



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL REI
CAMPUS ALTO PARAOPEBA

GUSTAVO DUQUE THOMAZ MOURÃO ELIAS

**EQUAÇÃO DE CURVA INTENSIDADE-DURAÇÃO-
FREQUÊNCIA PARA O MUNICÍPIO DE CONCEIÇÃO DO
MATO DENTRO - MG**

Ouro Branco, Minas Gerais
Dezembro - 2022



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL REI
CAMPUS ALTO PARAOPEBA

GUSTAVO DUQUE THOMAZ MOURÃO ELIAS

**EQUAÇÃO DE CURVA INTENSIDADE-DURAÇÃO-
FREQUÊNCIA PARA O MUNICÍPIO DE CONCEIÇÃO DO
MATO DENTRO - MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Graduação em
Engenharia Civil, da Universidade Federal de São
João del Rei, Campus Alto Paraopeba, como
requisito parcial para a obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Civil

Orientadora: Eliane Prado Cunha dos Santos

Ouro Branco, Minas Gerais
Dezembro-2022



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL REI

CAMPUS ALTO PARAOPEBA

Ficha catalográfica elaborada pela Divisão de Biblioteca (DIBIB)
e Núcleo de Tecnologia da Informação (NTINF) da UFSJ,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

E982e Elias, Gustavo Duque Thomaz Mourão.
Equação de curva intensidade-duração-frequência
para o município de Conceição do Mato Dentro - MG :
/ Gustavo Duque Thomaz Mourão Elias ; orientadora
Eliane Prado Cunha da Costa dos Santos. -- Ouro
Branco, 2022.
46 p.

Trabalho de Conclusão (Graduação - Engenharia
Civil) -- Universidade Federal de São João del-Rei,
2022.

1. Desagregação de dados. 2. Chuvas intensas. 3.
Testes de aderência. 4. Precipitação. I. Santos,
Eliane Prado Cunha da Costa dos, orient. II. Título.



Universidade Federal
de São João del-Rei

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL REI
CAMPUS ALTO PARAOPEBA**

GUSTAVO DUQUE THOMAZ MOURÃO ELIAS

**EQUAÇÃO DE CURVA INTENSIDADE-DURAÇÃO-
FREQUÊNCIA PARA O MUNICÍPIO DE CONCEIÇÃO DO
MATO DENTRO – MG**

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de
Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de São João del
Rei, Campus Alto Paraopeba, como requisito parcial para a obtenção do
grau de Bacharel em Engenharia Civil**

Aprovado em ____/____/____

Eliane Prado Cunha Costa dos Santos

Emmanuel Kennedy da Costa Teixeira

Roberto César de Almeida Monte-Mor



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL REI

CAMPUS ALTO PARAÓPEBA

Ao meu falecido avô Renato Madureira Thomaz, o qual desejei mais que tudo ver seu neto formar mas não pôde presenciar por não estar mais entre nós. Muito obrigado pelo carinho e amor, vô. Eu o amo muito.



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL REI

CAMPUS ALTO PARAPEBA

Sumário

RESUMO	1
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	7
3 METODOLOGIA	8
3.1 Descrição da área de estudo e seleção dos dados de precipitação.....	8
3.2 Ajuste de modelos estatísticos.....	10
3.3 Testes de Aderência	13
3.4 Desagregação da chuva para intervalos menores	16
3.5 Ajustes dos parâmetros da Curva IDF.....	19
3.6 Avaliação das Equações IDF.....	20
3.7 Comparações com literatura.....	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
4.1 Ajuste de modelos estatísticos.....	22
4.2 Testes de aderência.....	25
4.3 Desagregação de chuvas.....	27
4.4 Obtenção dos parâmetros e Curva IDF	29
4.5 Comparações com literatura.....	31
5 CONCLUSÃO	33
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL REI

CAMPUS ALTO PARAÓPEBA

Índice de figuras

Figura 1: Foto de Conceição tirada do ponto da Capela de Santana	8
Figura 2: Pluviograma do município de Conceição do Mato Dentro.....	9
Figura 3: Distribuição de probabilidade empírica contra modelos estatísticos	24
Figura 4: Valores críticos do teste Kolmogorov-Smirnov.....	26
Figura 7: Gráfico da Curva IDF desenvolvida via metodologia RDCC da CETESB até 300 minutos de duração.....	29
Figura 8: Gráficos da Curva IDF desenvolvida via metodologia RDCC de Abreu até 300 minutos de duração.....	30
Figura 9: Relação entre a intensidade obtida pela curva (mm/h) e a estimada pela desagregação (mm/h), junto com o valor de R^2 e as linhas de tendência	31
Figura 10: Interface do Plúvio 2.1	32



Índice de tabelas

Tabela 1: Anos hidrológicos e a suas respectivas precipitações máximas diárias	10
Tabela 2: Coeficientes de desagregação de chuva desenvolvidos pela CETESB	16
Tabela 3: Valores mínimos de alturas pluviométricas para o método de desagregação por CETESB (1986).....	17
Tabela 4: Coeficientes de desagregação de chuva obtidos por Abreu (2018).....	18
Tabela 5: Anos hidrológicos ordenados por máxima precipitação diária e frequência, com média e desvio-padrão da população do estudo	22
Tabela 6: Precipitação máxima estimada para os tempos de recorrência, de acordo com as distribuições de Gumbel, Log-normal e Log-Pearson Tipo III.....	23
Tabela 7: Alturas pluviométricas estimadas para o valor de probabilidade empírica	24
Tabela 8: Valores críticos para o teste Qui-Quadrado.....	25
Tabela 9: Valores críticos do teste Anderson-Darling para Log-Normal e L3P	26
Tabela 10: Valores críticos do teste Anderson-Darling para Gumbel.....	27
Tabela 11: Resultados dos testes de aderência	27
Tabela 12: Intensidades das chuvas (<i>mm/h</i>) obtidas para intervalos de tempos menores por meio da desagregação via coeficientes da CETESB (1986)	28
Tabela 13: Intensidades das chuvas (<i>mm/h</i>) obtidas para intervalos de tempos menores por meio da desagregação via coeficientes de Abreu (2018)	28
Tabela 14: valores dos índices de avaliação obtidos em relação a curva gerada e as alturas obtidas via desagregação	31
Tabela 15: valores de intensidade (<i>mm/h</i>) estimados para tempos de duração de 5 e 15 min, calculados para as curvas desenvolvidas no estudo e a curva por Freitas <i>et al.</i> (2001)	33



EQUAÇÃO DE CURVA INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA PARA O MUNICÍPIO DE CONCEIÇÃO DO MATO DENTRO – MG

Gustavo Duque Thomaz Mourão Elias

Universidade Federal de São João del-Rei

Eliane Prado Cunha Costa dos Santos

Universidade Federal de São João del-Rei

RESUMO

O dimensionamento de obras de infraestrutura hidráulica requer a análise de séries históricas de precipitações locais e, com base neste estudo, estipular os parâmetros de intensidade para as quais a obra será dimensionada. Uma metodologia utilizada para este fim é a Curva Intensidade-Duração-Frequência, a qual estabelece relações matemáticas entre as três variáveis. O presente estudo se propôs a construir esta relação para o município de Conceição do Mato Dentro – MG. Os dados foram obtidos via a Rede Hidrometeorológica Nacional, com acesso disponível no site da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Foram empregadas as distribuições de Gumbel, Log-Normal e Log-Pearson tipo III para as estimativas de precipitações máximas com período de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50 e 100 anos. A avaliação do ajuste e escolha da distribuição a serem empregadas foram feitas a partir dos resultados de testes de aderência Qui-Quadrado, Kolmogorov-Smirnov e Anderson-Darling. A distribuição Log-Normal apresentou o melhor desempenho para os três testes realizados, sendo então utilizada para a desagregação de valores de precipitação máxima em durações menores que 24 horas, etapa em que foram empregadas duas metodologias diferentes: Metodologia de Relações de Chuva de Diferentes Durações (RDCC) com coeficientes de desagregação desenvolvidos pela CETESB em 1986 e por Abreu em 2018. As duas curvas geradas apresentaram ajustes satisfatórios ($R^2 > 0,99$) em relação às alturas pluviométricas gerada pelos métodos de desagregação, permitindo com que este estudo possa contribuir futuramente para o dimensionamento de estruturas hidráulicas na cidade.

Palavras-chave: Desagregação de dados; Chuvas intensas; Testes de aderência; Precipitação.

1 INTRODUÇÃO

A precipitação é um dos componentes caracterizantes do clima de uma região e tem grande influência nas atividades sociais, econômicas e do meio ambiente (MACIEL;

OLIVEIRA, 2015). Contudo, eventos extremos de precipitação podem gerar grandes impactos negativos em comunidades humanas.

Nos últimos anos, os impactos das precipitações com intensidades elevadas têm sido mais frequentes, ocasionando diversos problemas em áreas urbanas e rurais como inundação, danos a obras de infraestrutura, transbordamentos de rede pluviais e até mesmo perda de vidas. Notícias de danos ocasionados por chuva intensas são comuns de serem relatados em tudo o mundo. Na região Serrana do Rio de Janeiro, em 2011, a chuva intensa e suas consequências (deslizamentos e enxurradas, por exemplo) resultaram em 30.000 pessoas desalojadas e 905 casualidades (BUSCH; AMORIM, 2011).

Tais eventos ressaltam a importância de se adotar medidas para prevenir e remediar o dano causado por chuvas intensas, sendo obras hidráulicas de drenagem e redirecionamento de fluxo de água um dos principais meios de amenizar os impactos de grandes descargas pluviais. Entre as obras de infraestrutura usadas para minimizar os impactos ocasionados pelas chuvas, podem-se citar: de sarjetas, galerias, bacias de retenção, telhados verdes etc., as quais têm o intuito de redirecionar, aproveitar ou reter as vazões superficiais geradas durante as chuvas intensas.

Lopes (2017) resalta a importância do uso de modelos estatísticos baseados em séries históricas de dados locais para relacionar o comportamento do ciclo hidrológico com diferentes intensidades de precipitação e seu período de retorno, estabelecendo assim a relação de intensidade, duração e frequência das chuvas de projeto. A Curva Intensidade-Duração-Frequência - também conhecida como Curva IDF- é bastante utilizada para o cálculo de intensidade de chuvas de projetos. Esta ferramenta gráfica expressa a relação entre a intensidade máxima de um evento de chuva; a duração de um evento qualquer e o seu tempo de retorno. O estudo pioneiro no Brasil desta metodologia se deu por meio dos trabalhos do engenheiro hidrólogo Otto Pfastetter (ABREU, 2018).

A qualidade dos dados obtidos pelas Curvas IDF depende da base de dados amostrais usada, bem como tamanho da amostra, a integridade dos dados e se as informações coletadas são representativas do regime de chuva da região estudada.

No Brasil a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) é responsável por diversas estações meteorológicas e em sua plataforma de dados *online*, a HIDROWEB, há uma lista com 2.767 estações pluviométrica, a maioria das quais são estações manuais.

Contudo, devido a vasta extensão territorial do país, esta distribuição ainda é insuficiente para a análise de regime de chuvas em certas regiões (ANA. 2022).

Há esforços de expansão desta rede e vem se utilizando novas tecnologias neste processo para coleta de dados pluviométricos. Entre elas, destacam-se as estações automáticas, as quais mantêm o registro da altura pluviométrica coletada em forma de informações digitais, enviando-as para redes de internet em tempo real (ECOTECNOLOGIA, 2022). Entretanto, o uso delas é recente e parte não chega a ter registros suficientes para formar uma base de dados satisfatória para estudos hidrológicos de longa data ou possuem uma cobertura muito esparsa para certas regiões do país.

