



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Ambiental
Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

Júlio de Carvalho Cardoso

**ESTUDO DAS CHUVAS INTENSAS NA REGIÃO
METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE SOB A ÓTICA DA
EQUAÇÃO INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA (IDF)**

Ouro Preto

2021

Júlio de Carvalho Cardoso

ESTUDO DAS CHUVAS INTENSAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO
HORIZONTE SOB A ÓTICA DA EQUAÇÃO INTENSIDADE-DURAÇÃO-
FREQUÊNCIA (IDF)

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto, defendida e aprovada em 26 de agosto de 2021 como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

Área de concentração: Hidrologia Urbana

Orientador: Prof^a. D.Sc. Aline de Araújo Nunes

Coorientador: Prof^a. D.Sc. Bárbara Cristina Mendanha Reis – UFOP

Ouro Preto

2021

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

C268e Cardoso, Julio de Carvalho.
Estudo das chuvas intensas na Região Metropolitana de Belo Horizonte sob a ótica da equação intensidade-duração-frequência (IDF). [manuscrito] / Julio de Carvalho Cardoso. - 2021.
74 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientadora: Profa. Dra. Aline de Araújo Nunes.
Coorientadora: Profa. Dra. Bárbara Cristina Mendanha Reis.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Ambiental .

1. Hidrologia urbana. 2. Mudanças climáticas. 3. Drenagem. 4. Chuvas - Frequência da intensidade. I. Nunes, Aline de Araújo. II. Reis, Bárbara Cristina Mendanha. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 556.166

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA URBANA



FOLHA DE APROVAÇÃO

Júlio de Carvalho Cardoso

Estudo das chuvas intensas na Região Metropolitana de Belo Horizonte sob a ótica da equação Intensidade-Duração-Frequência (IDF)

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental

Aprovada em 26 de agosto de 2021

Membros da banca

[Doutora] - Aline de Araújo Nunes - Orientador(a) (DEURB - Universidade Federal de Ouro Preto)
[Doutora] - Bárbara Cristina Mendanha Reis - Coorientador(a) (DEURB - Universidade Federal de Ouro Preto)
[Doutor] - Denis Furstenu Plec - (DEURB - Universidade Federal de Ouro Preto)
[Mestre] - Maria Luiza Teófilo Gandini - (DECIV - Universidade Federal de Ouro Preto)

[Aline de Araújo Nunes], orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 01/09/2021



Documento assinado eletronicamente por **Aline de Araujo Nunes, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 01/09/2021, às 16:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0216141** e o código CRC **28479182**.

Referência: Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.009160/2021-44

SEI nº 0216141

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35400-000
Telefone: - www.ufop.br

*Dedico este trabalho ao ensino público
e a todos que lutaram para que este se tornasse
um direito acessível a todos*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos aqueles que me apoiaram durante o período da graduação e desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso em especial:

Às minhas orientadoras, Aline e Bárbara, por toda paciência e esforço despendido para me auxiliar, mesmo durante a pandemia.

Aos professores do curso de Engenharia Ambiental, que compartilharam os seus conhecimentos para que eu pudesse estar aqui hoje.

Aos meus pais, por terem trabalhado arduamente para que esse sonho fosse possível e à minha irmã, Amanda, por ter me incentivado nos estudos e na carreira profissional com seus conselhos.

À Gabriela, que esteve presente me apoiando sempre que necessário.

À República Consulado, por ter sido meu lar durante a graduação, onde fiz amigos que levarei para toda vida.

Ao professor Wellington Lima dos Santos por todo apoio no tratamento dos dados.

À CPRM pela disponibilidade e apoio na construção do trabalho.

RESUMO

Houve a necessidade de se pensar em práticas para o manejo da água sobre o solo desde quando o homem começou a fixar-se em um único local, principalmente pelas condições climáticas adversas. Sendo assim, surgiu a necessidade da drenagem de águas superficiais e subterrâneas devido à ocorrência natural das chuvas, mas também em função da degradação ambiental, intensificada pelo elevado crescimento da população urbana, o que ocasionou um desenvolvimento socioambiental desproporcional ao desenvolvimento econômico. Assim, entende-se que o processo de urbanização comprometeu severamente os recursos naturais e hídricos disponíveis. Complementarmente, relata-se que a alteração nos padrões de chuva pode impactar drasticamente os sistemas de drenagem e, com o aquecimento global dos últimos anos, percebeu-se mudanças expressivas no padrão da precipitação e evapotranspiração, especialmente no escoamento superficial e na reserva subterrânea. Nessa perspectiva, é possível realizar pelas equações de chuvas intensas (curvas IDF, intensidade-duração-frequência) a quantificação dessas chuvas, relacionando intensidade, duração e frequência de um episódio em certo período, sendo igualmente importante a revisão dessas equações, de forma a evitar a defasagem no dimensionamento das estruturas de drenagem. Neste sentido, o objetivo geral do presente trabalho é analisar e quantificar as chuvas intensas sob a perspectiva da equação IDF na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), mais especificamente nas cidades de Belo Horizonte, Caeté e Vespasiano. Para o desenvolvimento metodológico, os dados subdiários de chuva foram disponibilizados pela CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), sendo, então, aplicado o teste estatístico de Kruskal-Wallis para verificar se havia diferença significativa entre as chuvas intensas nas cidades de Belo Horizonte, Caeté e Vespasiano. Posteriormente, o teste de Mann-Kendall foi aplicado para a análise de tendência, vislumbrando também verificar a necessidade de ajuste de uma nova equação IDF para a região. O comparativo entre as intensidades de chuva das estações analisadas, para as mesmas durações, identificou que, no mínimo, uma das médias é diferente para todas as durações de chuva, exceto para a duração de 1440 minutos. O trabalho apontou diferentes tendências para as estações analisadas, concluindo que a IDF proposta por Pinheiro e Naghettini (1997) não se mostrou abrangente para as localidades de Belo Horizonte e Caeté, considerando tempos de retorno superiores a 10 anos, o que atesta a necessidade de revisão das IDFs em locais que passaram por alto crescimento e desenvolvimento populacional.

Palavras-chave: Não-estacionariedade. Mudanças Climáticas. Drenagem Urbana.

ABSTRACT

There was a need to think about practices for the management of water on the ground since man began to settle in a single place, mainly due to adverse weather conditions. Thus, the need for surface and underground water drainage arose due to the natural occurrence of rain, but also due to environmental degradation, intensified by the high growth of the urban population, which caused a disproportionate socio-environmental development to economic development. Thus, it is understood that the urbanization process has severely compromised the available natural and water resources. In addition, it is reported that the change in rainfall patterns can drastically impact drainage systems and, with global warming in recent years, significant changes in the pattern of precipitation and evapotranspiration have been noticed, especially in surface runoff and in the underground reserve. From this perspective, it is possible to quantify these rains using intense rainfall equations (IDF curves, intensity-duration-frequency curves), relating intensity, duration and frequency of an episode in a certain period. avoid delays in the dimensioning of drainage structures. In this sense, the general objective of this work is to analyze and quantify heavy rains from the perspective of the IDF equation in the Metropolitan Region of Belo Horizonte (RMBH), more specifically in the cities of Belo Horizonte, Caeté and Vespasiano. For methodological development, the subdaily rainfall data were made available by the CPRM (Mineral Resources Research Company), and the Kruskal-Wallis statistical test was then applied to verify whether there was a significant difference between heavy rainfall in the cities of Belo Horizonte, Caeté and Vespasiano. Subsequently, the Mann-Kendall test was applied for trend analysis, also aiming to verify the need to adjust a new IDF equation for the region. The comparison between the rainfall intensities of the analyzed stations, for the same durations, identified that, at least, one of the averages is different for all rainfall durations, except for the duration of 1440 minutes. The work pointed out different trends for the analyzed stations, concluding that the IDF proposed by Pinheiro and Naghettini (1997) was not comprehensive for the localities of Belo Horizonte and Caeté, considering Return Times greater than 10 years, which attests to the need for review of IDFs in locations that have experienced high population growth and development.

