,7	105,8	61,7	45,7	41,6	37,0	32,0	24,7	15,5
Mosqueiro	210,4	178,9	172,5	164,1	151,5	88,4	65,4	59,5	53,0	45,8	35,3	22,2
Santa Izabel do Pará	121,3	103,1	99,5	94,6	87,4	51,0	37,7	34,3	30,5	26,4	20,4	12,8
Castanhal	185,7	157,8	152,3	144,8	133,7	78,0	57,7	52,5	46,7	40,4	31,2	19,6
Primavera	149,9	127,4	122,9	116,9	107,9	63,0	46,6	42,4	37,7	32,6	25,2	15,8
Capanema	178,3	151,5	146,2	139,0	128,3	74,9	55,4	50,4	44,9	38,8	29,9	18,8
Santa Maria do Pará	129,3	109,9	106,0	100,9	93,1	54,3	40,2	36,6	32,6	28,1	21,7	13,7
Santa Luzia do Pará	147,8	125,6	121,2	115,3	106,4	62,1	45,9	41,8	37,2	32,2	24,8	15,6
Fazenda Urucure	168,3	143,0	138,0	131,2	121,1	70,7	52,3	47,6	42,4	36,6	28,2	17,8
Tomé-Açu	155,6	132,3	127,6	121,4	112,0	65,4	48,4	44,0	39,2	33,9	26,1	16,1
Acampamento Mendes Junior	170,5	145,0	139,8	133,0	122,8	71,6	53,0	48,2	42,9	37,1	28,6	18,2
PA-256 / Rio Acara-Mirim	147,2	125,1	120,7	114,8	106,0	61,8	45,8	41,6	37,1	32,0	24,7	15,6

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 69 - Desagregações das chuvas para TR de 25 anos

Posto de coleta	1440 min	720 min	600 min	480 min	360 min	60 min	30 min	25 min	20 min	15 min	10 min	5 min
Belém	151,3	128,6	124,1	118,0	108,9	63,5	47,0	42,8	38,1	32,9	25,4	16,0
Mosqueiro	218,7	185,9	179,3	170,6	157,4	91,8	68,0	61,8	55,1	47,6	36,7	23,1
Santa Izabel do Pará	124,3	105,6	101,9	96,9	89,5	52,2	38,6	35,2	31,3	27,0	20,9	13,1
Castanhal	193,5	164,5	158,7	150,9	139,3	81,3	60,1	54,7	48,7	42,1	32,5	20,4
Primavera	152,9	130,0	125,4	119,3	110,1	64,2	47,5	43,2	38,5	33,3	25,7	16,2
Capanema	184,3	156,7	151,1	143,8	132,7	77,4	57,3	52,1	46,4	40,1	30,9	19,5
Santa Maria do Pará	133,7	113,6	109,6	104,3	96,2	56,1	41,5	37,8	33,6	29,1	22,4	14,1
Santa Luzia do Pará	153,4	130,4	125,8	119,7	110,5	64,4	47,7	43,4	38,6	33,4	25,7	16,2
Fazenda Urucure	173,6	147,6	142,4	135,4	125,0	72,9	54,0	49,1	43,7	37,8	29,1	18,3
Tomé-Açu	159,6	135,6	130,9	124,5	114,9	67,0	49,6	45,1	40,2	34,7	26,8	16,9
Acampamento Mendes Junior	176,5	150,0	144,7	137,7	127,1	74,1	54,9	49,9	44,4	38,4	29,6	18,6
PA-256 / Rio Acara-Mirim	151,0	128,3	123,8	117,8	108,7	63,4	46,9	42,7	38,0	32,8	25,3	16,0

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 70 - Desagregações das chuvas para TR de 50 anos

Posto de coleta	1440 min	720 min	600 min	480 min	360 min	60 min	30 min	25 min	20 min	15 min	10 min	5 min
Belém	164,6	139,9	135,0	128,4	118,5	69,1	51,2	46,6	41,4	35,8	27,6	17,4
Mosqueiro	244,1	207,5	200,2	190,4	175,8	102,5	75,9	69,0	61,5	53,1	41,0	25,8
Santa Izabel do Pará	133,4	113,4	109,4	104,0	96,0	56,0	41,5	37,7	33,6	29,0	22,4	14,1
Castanhal	217,5	184,8	178,3	169,6	156,6	91,3	67,6	61,5	54,7	47,3	36,5	23,0
Primavera	162,0	137,7	132,8	126,4	116,6	68,0	50,4	45,8	40,8	35,2	27,2	17,1
Capanema	202,9	172,5	166,4	158,3	146,1	85,2	63,1	57,4	51,1	44,1	34,1	21,4
Santa Maria do Pará	147,1	125,1	120,6	114,8	105,9	61,8	45,7	41,6	37,0	32,0	24,7	15,5
Santa Luzia do Pará	170,8	145,1	140,0	133,2	122,9	71,7	53,1	48,3	43,0	37,2	28,7	18,0
Fazenda Urucure	190,2	161,7	156,0	148,4	137,0	79,9	59,1	53,8	47,9	41,4	31,9	20,1
Tomé-Açu	171,8	146,0	140,9	134,0	123,7	72,2	53,4	48,6	43,3	37,4	28,8	18,2
Acampamento Mendes Junior	194,8	165,6	159,8	152,0	140,3	81,8	60,6	55,1	49,0	42,4	32,7	20,6
PA-256 / Rio Acara-Mirim	162,5	138,1	133,3	126,8	117,0	68,3	50,5	46,0	40,9	35,4	27,3	17,2