Bayer *et al.* (2017) relatam que no estado de Goiás a cobertura da rede hidrológica é insuficiente e Pandolfo *et al.* (2017) citam que o estado de Santa Catarina também tem o mesmo problema, o que dificulta muitas vezes, os estudos hidrológicos destas regiões.

Considerando esta baixa cobertura apresentada em certas regiões do Brasil, em locais onde não há dados suficientes ou confiáveis sobre a precipitação, é comum adotar, em estudos hidrológicos, dados de regiões próximas hidrologicamente homogêneas, (BELLO, 2018).

Para modelar e prever chuvas com tempo de recorrência longo, é comum tratar o parâmetro intensidade da Curva IDF como variável aleatória, podendo relacioná-lo a diferentes distribuições probabilísticas, a fim de descrever seu comportamento. Tais distribuições são denominadas Funções de Distribuição de Probabilidade (FDP) (NAGHETTINI; PORTELA, 2011). A escolha da FDP deverá ser realizada de acordo com o evento a ser analisado. Para eventos extremos – como vazões de cheia e chuvas extremas – algumas das funções recomendadas são: Log-Normal, Gumbel (NETO, 2013) e Log-Pearson tipo III (SINGH *et al.* 1988).

A distribuição Log-Normal é uma variação da distribuição Normal (Gaussiana), com a diferença de que a variável aleatória é transformada em seu logaritmo a base dez antes de ser atribuída à lei estatística da Normal (HOCHHEIM, 2018). Um dos problemas apresentados pelo o uso desta distribuição é sua heterocedasticidade – os erros não são constantes ao longo da amostra, apresentando diferentes valores de variância para as observações feitas (R PROJECT, 2022).

O modelo de Gumbel é popular nos estudos hidrológicos devido a sua boa adequação a previsão de valores extremos, tornando-o útil para análise de eventos como chuvas de alta

intensidade e enchentes/secas de rios (GUIMARÃES, 2011). Contudo, como apontado por Naghettini e Portela (2007), tal distribuição não se adequa bem a valores intermediários, sendo a maior crítica contra o uso deste modelo.

A distribuição de Log Pearson Tipo III é uma adequação da distribuição Gama, com o acréscimo de um terceiro parâmetro (coeficiente de posição, denominado por γ ou ε) para ajuste da FDP (GUIMARÃES, 2011). Naghettini e Pinto (2007) apontam que seu uso é controverso para previsão de valores extremos e ainda relatam o estudo de Bobée (1975), no qual o autor encontrou situações que seu coeficiente de forma muda de sinal de acordo com a inferência estatística feita, alterando a simetria da distribuição e comprometendo os resultados gerados.

Devido às diferenças entre comportamento de diversos modelos matemáticos ou a natureza do conjunto de dados empíricos, um ajuste satisfatório aos dados originais pode não ocorrer. Para avaliar este ajuste, considerando uma margem de erro, é comum empregar os testes de aderência ou de ajustamento.

Estes testes colocam em confronto a base empírica contra o modelo matemático e, por meio de parâmetros estatísticos, determinam se o modelo teórico encontrado se ajusta de maneira satisfatória ao conjunto de dados empíricos (NAGHETTINI & PORTELA, 2011). Entre os testes de aderência mais usados, destacam-se: o Qui-Quadrado (χ^2); Kolmogorov-Smirnov (KS); e Anderson-Darling (AD).

Naghettini e Portela (2011) explicam que o teste Qui-Quadrado começa com a divisão do domínio da população em “ M ” diferentes intervalos. Após a separação das classes, o teste compara o número de elementos esperados da amostra na classe com o número de amostras reais presentes no intervalo de classe. Os autores explicam que o desempenho do teste está sujeito ao número de divisões “ M ” feitas e, preferencialmente, que tais intervalos possuam o mesmo tamanho e que se separe a população em quantis iguais.

Já em relação ao teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, Pérez (2018) explica que “o objetivo desta estatística é encontrar a diferença máxima entre a distribuição suposta dos dados F e a distribuição empírica F_n ”, avaliando se o valor máximo destas diferenças é decorrente de flutuações ou o modelo apresentado não se adequa ao grupo amostral estudado.

Sobre o desempenho destes dois testes, Pérez (2018) apresenta que o teste KS consegue analisar cada resultado individualmente, enquanto o teste do χ^2 avalia os dados

coletivamente por meio das classes, perdendo parte da informação devido ao agrupamento de dados. Em contrapartida, o teste χ^2 apresenta maior flexibilidade por apresentar a possibilidade de estimar os parâmetros populacionais, além de poder ser usado em distribuições discretas, com o teste KS apropriado apenas para testes de distribuições contínuas.

Já o teste Anderson-Darling é uma derivação do teste KS. Este método leva em consideração o modelo estatístico usado para o teste de hipótese, ao invés do modo “livre” do KS que não depende de uma distribuição específica para sua avaliação, além do teste AD ser mais sensível na avaliação das “caudas” das distribuições (NIST, 2021). Contudo, o *National Institute of Standards and Technology* (NIST) (2021) aponta em seu manual de estatística que, por causa da necessidade do conhecimento da distribuição usada, há poucos modelos para os quais o teste AD foi desenvolvido, tornando sua implementação mais difícil ou impossibilitada no caso de testes usando as distribuições não desenvolvidas.

Pode ser observado que há diferentes distribuições e testes de aderência que podem ser usados em estudo hidrológicos, contudo, a maior parte das estações hidrológicas do Brasil e do mundo possuem dados de precipitação diários, sendo necessário a transformação da chuva de um dia para intervalos menores de tempo, dependendo do estudo que está sendo realizado. Para esta finalidade, pode-se empregar métodos matemáticos para estipular possíveis valores de intensidade de chuva para estes intervalos menores, sendo a desagregação de chuva uma das técnicas mais empregadas para cumprir esta função.

De acordo com Santos (2009 *apud* ABREU, 2018), a desagregação de chuva pode ser definida como “coeficientes ou fatores multiplicativos que convertem (desagregam) a lâmina total precipitada de um dia em lâminas precipitadas de eventos com durações de 24 horas e, a partir da informação obtida, novos coeficientes de desagregação são aplicados para a obtenção de lâminas precipitadas com durações inferiores a 24 horas”.

O uso destes coeficientes numéricos para extrapolação de intensidade de chuvas em determinados intervalos de tempo é denominado como Método das Relações de Chuvas de Diferentes Durações (RDCC) e é o mais utilizado na engenharia em contexto nacional devido a sua simplicidade (DAMÉ *et al.*, 2008 *apud* SANTOS, 2018). Os coeficientes da CETESB são bastante utilizados na elaboração de diversos estudos no Brasil. Contudo, como para elaboração desses coeficientes foram usados dados em uma escala nacional, os quais podem não corresponder de maneira exata com o regime de chuva de uma região específica.

Abreu (2018) realizou um estudo comparativo entre os coeficientes de desagregação desenvolvidos pela CETESB (1986) e valores locais de 177 estações no estado de Minas Gerais. O autor concluiu que, apesar desta metodologia apresentar resultados aceitáveis para locais com falta de suprimento de dados pluviais, deve-se adotar a análise pluviográfica de preferência.

Lopes (2018) determinou os coeficientes de desagregação regionais para as cidades de Juiz de Fora e Coronel Pacheco, ambas em Minas Gerais, com uma distância de 30 km uma da outra. A autora notou que os coeficientes obtidos para as duas cidades não apresentaram diferenças significativas dos valores adotados pelo Departamento Nacional de Obras de Saneamento (que emprega os valores encontrados pelo estudo do CETESB).

Basso *et al.* (2016) elaboraram um mapa de isozonas para chuvas intensas no Brasil, a partir do trabalho feito por Taborga Torrico em 1974. Os autores classificaram mais de quarenta zonas diferentes, desenvolvendo coeficientes de desagregação para chuvas de tempo de retorno igual a dez anos. Eles observaram que houve diferenças significativas dos valores destes coeficientes entre certas regiões como, por exemplo, entre o Sudeste e o Centro-Oeste.

Santos (2018) recomenda que a melhor alternativa para um estudo hidrológico local seria o desenvolvimento de coeficientes de desagregação próprios regionais, por meio de análise de dados pluviográficos locais e as relações com as chuvas máximas de diferentes durações até 24 horas.

Embora haja escassez de dados hidrológicos no País, dificultando a caracterização do regime de chuvas com maior precisão, diversos autores elaboram Curvas IDFs levando em conta as diferentes combinações de metodologias e interpretações de resultados.

Campos *et al.* (2014) encontraram as constantes da equação da Curva IDF para 105 estações diferentes no estado do Piauí. O estudo utilizou o método de desagregação com os coeficientes desenvolvidos pela CETESB e métodos de regressão de linear e não-linear para encontrar os coeficientes locais das curvas IDFs. Eles observaram que tanto as curvas elaboradas por meio de regressão linear quanto da regressão não linear apresentaram boa correlação com as alturas pluviométricas utilizando o mesmo método de desagregação, obtendo-se coeficientes de correlação $R^2 > 0,98$.

Macedo e Peixoto (2022) estipularam os parâmetros da Curva IDF para o município de Conselheiro Lafaiete utilizando a metodologia RDCC desenvolvida pela CETESB (1986).

Os autores obtiveram os parâmetros da curva via regressão não linear por meio do *Solver*TM, ferramenta do *software* de planilha eletrônica *Excel*TM. A curva desenvolvida apresentou boa correlação com as alturas pluviométricas geradas via desagregação, com índices como R^2 maiores que 0,99.

Em relação a nível estadual, Freitas *et al.* (2001) realizaram um estudo sobre precipitações intensas para o estado de Minas Gerais, obtendo coeficientes locais para várias estações dentro do território do estado, incluindo duas estações estacionadas em Conceição do Mato Dentro.

Contudo, novos dados pluviométricos foram coletados após a data de publicação do estudo, os quais poderiam influenciar as estimativas de intensidade de chuva ao serem contabilizados. Além da defasagem de dados, fatores como a mudança climática podem ter ocasionado mudança no comportamento em eventos extremos de chuva. Schardong e Simonovic (2013) demonstraram em seu artigo que, para uma estação localizada na cidade de São Paulo, houve um aumento da média das precipitações máximas calculadas da Curva IDF gerada a partir de dados mais recentes em relação à curva gerada considerando a série histórica inteira.

A necessidade pela nova curva ao município se torna mais crítica ainda quando se considera que desde 2010, o município tem recebido investimentos externos por causa de seu subsolo rico em minério de ferro, atraindo empresas e movimentação de imigrantes ao local (BRASIL, 2022).

Diante disso, no presente trabalho foi realizado um estudo para elaborar uma Curva IDF para o município de Conceição do Mato Dentro.

2 OBJETIVOS

- Determinar os parâmetros da Curva Intensidade-Duração-Frequência para o município de Conceição do Mato Dentro/MG;
- Avaliar o desempenho dos modelos estatísticos para descrição de distribuição de eventos extremos de chuva, sendo testados a distribuição Gumbel, Log Normal e Pearson Tipo III;
- Comparar a curva obtida contra outras curvas elaboradas por diferentes autores na literatura.

3 METODOLOGIA

A metodologia usada nesta pesquisa foi dividida nas seguintes partes: *a)* descrição da área de estudo e seleção dos dados de precipitação; *b)* escolha e ajuste de modelos estatísticos ao regime apresentado; *c)* testes de aderência; *d)* desagregação da chuva para intervalos menores; *e)* ajustes dos parâmetros da Curva IDF; *f)* avaliação das equações geradas via índices como coeficiente de determinação R^2 e índice de *Wilmott* e *g)* concluindo com comparações feitas por tais índices entre os resultados obtidos e literatura.