Keywords: Non-stationarity. Climate changes. Urban Drainage.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Visita técnica à estação de coleta de dados meteorológicos 1943022. ...	32
Figura 2 – Pluviógrafo de caçamba basculante localizado na estação de coleta de dados meteorológicos 1943022.	32
Figura 3 – Localização das estações pluviométricas analisadas	34
Figura 4 - Formato dos dados disponibilizados em “.txt”	34
Figura 5 – Função utilizada no <i>Windows PowerShell</i> para agrupar arquivos “.txt” em “.csv”.	35
Figura 6 - Quantis adimensionais $\mu T, d$	43
Figura 7 – Média móvel das intensidades máximas de chuva para Belo Horizonte ..	44
Figura 8 - Média móvel das intensidades máximas de chuva para Caeté	44
Figura 9 - Média móvel das intensidades máximas de chuva para Vespasiano	45
Figura 10 - Linearização - Intensidade, duração (t) e parâmetro c para a estação de Vespasiano.....	49
Figura 11 - Linearização - Intensidade, duração (t) e parâmetro c para a estação de Vespasiano.....	50
Figura 12 - Linearização Log A e Log T para a estação de Vespasiano	51
Figura 13 - Linearização Log A e Log T para a estação de Caeté	51
Figura 14 - Gráfico comparativo entre as IDF ajustadas de Vespasiano e Caeté, com a série histórica de 1990 a 2014, e a IDF de Pinheiro e Naghettini (1997) para o tempo de retorno de 5 anos	54
Figura 15 - Gráfico comparativo entre as IDF ajustadas de Vespasiano e Caeté, com a série histórica de 1990 a 2014, e a IDF de Pinheiro e Naghettini (1997) para o tempo de retorno de 10 anos	55
Figura 16 - Gráfico comparativo entre as IDF ajustadas de Vespasiano e Caeté, com a série histórica de 1990 a 2014, e a IDF de Pinheiro e Naghettini (1997) para o tempo de retorno de 25 anos	56
Figura 17 - Gráfico comparativo entre as IDF ajustadas de Vespasiano e Caeté, com a série histórica de 1990 a 2014, e a IDF de Pinheiro e Naghettini (1997) para o tempo de retorno de 50 anos	56

Figura 18 - Gráfico comparativo entre as IDF ajustadas de Vespasiano e Caeté, com a série histórica de 1990 a 2014, e a IDF de Pinheiro e Naghettini (1997) para o tempo de retorno de 100 anos57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Exemplo da precipitação discretizada	36
Tabela 2 - Erro detectado para o dia 29/01/1999 na estação Caeté	38
Tabela 3 - Estações de referência para correção do erro no dia 29/01/1999.....	38
Tabela 4 - Resultado obtido para o teste de Kruskal-Wallis para diferentes durações de chuva.....	46
Tabela 5 - Resultado do teste de tendência de Mann Kendall para dados das estações de Vespasiano, Belo Horizonte e Caeté, no período de 1990 a 2014.....	47
Tabela 6 – Parâmetros da Distribuição de Gumbel (média, desvio padrão, α e β) para a estação de Vespasiano.....	48
Tabela 7 – Parâmetros da Distribuição de Gumbel (média, desvio padrão, α e β) para a estação de Caeté.	49
Tabela 8 - Parâmetros A, d e Log (T) para cálculo da IDF de Vespasiano e Caeté..	50
Tabela 9 – Parâmetros que individualizam a equação IDF ajustada para Vespasiano e Caeté (a, b, c, d).....	52

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivo.....	14
1.1.1 Objetivos Específicos.....	14
1.2 Estrutura do Texto	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1 Histórico da Drenagem Urbana.....	16
2.2 A urbanização e os impactos na Drenagem Urbana.....	17
2.3 Mudanças Climáticas Globais.....	21
2.4 Mudanças Climáticas Locais.....	22
2.5 A problemática das Mudanças Climáticas Locais na concepção das Equações Intensidade-Duração-Frequência.....	26
3 METODOLOGIA	29
3.1 Caracterização do local de estudo.....	29
3.1.1 Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH).....	29
3.1.2 Belo Horizonte	29
3.1.3 Vespasiano.....	30
3.1.4 Caeté.....	31
3.2 Obtenção e análise preliminar dos dados de precipitação subdiária da RMBH..	31
3.3 Análise dos dados de precipitação subdiária da RMBH por meio de métodos estatísticos	39
3.4 Proposição da nova curva IDF.....	41
4 Resultados e discussões	44
4.1 Análises das médias móveis e tendências para as precipitações de Belo Horizonte, Caeté e Vespasiano.....	44
4.2 Verificação da equação IDF de Pinheiro e Naghettini (1997) para os dias atuais	47
4.3 Análise Comparativa entre as Equações IDF Existentes para a Região METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE	52
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
REFERÊNCIAS.....	61
APÊNDICE A – Séries temporais de média móveis de alturas pluviométricas máximas por ano hidrológico.....	68

APÊNDICE B – Resultado dos Testes de Mann-Kendall	70
APÊNDICE C – Quantis Log para a estação de Vespasiano e Caeté	72
APÊNDICE D – Intensidades calculadas pela IDF ajustada para Vespasiano, Caeté e pela IDF de Pinheiro e Naghettini.....	74

1 INTRODUÇÃO

O surgimento da drenagem de águas superficiais e subterrâneas ocorreu ao longo do tempo e teve início pela fixação do homem em um único local, no qual precisou desenvolver métodos para o manejo da água a fim de produzir e irrigar alimentos no campo, independentemente das condições climáticas adversas (MATOS, 2003; MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2015).

Assim, o aumento do número de canais da drenagem artificial ocorreu devido a emigração das pessoas para áreas mais populosas, ao aumento de pavimentação das ruas e ao processo de urbanização desordenado, que somados aos resíduos e lixos depositados nestes canais, originou conflitos socioambientais e fortes inundações (FERNANDES, 2002; BURIAN; EDWARDS, 2002).

Percebe-se que no decorrer dos anos houve a substituição da drenagem natural pela drenagem artificial, o que tem contribuído para o surgimento de inundações, que muitas vezes são acarretadas por sistemas de drenagem mal instalados e/ou manuseados, como consequência de erros na concepção do projeto, falta de manutenção da rede, redução da vida útil, crescimento urbano desordenado, acrescidos da escassez de mão de obra capacitada na gestão desses sistemas (TUCCI, 2005).

Em termos de equívocos na concepção do projeto, é de conhecimento disseminado que os sistemas de recursos hídricos são projetados a partir da suposição de que a sequência de dados hidrológicos, de vazão ou de precipitação, seja estatisticamente estacionária. Entretanto, tal suposição pode não ser verificada quando são considerados aspectos como a mudança de cobertura vegetal, variabilidade e mudança climática. Nesses casos, os projetos baseados na estacionariedade dos eventos hidrológicos devem ser revistos, com o intuito de verificar os possíveis impactos dessas alterações no sistema hidráulico local (ALEXANDRE et al., 2010).

Em função disso, é imprescindível que os registros hidrológicos sejam analisados criteriosamente, a fim de buscar evidências de mudanças nos dados de uma série temporal. Nesse contexto, muitos testes estatísticos podem ser utilizados para verificar alterações em séries temporais de dados hidrológicos. Constata-se, então, que o presente estudo relacionado às chuvas intensas na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), sob a ótica da equação IDF (intensidade,

duração e frequência), é de suma importância, uma vez que a análise deste perfil de chuva pode auxiliar nos projetos e na gestão dos sistemas de drenagem, considerando, ainda, que a RMBH demonstra estar sendo afetada por tempestades cada vez mais frequentes.

1.1 OBJETIVO

O objetivo geral do presente trabalho é analisar e quantificar as chuvas intensas sob a perspectiva da equação intensidade-duração-frequência (IDF) na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), mais especificamente nas cidades de Belo Horizonte, Caeté e Vespasiano.