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 71 - Desagregações das chuvas para TR de 100 anos

Posto de coleta	1440 min	720 min	600 min	480 min	360 min	60 min	30 min	25 min	20 min	15 min	10 min	5 min
Belém	177,8	151,1	145,8	138,7	128,0	74,7	55,3	50,3	44,8	38,7	29,8	18,8
Mosqueiro	269,3	228,9	220,9	210,1	193,9	113,1	83,7	76,2	67,8	58,6	45,2	28,5
Santa Izabel do Pará	142,4	121,1	116,8	111,1	102,5	59,8	44,3	40,3	35,9	31,0	23,9	15,1
Castanhal	236,6	201,1	194,0	184,5	170,3	99,4	73,5	66,9	59,6	51,5	39,7	25,0
Primavera	171,1	145,4	140,3	133,4	123,2	71,8	53,2	48,4	43,1	37,2	28,7	18,1
Capanema	221,4	188,2	181,5	172,7	159,4	93,0	68,8	62,6	55,7	48,2	37,2	23,4
Santa Maria do Pará	160,5	136,4	131,6	125,2	115,5	67,4	49,9	45,4	40,4	34,9	26,9	17,0
Santa Luzia do Pará	188,0	159,8	154,1	146,6	135,3	79,0	58,4	53,2	47,3	40,9	31,5	19,9
Fazenda Urucure	206,7	175,7	169,5	161,2	148,8	86,8	64,2	58,5	52,0	45,0	34,7	21,8
Tomé-Açu	184,0	156,4	150,8	143,5	132,4	77,3	57,2	52,0	46,3	40,0	30,9	19,4
Acampamento Mendes Junior	213,0	181,1	174,7	166,2	153,4	89,5	66,2	60,3	53,6	46,4	35,8	22,5
PA-256 / Rio Acara-Mirim	174,0	147,9	142,7	135,7	125,3	73,1	54,1	49,2	43,8	37,9	29,2	18,4

Fonte: Autoria própria (2023)

**APÊNDICE F – INTENSIDADE DE CHUVA PARA OS POSTOS DE COLETA
ESTUDADOS (EXCETO 10 ANOS)**

Tabela 72 - Relação entre as intensidades das chuvas para TR de 5 anos

Posto de coleta	1440 min	720 min	600 min	480 min	360 min	60 min	30 min	25 min	20 min	15 min	10 min	5 min
Belém	5,0	8,4	9,8	11,6	14,3	50,1	74,1	80,9	90,0	103,7	120,1	151,2
Mosqueiro	6,6	11,1	12,9	15,3	18,9	66,1	97,8	106,7	118,8	136,9	158,4	199,4
Santa Izabel do Pará	4,3	7,2	8,4	10,0	12,3	43,0	63,6	69,4	77,3	89,0	103,0	129,7
Castanhal	5,6	9,6	11,1	13,2	16,3	56,9	84,3	92,0	102,4	118,0	136,5	171,9
Primavera	5,5	9,3	10,7	12,8	15,7	55,0	81,4	88,8	98,8	113,9	131,8	166,0
Capanema	5,8	9,9	11,4	13,6	16,7	58,5	86,6	94,6	105,2	121,3	140,3	176,7
Santa Maria do Pará	4,2	7,2	8,3	9,9	12,1	42,5	62,9	68,7	76,4	88,0	101,9	128,3
Santa Luzia do Pará	4,6	7,9	9,1	10,9	13,4	46,8	69,3	75,7	84,2	97,1	112,3	141,4
Fazenda Urucure	5,6	9,5	11,0	13,0	16,0	56,1	83,0	90,7	100,9	116,3	134,5	169,4
Tomé-Açu	5,4	9,2	10,7	12,7	15,6	54,6	80,8	88,3	98,2	113,2	130,9	164,9
Acampamento Mendes Junior	5,5	9,4	10,8	12,9	15,9	55,5	82,2	89,7	99,8	115,0	133,1	167,6
PA-256 / Rio Acara-Mirim	5,1	8,7	10,1	12,0	14,8	51,7	76,5	83,5	92,9	107,1	123,9	156,1

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 73 - Relação entre as intensidades das chuvas para TR de 15 anos