3.1 Descrição da área de estudo e seleção dos dados de precipitação

O município de Conceição do Mato Dentro está localizado na região do Vale do Rio Doce. A cidade possui, aproximadamente, dezoito mil habitantes (IBGE, 2022). A Figura 1 mostra uma foto da cidade tirada em Capela de Santana, ponto turístico da cidade.

Figura 1: Foto de Conceição tirada do ponto da Capela de Santana



Fonte: <http://www.mineirosnaestrada.com.br/o-que-fazer-em-conceicao-do-mato-dentro/>.

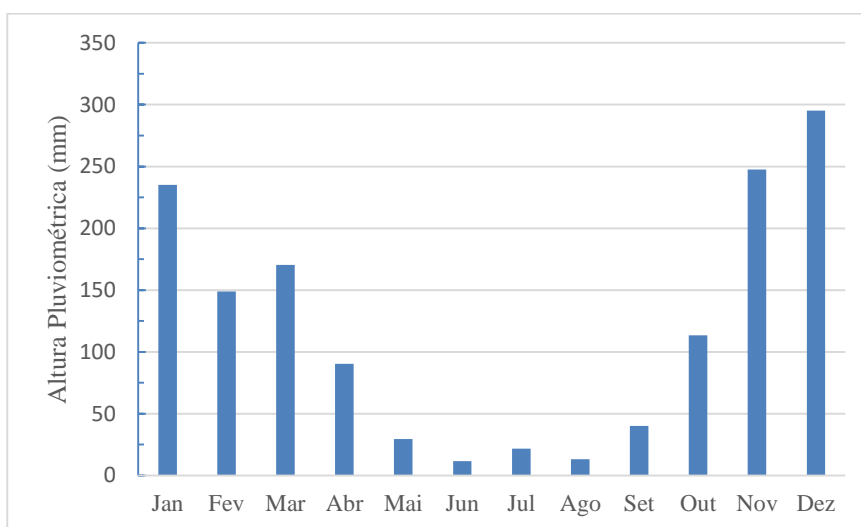
A região é polo local para ecoturismo, a qual apresenta alta biodiversidade devido à presença de regiões de Cerrado e Mata Atlântica (INFOSANBAS, 2022), com atrações como a Cachoeira do Tabuleiro e o Salão de Pedras (CONCEIÇÃO DO MATO DENTRO, 2022).

A cidade possui três estações pluviométricas com uma delas sob o controle e administração do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. A estação nº 1943059 do site HIDROWEB foi a escolhida para uso de base deste estudo e se localiza em Lat. -19,03°; Long. -43,43°, com início de operação em 1925 (ANA, 2022).

O INMET disponibiliza as informações coletadas de todas as suas estações no sistema de Banco de Dados Meteorológicos, no qual as leituras e informações de estações meteorológicas são armazenadas e ficam disponíveis para descarregamento e podem ser lidos e editados por programas de planilha eletrônica.

O ano hidrológico foi calculado por meio das médias das precipitações mensais, usando os dados do período de 1968 a 2022 e teve o início em outubro e o término em setembro, com o período chuvoso de outubro a março e seca entre abril e setembro. A Figura 2 apresenta o pluviograma da região do período definido.

Figura 2: Pluviograma do município de Conceição do Mato Dentro



Fonte: INMET.

Foram considerados inicialmente 19.723 dias do período em estudo, sendo que 2.069 não tinham a altura pluviométrica anotada. Os anos hidrológicos que possuíam um ou mais meses com 5% de dados faltantes (2 dias) foram descartados do estudo.

Após a avaliação dos dados foram considerados satisfatórios 28 anos dos 54 anos selecionados. A Tabela 1 mostra os anos selecionados com a precipitação máxima diária registrada para aquele período.

Tabela 1: Anos hidrológicos e a suas respectivas precipitações máximas diárias

Anos	Precipitação máxima diária (mm)
1968-1969	77,6
1969-1970	97,4
1970-1971	82,6
1971-1972	77,7
1972-1973	105,6
1973-1974	73,8
1974-1975	74,2
1979-1980	65,0
1986-1987	136,0
1990-1991	78,6
1992-1993	89,0
1993-1994	59,4
1996-1997	90,0
1998-1999	69,3
1999-2000	90,0
2000-2001	65,6
2001-2002	112,6
2002-2003	142,8
2003-2004	92,8
2004-2005	97,6
2005-2006	85,6
2006-2007	72,4
2009-2010	108,0
2010-2011	110,1
2011-2012	92,7
2012-2013	63,8
2017-2018	92,5
2019-2020	87,0

Fonte: INMET

3.2 Ajuste de modelos estatísticos

Após a seleção dos dados para o estudo, eles foram ajustados a três distribuições distintas, quais sejam: Gumbel, Log-Normal e Log Pearson tipo III. Essas distribuições foram escolhidas por serem recomendadas para análises de chuvas intensas (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

A função inversa da FAP da distribuição de Gumbel é expressa pela Equação 1 (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

$$y(T) = \beta - \alpha \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right]$$

Equação 1

Cujas incógnitas representam:

- $y(T)$ é a probabilidade estimada de acordo com a distribuição de Gumbel;
- T é a incógnita de entrada da função, neste caso o tempo de retorno da chuva (anos);
- β , o parâmetro de posição (adimensional);
- E α , o parâmetro de distribuição de posição (também adimensional).

Os parâmetros de posição (α) e de escala (β) podem ser estimados por meio do Método de Momentos, conforme constam nas Equação 2 e Equação 3 (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

$$\beta = \bar{X} - 0,45S_x$$

Equação 2

$$\alpha = \frac{S_x}{1,283}$$

Equação 3

Em que:

- β e α são os parâmetros de escala e posição, respectivamente;
- \bar{X} é a média da população estudada, no caso, a precipitação em *mm*;
- S_x é o desvio padrão da população, também em *mm*.

Substituindo β e α da Equação 1 pelas Equações 2 e 3, respectivamente, e simplificando a expressão, encontra-se a Equação 4.

$$y(T) = \bar{X} - S_x \left\{ 0,45 - 0,7797 \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\}$$

Equação 4

Para o cálculo das funções inversas da FAP para Gumbel, Log-normal e Log-Pearson tipo III, foram usados os tempos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100. Estes tempos de retorno foram escolhidos por serem comumente usados em obras hidráulicas como sarjetas, bocas de lobo, canais hidráulicos, etc.

A função Log-Normal é definida de forma bem semelhante a sua função mãe – a Curva Normal – com o adendo do uso do logaritmo natural da variável aleatória. Sua função de densidade de probabilidade pode ser expressa como mostra a Equação 5 (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

$$f_x(x) = \frac{1}{x\sigma_{\ln(X)}\sqrt{2\pi}} * \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{\ln(X) - \mu_{\ln(X)}}{\sigma_{\ln(X)}}\right]^2\right\} \text{ para } x > 0$$

Equação 5

Sendo:

- $f_x(x)$ representando a ordenada calculada para uma determinada variável aleatória;
- X representa a variável aleatória, neste caso, a precipitação em *mm*;
- $\sigma_{\ln(X)}$ é a média calculada dos logaritmos naturais da variável;
- $\mu_{\ln(X)}$ é o desvio padrão dos logaritmos da variável aleatória.

A distribuição Log-Normal não possui uma FAP com resolução analítica e requer outros métodos como integração numérica (NAGHETTINI; PINTO, 2007). Neste estudo foi utilizado a função “*qlnorm*” da linguagem de programação *R*, que usa os dados de entrada de frequência acumulada, média e desvio padrão dos logaritmos da população e retorna o valor da variável aleatória de uma distribuição Log-Normal (R PROJECT, 2022).

A FAP da distribuição de Log-Pearson tipo III é expressa em função de três parâmetros: α , β e γ (parâmetro de escala, forma e posição, respectivamente), podendo ser expressa como a Equação 6 (NAGHETTINI, PINTO; 2007):

$$F_x(x) = \frac{1}{\alpha\Gamma(\beta)} \int_{\gamma}^{\infty} \left(-\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} * \exp\left(-\frac{x-\gamma}{\alpha}\right) dx$$

Equação 6

Em que $\Gamma(\beta)$ é o valor da função no ponto igual a β . Por causa da impossibilidade de ser resolver a expressão analiticamente, necessita-se de outros métodos de abordagem para a obtenção dos valores de probabilidade acumulada da função. (NAGHETTINI, PINTO; 2007). Para o cálculo neste estudo, foi adotada a referência de Tomaz (2016). O valor esperado do logaritmo da distribuição LP3 é expresso na Equação 7.

$$Z_T = Z_m + K_z * \sigma_z$$

Equação 7

Cujos membros representam:

- Z_T é o valor esperado calculado, expresso por um logaritmo natural;
- Z_m é o valor médio dos logaritmos calculados;
- K_z é o fator de probabilidade da distribuição;
- σ_z , desvio padrão dos logaritmos das amostras.

O cálculo do fator de probabilidade K_z para a Log Pearson tipo 3 (LPIII) foi realizado via a transformação de Wilson-Hilferty (1931 *apud* NAGHETTINI; PORTELA, 2011), expressa na Equação 8.

$$K_z \cong -\frac{2}{g_x} \left\{ \left[\left(K_{Normal}^F - \frac{g_x}{6} \right) \frac{g_x}{6} + 1 \right]^3 - 1 \right\}$$

Equação 8

Em que:

- g_x é o coeficiente de assimetria da série de dados;
- K_{Normal}^F é o fator de probabilidade da distribuição normal.

Tanto o g_x quanto K_{Normal}^F podem ser obtidos por meio das funções internas do *software* de planilha eletrônica *Excel*TM, via as funções de “DISTRORÇÃO()” para o coeficiente de assimetria e função “INV.NORMP.N()” para o fator de probabilidade da norma (MICROSOFT, 2022).

3.3 Testes de Aderência

Para avaliação do ajuste dos dados às distribuições, foram utilizados três testes de aderência: Anderson-Darling (AD), Qui-quadrado (χ^2) e Kolmogorov-Smirnov (KS). O uso deles se dá pelo fato que, somado ao teste Filliben, eles são os testes de aderência mais comumente aplicados na hidrologia estatística (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Para realizar os testes de aderência, a probabilidade de ocorrência de um evento de chuva foi calculada por meio do método de Kimbal, conforme Equação 9.

$$P(x_i) \cong \frac{m}{n + 1}$$

Equação 9

Em que:

- m é a ordem em que o dado se posiciona quando a população é ordenada em ordem decrescente;
- n é o número de elementos nesta população.

O teste de Kolmogorov-Smirnov faz a avaliação da hipótese nula por meio da análise da diferença máxima entre as funções de distribuição acumulada (FDAs) dos conjuntos de dados. A estatística deste teste pode ser expressa pela Equação 10, dada por Naghettini e Pinto (2007).

$$D_N = \sup_{-\infty < x < \infty} |F_N(x) - F_X(x)|$$

Equação 10

Em que:

- D_N é a estatística do teste KS;
- $F_N(x)$ é a probabilidade acumulada da distribuição empírica para um determinado valor da variável;
- $F_X(x)$ é a probabilidade acumulada da distribuição estatística no mesmo ponto.

Para a distribuição de Gumbel, a expressão de sua FDA está disposta na Equação 11(NAGHETTINI; PINTO, 2007).

$$F(x) = 1 - e^{-e^{-\frac{y-\beta}{\alpha}}}$$

Equação 11

Em que:

- $F(x)$ é a frequência acumulada da distribuição de Gumbel em tal ponto;
- y sendo a altura pluviométrica precipitada, no caso desta análise, em mm ;
- β e α como os parâmetros de escala e posição da distribuição, respectivamente. Obtidos previamente nas Equações 2 e 3.