1.1.1 Objetivos Específicos

O objetivo geral pode ser pormenorizado nos seguintes objetivos específicos:

- Analisar se existe diferença significativa entre as intensidades máximas anuais de chuva das cidades de Belo Horizonte, Caeté e Vespasiano para durações de 10 a 1440 minutos;
- Verificar, por meio de testes estatísticos, se há tendência de crescimento ou decréscimo nas intensidades máximas anuais de chuva para durações de 10 a 1440 minutos;
- Propor novas equações intensidade-duração-frequência (IDF) para as estações analisadas, diante das possíveis diferenças e/ou tendências observadas.

1.2 ESTRUTURA DO TEXTO

O presente trabalho foi desenvolvido em quatro etapas distintas e complementares, dividido em: introdução, revisão bibliográfica, metodologia, resultados e discussões e conclusões. Também, foram acrescentados ao final do texto as referências e o apêndice.

Na Introdução discorreu-se sobre o impacto do processo de urbanização e a problemática da drenagem urbana sob a ótica das chuvas intensas, assim como a

justificativa deste trabalho. Ainda na introdução é possível encontrar o objetivo geral, os objetivos específicos e a estrutura do texto.

A Revisão Bibliográfica foi subdividida em cinco categorias. A primeira categoria – nomeada como histórico da drenagem urbana – aborda como se deu a origem da drenagem urbana no contexto nacional e internacional. Já na segunda categoria realizou-se a descrição da urbanização e os impactos na drenagem urbana. A terceira categoria está relacionada aos problemas das mudanças climáticas globais. Em seguida, foram descritas as mudanças climáticas locais. E por fim, apresentou-se a problemática das mudanças climáticas locais na concepção das equações IDF.

A seguir, tem-se a Metodologia que se dividiu em quatro subcategorias. A primeira subcategoria, “Caracterização do local de estudo”, é subdividida em: Região Metropolitana de Belo Horizonte, Belo Horizonte, Vespasiano e Caeté. Nesta é exposto o local dessas cidades, sua área, habitantes e história de origem de cada uma dessas na região. Na segunda categoria, intitulada “Obtenção e análise preliminar dos dados de precipitação subdiária da RMBH”, foram expostos os dados coletados a partir dos pluviógrafos localizados na região, assim como análises preliminares para a consistência das séries hidrológicas. Posteriormente, na terceira categoria, “Análise dos dados de precipitação subdiária da RMBH por meio de métodos estatísticos”, realizou-se a análise estatística dos dados de precipitação pelo programa Minitab® versão 18. Por último, na etapa de “Proposição da nova curva IDF”, foram propostas novas curvas IDF para as estações analisadas, diante dos resultados obtidos nas etapas anteriores, vislumbrando ainda a comparação com a equação IDF atualmente vigente, de Pinheiro e Naghettini (1997).

A quarta categoria, Resultados e Discussões, foi subdividida em três etapas. A primeira etapa consistiu nas análises das medias móveis e tendências para as precipitações de Belo Horizonte, Caeté e Vespasiano, enquanto a segunda etapa, verificação da equação IDF de Pinheiro e Naghettini (1997) para os dias atuais, busca analisar a aplicabilidade da equação de Pinheiro e Naghettini proposta em 1997 para a RMBH atualmente, diante das equações ajustadas neste trabalho.

Finalmente, como mencionado, procedeu-se à etapa de Conclusões, para o fechamento do trabalho, sendo ainda apresentados as Referências Bibliográficas e Apêndices.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 HISTÓRICO DA DRENAGEM URBANA

A arte da drenagem de águas superficiais e subterrâneas é tão antiga quanto a origem das civilizações. O fim da vida nômade e o estabelecimento do homem em localidade fixa foi possível no momento em que ele pôde inventar técnicas de manejo da água sobre o solo e utilizar o poder de percolação que ela possui para estabelecer os primeiros processos de irrigação e produção de alimentos, independentemente das condições atmosféricas (MATOS, 2003).

Desta forma, relata-se que dados socioambientais relacionados à água são históricos. Os locais em que se têm as primeiras informações são o Egito, a Mesopotâmia, a Índia e a China, datadas antes de Cristo. Os registros voltam-se ao rio Nilo, com barragens para promover o abastecimento, em conjunto com diques e canais para a fertilização do campo ao redor dele. Por serem as primeiras descobertas, as obras eram construídas em um processo de testes empíricos, por meio dos quais eram obtidos erros e acertos, melhorias e avanços (MIGUEZ, VERÓL e REZENDE, 2015). Apesar do pouco conhecimento e da utilização de métodos experimentais, muitos sistemas de drenagem da antiguidade puderam ser classificados como bem-sucedidos (MUMFORD, 1961).

Roma e o Rio Tibre também são encontrados nos primeiros dados sobre drenagem urbana. Uma rede de canais abertos e esgotos subterrâneos, ou cloacas, foram construídos, sendo que a maior das cloacas foi denominada como Cloaca Máxima, pois drenava as partes mais baixas de Roma sobre o rio (GEST, 1963). Após a queda do império romano, a sociedade emigrou para áreas mais populosas, ocasionando um modelo de saneamento mais equivocado com o aumento de pavimentação nas ruas, o que contribuiu para o rápido escoamento das águas, aumentando assim o número de canais de drenagem (FERNANDES, 2002).

Historicamente, estes canais de drenagem eram constituídos por valas abertas, que tinham como objetivo principal a condução do escoamento das águas pluviais urbanas. No entanto, com o decorrer do tempo, tornaram-se recipientes de lixos e resíduos, que eram frequentemente acumulados, sendo escoados apenas por circunstância das chuvas. Nesse sentido, a ausência de uma abordagem sanitária e higienista no planejamento das infraestruturas de drenagem urbana

culminou em epidemias que se alastraram por toda a Europa (BURIAN; EDWARDS, 2002).

No contexto do Brasil, por volta do século XX, o desenvolvimento pós-revolução Industrial foi responsável por um crescimento da ocupação urbana em espaços desproporcionais. O país não tinha estrutura e serviços urbanos para acompanhar essas mudanças, o que levou a um desenvolvimento socioambiental desvinculado do desenvolvimento econômico, fomentando a desigualdade social e a degradação ambiental (LUCAS *et al.*, 2015).

Desta forma, o governo precisava criar meios de conciliar a população trabalhadora em boas condições para se manter produtiva, ao mesmo tempo em que enfrentava problemas de higiene e de epidemias, uma vez que a falta de planejamento nas cidades atingiu os sistemas de saneamento básico, e a insalubridade se tornou um desafio ao urbanismo e à engenharia. Sendo assim, Silveira (2002) complementa que o início da drenagem urbana no Brasil se deu de forma emergencial, quando em 1956 mais de cinco mil pessoas morreram em decorrência da cólera, no Rio de Janeiro.

A partir de 1960, o Brasil passou de um país majoritariamente rural para um país urbano, o que tem acarretado, desde então, uma gama de impactos prejudiciais às condições ambientais das cidades (FORGIARINI, 2010).

2.2 A URBANIZAÇÃO E OS IMPACTOS NA DRENAGEM URBANA

O processo de urbanização, que trouxe para muitos territórios um novo modelo de desenvolvimento, impulsionou, desde a sua origem, o uso excessivo de recursos naturais como o principal meio de sanar as necessidades básicas do homem. No entanto, ainda que este processo tenha proporcionado muitos benefícios momentâneos, os recursos hídricos e naturais foram severamente impactados (ROCHA, 2014).

No contexto da drenagem de águas pluviais, os efeitos da urbanização são traduzidos por uma constante substituição da drenagem natural pela drenagem artificial, sendo que o aumento da impermeabilização das áreas urbanas faz com que sejam ultrapassadas algumas das etapas do escoamento superficial, interferindo no ciclo natural da água, além de ocasionar uma maior poluição no meio ambiente (TUCCI, 2005). Silva (2009) menciona:

A urbanização não planejada gera sérios impactos sobre a drenagem de uma cidade. Ela faz com que sejam impermeabilizadas grandes porções de solo. A construção de edificações, e a pavimentação de ruas, passeios e pátios são exemplos de obras que geram grande impermeabilização. Antes da impermeabilização, o escoamento superficial ocorria mais lentamente, e uma porção considerável infiltrava, era interceptado ou sofria evapotranspiração (SILVA, 2009, p.45).