Posto de coleta	1440 min	720 min	600 min	480 min	360 min	60 min	30 min	25 min	20 min	15 min	10 min	5 min
Belém	5,9	10,0	11,6	13,8	17,0	59,4	87,9	96,0	106,8	123,0	142,4	179,3
Mosqueiro	8,3	14,1	16,4	19,5	24,0	83,9	124,1	135,6	150,8	173,8	201,1	253,2
Santa Izabel do Pará	4,9	8,3	9,6	11,5	14,1	49,3	73,0	79,8	88,7	102,3	118,3	149,0
Castanhal	7,3	12,4	14,4	17,1	21,1	73,7	109,1	119,2	132,6	152,8	176,8	222,7
Primavera	6,1	10,3	12,0	14,2	17,5	61,4	90,8	99,2	110,3	127,1	147,1	185,2
Capanema	6,6	11,3	13,1	15,5	19,1	66,9	99,0	108,1	120,2	138,6	160,3	201,9
Santa Maria do Pará	5,2	8,8	10,1	12,1	14,8	51,9	76,8	83,9	93,4	107,6	124,5	156,8
Santa Luzia do Pará	5,9	10,0	11,5	13,7	16,9	59,0	87,3	95,4	106,1	122,3	141,5	178,1
Fazenda Urucure	6,7	11,4	13,2	15,7	19,4	67,7	100,2	109,5	121,8	140,3	162,4	204,5
Tomé-Açu	6,3	10,7	12,3	14,7	18,1	63,2	93,5	102,1	113,6	130,9	151,5	190,8
Acampamento Mendes Junior	6,8	11,5	13,3	15,9	19,5	68,4	101,2	110,5	123,0	141,7	163,9	206,4
PA-256 / Rio Acara-Mirim	5,9	10,1	11,7	13,9	17,1	59,8	88,5	96,6	107,5	123,9	143,3	180,5

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 74 - Relação entre as intensidades das chuvas para TR de 20 anos

Posto de coleta	1440 min	720 min	600 min	480 min	360 min	60 min	30 min	25 min	20 min	15 min	10 min	5 min
Belém	6,1	10,4	12,1	14,3	17,6	61,7	91,4	99,8	111,0	127,9	148,0	186,4
Mosqueiro	8,8	14,9	17,3	20,5	25,3	88,4	130,8	142,8	158,9	183,1	211,9	266,8
Santa Izabel do Pará	5,1	8,6	9,9	11,8	14,6	51,0	75,4	82,4	91,6	105,6	122,2	153,9
Castanhal	7,7	13,2	15,2	18,1	22,3	78,0	115,4	126,0	140,2	161,6	187,0	235,5
Primavera	6,2	10,6	12,3	14,6	18,0	63,0	93,2	101,8	113,2	130,5	151,0	190,1
Capanema	7,1	12,1	14,0	16,6	20,4	71,6	105,9	115,7	128,7	148,3	171,6	216,1
Santa Maria do Pará	5,4	9,2	10,6	12,6	15,5	54,3	80,4	87,8	97,7	112,5	130,2	164,0
Santa Luzia do Pará	6,2	10,5	12,1	14,4	17,7	62,1	91,9	100,3	111,6	128,6	148,8	187,4
Fazenda Urucure	7,0	11,9	13,8	16,4	20,2	70,7	104,6	114,2	127,1	146,4	169,4	213,4
Tomé-Açu	6,5	11,0	12,8	15,2	18,7	65,4	96,7	105,6	117,5	135,4	156,7	197,3
Acampamento Mendes Junior	7,1	12,1	14,0	16,6	20,5	71,6	106,0	115,8	128,8	148,4	171,7	216,2
PA-256 / Rio Acara-Mirim	6,1	10,4	12,1	14,4	17,7	61,8	91,5	99,9	111,2	128,1	148,2	186,7

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 75 - Relação entre as intensidades das chuvas para TR de 25 anos

Posto de coleta	1440 min	720 min	600 min	480 min	360 min	60 min	30 min	25 min	20 min	15 min	10 min	5 min
Belém	6,3	10,7	12,4	14,8	18,2	63,5	94,0	102,7	114,3	131,7	152,4	191,9
Mosqueiro	9,1	15,5	17,9	21,3	26,2	91,8	135,9	148,4	165,2	190,3	220,2	277,3
Santa Izabel do Pará	5,2	8,8	10,2	12,1	14,9	52,2	77,3	84,4	93,9	108,2	125,2	157,6
Castanhal	8,1	13,7	15,9	18,9	23,2	81,3	120,3	131,3	146,1	168,4	194,8	245,4
Primavera	6,4	10,8	12,5	14,9	18,3	64,2	95,0	103,8	115,5	133,1	154,0	193,9
Capanema	7,4	12,6	14,6	17,4	21,4	74,9	110,8	121,0	134,6	155,1	179,5	226,0
Santa Maria do Pará	5,6	9,5	11,0	13,0	16,0	56,1	83,1	90,7	100,9	116,3	134,6	169,5
Santa Luzia do Pará	6,4	10,9	12,6	15,0	18,4	64,4	95,4	104,1	115,9	133,5	154,5	194,5
Fazenda Urucure	7,2	12,3	14,2	16,9	20,8	72,9	107,9	117,9	131,1	151,1	174,9	220,2
Tomé-Açu	6,6	11,3	13,1	15,6	19,1	67,0	99,2	108,3	120,5	138,9	160,7	202,4
Acampamento Mendes Junior	7,4	12,5	14,5	17,2	21,2	74,1	109,7	119,8	133,3	153,6	177,7	223,8
PA-256 / Rio Acara-Mirim	6,3	10,7	12,4	14,7	18,1	63,4	93,8	102,5	114,0	131,4	152,0	191,4