Como a obtenção da probabilidade acumulada da Log-Normal envolve a integração da Equação 5, foi utilizado o auxílio de cálculo computacional.

Para o cálculo das frequências acumuladas da distribuição Log-Normal, fora utilizada a função “*plnorm*” da linguagem *R*, a qual retorna o valor da probabilidade acumulada da

função Log-Normal, com base nos dados de entrada de valor da variável, média dos logaritmos da distribuição e desvio padrão dos logaritmos (R PROJECT, 2022).

O cálculo da distribuição de Log-Pearson Tipo III foi realizado via uma transformação da função para a gama, a qual as probabilidades acumuladas podem ser calculadas via a função `DIST.GAMA()` do *software* de planilha eletrônica Excel™. Os dados de entrada da função foram `DIST.GAMA(x-γ; α; β; VERDADEIRO)` (DEFIORE; HOVEY, 2003).

Para estimar os parâmetros da distribuição de Log-Pearson, Bobée (1975) apresentou as seguintes estimativas nas Equações 12, 13 e 14 para os valores das variáveis, encontradas via Método dos Momentos (considerando α com valor positivo).

$$g_x = \frac{2}{\beta^2}$$

Equação 12

$$\sigma_x^2 = \frac{\beta}{\alpha^2}$$

Equação 13

$$\mu_x = \gamma + \frac{\beta}{\alpha}$$

Equação 14

Em que:

- α , β e γ são os parâmetros de escala, forma e posição, respectivamente;
- g_x é a distorção da amostra;
- μ_x é a média da população;
- σ_x^2 é a variância da população.

O teste Anderson-Darling também avalia as distribuições por meio da diferença entre as FDAs, logo apresenta parâmetros e cálculos semelhantes ao teste KS. O valor de sua estatística é dado pela Equação 15 (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

$$A^2 = -N - \sum_{i=1}^N \frac{(2i - 1) \{ \ln F_x(x_{(i)}) + \ln [1 - F_x(x_{(N-i+1)})] \}}{N}$$

Equação 15

Onde:

- A^2 é a estatística do teste (adimensional);

- N é o número de observações;
- $F_x(x_{(i)})$ é a frequência acumulada calculada para tal valor da variável aleatória.

Para a estatística do teste Qui-quadrado utilizou-se a Equação 16 (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \frac{(O_i - E_i)^2}{O_i}$$

Equação 16

Em que:

- χ^2 é a estatística do teste Qui-quadrado (adimensional);
- O_i é o número de observações anotadas dentro de cada intervalo de classe da amostra;
- E_i é o número de observações esperadas em cada intervalo de classe, sendo esta estimativa dada por M/N (tamanho da amostra por número de classes).

3.4 Desagregação da chuva para intervalos menores

Para realizar a desagregação dos dados chuvas foram utilizados dois arranjos de coeficientes de desagregação diferentes desenvolvidos pela CETESB em 1986; e por Abreu em 2018.

3.4.1 Método de desagregação da CETESB (1986)

Para a transformação de uma chuva de um dia para uma chuva de duração de 24 horas, multiplica-se a altura registrada por 1,14. Para durações de 12 a 1 hora, multiplica-se a chuva de 24 horas obtida pelos coeficientes de desagregação dos respectivos intervalos. Por fim, valores de 30 minutos para intervalos menores devem ser obtidos da transformação da altura gerada para 1 hora. A Tabela 2 apresenta os coeficientes desenvolvidos pela instituição para determinados intervalos de tempo.

Tabela 2: Coeficientes de desagregação de chuva desenvolvidos pela CETESB

Relação entre alturas pluviométricas	Valor
5 min / 30 min	0,34
10 min / 30 min	0,54
15 min / 30 min	0,70
20 min / 30 min	0,81

25 min / 30 min	0,91
30 min / 1 h	0,74
1 h / 24 h	0,42
2 h / 24 h	0,48
3 h / 24 h	0,54
6 h / 24 h	0,72
8 h / 24 h	0,78
10 h / 24 h	0,82
12 h / 24 h	0,85
1 dia / 24 h	1,14

Fonte: CETESB, 1986.

CETESB (1986) indica valores mínimos de valores de alturas pluviométricas que devem ser obedecidas no processo de desagregação. Caso o resultado obtido via desagregação for menor que a altura mínima indicada, deve-se substituir o valor encontrado pelo mínimo recomendado. As alturas pluviométricas recomendadas se encontram na Tabela 3.

Tabela 3: Valores mínimos de alturas pluviométricas para o método de desagregação por CETESB (1986)

Duração (minutos)	Altura mínima (mm)
5	8
10	10
15	15
20	15
30	20
45	23
60	25
120	30
180	33
240	35
360	40

480	40
720	47
1440	55

Fonte: CETESB, 1986.

3.4.2 Método de desagregação de Abreu (2018)

Assim como no estudo anterior, deve-se transformar a precipitação de um dia para 24 horas. Todos os outros intervalos são transformados diretamente da precipitação de 24 horas. Os intervalos os quais se obtiveram coeficientes foram de 10, 20, 30, 40, 50, 60 (1 h), 120 (2 h), 180 (3 h), 240 (4 h), 360 (6 h), 720 (12 h) e 1440 (24 h) min.

Para Conceição de Mato Dentro, os coeficientes obtidos por Abreu estão apresentados na Tabela 4. Diferente da metodologia da CETESB (1986), não há coeficiente de desagregação previsto para 5 minutos de duração.

Tabela 4: Coeficientes de desagregação de chuva obtidos por Abreu (2018)

Relação entre alturas pluviométricas	Valor
10 min / 24 h	0,22
20 min / 24 h	0,36
30 min / 24 h	0,46
40 min / 24 h	0,52
50 min / 24 h	0,56
1 h / 24 h	0,59
2 h / 24 h	0,69
3 h / 24 h	0,74
4 h / 24 h	0,78
6 h / 24 h	0,84
12 h / 24 h	0,95
1 dia / 24 h	1,05

Fonte: ABREU, 2018.

3.5 Ajustes dos parâmetros da Curva IDF

Após a definição da intensidade da chuva para diferentes intervalos de duração e tempo de retorno, foi feito o ajuste dos parâmetros numéricos da Curva IDF. A forma geral é apresentada na Equação 17 (ABREU, 2018; CAMPOS *et al.*, 2014; LOPES, 2017).

$$I = \frac{K * T^a}{(t + b)^c}$$

Equação 17

Em que:

- I é a intensidade da chuva em mm/h ;
- T , tempo de retorno em anos;
- t , tempo de duração da chuva (min);
- K , a , b e c são parâmetros numéricos relacionados a região e local, os quais se deseja obter os valores.

O cálculo dos parâmetros da curva chave pode ser obtido por meio da soma dos quadrados dos resultados da desagregação e dos resultados obtidos pela curva, conforme mostrado na Equação 18 (PEREIRA *et al.*, 2017).

$$SQT = SQT_{Reg} + SQT_{Res}$$

Equação 18

Em que:

- SQT é a soma dos quadrados das intensidades obtidas por meio da desagregação;
- SQT_{Reg} , soma dos quadrados obtida por meio da curva IDF;
- SQR_{Res} , soma dos quadrados dos resíduos.

Para se obter os parâmetros, o lado direito da Equação 17 deve convergir ao valor de SQT . Foi utilizado métodos iterativos para obter as soluções desta igualdade, sendo a ferramenta empregada o *Solver*TM do programa *Microsoft Excel*TM.

Por meio do Solver, obtêm-se os coeficientes da curva chave, fazendo as restrições necessárias (MICROSOFT, 2022), sendo que para esta resolução foram adotadas as limitações de: i) a Equação 13 ser verdadeira; ii) SQT_{Res} ser igual a zero; iii) as células variáveis (K , a , b

e c) serem diferentes de zero; iv) método de resolução numérico adotado como Gradiente Reduzido Generalizado (GRG) (PEREIRA *et al.*, 2017).

3.6 Avaliação das Equações IDF

Para avaliar os coeficientes das equações da curva IDF obtidas, foram empregados índices paramétricos em relação aos dados originados pela desagregação. Os índices utilizados para avaliação foram: o coeficiente de determinação (R^2); o coeficiente de correlação linear de Pearson (r) e o índice de concordância de Willmott (d).

O coeficiente de determinação (R^2) é o quociente da variância explicada (SQT_{Reg}) pela variância total da amostra (SQT), podendo ser expresso conforme apresentado na Equação 19 (PEREIRA *et al.*, 2017).

$$R^2 = \frac{SQT_{Reg}}{SQT}$$

Equação 19

O coeficiente de correlação linear de Pearson (r) representa a aproximação dos pontos dos dados a uma reta. Ele é calculado por meio da divisão da covariância das variáveis da distribuição pelo produto dos seus desvios-padrão (NAGHETTINI; PINTO, 2007). Esta expressão pode ser representada conforme a Equação 20.

$$r = \frac{\sum(O_i - \bar{O}) * (E_i - \bar{E})}{\sqrt{\sum(O_i - \bar{O})^2 * \sum(E_i - \bar{E})^2}}$$

Equação 20

- r é o índice de correlação linear de Pearson (adimensional);
- O_i e E_i são os valores observados e esperados, respectivamente, sendo a intensidade da chuva neste caso (mm/h);
- \bar{O} e \bar{E} são as médias dos valores observados e esperados, respectivamente (mm/h).

O índice de concordância de Willmott (d) representa a precisão com a qual a variável simulada foi estimada, o qual pode ser obtido por meio da Equação 21 (WILMOTT, 1981).

$$d = 1 - \frac{\sum(E_i * O_i)^2}{\sum(|E_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2}$$

Equação 21

Em que d é o índice de concordância (adimensional).

O último parâmetro analisado, o coeficiente de desempenho (I_c) é o produto do coeficiente de correlação linear e o índice de concordância, expresso na Equação 22 (CAMARGO; SENTELHAS, 1997 *apud* PEREIRA *et al.*, 2017).

$$I_c = r * d$$

Equação 22

Com I_c sendo um parâmetro adimensional.

3.7 Comparações com literatura

Para comparação direta, utilizou-se o programa Plúvio para a consulta de parâmetros de Curva IDF para Conceição do Mato Dentro. O *software* foi desenvolvido pelo Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa.

Utilizando as curvas desenvolvidas no estudo e a fornecida pelo Plúvio, foram calculadas precipitações para durações de 5 e 15 minutos, considerando tempos de recorrência de 10, 25, 50 e 100. Estes valores de duração e tempo de recorrência são comumente usados para parâmetros de obras de drenagem como sarjetas, galerias e canais hidráulicos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos após selecionar os dados de precipitação considerando, no máximo, 5% de dados faltantes por mês, e o cálculo da probabilidade podem ser observados na Tabela 5.