Visando compensar estes efeitos, os sistemas de drenagem trabalham no sentido de recolher e transportar as águas residuais domésticas, industriais, comerciais e pluviais. A drenagem urbana consiste em um importante serviço para a sociedade, por estar diretamente ligada à qualidade de vida e à segurança de pessoas e bens (MARQUES *et al.*, 2013).

Considerando a relevância da temática, nos últimos anos ocorreram avanços consideráveis na compreensão das mudanças observadas na qualidade das águas de drenagem durante o transporte, armazenamento e tratamento da mesma, ou seja, os objetivos atuais da drenagem urbana englobam não apenas a proteção contra as inundações, mas também a saúde pública e a proteção ambiental (CHOCAT *et al.*, 2004).

O processo histórico de doenças e desastres ambientais tornou o planejamento da drenagem mais amplo e diversificado, tendo como facilidade a tecnologia não encontrada anteriormente. Por outro lado, na prática, ainda hoje o processo não é tão eficiente nos países em desenvolvimento, uma vez que estes não conseguem atingir infraestruturas adequadas e sustentáveis para sanar as necessidades do homem sem prejudicar o meio ambiente, ou seja, quando um dos dois fatores se beneficia, o outro é prejudicado, não havendo um equilíbrio nesta relação.

No contexto do Brasil, um importante aliado na busca por este equilíbrio é a Política Nacional do Saneamento Básico (Lei 11.445/2007), que determina as diretrizes nacionais para a drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, tendo como ponto principal a obrigatoriedade de um Plano Municipal de Saneamento Básico, para que os municípios demonstrem um papel mais ativo na gestão dos serviços de saneamento (SILVA; HORA, 2013).

No entanto, mesmo a Lei 11.445/2007 reconhecendo a drenagem urbana como um dos eixos que compõe o sistema de saneamento urbano, este ainda é considerado por muitos gestores municipais como menos relevante do que o

abastecimento de água e a coleta de esgotos, sendo muitas vezes desassociado destes (MARTINS, 2012; TUCCI, 2005; CRUZ; SOUZA; TUCCI, 2007).

Desta forma, no Brasil, um dos problemas que mais interfere no manuseio adequado da infraestrutura de drenagem é o panorama político. Em muitos municípios não são identificados planejamentos de longo prazo, considerando ainda que em situações de calamidade pública em decorrência de inundações, os mesmos recebem recursos que não necessitam sequer da realização de concorrência pública para serem gastos. Nesse cenário, torna-se mais simples a realização de ações emergenciais e não de investimentos preventivos (BERTONI; TUCCI, 2003).

Complementarmente, ainda há a falta de equipes técnicas capacitadas para instalarem e controlarem as infraestruturas de drenagem na maioria das prefeituras do país, enfatizando a importância de estudos científicos que abordem e analisem o cenário atual (TUCCI, 2005; MARTINS, 2012).

A falta de capacitação dos encarregados pela drenagem urbana se revela na ineficiência da operação dos sistemas, à medida que são os mesmos que tornam difícil a introdução de inovações tecnológicas, tanto no que diz respeito ao planejamento, quanto ao projeto e à gestão integrada do sistema (BAPTISTA; NASCIMENTO, 2002, p.05).

Diante do exposto, visualiza-se que o cenário da drenagem urbana no Brasil pode ser considerado ultrapassado, agravado também pela situação econômica e política do país. Conceitualmente, o preceito higienista, amplamente aplicado no século passado com o objetivo de afastar as águas das cidades, ainda é adotado de forma equivocada, sendo a canalização de rios uma das principais estruturas encontradas em centros urbanos (MENDONÇA, 2009). A evacuação rápida do excesso de águas pluviais por canais e condutos apenas transfere o problema para jusante.

Se antigamente o foco da drenagem estava na remoção das águas pluviais para jusante, atualmente o seu foco deve estar em não transferir estes impactos, visando o reequilíbrio do ciclo natural. Nesse sentido, destacam-se as práticas sustentáveis de drenagem, que minimizam ou reduzem a perturbação dos processos naturais do ciclo hidrológico (CRUZ; SOUZA; TUCCI, 2007).

O melhoramento das técnicas de drenagem urbana, a necessidade de estes serem economicamente sustentáveis, a necessidade da avaliação do impacto destes sistemas, assim como a necessidade de encontrar soluções

mais sustentáveis são da responsabilidade de toda a sociedade nomeadamente de engenheiros, políticos e técnicos do ambiente (BUTLER; DAVIES, 2011, p. 07).

Ainda que seu quadro atual seja rudimentar, a drenagem urbana brasileira está sendo repensada, com o intuito de não somente controlar qualitativamente as enchentes e resolver os problemas hidráulicos imediatos, mas também procurando obter alternativas mais eficazes de resolver os problemas hídricos atuais. Algumas capitais como Belo Horizonte, Porto Alegre e São Paulo estão criando atividades a fim de determinar planos diretores de drenagem urbana, seguindo as concepções ambientais (SOUZA, 2013).

O Ministério das Cidades gerencia atualmente um programa de drenagem urbana sustentável, viabilizando ações necessárias à implantação ou à melhoria de sistemas para recuperação, prevenção, controle ou minimização dos impactos provocados por enchentes urbanas. O programa contempla intervenções estruturais voltadas à redução das inundações e melhoria de segurança sanitária, patrimonial e ambiental dos municípios, por meio da execução de obras que privilegiam a redução, retardamento e amortecimento do escoamento das águas pluviais por meio de reservatórios de amortecimento de cheias; adequação de canais para a redução da velocidade de escoamento; sistemas de drenagem por infiltração; implantação de parques lineares; recuperação de várzeas e renaturalização de cursos de água (BRASIL, 2006).

Visualiza-se, dessa forma, que os desafios associados à drenagem de águas pluviais em centros urbanos são amplos e diversos. Fátima (2013) ainda pontua que um sistema de drenagem urbana adequado, ou corretamente projetado, não significa que tenha condições de absorver enchentes extraordinárias, ou fora da normalidade. O que se espera é que as consequências sejam de menor proporção nestas situações. Ainda neste contexto, a mudança/variabilidade climática, que tem se constituído como principal causadora dos desastres naturais no Brasil e no mundo (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009), também representa um dos maiores entraves para o planejamento e gestão dos recursos hídricos.

2.3 MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS

As mudanças climáticas são consequências de uma diversidade de fatores vivenciados e/ou alterados ao longo dos anos, tais como: a proporção entre áreas verdes e impermeáveis; o crescimento populacional; a forte urbanização e o desenvolvimento industrial. Estes fatores provocam, dentre outros impactos, o aumento da emissão de gases de efeito estufa na Terra, modificando e agravando o fenômeno natural da mudança climática (SANTOS, 2014).

Estima-se que 90% do aumento da temperatura na Terra é causado pela ação do homem. Já as causas naturais podem estar relacionadas às alterações na radiação solar e dos movimentos orbitais da Terra (IPCC, 2015). O homem tem a capacidade de perturbar a dinâmica da Terra, alterando seu equilíbrio físico-químico, sua superfície e a velocidade dos processos (NUNES, 2003).

A interferência do homem na Terra é histórica, porém os problemas começaram a se tornar mais evidentes com a Revolução Industrial (meados do século XVIII). A revolução gerou grande exploração das fontes não renováveis de energia, insumos utilizados para o desenvolvimento tecnológico até hoje (RAMOS, 2010). Desta forma, a poluição atmosférica foi acentuada com o avanço industrial e tecnológico, ao mesmo tempo em que houve a intensificação do meio urbano.