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 76 - Relação entre as intensidades das chuvas para TR de 50 anos

Posto de coleta	1440 min	720 min	600 min	480 min	360 min	60 min	30 min	25 min	20 min	15 min	10 min	5 min
Belém	6,9	11,7	13,5	16,0	19,8	69,1	102,3	111,7	124,3	143,2	165,7	208,7
Mosqueiro	10,2	17,3	20,0	23,8	29,3	102,5	151,7	165,7	184,4	212,4	245,8	309,5
Santa Izabel do Pará	5,6	9,4	10,9	13,0	16,0	56,0	82,9	90,5	100,7	116,1	134,3	169,1
Castanhal	9,1	15,4	17,8	21,2	26,1	91,3	135,2	147,6	164,2	189,3	219,0	275,8
Primavera	6,8	11,5	13,3	15,8	19,4	68,0	100,7	110,0	122,4	141,0	163,1	205,4
Capanema	8,5	14,4	16,6	19,8	24,4	85,2	126,1	137,7	153,3	176,6	204,3	257,3
Santa Maria do Pará	6,1	10,4	12,1	14,3	17,7	61,8	91,5	99,9	111,1	128,0	148,1	186,6
Santa Luzia do Pará	7,1	12,1	14,0	16,6	20,5	71,7	106,1	115,9	129,0	148,6	172,0	216,5
Fazenda Urucure	7,9	13,5	15,6	18,5	22,8	79,9	118,2	129,1	143,7	165,5	191,6	241,2
Tomé-Açu	7,2	12,2	14,1	16,8	20,6	72,2	106,8	116,6	129,8	149,5	173,0	217,9
Acampamento Mendes Junior	8,1	13,8	16,0	19,0	23,4	81,8	121,1	132,3	147,1	169,6	196,2	247,1
PA-256 / Rio Acara-Mirim	6,8	11,5	13,3	15,8	19,5	68,3	101,0	110,3	122,7	141,4	163,7	206,1

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 77 - Relação entre as intensidades das chuvas para TR de 100 anos

Posto de coleta	1440 min	720 min	600 min	480 min	360 min	60 min	30 min	25 min	20 min	15 min	10 min	5 min
Belém	7,4	12,6	14,6	17,3	21,3	74,7	110,5	120,7	134,3	154,7	179,0	225,4
Mosqueiro	11,2	19,1	22,1	26,3	32,3	113,1	167,4	182,8	203,4	234,4	271,2	341,5
Santa Izabel do Pará	5,9	10,1	11,7	13,9	17,1	59,8	88,5	96,7	107,6	123,9	143,4	180,6
Castanhal	10,1	17,1	19,8	23,5	29,0	101,3	150,0	163,8	182,2	210,0	243,0	306,0
Primavera	7,1	12,1	14,0	16,7	20,5	71,8	106,3	116,1	129,2	148,9	172,2	216,9
Capanema	9,2	15,7	18,2	21,6	26,6	93,0	137,6	150,3	167,2	192,7	222,9	280,7
Santa Maria do Pará	6,7	11,4	13,2	15,6	19,3	67,4	99,8	108,9	121,2	139,7	161,6	203,5
Santa Luzia do Pará	7,8	13,3	15,4	18,3	22,6	79,0	116,8	127,6	142,0	163,6	189,3	238,4
Fazenda Urucure	8,6	14,6	16,9	20,2	24,8	86,8	128,5	140,3	156,1	179,9	208,1	262,1
Tomé-Açu	7,7	13,0	15,1	17,9	22,1	77,3	114,3	124,9	138,9	160,1	185,2	233,3
Acampamento Mendes Junior	8,9	15,1	17,5	20,8	25,6	89,5	132,4	144,6	160,9	185,4	214,5	270,2
PA-256 / Rio Acara-Mirim	7,2	12,3	14,3	17,0	20,9	73,1	108,1	118,1	131,4	151,4	175,2	220,6

Fonte: Autoria própria (2023)

APÊNDICE G – PARÂMETROS DAS EQUAÇÕES DE CHUVAS INTENSAS PARA AS CIDADES EM ESTUDO (EXCETO BELÉM)