Tabela 5: Anos hidrológicos ordenados por máxima precipitação diária e frequência, com média e desvio-padrão da população do estudo

Ano	Ordem	Chuva (mm)	Probabilidade Kimbal	Média (mm)	Desvio Padrão (mm)
2002-2003	1	142,8	3,45%	88,92	15,16
1986-1987	2	136,0	6,90%		
2001-2002	3	112,6	10,34%		
2010-2011	4	110,1	13,79%		
2009-2010	5	108,0	17,24%		
1972-1973	6	105,6	20,69%		
2004-2005	7	97,6	24,14%		
1969-1970	8	97,4	27,59%		
2003-2004	9	92,8	31,03%		
2011-2012	10	92,7	34,48%		
2017-2018	11	92,5	37,93%		
1996-1997	12	90,0	41,38%		
1996-1997	13	90,0	44,83%		
1992-1993	14	89,0	48,28%		
2019-2020	15	87,0	51,72%		
2005-2006	16	85,6	55,17%		
1970-1971	17	82,6	58,62%		
1990-1991	18	78,6	62,07%		
1971-1972	19	77,7	65,52%		
1968-1969	20	77,6	68,97%		
1974-1975	21	74,2	72,41%		
1973-1974	22	73,8	75,86%		
2006-2007	23	72,4	79,31%		
1998-1999	24	69,3	82,76%		
2000-2001	25	65,6	86,21%		
1979-1980	26	65,0	89,66%		
2012-2013	27	63,8	93,10%		
1993-1994	28	59,4	96,55%		

4.1 Ajuste de modelos estatísticos

A distribuição de Gumbel foi estimada usando os valores de média e desvio padrão calculados conforme a Tabela 5. Para os cálculos das distribuições de Log-Normal e Log-Pearson Tipo III, foi necessário utilizar a média e desvio padrão dos logaritmos naturais das alturas, resultando em 4,464 de média e 0,170 de desvio padrão. As alturas pluviométricas estimadas para 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos das três distribuições estão dispostas na Tabela 6.

Tabela 6: Precipitação máxima estimada para os tempos de recorrência, de acordo com as distribuições de Gumbel, Log-normal e Log-Pearson Tipo III

Tempo de retorno (anos)	Precipitação máxima diária (mm)		
	Gumbel	Log-normal	Log-Pearson tipo III
2	86,43	86,86	87,87
5	99,83	100,21	100,43
10	108,70	107,98	107,03
15	113,70	112,08	110,31
20	117,21	114,85	112,46
25	119,90	116,93	114,04
50	128,22	123,10	118,52
100	136,47	128,94	122,52

Nota-se que há uma divergência com os valores de precipitação estimados para os tempos de retorno do estudo com os atribuídos às precipitações registradas, em especial para valores mais extremos de precipitação. Como exemplo, as três distribuições apontam uma precipitação de intensidade próxima a 116 *mm* para o tempo de retorno de 25 anos. Contudo, para a frequência de 3,45% (aproximadamente igual a um tempo de retorno de 29 anos), foi registrado uma precipitação máxima diária de 142,8 *mm*.

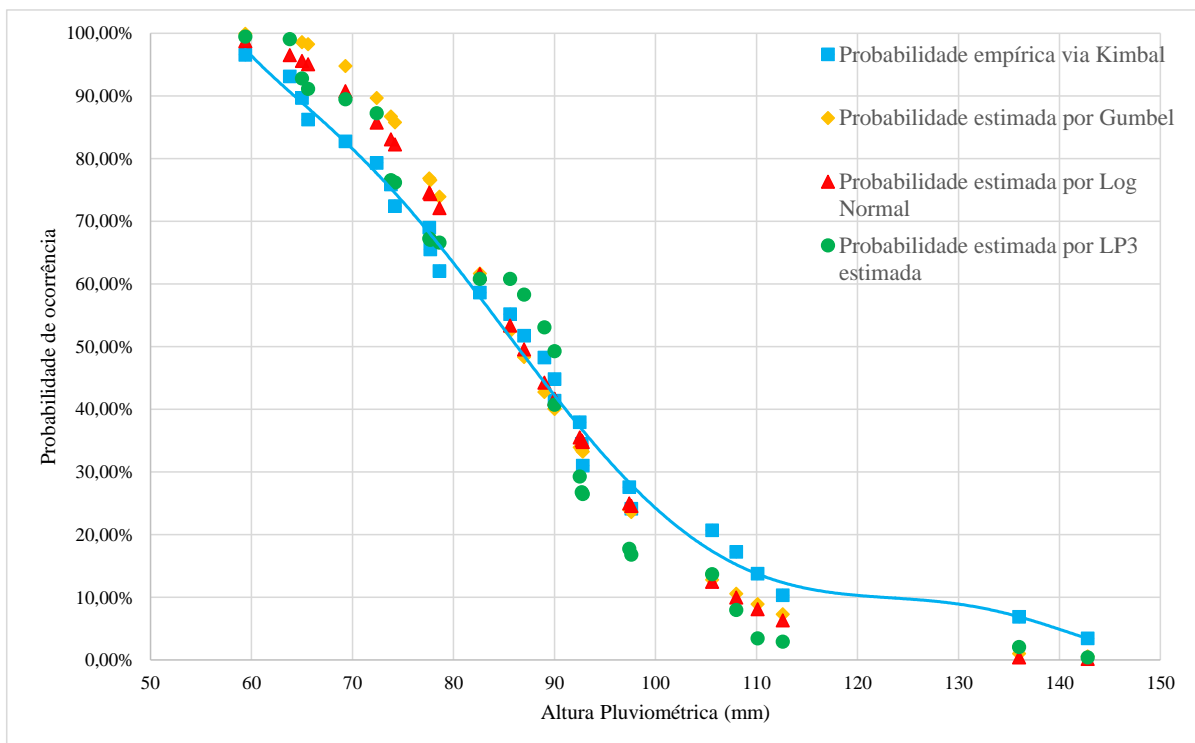
A Tabela 7 apresenta os valores de altura pluviométrica estimados para as probabilidades empíricas calculadas. Observa-se que a tendência observada de erros maiores para valores extremos de precipitação ainda está presente. Para a probabilidade calculada de 6,90%, por exemplo, as distribuições estimaram valores em torno de 112 *mm*, enquanto a registrada fora igual a 136 *mm*.

Já a Figura 3 mostra as curvas de distribuição dos modelos de Gumbel, Log-normal e LP3 (Log-Pearson Tipo III) comparada à probabilidade empírica estimada via Kimbal. Nas partes extremas do gráfico, é possível observar uma maior distância entre os pontos das precipitações estimadas a precipitação registrada, indicando um maior erro para a estimativa feita.

Tabela 7: Alturas pluviométricas estimadas para o valor de probabilidade empírica

Probabilidade Kimbal	Altura registrada (mm)	Altura estimada Gumbel (mm)	Altura estimada Log-normal (mm)	Altura estimada L3PI (mm)
3,45%	142,80	121,69	118,29	115,05
6,90%	136,00	113,29	111,74	110,05
10,34%	112,60	108,27	107,62	106,74
13,79%	110,10	104,65	104,52	104,15
17,24%	108,00	101,77	101,97	101,97
20,69%	105,60	99,38	99,79	100,06
24,14%	97,60	97,30	97,86	98,33
27,59%	97,40	95,46	96,10	96,73
31,03%	92,80	93,80	94,48	95,23
34,48%	92,70	92,27	92,96	93,80
37,93%	92,50	90,85	91,52	92,43
41,38%	90,00	89,51	90,14	91,10
44,83%	90,00	88,24	88,80	89,79
48,28%	89,00	87,02	87,50	88,51
51,72%	87,00	85,84	86,23	87,23
55,17%	85,60	84,70	84,97	85,95
58,62%	82,60	83,57	83,71	84,66
62,07%	78,60	82,46	82,45	83,35
65,52%	77,70	81,35	81,17	82,01
68,97%	77,60	80,24	79,86	80,62
72,41%	74,20	79,11	78,51	79,17
75,86%	73,80	77,94	77,10	77,63
79,31%	72,40	76,72	75,61	75,98
82,76%	69,30	75,43	73,99	74,18
86,21%	65,60	74,01	72,19	72,13
89,66%	65,00	72,41	70,11	69,73
93,10%	63,80	70,47	67,52	66,69
96,55%	59,40	67,74	63,79	62,20

Figura 3: Distribuição de probabilidade empírica contra modelos estatísticos



4.2 Testes de aderência

Para o cálculo dos valores críticos das estatísticas dos testes de aderência foi considerado um nível de significância α igual a 5%. Para o teste Qui-Quadrado foi considerado o número de amostras igual a 28 e cinco intervalos de classe e o teste foi verificado para dois graus de liberdade.

O valor crítico desta estatística pode ser obtido por meio da análise de quantis da distribuição Qui-Quadrado (NAGHETTINI, PINTO, 2007). A probabilidade acumulada da função é tabelada, com as relações de valores críticos expostos na Tabela 8.

Tabela 8: Valores críticos para o teste Qui-Quadrado

v	$\chi_{1-\alpha,v}$				
	$\chi_{0,995,v}$	$\chi_{0,99,v}$	$\chi_{0,975,v}$	$\chi_{0,95,v}$	$\chi_{0,90,v}$
1	7,88	6,63	5,02	3,84	2,17
2	10,6	9,21	7,38	5,99	4,61
3	12,8	11,3	9,35	7,81	4,61

Fonte: NAGHETTINI & PINTO, 2007.

Para dois graus de liberdade e 5% de significância, $\chi^2_{crit,0,95}$ será igual a 5,99.

O valor crítico do teste Kolmogorov-Smirnov é definido em função do número de elementos e o nível de significância adotado. Ele pode ser calculado por meio da tabela representada na Figura 4 (NAGHETTINI, PINTO; 2007). Para 28 amostras e a 5% de significância, o valor crítico do teste será igual a 0,250.

Figura 4: Valores críticos do teste Kolmogorov-Smirnov

Tabela 7.5 – Valores críticos da estatística $D_{n,\alpha}$ do teste de aderência KS									
N	$D_{N,0,10}$	$D_{N,0,05}$	$D_{N,0,02}$	$D_{N,0,01}$	N	$D_{N,0,10}$	$D_{N,0,05}$	$D_{N,0,02}$	$D_{N,0,01}$
10	0,369	0,409	0,457	0,489	26	0,233	0,259	0,290	0,311
11	0,352	0,391	0,437	0,468	27	0,229	0,254	0,284	0,305
12	0,338	0,375	0,419	0,449	28	0,225	0,250	0,279	0,300
13	0,325	0,361	0,404	0,432	29	0,221	0,246	0,275	0,295
14	0,314	0,349	0,390	0,418	30	0,218	0,242	0,270	0,290
15	0,304	0,338	0,377	0,404	31	0,214	0,238	0,266	0,285
16	0,295	0,327	0,366	0,392	32	0,211	0,234	0,262	0,281
17	0,286	0,318	0,355	0,381	33	0,208	0,231	0,258	0,277
18	0,279	0,309	0,346	0,371	34	0,205	0,227	0,254	0,273
19	0,271	0,301	0,337	0,361	35	0,202	0,224	0,251	0,269
20	0,265	0,294	0,329	0,352	36	0,199	0,221	0,247	0,265
21	0,259	0,287	0,321	0,344	37	0,196	0,218	0,244	0,262
22	0,253	0,281	0,314	0,337	38	0,194	0,215	0,241	0,258
23	0,247	0,275	0,307	0,330	39	0,191	0,213	0,238	0,255
24	0,242	0,269	0,301	0,323	40	0,189	0,210	0,235	0,252
25	0,238	0,264	0,295	0,317	>40	$1,22/\sqrt{N}$	$1,36/\sqrt{N}$	$1,52/\sqrt{N}$	$1,63/\sqrt{N}$

Fonte: NAGHETTINI & PINTO, 2007.

Semelhantemente ao Kolmogorov-Smirnov, o teste de Anderson-Darling também apresenta uma relação ao nível de significância tabelada (NAGHETTINI, PINTO; 2007), conforme mostram as Tabelas 9 e 10. Contudo, os valores críticos devem ser corrigidos por um fator de correção, o qual varia de acordo com um a distribuição testada.

Tabela 9: Valores críticos do teste Anderson-Darling para Log-Normal e L3P

Nível de significância (α)	0,100	0,050	0,025	0,010
$A^2_{crit,\alpha}$	0,631	0,752	0,873	1,035

Fonte: NAGHETTINI & PINTO, 2007.