Dentre as diversas consequências do aumento da temperatura média do planeta, fenômeno conhecido como aquecimento global, nos últimos anos percebeu-se uma mudança significativa no padrão de precipitação e evapotranspiração, assim como do escoamento superficial e da reserva subterrânea. O aquecimento global tem o potencial de causar taxas mais elevadas de evaporação e, conseqüentemente, transportar grandes quantidades de vapor de água para a atmosfera, acelerando, assim, o ciclo hidrológico global (SEMENOV; BENGTTSSON, 2002; LABAT et al., 2004; XU et al., 2006; TRENBERTH *et al.*, 2007).

Prevê-se que quanto mais distante do equador for a latitude, mais rápido se dará, nos próximos anos, o aumento das temperaturas, podendo gerar um menor gradiente de temperatura entre a latitude média do equador e a polar, afetando, assim, as correntes de vento. Dessa forma, para a região do Atlântico Norte, podem ocorrer eventos hidrometeorológicos extremos com maior frequência, como tempestades fortes no inverno ou secas prolongadas no verão (ALLEY *et al.*, 2007).

Ainda de acordo com Alley *et al.* (2007), nas regiões polares, prevê-se uma redução significativa das geleiras, e a elevação do nível do mar, provocando a expansão das águas. Complementarmente, são relatadas algumas alterações evidentes, como o fenômeno do El Niño que ocorre com o aquecimento incomum das águas do Pacífico, aumentando a seca em algumas regiões e também ocasionando chuvas intensas em outras (GARCIA, 2010). Esse fenômeno relaciona a atmosfera e o oceano, com a alteração da temperatura das águas, em conjunto com a alteração dos ventos.

Na Europa Central e na maioria das regiões subtropicais relata-se a redução na umidade do solo. Já nas regiões de latitudes médias do hemisfério norte ocorre o oposto (NASCIMENTO *et al.*, 2017). Verifica-se que, em linhas gerais, as alterações climáticas são visualizadas e previstas em todo o mundo.

Paralelamente a esta situação, muitos estudos comprovam mudanças significativas nas características climáticas em escalas regional e local e como as transformações no ambiente têm afetado o clima. Embora os controles atmosféricos de cada escala sejam distintos, os vários níveis escalares estão interligados, de forma a interferirem uns nos outros. Alterações do clima regional, por exemplo, ocorreriam a partir de mudanças nos controles atmosféricos que organizam essa escala, a exemplo de centros de ação e sistemas atmosféricos associados e atributos geográficos. Na escala local, a abrangência contempla locais onde a ação antrópica está entre os principais fatores de organização, culminando em inúmeras transformações no ambiente atmosférico (NUNES, 2003).

2.4 MUDANÇAS CLIMÁTICAS LOCAIS

Em nível local, o processo de crescimento desordenado de áreas urbanas tem provocado um fenômeno peculiar, denominado “ilha de calor”. Este processo caracteriza-se pelo incremento da temperatura nos centros urbanos em relação às áreas de entorno, acompanhado do aumento da turbulência e da presença de núcleos de condensação na atmosfera favorecendo a ocorrência de tempestades (SHAW; SHARMA, 2011).

O meio urbano apresenta peculiaridades que favorecem o desequilíbrio local (RIBEIRO, 2006). Sendo assim, as cidades estão na linha dianteira na resposta a ameaças climáticas (HALL *et al.*, 2009), considerando que muitas vezes excedem

seus territórios de maneira desordenada e extrapolam a capacidade de seus sistemas de drenagem, ou seja, o desenvolvimento regional pode interferir diretamente nas mudanças climáticas urbanas (RAMOS, 2010).

Desta forma, o fato de os municípios altamente urbanizados apresentarem aumento na temperatura, ou terem seus padrões de chuva modificados ao longo dos anos, não significa, necessariamente, que o clima em escala global esteja se transformando, o problema pode estar relacionado especificamente àquele município (JARDIM, 2012). Sendo assim, ressalta-se a importância de se promover estudos climáticos locais, considerando que as alterações podem estar relacionadas às peculiaridades de cada cidade, ou seja, é de extrema relevância aprofundar nas vulnerabilidades de cada região urbanizada (ALMEIDA; ANDRADE; VENTURA, 2011).

A redução do bem-estar nas cidades devido ao clima urbano, à medida que a urbanização se intensifica, é notória. A mudança no cenário natural e as intensas atividades da população, tais como: indústrias, trânsito intenso, a grande centralização de indivíduos e edificações, remoção da cobertura vegetal, impermeabilização do solo, são fatores contribuintes para a alteração no balanço de energia, temperatura e umidade relativa do ar, ventos e precipitações intensas (MAITELLI; SOUZA, 2005).

Cotton e Pielke (2007) apud Nunes, (2018) citam muitos estudos que associam a urbanização aos padrões de precipitação, evidenciando mudanças na energia convectiva disponível. Além disso, pesquisas recentes continuam a mostrar evidências de como o aumento da temperatura da superfície (FERREIRA; BATISTA; VIANNA, 2015 apud NUNES, 2018; ARAÚJO; SILVA; MACHADO, 2016 apud NUNES, 2018) e anomalias de precipitação (RAIMUNDO; SANSIGOLO; MOLION, 2014) podem estar ligados a ambientes urbanos.

O desenvolvimento acelerado das cidades a partir do declínio da produção agrícola e a consequente diminuição de áreas verdes são os principais causadores das mudanças climáticas locais, resultando muitas vezes no aumento da precipitação extrema (MARENCO, 2014).

Devido a densidade das construções e impermeabilizações da cidade, os processos de radiação e absorção do calor modificam-se, gerando um desequilíbrio da temperatura, o que acarreta formação de ilhas de calor, favorecendo assim o processo de formação de chuvas intensas (ASSIS, et al. 2013).

A inundação, por sua vez, é o resultado destes eventos extremos de chuva, que permite à água fluir livremente por uma planície de inundação (SIMONS *et al.*,1977). Já Castro (1998) estabelece, de forma genérica, que a inundação é o transbordamento de água da calha normal de rios, mares, lagos e açudes, ou acúmulo de água por drenagem deficiente em áreas não habitualmente submersas.

As inundações podem ser entendidas como fenômenos naturais causados comumente pela pluviosidade, cuja magnitude e frequência são reguladas por diversos fatores, como: a quantidade, a intensidade e a distribuição da precipitação; os aspectos da infiltração da água no solo e seu grau de saturação; e as naturezas morfométrica e morfológica da bacia hidrográfica (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009, p. 23).

Faz-se importante esclarecer que existem três tipos de inundações, sendo elas as fluviais, as costeiras e as urbanas. Nesta pesquisa, discorre-se apenas sobre o sistema de inundação urbana, que é o decorrente das chuvas intensas supracitadas em um sistema de drenagem artificial que se sobrecarrega e transborda.

As inundações podem ocorrer por chuvas fortes, de longa duração e/ou muito frequentes, ou ainda, pode ser desencadeada por esses três fatores atuando de forma conjunta. É válido mencionar, que além das alterações climáticas, a remoção da vegetação nativa tem grande influência neste processo por alterar o solo e prejudicar o sistema de drenagem. Este fato reforça a relação das enchentes com a urbanização, pois quando elas acontecem em ambientes construídos as consequências são maiores em grau e frequência, pois alterações na ocupação e uso do solo, com remoção da vegetação e aumento das taxas de impermeabilização aumentam o escoamento de águas superficiais (PNUMA, 2018).

Em linhas gerais, as mudanças climáticas crescem desproporcionalmente aos investimentos públicos urbanos, tornando a sociedade despreparada para enfrentar grandes enchentes. A ciência climática já comprovou a emergência de se criar soluções para o aquecimento em diferentes escalas, considerando que os governos deveriam investir em infraestrutura básica, além de incentivar o reflorestamento e restauração de terras degradadas, minimizando, assim, os impactos da ocupação urbana.

Para que seja possível avaliar quais serão as áreas potencialmente comprometidas, é de extrema importância que se conheça a vulnerabilidade das

regiões urbanizadas, quanto aos aspectos decorrentes das alterações climáticas de cada cidade (ALMEIDA; ANDRADE; VENTURA, 2011).