Tabela 78 – Equações da reta e valores de (d), $\ln(Z)$ e $\ln(\text{TR})$, extraídos dos gráficos da relação entre $\ln(i)$ e $\ln(\text{tc}+\text{c})$ para a estação de Mosqueiro

Equações	R ²	TR (anos)	d	Ln (Z)	Ln (TR)
$y = -0,7594x + 7,4243$	0,9999	5		7,4243	1,609
$y = -0,7594x + 7,5834$	0,9999	10		7,5834	2,303
$y = -0,7594x + 7,6632$	0,9999	15		7,6632	2,708
$y = -0,7594x + 7,7154$	0,9999	20	0,7594	7,7154	2,996
$y = -0,7594x + 7,7539$	0,9999	25		7,7539	3,219
$y = -0,7594x + 7,8639$	0,9999	50		7,8639	3,912
$y = -0,7594x + 7,9623$	0,9999	100		7,9623	4,605

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 79 – Valores de $\ln(a)$ e parâmetros (a) e (b), extraídos do gráfico da relação entre $\ln(Z)$ e $\ln(\text{TR})$ para a estação de Mosqueiro

Ln (a)	a	b	R ²
7,1684	1297,766514	0,1774	0,9888

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 80 – Equações da reta e valores de (d), $\ln(Z)$ e $\ln(\text{TR})$, extraídos dos gráficos da relação entre $\ln(i)$ e $\ln(\text{tc}+\text{c})$ para a estação de Santa Izabel do Pará

Equações	R ²	TR (anos)	d	Ln (Z)	Ln (TR)
$y = -0,7594x + 6,9944$	0,9999	5		6,994	1,609
$y = -0,7594x + 7,085$	0,9999	10		7,085	2,303
$y = -0,7594x + 7,1328$	0,9999	15		7,133	2,708
$y = -0,7594x + 7,1649$	0,9999	20	0,7594	7,165	2,996
$y = -0,7594x + 7,189$	0,9999	25		7,189	3,219
$y = -0,7594x + 7,2596$	0,9999	50		7,260	3,912
$y = -0,7594x + 7,3251$	0,9999	100		7,325	4,605

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 81 – Valores de $\ln(a)$ e parâmetros (a) e (b), extraídos do gráfico da relação entre $\ln(z)$ e $\ln(TR)$ para a estação de Santa Izabel do Pará

$\ln(a)$	a	b	R^2
6,8302	925,3758691	0,1096	0,995

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 82 – Equações da reta e valores de (d), $\ln(z)$ e $\ln(TR)$, extraídos dos gráficos da relação entre $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para a estação de Castanhal

Equações	R^2	TR (anos)	d	$\ln(Z)$	$\ln(TR)$
$y = -0,7594x + 7,2758$	0,9999	5		7,2758	1,609
$y = -0,7594x + 7,4487$	0,9999	10		7,4487	2,303
$y = -0,7594x + 7,5345$	0,9999	15		7,5345	2,708
$y = -0,7594x + 7,5905$	0,9999	20	0,7594	7,5905	2,996
$y = -0,7594x + 7,6315$	0,9999	25		7,6315	3,219
$y = -0,7594x + 7,7484$	0,9999	50		7,7484	3,912
$y = -0,7594x + 7,8523$	0,9999	100		7,8523	4,605

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 83 – Valores de $\ln(a)$ e parâmetros (a) e (b), extraídos do gráfico da relação entre $\ln(z)$ e $\ln(TR)$ para a estação de Castanhal

$\ln(a)$	a	b	R^2
7,0039	1100,918378	0,1899	0,9874

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 84 – Equações da reta e valores de (d), $\ln(Z)$ e $\ln(TR)$, extraídos dos gráficos da relação entre $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para a estação de Primavera

Equações	R ²	TR (anos)	d	Ln (Z)	Ln (TR)
$y = -0,7594x + 7,2406$	0,9999	5		7,2406	1,609
$y = -0,7594x + 7,3123$	0,9999	10		7,3123	2,303
$y = -0,7594x + 7,3506$	0,9999	15		7,3506	2,708
$y = -0,7594x + 7,3765$	0,9999	20	0,7594	7,3765	2,996
$y = -0,7594x + 7,3961$	0,9999	25		7,3961	3,219
$y = -0,7594x + 7,454$	0,9999	50		7,454	3,912
$y = -0,7594x + 7,5083$	0,9999	100		7,5083	4,605

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 85 – Valores de $\ln(a)$ e parâmetros (a) e (b), extraídos do gráfico da relação entre $\ln(Z)$ e $\ln(TR)$ para a estação de Primavera

Ln (a)	a	b	R ²
7,1061	1219,382668	0,0888	0,9963

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 86 – Equações da reta e valores de (d), $\ln(Z)$ e $\ln(TR)$, extraídos dos gráficos da relação entre $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para a estação de Capanema