Tabela 10: Valores críticos do teste Anderson-Darling para Gumbel

Nível de significância (α)	0,100	0,050	0,025	0,010
$A^2_{crit,\alpha}$	0,637	0,757	0,877	1,038

Fonte: NAGHETTINI & PINTO, 2007.

A Tabela 11 apresenta os resultados obtidos por meio dos testes de desagregação as distribuições estudadas. Observa-se que a distribuição Gumbel foi rejeitada para o teste de Anderson-Darling, com um valor encontrado para a estatística A^2 de 1,4677, sendo o valor crítico igual a 1,0772. Devido a este resultado, chegou-se à conclusão de que a distribuição de Gumbel poderia não ser representativa da distribuição de eventos de chuvas extremas do local.

Já para Log-Normal e Log-Pearson, observa-se que a folga dos testes de aderência na Log-Normal foi razoavelmente maior ou igual em relação as obtidas para LP3. Como pode ser observado na Tabela 8, para a estatística D_N , os valores obtidos para Log-Normal e LP3 foram 1,004 e 1,034, respectivamente. Já para a estatística A^2 , o valor encontrado para a Log-Normal foi igual a 0,7695, enquanto para LP3 foi de 0,8295. Por este motivo, escolheu-se a distribuição Log-Normal para a obtenção da Curva IDF na próxima parte do estudo.

Tabela 11: Resultados dos testes de aderência

Distribuição	Qui quadrado			Kolmogorv-Smirnov			Anderson-Darling		
	χ^2	$\chi^2_{crit,0.95}$	Folga (%)	D_N	$D_{crit,0.95}$	Folga (%)	A^2	$A^2_{crit,0.95}$	Folga (%)
Gumbel	1,6429	5,99	72,57%	0,1336	0,25	46,56%	1,4677	1,0772	-36,25%
Log-Normal	1,6429	5,99	72,57%	0,1004	0,25	59,84%	0,7695	1,0657	27,79%
LP3I	1,6429	5,99	72,57%	0,1034	0,25	58,64%	0,8295	1,0657	22,16%

4.3 Desagregação de chuvas

Com as estimativas de valores de precipitações máximas diárias para diferentes tempos de recorrência, obteve-se os valores de alturas pluviométricas precipitadas para menores intervalos de tempo. As Tabelas 12 e 13 apresentam as alturas pluviométricas obtidas via desagregação de chuva por meio do método CETESB e Abreu, respectivamente.

Tabela 12: Intensidades das chuvas (*mm/h*) obtidas para intervalos de tempos menores por meio da desagregação via coeficientes da CETESB (1986)

Duração (min)	Tempo de retorno (anos)							
	2	5	10	15	20	25	50	100
5	125,57	144,86	156,09	162,02	166,02	169,03	177,96	186,39
10	99,72	115,03	123,96	128,66	131,84	134,23	141,32	148,02
15	86,17	99,41	107,12	111,19	113,94	116,00	122,13	127,91
20	74,79	86,28	92,97	96,50	98,88	100,67	105,99	111,01
25	67,22	77,54	83,55	86,73	88,87	90,48	95,26	99,77
30	61,55	71,01	76,52	79,42	81,38	82,86	87,23	91,37
60	41,59	47,98	51,70	53,66	54,99	55,99	58,94	61,73
120	23,77	27,42	29,54	30,66	31,42	31,99	33,68	35,28
180	17,82	20,56	22,16	23,00	23,57	23,99	25,26	26,46
360	11,88	13,71	14,77	15,33	15,71	16,00	16,84	17,64
480	9,75	11,25	12,12	12,59	12,90	13,13	13,82	14,48
600	8,12	9,37	10,09	10,48	10,74	10,93	11,51	12,05
720	7,01	8,09	8,72	9,05	9,27	9,44	9,94	10,41
1440	4,13	4,76	5,13	5,32	5,46	5,55	5,85	6,12

Tabela 13: Intensidades das chuvas (*mm/h*) obtidas para intervalos de tempos menores por meio da desagregação via coeficientes de Abreu (2018)

Duração (min)	Tempo de retorno (anos)							
	2	5	10	15	20	25	50	100
10	120,39	138,89	149,66	155,34	159,18	162,07	170,62	178,71
20	98,50	113,63	122,45	127,10	130,24	132,60	139,60	146,21
30	83,91	96,80	104,31	108,27	110,94	112,95	118,92	124,55
40	71,14	82,07	88,43	91,79	94,06	95,77	100,82	105,60
50	61,29	70,71	76,19	79,08	81,04	82,51	86,86	90,98
60	53,81	62,08	66,89	69,43	71,15	72,44	76,26	79,88
120	31,47	36,30	39,11	40,60	41,60	42,36	44,59	46,71
180	22,50	25,95	27,97	29,03	29,75	30,28	31,88	33,39
240	17,79	20,52	22,11	22,95	23,52	23,94	25,21	26,40
360	12,77	14,73	15,87	16,48	16,88	17,19	18,10	18,95
720	7,22	8,33	8,98	9,32	9,55	9,72	10,23	10,72
1440	3,80	4,38	4,72	4,90	5,02	5,12	5,39	5,64

As Tabela 12 e 13 mostram que as maiores intensidades estimadas foram iguais a 186,39 *mm/h* e 178,71 *mm/h* para a desagregação utilizando-se os métodos da CETESB e de Abreu, respectivamente. Contudo, a maior intensidade calculada para a metodologia da CETESB foi para a chuva de 100 anos em um intervalo de 5 minutos; enquanto pela metodologia desenvolvida por Abreu, a maior intensidade foi para o tempo de recorrência de 100 anos para o intervalo de 10 minutos.

A menor intensidade calculada para a metodologia proposta pela CETESB foi de valor de 4,13 *mm/h* para 24 horas com 2 anos de recorrência, enquanto por Abreu, o menor valor também foi registrado para estes parâmetros de duração e tempo de recorrência, mas igual a 3,80 *mm/h*.

4.4 Obtenção dos parâmetros e Curva IDF

Os parâmetros K , a , b e c da curva intensidade-duração-frequência de chuvas intensas foram obtidos por meio do ajuste aos valores de intensidade gerados via desagregação de chuvas. Utilizando o Método do Gradiente Generalizado, a equação foi avaliada para valores de intensidade entre 5 minutos a 24 horas.

Substituindo os valores de coeficientes encontrados da Curva IDF na Equação 13, obteve-se as curvas IDFs para Conceição do Mato Dentro – MG, conforme pode ser observado nas Equações 23 e 24: a Equação 23 calculada via RDCC desenvolvida pela CETESB e a Equação 24 para a metodologia desenvolvida por Abreu.

$$I = \frac{1855,073 * T^{0,098}}{(t + 14,424)^{0,904}} \quad \text{Equação 23}$$

$$I = \frac{10994,024 * T^{0,095}}{(t + 39,835)^{1,155}} \quad \text{Equação 24}$$

As Figuras 7 e 8 apresentam a forma gráfica para as equações desenvolvidas. Pela análise gráfica, é possível observar que a intensidade da chuva seria diretamente proporcional ao tempo de recorrência e inversamente proporcional ao tempo de duração.

Figura 5: Gráfico da Curva IDF desenvolvida via metodologia RDCC da CETESB até 300 minutos de duração

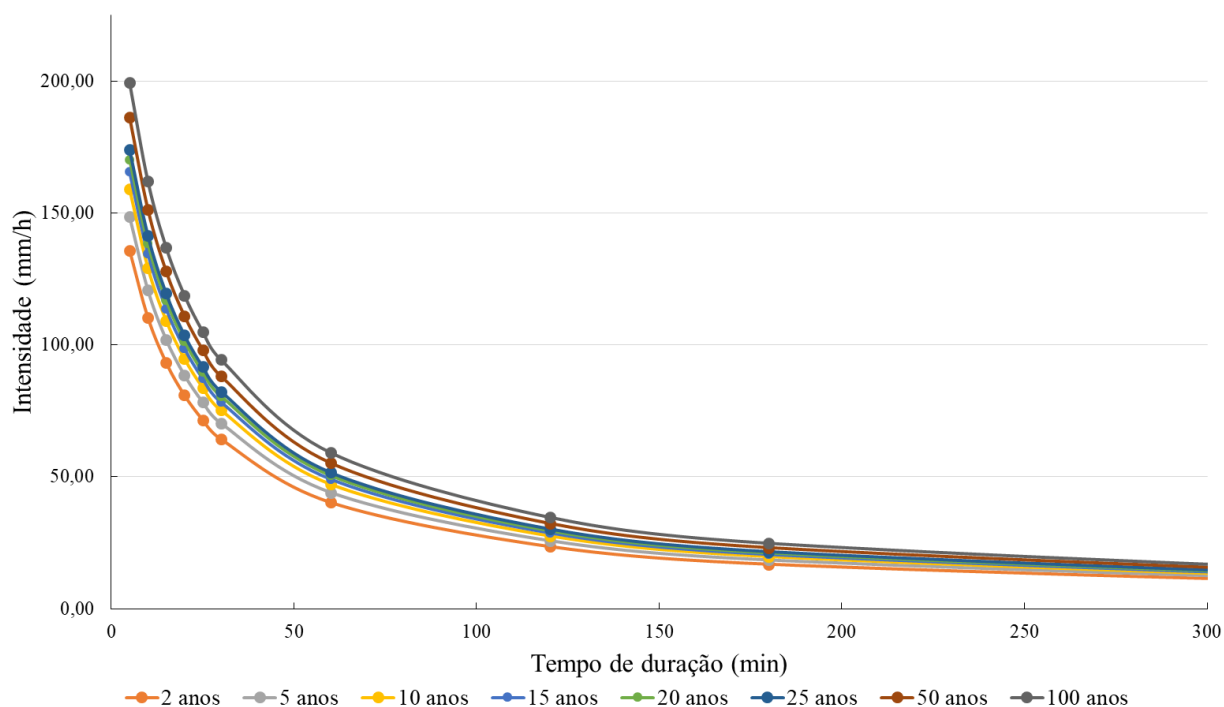
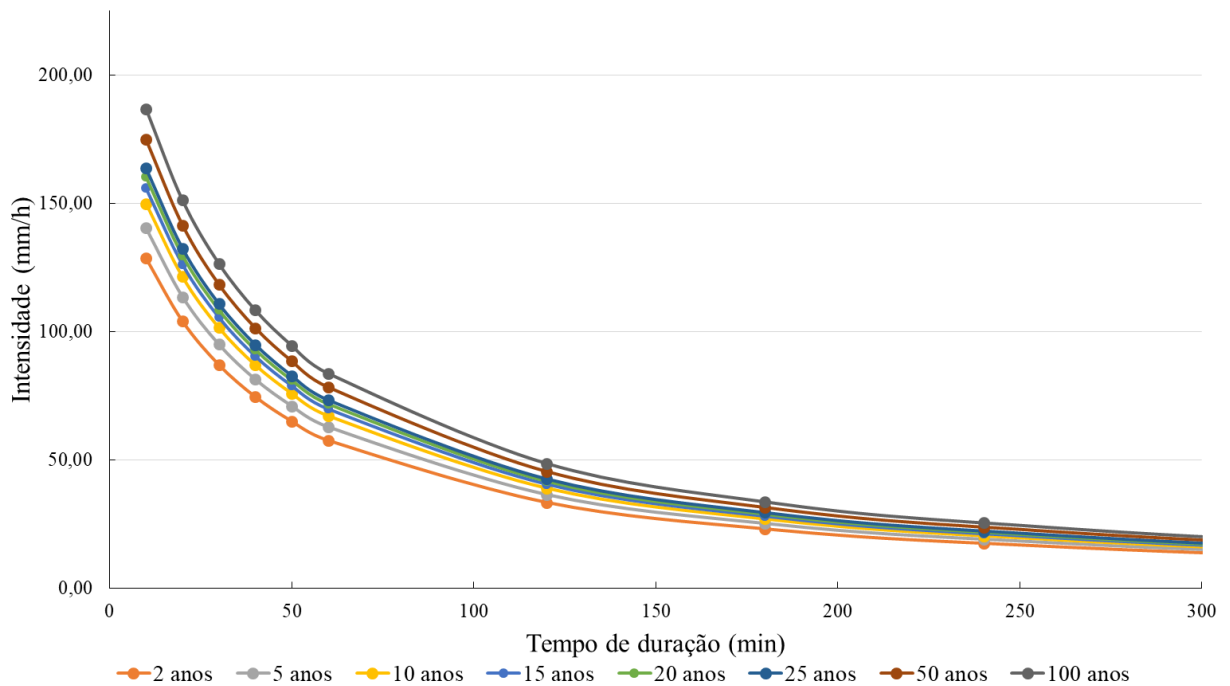