Atualmente já existe uma diversidade de estudos sobre mudanças climáticas locais (MARTINS, 2012), que abordam as relações entre estas mudanças e os impactos urbanos (BUENO *et al.*, 2012). Alguns autores já avaliaram a relação das mudanças climáticas com o aumento das precipitações intensas, o que se assemelha à proposta desta pesquisa. Pode-se destacar: Nunes (2018); Rioga *et al.* (2020); Nascimento *et al.* (2017), dentre outros que podem ser visualizados no Quadro 1, autores estes que foram citados na bibliografia e nas discussões deste trabalho.

Quadro 1 - Mudanças Climáticas Locais

LOCAL/ANO	TÍTULO	RESULTADOS	AUTORES
Belo Horizonte/MG – Brasil/2010	Estudo para identificação de tendências no regime pluvial na região metropolitana de Belo Horizonte a partir de métodos estatísticos e modelos climáticos	Os resultados indicaram, para as séries de totais trimestrais e semestrais, tendências positivas para o período menos chuvoso em detrimento de uma diminuição de chuvas no período mais chuvoso.	Alexandre (2010)
Belo Horizonte/MG – Brasil/2013	Verticalização e permeabilização do solo urbano: entre as promessas e a realidade - considerações com base no caso de Belo Horizonte/MG	Baixa correlação entre o índice de verticalização e percentual de áreas verdes permeáveis. A elevação do escoamento pluvial favorece o processo de enchentes	Assis <i>et al.</i> (2013)
Coimbra – Portugal/2014	Mitigação do Impacto das Alterações Climáticas na Drenagem Urbana	Os cenários climáticos regionalizados para Portugal, obtidos por meio de modelos climáticos, indicam um aumento na intensidade de precipitação.	Santos (2014)
Belo Horizonte/MG – Brasil/2017	Análise de chuvas intensas para o município de Belo Horizonte: Impactos na drenagem urbana	Tendência de crescimento nas médias das precipitações nos anos subsequentes ao ajuste da IDF proposta por Pinheiro e Naghettini (1998)	Nascimento <i>et al.</i> (2017)
Região Metropolitana de Belo Horizonte/MG – Brasil/2018	Tendências em eventos extremos de precipitação na Região Metropolitana de Belo Horizonte: detecção, impactos e adaptabilidade.	Aumento na intensidade de eventos extremos em durações iguais ou inferiores a 1 hora.	Nunes (2018)
Região Metropolitana de Belo Horizonte/MG – Brasil/2020	Análise da variabilidade de chuvas intensas na Região Metropolitana de Belo Horizonte	Há diferença significativa entre as intensidades máximas de chuva de Belo Horizonte e as cidades metropolitanas de Vespasiano e Caeté, ressaltando que as de Belo Horizonte são superiores	Rioga <i>et al.</i> (2020)

Fonte: o autor, 2021

Considerando a Região Metropolitana de Belo Horizonte, estudo de caso desta pesquisa, Alexandre (2010) encontrou uma possível tendência de aumento de precipitação no período mais seco do ano, em contraposição a uma tendência de diminuição de chuvas no período mais chuvoso, apesar de, tanto o regime anual quanto os totais mensais máximos da região, não apresentarem evidências de mudanças em suas séries. Já Nunes (2018), que analisou dados diários de precipitação de estações localizadas na RMBH e aprofundou seu estudo para os dados de precipitação subdiária (chuvas com durações inferiores a 1 dia) de uma estação localizada na parte central do município de Belo Horizonte, verificou que não há um padrão regional nas séries analisadas, no entanto, quando detectada significância estatística, houve tendência de aumento de forma predominante. Por aqui vê-se a necessidade de avançar nos estudos da região para séries subdiárias.

Sendo assim, a partir das pesquisas realizadas, identificou-se que no estudo de Rioga *et al.* (2020) foi analisada estatisticamente a ocorrência de eventos intensos de precipitação em postos localizados em diferentes partes da RMBH, a partir de dados subdiários, no entanto o estudo não avançou para a avaliação das curvas Intensidade – Duração – Frequência (IDF), ferramenta indispensável para o dimensionamento dos diversos sistemas hidrológicos urbanos.

2.5 A PROBLEMÁTICA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS LOCAIS NA CONCEPÇÃO DAS EQUAÇÕES INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA

A equação Intensidade – Duração – Frequência (IDF) é uma ferramenta que busca equacionar as chuvas intensas (ZUFFO, 2004). Em função da duração da chuva e do período de retorno, é possível estabelecer por meio desta equação a intensidade de chuva de uma determinada localidade (COLOMBELLI; MENDES, 2013). Na sequência, a Equação 1 representa a IDF em sua forma generalizada:

$$i = \frac{a \cdot T^b}{(t + c)^d} \quad (1)$$

Onde:

i = intensidade das precipitações, em mm/h ou mm/min;

T = tempo de retorno, em anos;

t = duração das precipitações, em minutos;

a, b, c, d = parâmetros que individualizam a IDF para cada localidade, vale ressaltar que estes parâmetros individualizam a localidade do posto pluviométrico ou pluviográfico, e não a cidade a qual estão instalados como um todo.

De acordo com Borges *et al.* (2012), é inviável tratar de questões climáticas, ou até mesmo de uma equação IDF, sem conhecer as variações das precipitações, suas alterações e intensidades. Dessa forma, fica evidente a necessidade de revisão das equações IDF, de forma a evitar a defasagem no dimensionamento de estruturas de drenagem, considerando as diversas alterações climáticas que interferem na hidrologia urbana (SILVA; PALÁCIO JUNIOR; CAMPOS, 2012). Zuffo (2004) reforça o fato ao sugerir a revisão das IDFs em locais que passaram por alto crescimento e desenvolvimento populacional, e que ainda utilizam equações com revisão ou reformulação superior a 10 anos.

Destacando mais uma vez a Região Metropolitana de Belo Horizonte, a mesma utiliza nos dias atuais uma equação IDF desenvolvida por Pinheiro e Naghettini, em 1997. Os sistemas de drenagem da cidade, desde então, são dimensionados sob a hipótese de que não houve alteração nos padrões de chuvas intensas.

No entanto, em Belo Horizonte, o processo de urbanização é uma das principais variáveis que contribui para as alterações climáticas locais. A consequência mais evidente é o aumento na ocorrência de chuvas intensas, o que impacta diretamente os sistemas de drenagem, causando, por consequência, alagamentos recorrentes e diversos eventos calamitosos (ASSIS *et al.*, 2013).

Os efeitos das alterações climáticas raramente são considerados nas políticas públicas associadas ao ambiente urbano, e quando são contemplados, na maioria das vezes, advêm de propostas tardias, incompletas e generalizadas, que acabam desqualificando os resultados. Complementarmente, o espaço urbano deveria ser avaliado no âmbito da dinâmica de seu clima local, e não, necessariamente, em uma relação direta com os efeitos climáticos globais (BUENO *et al.*, 2012).

De acordo com Alexandre (2010), os sistemas de drenagem são importantes no processo de controle das precipitações e das mudanças climáticas, podendo minimizar ou intensificar os impactos decorrentes das mesmas. Desta forma, estudos demonstram que uma ligeira alteração nos padrões de chuva pode provocar

mudanças drásticas nos sistemas de drenagem, como o aumento ou diminuição da sobrecarga dos mesmos, enfatizando, desta forma, a importância deste estudo.

3 METODOLOGIA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

3.1.1 Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH)

Instituída por meio da Lei Complementar nº 14 de 1973, a região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) está compreendida entre as latitudes 19°00' e 20°30' sul e longitudes 43°15' e 44°45' oeste, na parte central do estado de Minas Gerais, sendo atualmente constituída por 34 municípios, incluindo a capital do estado. Envolto a essa região, tem-se o colar metropolitano que conta com mais 16 cidades (IBGE, 2017).