Equações	R ²	TR (anos)	d	Ln (Z)	Ln (TR)
$y = -0,7594x + 7,3033$	0,9999	5		7,3033	1,609
$y = -0,7594x + 7,4366$	0,9999	10		7,4366	2,303
$y = -0,7594x + 7,5046$	0,9999	15		7,5046	2,708
$y = -0,7594x + 7,5496$	0,9999	20	0,7594	7,5496	2,996
$y = -0,7594x + 7,5829$	0,9999	25		7,5829	3,219
$y = -0,7594x + 7,6792$	0,9999	50		7,6792	3,912
$y = -0,7594x + 7,7663$	0,9999	100		7,7663	4,605

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 87 – Valores de $\ln(a)$ e parâmetros (a) e (b), extraídos do gráfico da relação entre $\ln(z)$ e $\ln(TR)$ para a estação de Capanema

$\ln(a)$	a	b	R^2
7,0796	1187,493426	0,1529	0,9913

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 88 – Equações da reta e valores de (d), $\ln(z)$ e $\ln(TR)$, extraídos dos gráficos da relação entre $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para a estação de Santa Maria do Pará

Equações	R^2	TR (anos)	d	$\ln(Z)$	$\ln(TR)$
$y = -0,7594x + 6,9832$	0,9999	5		6,9832	1,609
$y = -0,7594x + 7,1159$	0,9999	10		7,1159	2,303
$y = -0,7594x + 7,1836$	0,9999	15		7,1836	2,708
$y = -0,7594x + 7,2285$	0,9999	20	0,7594	7,2285	2,996
$y = -0,7594x + 7,2617$	0,9999	25		7,2617	3,219
$y = -0,7594x + 7,3576$	0,9999	50		7,3576	3,912
$y = -0,7594x + 7,4445$	0,9999	100		7,4445	4,605

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 89 – Valores de $\ln(a)$ e parâmetros (a) e (b), extraídos do gráfico da relação entre $\ln(z)$ e $\ln(TR)$ para a estação de Santa Maria do Pará

$\ln(a)$	a	b	R^2
6,7602	862,8147415	0,1524	0,9914

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 90 – Equações da reta e valores de (d), $\ln(Z)$ e $\ln(TR)$, extraídos dos gráficos da relação entre $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para a estação de Santa Luzia do Pará

Equações	R ²	TR (anos)	d	Ln (Z)	Ln (TR)
$y = -0,7594x + 7,0807$	0,9999	5		7,0807	1,609
$y = -0,7594x + 7,2342$	0,9999	10		7,2342	2,303
$y = -0,7594x + 7,3114$	0,9999	15		7,3114	2,708
$y = -0,7594x + 7,3621$	0,9999	20	0,7594	7,3621	2,996
$y = -0,7594x + 7,3995$	0,9999	25		7,3995	3,219
$y = -0,7594x + 7,5066$	0,9999	50		7,5066	3,912
$y = -0,7594x + 7,6027$	0,9999	100		7,6027	4,605

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 91 – Valores de $\ln(a)$ e parâmetros (a) e (b), extraídos do gráfico da relação entre $\ln(Z)$ e $\ln(TR)$ para a estação de Santa Luzia do Pará

Ln (a)	a	b	R ²
6,8316	926,6723027	0,1722	0,9894

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 92 – Equações da reta e valores de (d), $\ln(Z)$ e $\ln(TR)$, extraídos dos gráficos da relação entre $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para a estação de Fazenda Urucure

Equações	R ²	TR (anos)	d	Ln (Z)	Ln (TR)
$y = -0,7594x + 7,2612$	0,9999	5		7,2612	1,609
$y = -0,7594x + 7,3855$	0,9999	10		7,3855	2,303
$y = -0,7594x + 7,4494$	0,9999	15		7,4494	2,708
$y = -0,7594x + 7,4918$	0,9999	20	0,7594	7,4918	2,996
$y = -0,7594x + 7,5233$	0,9999	25		7,5233	3,219
$y = -0,7594x + 7,6145$	0,9999	50		7,6145	3,912
$y = -0,7594x + 7,6975$	0,9999	100		7,69753	4,605

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 93 – Valores de $\ln(a)$ e parâmetros (a) e (b), extraídos do gráfico da relação entre $\ln(Z)$ e $\ln(TR)$ para a estação de Fazenda Urucure

$\ln(a)$	a	b	R^2
7,0491	1151,821637	0,1442	0,9922

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 94 – Equações da reta e valores de (d), $\ln(Z)$ e $\ln(TR)$, extraídos dos gráficos da relação entre $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para a estação de Tomé-Açu

Equações	R^2	TR (anos)	d	$\ln(Z)$	$\ln(TR)$
$y = -0,7594x + 7,2342$	0,9999	5		7,2342	1,609
$y = -0,7594x + 7,3298$	0,9999	10		7,3298	2,303
$y = -0,7594x + 7,38$	0,9999	15		7,38	2,708
$y = -0,7594x + 7,4137$	0,9999	20	0,7594	7,4137	2,996
$y = -0,7594x + 7,4389$	0,9999	25		7,4389	3,219
$y = -0,7594x + 7,5128$	0,9999	50		7,5128	3,912
$y = -0,7594x + 7,581$	0,9999	100		7,581	4,605