Figura 6: Gráficos da Curva IDF desenvolvida via metodologia RDCC de Abreu até 300 minutos de duração



A Figura 9 mostra a representação gráfica e valores dos coeficientes de determinação R^2 , os quais também estão listados na Tabela 14, junto com os outros indicadores de avaliação das curvas geradas. Em geral, observa-se uma boa correspondência dos valores gerados pela equação com os valores gerados pela desagregação, obtendo-se valores acima de 0,99 para todos os indicadores. Tais resultados corroboram com a qualidade do ajuste feito, sendo que outros estudos como Abreu (2018) obteve R^2 acima de 0,90 para todas as 177 curvas geradas por seus coeficientes de desagregação e acima de 0,84 para as realizadas com os coeficientes da CETESB.

Figura 7: Relação entre a intensidade obtida pela curva (mm/h) e a estimada pela desagregação (mm/h), junto com o valor de R² e as linhas de tendência

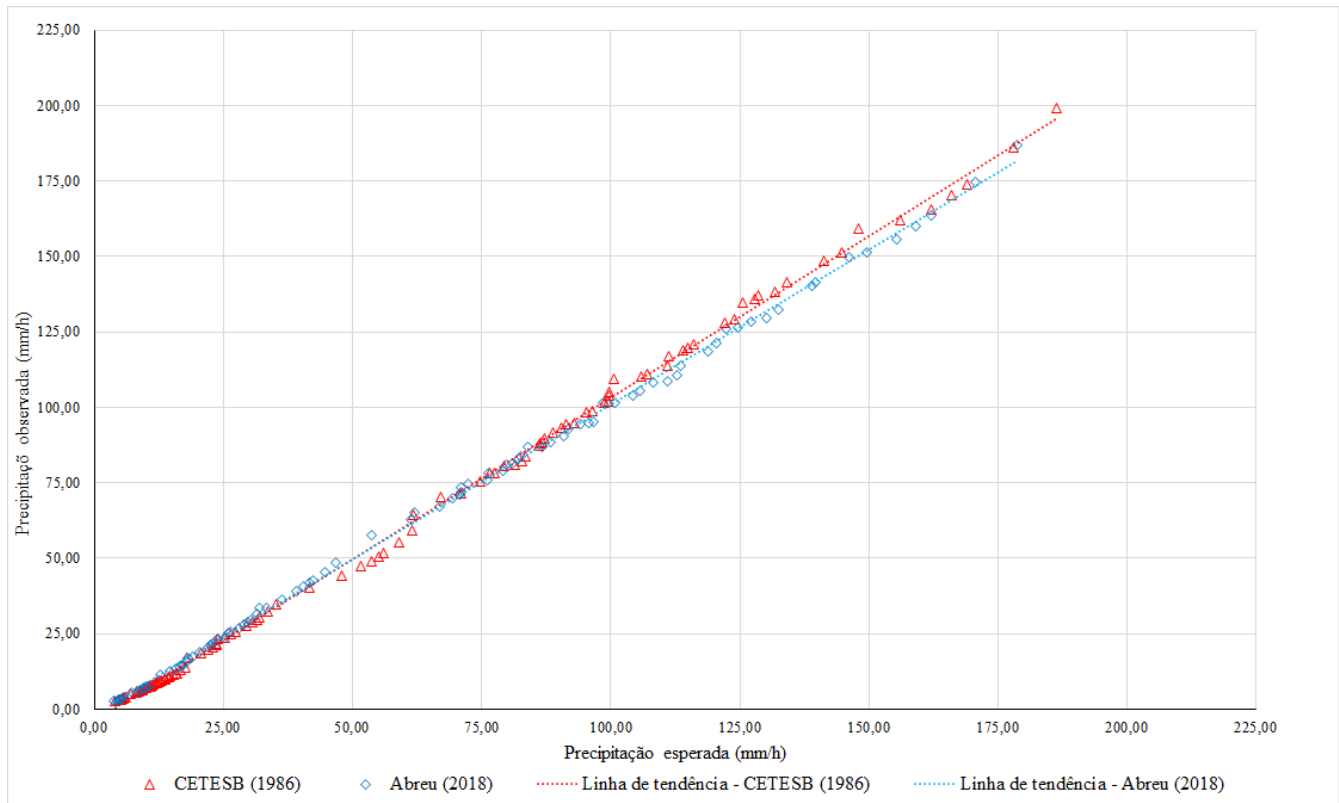


Tabela 14: valores dos índices de avaliação obtidos em relação a curva gerada e as alturas obtidas via desagregação

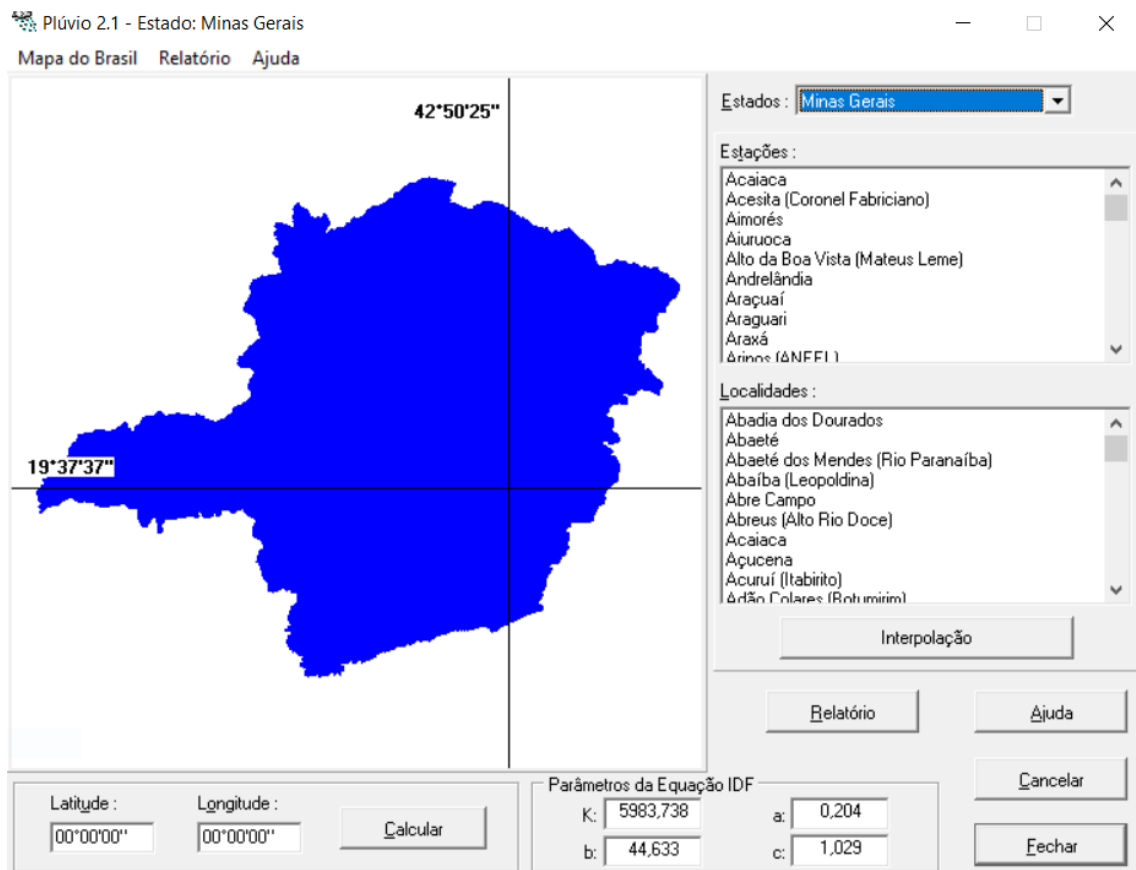
Coef. de desagregação	Indicadores de Avaliação			
	R ²	r	d	Ic
CETESB (1986)	0,9938	0,9991	0,9938	0,9929
Abreu (2018)	0,9979	0,9993	0,9995	0,9987

Contudo, é válido ressaltar que o bom encaixe da curva não significa que ela será condizente com dados empíricos futuramente. Como Abreu (2018) explicita: “esses valores de R² garantem bom ajustamento das equações aos respectivos conjuntos de dados desagregados pelas chuvas. Porém, esse ajuste não garante equivalência entre os dados observados e os dados estimados pelas equações RDCC”.

4.5 Comparações com literatura

Na tela inicial, pode-se escolher o estado e a estação a qual se deseja visualizar os parâmetros da curva. No caso do município estudado, seria “Conceição do Mato Dentro (INMET)”. A Figura 10 mostra a sua interface ao abrir o programa.

Figura 8: Interface do Plúvio 2.1



Fonte: UFV, 2022.

A equação disponibilizada pelo aplicativo foi obtida por Freitas *et al* (2001). Os parâmetros indicados pelo programa estão dispostos na Equação 25.

$$I = \frac{1206,628 * T^{0,182}}{(t + 18,394)^{0,756}}$$

Equação 25

A Tabela 15 apresenta os valores de intensidade de precipitação calculados pelas curvas geradas via CEBESP (1986), Abreu (2018) e a disponibilizada pelo Plúvio (FREITAS *et al.*, 2001).

Tabela 15: valores de intensidade (mm/h) estimados para tempos de duração de 5 e 15 min, calculados para as curvas desenvolvidas no estudo e a curva por Freitas *et al.* (2001)

Curva IDF	Duração (min)	Tempo de recorrência (anos)			
		10	25	50	100
Via CEBESP	5	159,06	174,02	186,26	199,37
	15	109,27	119,54	127,95	136,96
Via Abreu	5	169,40	184,89	197,54	211,05
	15	134,25	146,52	156,55	167,26
Freitas <i>et al.</i> (2001)	5	169,25	199,97	226,85	257,35
	15	129,32	152,79	173,34	196,64

Para a curva obtida via CEBESP (1986), observa-se que ela gerou os menores valores de precipitação para todos os casos correspondentes nas curvas geradas via Abreu (2018) e Plúvio. A tendência de subestimar os valores de precipitação pode ser indesejada, visto que projeto hidráulicos que fossem a utilizar para definição de seus parâmetros construtivos poderiam correr o risco de serem subdimensionados, comprometendo sua integridade.

Por outro lado, a curva fornecida pelo Plúvio apresentou, para a maioria dos casos, os maiores valores de intensidades calculados. A diferença fica mais evidente para o caso da chuva de 5 minutos e 100 anos de tempo de recorrência, apresentando uma precipitação calculada de $257,35 mm/h$, mais de $46 mm/h$ em relação a curva desenvolvida via Abreu (2018) e quase $58 mm/h$ a mais que a curva desenvolvida via CETESB (1986). Tais resultados podem levar ao superdimensionamento de obras, levando a perda de custos e desperdícios de materiais.