A RMBH possui uma população de quase 6 milhões de habitantes e uma área de 14.979,1 km². O município de Belo Horizonte é a cidade-sede e contribui com 45% do Produto Interno Bruto (PIB) da Região, que em 2016 somava R\$195 bilhões (IBGE, 2017).

No que se refere ao clima da região, ele é caracterizado como subtropical, com invernos secos e verões quentes e úmidos, tendo como temperatura média anual 22°C. O total anual médio de precipitação para a região é de aproximadamente 1431 mm. Em relação à hidrografia, a RMBH é drenada pelos rios das Velhas e Paraopeba. Esta pesquisa, de forma específica, foi direcionada às cidades de Belo Horizonte, Caeté e Vespasiano, considerando a disponibilidade de dados subdiários de chuva fornecidos pela CPRM.

3.1.2 Belo Horizonte

Belo Horizonte foi planejada, no final do século XIX, para ser a nova capital do estado de Minas Gerais, no lugar de Ouro Preto, e hoje é considerada um dos principais polos econômicos brasileiros. Cerca de 70 anos após a sua criação, a cidade já atingia mais de um milhão de habitantes, apresentando, atualmente, uma população total de 2.375.151 habitantes, em uma área de 331,4 km². Geograficamente a cidade é localizada junto à serra do Curral, a 894 metros de altitude (IBGE, 2017).

O crescimento demográfico teve sua ascensão em 1940, com a especulação imobiliária, que gerou grandes avanços no município. A criação de um Parque Industrial desenvolveu o setor de serviços e gerou mais renda na região, o que conseqüentemente tornou expressiva a ida de pessoas do campo para a cidade. Anos depois, têm-se mais um episódio economicamente positivo com o avanço do setor metalúrgico. Toda essa evolução desenvolveu não somente a capital, como também as cidades ao entorno (BELO HORIZONTE, 2009).

Embora os avanços econômicos tenham facilitado a vida da população, por meio da oferta de empregos, ocorreu ao mesmo tempo uma degradação ambiental evidente, como consequência do crescimento territorial. Os impactos decorrentes englobam problemas associados ao escoamento das águas pluviais, assim como a deterioração dos cursos d'água que integram a região (DUARTE, 2009).

Desde então, o governo vem realizando obras para controle das vazões nos córregos, porém elas são consideradas insuficientes para o controle de inundações (DUARTE, 2009).

3.1.3 Vespasiano

O município de Vespasiano possui uma população de 129.765 habitantes e se localiza a 30 quilômetros de Belo Horizonte. A cidade conta com 71,040 km² de área, sendo 64,5% das vias públicas da cidade arborizadas. Quanto à sua altitude, a cidade se encontra a 694 m acima do nível do mar. O município faz parte da Bacia do Rio São Francisco e é banhado pelos rios Córrego Sujo e Córrego Carrancas (IBGE, 2017).

Com a inauguração da Estrada de Ferro Central do Brasil, em 1894, o Arraial passou a se chamar Vespasiano, em homenagem ao administrador da ferrovia. A construção dessa ferrovia foi de grande importância do ponto de vista socioeconômico, e atraiu grande parte da população fazendo parte do processo de urbanização (PREFEITURA DE VESPASIANO, 2020).

Em 18 de dezembro de 1915, através da Lei Estadual 336, foi criado o distrito de Vespasiano, que antes pertencia ao município de Santa Luzia. Como município, Vespasiano abrigou o distrito de São José da Lapa (PREFEITURA DE VESPASIANO, 2020).

O crescimento industrial do município acompanhou o crescimento do estado de Minas Gerais, o que resultou em uma grande concentração populacional na Região Metropolitana de Belo Horizonte (PREFEITURA DE VESPASIANO, 2020). As indústrias instaladas propiciaram nova base econômica, da qual o município ressentia e estas indústrias aceleraram o crescimento demográfico da região, anteriormente dinamizado por Belo Horizonte/Contagem. Vespasiano desponta atualmente como um dos municípios mais promissores da RMBH, possuindo e oferecendo as condições mais objetivas para o desenvolvimento da região. Como um todo e a nível municipal, reforça e amplia sua vocação industrial (PREFEITURA DE VESPASIANO, 2020).

3.1.4 Caeté

Caeté tem uma população estimada em 44.718 habitantes e se localiza a 57 quilômetros da capital (IBGE, 2017). O município se estende por 542,6 km², e fica ao entorno de Sabará, Santa Luzia e Barão de Cocais, com altitude de 907 metros (CÂMARA MUNICIPAL DE CAETÉ, 2011).

A sua população aumentou em decorrência da riqueza aurífera. Antes de 1700 era apenas um território considerado uma “imensa floresta”, até quando foi descoberta pelo bandeirante paulista Leonardo Nardez, dando início à urbanização. Seu nome em tupi tem a tradução de “mato verdadeiro”, justamente pelo seu histórico antes da descoberta. Administrativamente, foi desmembrada de Sabará em 1840 e elevada à categoria de vila, onde somente no ano de 1865 tornou-se propriamente uma cidade independente (CÂMARA MUNICIPAL DE CAETÉ, 2011).

A cidade insere-se na bacia do rio São Francisco e sua hidrografia comporta o rio Vermelho, ribeirão da Prata, ribeirão Bonito, ribeirão Comprido e ribeirão Juca Vieira (CÂMARA MUNICIPAL DE CAETÉ, 2011).

3.2 OBTENÇÃO E ANÁLISE PRELIMINAR DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO SUBDIÁRIA DA RMBH

Os dados utilizados neste trabalho foram coletados a partir de pluviógrafos localizados na RMBH e disponibilizados pela CPRM.

Os pluviógrafos mais utilizados no Brasil possuem uma área de coleta padrão de 200 cm². Dentre os pluviógrafos disponíveis no mercado destacam-se três como sendo os de uso frequente: o pluviógrafo de caçamba basculante, o pluviógrafo de peso e o pluviógrafo de flutuador (DULNIK, 2006). Os três divergem principalmente no princípio de funcionamento. Os dados disponibilizados pela CPRM e utilizados neste trabalho foram coletados em pluviógrafos de caçamba basculante, sendo o princípio de funcionamento explanado em visita técnica à Estação de Coleta de Dados Hidrometeorológicos 1943022, conforme Figura 1 e a Figura 2.

Figura 1 – Visita técnica à estação de coleta de dados meteorológicos 1943022.



Fonte: o autor, 2019.

Figura 2 – Pluviógrafo de caçamba basculante localizado na estação de coleta de dados meteorológicos 1943022.



Fonte: o autor, 2019.

O pluviógrafo de caçamba basculante (Figura 2) é composto por uma caçamba dividida em dois compartimentos, de forma que quando um dos compartimentos é enchido pela água da chuva, a caçamba báscula e esvaziada, marcando o nível pluviométrico no rolo de registro, e deixando a outra metade em posição de enchimento para o próximo registro.

Os dados das 3 estações (Vespasiano, Caeté e Belo Horizonte) incluem 25 anos de registros (1990 a 2015), contudo alguns problemas não permitiram o registro de todos os eventos chuvosos deste período. Conforme informado pela CPRM, isso pode ter ocorrido por alguns fatores como:

- problema de memória do pluviógrafo (falta de reposição da folha de registro);
- queda do equipamento;
- problemas detectados no registro da basculhada e
- umidade excessiva no registrador com falha no sistema.