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 95 – Valores de $\ln(a)$ e parâmetros (a) e (b), extraídos do gráfico da relação entre $\ln(Z)$ e $\ln(TR)$ para a estação de Tomé-Açu

$\ln(a)$	a	b	R^2
7,0626	1167,476662	0,1149	0,9946

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 96 – Equações da reta e valores de (d), $\ln(Z)$ e $\ln(TR)$, extraídos dos gráficos da relação entre $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para a estação de Acampamento Mendes Junior

Equações	R ²	TR (anos)	d	Ln (Z)	Ln (TR)
$y = -0,7594x + 7,2505$	0,9999	5		7,2505	1,609
$y = -0,7594x + 7,3886$	0,9999	10		7,3886	2,303
$y = -0,7594x + 7,4589$	0,9999	15		7,4589	2,708
$y = -0,7594x + 7,5053$	0,9999	20	0,7594	7,5053	2,996
$y = -0,7594x + 7,5396$	0,9999	25		7,5396	3,219
$y = -0,7594x + 7,6385$	0,9999	50		7,6385	3,912
$y = -0,7594x + 7,7279$	0,9999	100		7,7279	4,605

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 97 – Valores de $\ln(a)$ e parâmetros (a) e (b), extraídos do gráfico da relação entre $\ln(z)$ e $\ln(TR)$ para a estação de Acampamento Mendes Junior

Ln (a)	a	b	R ²
7,0205	1119,346151	0,1576	0,9909

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 98 – Equações da reta e valores de (d), $\ln(Z)$ e $\ln(TR)$, extraídos dos gráficos da relação entre $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ para a estação de PA-256 / Rio Acara-Mirim

Equações	R ²	TR (anos)	d	Ln (Z)	Ln (TR)
$y = -0,7594x + 7,179$	0,9999	5		7,179	1,609
$y = -0,7594x + 7,2745$	0,9999	10		7,2745	2,303
$y = -0,7594x + 7,3246$	0,9999	15		7,3246	2,708
$y = -0,7594x + 7,3582$	0,9999	20	0,7594	7,3582	2,996
$y = -0,7594x + 7,3834$	0,9999	25		7,3834	3,219
$y = -0,7594x + 7,4571$	0,9999	50		7,4571	3,912
$y = -0,7594x + 7,5253$	0,9999	100		7,5253	4,605

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 99 – Valores de $\ln(a)$ e parâmetros (a) e (b), extraídos do gráfico da relação entre $\ln(z)$ e $\ln(I_{TR})$ para a estação de PA-256 / Rio Acara-Mirim

$\ln(a)$	a	b	R^2
7,0077	1105,109827	0,1147	0,9946

Fonte: Autoria própria (2023)

**APÊNDICE H - VALORES DE P-VALUE REFERENTES AOS GRÁFICOS DA
EQUAÇÃO DE LN (I) e LN (TC+c) E EQUAÇÃO DE LN (Z) e LN (TR)**

Tabela 100 – Valores do P-Value para as equações de $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ do grupo 1

TR	Belém		Mosqueiro		Santa Izabel do Pará		Castanhal	
	Ln (I)	Ln (t+c)	Ln (I)	Ln (t+c)	Ln (I)	Ln (t+c)	Ln (I)	Ln (t+c)
5	5,63E-24	3,31E-21	3,85E-24	3,31E-21	6,98E-24	3,31E-21	4,71E-24	3,31E-21
10	4,81E-24	3,31E-21	3,11E-24	3,31E-21	6,14E-24	3,31E-21	3,72E-24	3,31E-21
15	4,44E-24	3,31E-21	2,80E-24	3,31E-21	5,74E-24	3,31E-21	3,32E-24	3,31E-21
20	4,21E-24	3,31E-21	2,62E-24	3,31E-21	5,49E-24	3,31E-21	3,08E-24	3,31E-21
25	4,05E-24	3,31E-21	2,49E-24	3,31E-21	5,31E-24	3,31E-21	2,92E-24	3,31E-21
50	3,62E-24	3,31E-21	2,16E-24	3,31E-21	4,81E-24	3,31E-21	2,51E-24	3,31E-21
100	3,27E-24	3,31E-21	1,91E-24	3,31E-21	4,40E-24	3,31E-21	2,20E-24	3,31E-21
Média	4,29E-24	3,31E-21	2,71E-24	3,31E-21	5,55E-24	3,31E-21	3,21E-24	3,31E-21

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 101– Valores do P-Value para as equações de $\ln(i)$ e $\ln(tc+c)$ do grupo 2