Todavia, é válido ressaltar que a curva de Freitas *et al.* (2001) foi construída há mais de 20 anos e os autores não usaram os dados pluviométricos mais recentes, os quais foram utilizados no presente estudo. A falta destas informações influenciou nos valores dos coeficientes obtidos, mas a extensão que tal fato explica estas diferenças é inconclusivo.

5 CONCLUSÃO

Para os dados de alturas máximas diárias de Conceição do Mato Dentro entre 1968 e 2022, a distribuição probabilística que obteve melhor ajuste foi a Log-Normal, obtendo-se menores valores para as estatísticas de testes de aderência ($\chi^2 = 1,6249$; $KS = 1,004$; $AD = 0,7695$) em relação aos valores obtidos para Gumbel ($\chi^2 = 1,6249$; $KS = 1,336$; $AD = 1,4677$) e Log-Pearson Tipo III ($\chi^2 = 1,6249$; $KS = 1,034$; $AD = 0,8295$).

As duas metodologias de desagregação aplicadas geraram resultados notavelmente diferentes, com a curva gerada pela metodologia da CETESB (1986) apresentando coeficientes locais dados por $K = 1855,073$, $a = 0,098$, $b = 14,242$ e $c = 0,904$; enquanto a curva gerada pela metodologia de Abreu (2018) apresentou $K = 10994,024$, $a = 0,095$, $b = 39,835$ e $c = 1,155$.

Em relação à curva designada àquela estação pelo programa Plúvio, as duas curvas obtidas neste estudo apresentaram estimativas consideravelmente diferentes de intensidades de precipitação, com a curva do programa geralmente apontando valores maiores de intensidade calculados. Tal observação poderia indicar uma tendência de superestimava dos valores de precipitação do estudo anterior ou subestimativa do presente estudo. Contudo, para a verificação de tais afirmativas, seria necessário realizar estudos sob precipitações de durações em menores intervalos de tempo e comparativos de metodologia usadas entre os dois estudos.

As relações obtidas de intensidade, duração e frequência de chuvas descritas neste estudo podem auxiliar o processo de dimensionamento de obras hidráulicas e para Conceição do Mato Dentro, com o seu potencial emprego em distritos e municípios próximos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, Marcel Carvalho. DESEMPENHO DE MÉTODOS DE DESAGREGAÇÃO DE CHUVAS INTENSAS. 2018, tese (pós-graduação de meteorologia agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 27 de março 2018. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/19141/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em 20 de agosto de 2022.

AMORIM, Sônia; BUSCH, Amarílis,. **A tragédia na região serrana do Rio de Janeiro: procurando respostas. Brasil. Casoteca da Gestão Pública – ENAP, Brasil, 2011.** Disponível em: <https://repositorio.enap.gov.br/handle/1/328>. Acesso em 2 de novembro de 2022.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **REDE HIDROMETEOROLÓGICA NACIONAL.** Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>. Acesso em 9 de dezembro de 2022.

BACK, A. J. et al. **Relações entre precipitações intensas de diferentes durações para desagregação da chuva diária em Santa Catarina.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Vol. 16, n. 4, 2012.

BASSO, R. B. *et al.* **Revisão das isozonas de chuvas intensas do Brasil.** Engenharia Sanitária Ambiental, 2016, v. 21, n. 4. DOI 10.1590/s1413-41522016133691.

BAYER, Maximiliano *et al.* **Estações fluviométricas do estado de Goiás: qualificação dos dados disponíveis na base HIDROWEN/ANA.** Ateliê Geográfico: Goiânia, 2016 v. 10, n. 3, p. 89 – p. 108.

BELLO, Italoema Pinheiro. **REGIONALIZAÇÃO DE CHUVA INTENSA PARA O ESTADO DE MINAS GERAIS.** 2018, dissertação (Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Sistemas Agrícolas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018. Disponível em: http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/32542/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Regionaliza%C3%A7%C3%A3o%20de%20chuva%20intensa%20para%20o%20estado%20de%20Minas%20Gerais.pdf. Acesso em 15 de novembro de 2022.

BOBÉE, Bernard. **The Log Pearson Type 3 Distribution and Its Application in Hydrology.** Institut National de la Recherche Scientifique-Eau: Québec, 1975, v. 11, n. 5.

CAMPOS, Alcinei Ribeiro et al. **Equações de intensidade-duração-frequência de chuvas para o estado do Piauí**. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável. Pombal, PB. V.11, nº3, p. 135-142, 2016.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Drenagem urbana: manual de projeto**. 1.ed. São Paulo: DAEE/CETESB, 1986. 466p.

COSTA, Karoline Tenório da. **AVALIAÇÃO DE DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE DAS VAZÕES MÉDIAS DIÁRIAS MÁXIMAS ANUAIS DO BRASIL**. 2014, dissertação (Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <https://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/1083M.PDF>. Acesso em 2 de outubro de 2022.

DEFIORE, Thomas; HOVEY, Peter. **Using Modern Computing Tools to Fit the Pearson Type III Distribution to Aviation Loads Data**. Office of Aviation Research: Washington, 2003. Disponível em: <https://www.tc.faa.gov/its/worldpac/techrpt/ar03-62.pdf>. Acesso em 5 de setembro de 2022.

ECOTECNOLOGIAS. **ESTAÇÃO TELEMÉTRICA**. Disponível em: https://ecotecnologias.org/?page_id=928. Acesso em 15 de novembro de 2022.

FREITAS, A. J *et al.* **Equações de Chuvas Intensas no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Companhia de Saneamento de Minas Gerais; Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2001.

GUIMARÃES, Rita Cabral. **PROBABILIDADE E ESTATÍSTICA APLICADA À HIDROLOGIA**. Universidade de Évora: Lisboa, 2011. Disponível em: <https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/4729/1/Probabilidade%20e%20Estat%C3%A0stica%20aplicada%20%C3%A0%20Hidrologia.pdf>. Acesso em 13 de agosto de 2022.

HOCHHEIM, Norberto *et al.* **DISTRIBUIÇÃO LOGNORMAL: PROPRIEDADES E APLICAÇÕES NA ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES**. In: COBRAC, 2018, Florianópolis. Anais [...]. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Panorama: Conceição do Mato Dentro**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/conceicao-do-mato-dentro/panorama>. Acesso em 14 de setembro de 2022.

INFOSANBAS. **Conceição do Mato Dentro – MG.** Disponível em: <https://infosanbas.org.br/municipio/conceicao-do-mato-dentro-mg/>. Acesso em 12 de outubro de 2022.

LOPES, Danielle de Castro. **Avaliação preliminar da relação intensidade-duração-frequência pelo método Kimbal e obtenção dos coeficientes de desagregação para diferentes durações de precipitação.** 2017, trabalho de conclusão do curso (Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora - 2017. Disponível em: <https://www2.ufjf.br/engsanitariaeambiental//files/2014/02/TFC-Danielle.pdf>. Acesso em 8 de outubro de 2022.

MACEDO, Caroline Coelho de; PEIXOTO, William Aparecido Rodrigues. **CURVA DE INTENSIDADE, DURAÇÃO E FREQUÊNCIA PARA O MUNICÍPIO DE CONSELHEIRO LAFAIETE – MG.** Trabalho de conclusão do curso (Engenharia Civil) – Universidade Federal de São João del-Rei, Ouro Branco, 2021. Disponível em: https://ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/ccivi/TCC-19_2021_2_Willian%20e%20Carol%20Artigo-site1.pdf. Acesso em 2 de agosto de 2022.

MACIEL, Samuel Alves; OLIVEIRA, Luís Antônio de. **CURVAS DE INTENSIDADE, DURAÇÃO E FREQUÊNCIA (IDF) PARA A CIDADE DE PATOS DE MINAS - (MG) DO PERÍODO DE 1969 A 2014.** In: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Brasília, Distrito Federal, novembro de 2015.

MICROSOFT. **Suporte do Microsoft 365.** Disponível em: <https://support.microsoft.com/pt-br/excel>. Acesso em 4 de novembro de 2022.

NAGHETTINI, Mauro; PINTO; Éber José de Andrade. **Hidrologia Estatística.** Belo Horizonte, Minas Gerais: CPRM, p560. 2007

NAGHETTINI, Mauro; PORTELLA, Maria Manuela. **PROBABILIDADE E ESTATÍSTICA APLICADAS À HIDROLOGIA.** Lisboa: DeCIVIL – IST. 2011.

NETO, José Gomes Cabral. **DISTRIBUIÇÕES ESTATÍSTICAS E CORRELAÇÕES TEMPORAIS DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA SEMIÁRIDA DE PERNAMBUCO.** 2013, dissertação (Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2013. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/5008>. Acesso em 8 de setembro de 2022.

NIST – NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. **1.3.5.14 Anderson-Darling Test.** Disponível em: <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda35e.htm>. Acesso em 21 de outubro de 2022.

PANDOLFO, Cristina. **Banco de Dados Meteorológicos: Análise dos Metadados das Estações Meteorológicas no Estado de Santa Catarina, Brasil.** Revista Brasileira de Meteorologia: São José dos Campos, 2017, v. 32, n. 1, p. 53-64.

PASSOS, Jéssica Bandeira de Melo Carvalho. **AVALIAÇÃO DE METODOLOGIAS DE ESTIMATIVA DE CHUVAS INTENSAS NA AUSÊNCIA DE DADOS PLUVIOGRÁFICOS.** Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Viçosa, Viçosa, Brasil, 2017. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/19362/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em 29 de outubro de 2022.

PEREIRA, D.C.; DUARTE, L.R.; SARMENTO, A.P. **Determinação da curva de intensidade, duração e frequência do município de Ipameri – Goiás.** Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 13, n.2, p.233-246, 2017.

PÉREZ, Fernando Lucambiro. **II. Problemas de amostra única.** Departamento de Estatística, Universidade Federal do Paraná: Santa Catarina. Disponível em: <http://leg.ufpr.br/~lucambio/Nonparam/NparamII.html>. Acesso em 12 de setembro de 2022.

R PROJECT. **Heteroscedasticity Introduction.** Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/olsrr/vignettes/heteroskedasticity.html>. Acesso em 8 de setembro de 2022.

R PROJECT. **Lnorm-class.** R Documentation. Disponível em: <https://search.r-project.org/CRAN/refmans/distr/html/Lnorm-class.html>. Acesso em 17 de novembro de 2022.

SCHARDONG, Andre; SIMONOVIC, Slodoban P. **POSSÍVEIS IMPACTOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM CURVAS INTENSIDADE DURAÇÃO FREQUÊNCIA.** In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves, Rio Grande Do Sul, novembro de 2013. Disponível em:

http://abrh.s3.amazonaws.com/Eventos/Trabalhos/66/SBRH2013_PAP012550.pdf. Acesso em 2 de dezembro de 2022.

SILVEIRA, A. L. L. Equação para coeficientes de desagregação de chuva. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos: 2000, Vol 5, n. 4.

SINGH, V. P *et al.* **PARAMETER ESTIMATION FOR LOG-PEARSON TYPE III DISTRIBUTION BY POME.** Journal of Hydraulic Engineering: 1988, v. 144, p, 112-122. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/147260194.pdf>. Acesso em 24 de outubro de 2022.

THOMAZ, Plínio. **Capítulo 151: Distribuição de Gumbel e Log-Pearson tipo III.** Curso de Manejo de Águas Pluviais: 2016.

WILMOTT, C. J. **ON THE VALIDATION OF MODELS.** Physical Geography: 1981, v. 2:2, p. 184-194. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/02723646.1981.10642213>. Acesso em 27 de outubro de 2022.