TR	Primavera		Capanema		Santa Maria do Pará		Santa Luzia do Pará	
	Ln (I)	Ln (t+c)	Ln (I)	Ln (t+c)	Ln (I)	Ln (t+c)	Ln (I)	Ln (t+c)
5	4,94E-24	3,31E-21	4,53E-24	3,31E-21	7,10E-24	3,31E-21	6,18E-24	3,31E-21
10	4,48E-24	3,31E-21	3,78E-24	3,31E-21	5,88E-24	3,31E-21	4,98E-24	3,31E-21
15	4,25E-24	3,31E-21	3,45E-24	3,31E-21	5,35E-24	3,31E-21	4,48E-24	3,31E-21
20	4,10E-24	3,31E-21	3,25E-24	3,31E-21	5,02E-24	3,31E-21	4,18E-24	3,31E-21
25	4,00E-24	3,31E-21	3,11E-24	3,31E-21	4,80E-24	3,31E-21	3,98E-24	3,31E-21
50	3,70E-24	3,31E-21	2,74E-24	3,31E-21	4,21E-24	3,31E-21	3,44E-24	3,31E-21
100	3,44E-24	3,31E-21	2,45E-24	3,31E-21	3,74E-24	3,31E-21	3,03E-24	3,31E-21
Média	4,13E-24	3,31E-21	3,33E-24	3,31E-21	5,16E-24	3,31E-21	4,33E-24	3,31E-21

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 102 – Valores do P-Value para as equações de $\ln(I)$ e $\ln(t+c)$ do grupo 3

TR	Fazenda Urucure		Tomé-Açu		Acampamento Mendes Junior		PA-256 / Rio Acara-Mirim	
	$\ln(I)$	$\ln(t+c)$	$\ln(I)$	$\ln(t+c)$	$\ln(I)$	$\ln(t+c)$	$\ln(I)$	$\ln(t+c)$
5	4,80E-24	3,31E-21	4,99E-24	3,31E-21	4,87E-24	3,31E-21	5,38E-24	3,31E-21
10	4,05E-24	3,31E-21	4,37E-24	3,31E-21	4,04E-24	3,31E-21	4,72E-24	3,31E-21
15	3,72E-24	3,31E-21	4,08E-24	3,31E-21	3,67E-24	3,31E-21	4,40E-24	3,31E-21
20	3,51E-24	3,31E-21	3,90E-24	3,31E-21	3,45E-24	3,31E-21	4,21E-24	3,31E-21
25	3,37E-24	3,31E-21	3,77E-24	3,31E-21	3,30E-24	3,31E-21	4,06E-24	3,31E-21
50	2,99E-24	3,31E-21	3,42E-24	3,31E-21	2,89E-24	3,31E-21	3,68E-24	3,31E-21
100	2,68E-24	3,31E-21	3,12E-24	3,31E-21	2,58E-24	3,31E-21	3,36E-24	3,31E-21
Média	3,59E-24	3,31E-21	3,95E-24	3,31E-21	3,54E-24	3,31E-21	4,26E-24	3,31E-21

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 103 – Valores do P-Value para as equações de $\ln(Z)$ e $\ln(TR)$

Posto de coleta	$\ln(Z)$	$\ln(TR)$
Belém	1,08E-12	1,30E-06
Mosqueiro	1,40E-11	4,49E-06
Santa Izabel do Pará	2,17E-13	6,15E-07
Castanhal	2,98E-11	6,04E-06
Primavera	2,78E-14	2,76E-07
Capanema	3,77E-12	2,39E-06
Santa Maria do Pará	4,57E-12	2,35E-06
Santa Luzia do Pará	1,34E-11	3,94E-06
Fazenda Urucure	2,21E-12	1,85E-06
Tomé-Açu	2,79E-13	7,39E-07
Acampamento Mendes Junior	5,19E-12	2,71E-06
PA-256 / Rio Acara-Mirim	2,88E-13	7,38E-07

Fonte: Autoria própria (2023)

APÊNDICE I – PARÂMETROS DETERMINADOS PELO MÉTODO DE INTERPOLAÇÃO DO INVERSO DE UMA POTÊNCIA DA DISTÂNCIA (EXCETO SANTA IZABEL DO PARÁ)

Tabela 104 – Parâmetros determinados pelo método de interpolação do inverso de uma potência da distância para equação sintética de Capanema

Expoentes	a	b
ID1	1032,68	0,13
ID2	1064,06	0,12
ID3	1094,87	0,12
ID4	1123,01	0,11
ID5	1147,07	0,11

Fonte: Aatoria própria (2023)

Tabela 105 – Parâmetros determinados pelo método de interpolação do inverso de uma potência da distância para equação sintética de Tomé-Açú

Expoentes	a	b
ID1	1124,49	0,14
ID2	1123,59	0,14
ID3	1122,76	0,14
ID4	1122,03	0,15
ID5	1121,40	0,15

Fonte: Aatoria própria (2023)