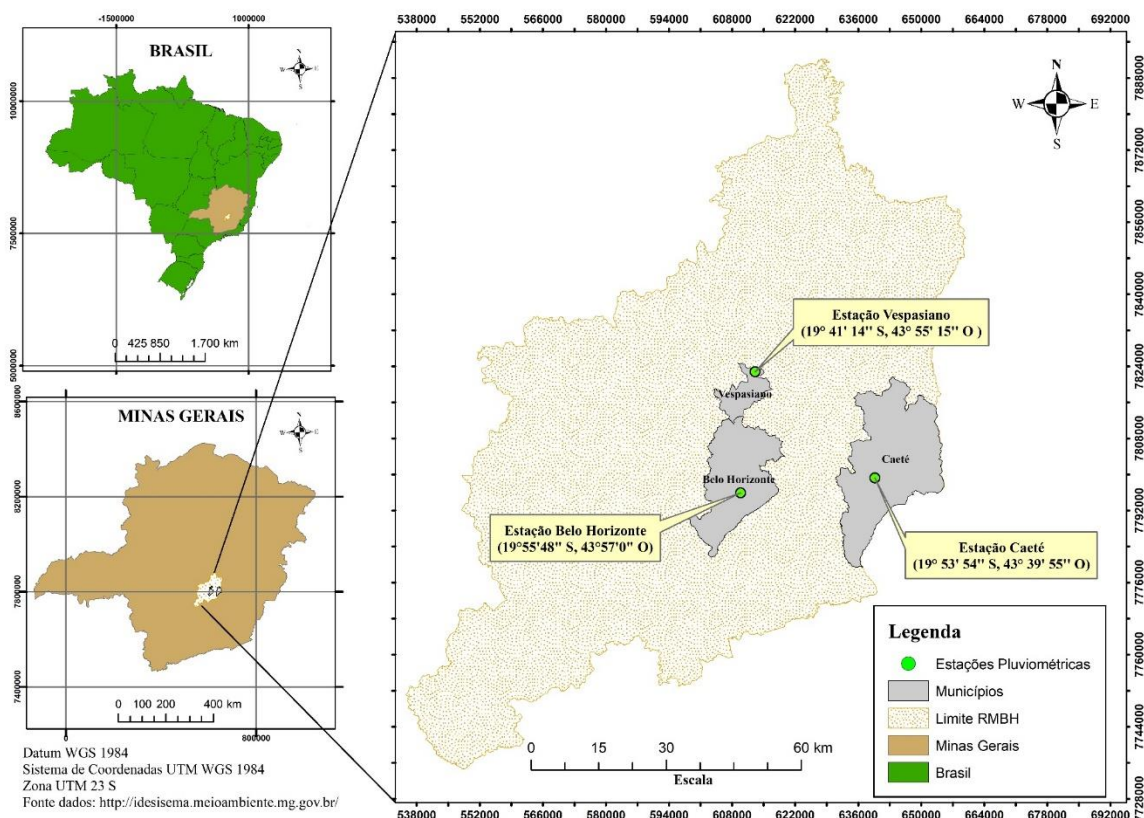
O Quadro 2 detalha as estações cujos dados foram analisados neste trabalho e na Figura 3 foram ilustradas a localização destas.

Quadro 2 – Informações das estações pluviográficas analisadas

Código	Estação	Município	Entidade	Altitude (m)	Precipitação média anual (mm)	Período
01943009	Vespasiano	Vespasiano	ANA/CPRM	699	1270,3	1990 a 2015
01943010	Caeté	Caeté	ANA/CPRM	840	1405,6	1990 a 2015
83587	Raja Gabaglia	Belo Horizonte	INMET	916	1460	1990 a 2015

Fonte: o autor, 2021

Figura 3 – Localização das estações pluviométricas analisadas



Fonte: o autor, 2021

Observa-se que a entidade difere entre as estações. Desta forma, relata-se que o quadro foi elaborado com a obtenção de dados retirados de diferentes fontes. Os dois primeiros (Vespasiano e Caeté) foram fornecidos de forma *online*, via *e-mail*, pela CPRM, em formato “.hpg” e convertidos para o formato “.txt.”, conforme a Figura 4.

Figura 4 - Formato dos dados disponibilizados em “.txt”

```

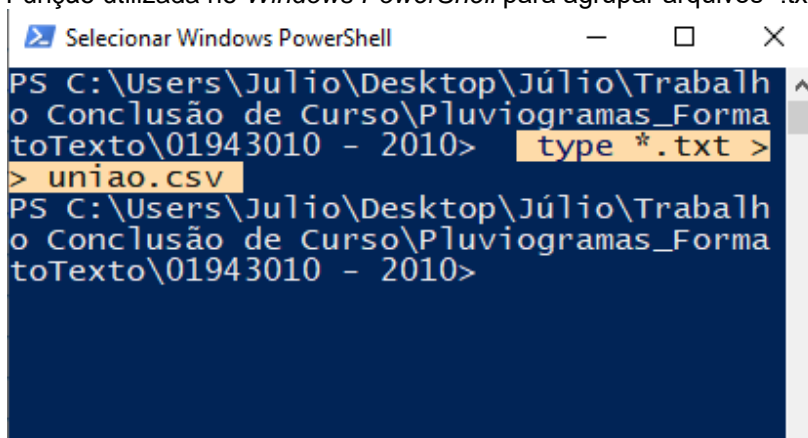
01943010-20100101 - Bloco de Notas
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda
Data=01/01/2010
LeituraNoPluviometro=6.6mm
289 pontos (dd/mm/yyyy hh:mm milímetros)
01/01/2010 07:00 0.0
01/01/2010 07:05 0.0
01/01/2010 07:10 0.0
01/01/2010 07:15 0.0
01/01/2010 07:20 0.0
01/01/2010 07:25 0.0
01/01/2010 07:30 0.0
01/01/2010 07:35 0.0
01/01/2010 07:40 0.0
01/01/2010 07:45 0.0
01/01/2010 07:50 0.0

```

Fonte: o autor, 2021.

No arquivo “.txt” cada ponto correspondia a duas colunas, com informações de “Data e hora” e “Precipitação acumulada em milímetros”. Utilizou-se o *Windows PowerShell* para agrupar os arquivos “.txt” em um arquivo “.csv”, usando o código “type *.txt >> uniao.csv”. Esta função seleciona todos os dados cuja extensão é do tipo “.txt” e os agrupa em um arquivo de saída no formato “.csv”, conforme a Figura 5, assim tendo os dados disponibilizados para uso no *software Excel 2019®* (*Microsoft Corporation, Seattle, EUA*).

Figura 5 – Função utilizada no *Windows PowerShell* para agrupar arquivos “.txt” em “.csv”.



```
Selecionar Windows PowerShell
PS C:\Users\Julio\Desktop\Júlio\Trabalh
o Conclusão de Curso\Pluviogramas_Forma
toTexto\01943010 - 2010> type *.txt >
> uniao.csv
PS C:\Users\Julio\Desktop\Júlio\Trabalh
o Conclusão de Curso\Pluviogramas_Forma
toTexto\01943010 - 2010>
```

Fonte: o autor, 2021.

As informações da estação do município de Belo Horizonte foram obtidas por meio do trabalho desenvolvido por Nunes (2018).

Posteriormente, os dados foram organizados, por meio do *software Excel 2019®* (*Microsoft Corporation, Seattle, EUA*), e discretizados em durações de 5 minutos. Utilizou-se como exemplo para demonstrar esta etapa, a estação de Vespasiano, com dados do dia 05/01/2010. O material utilizado (pluviógrafo) registrou, de forma ininterrupta, se houve ocorrência de precipitação no período de 24 horas, entre as 07:00 horas de um dia até as 06:59 do outro dia. O exemplo abordado inicia-se, então, no dia 04/01 e percorre até as 06:59 do dia 05/01/2010, conforme ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Exemplo da precipitação discretizada

Estação	Data	Hora	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
1943009	04/01/2010	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1943009	04/01/2010	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1943009	04/01/2010	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1943009	04/01/2010	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1943009	04/01/2010	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1943009	04/01/2010	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1943009	04/01/2010	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1943009	04/01/2010	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1943009	04/01/2010	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1943009	04/01/2010	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1943009	04/01/2010	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1943009	04/01/2010	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1943009	04/01/2010	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1943009	04/01/2010	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1943009	04/01/2010	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1943009	04/01/2010	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1943009	04/01/2010	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1943009	05/01/2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1943009	05/01/2010	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1943009	05/01/2010	2	0	0	0	0,1	0,1	0	0,1	0,1	0	0,1	0	0,1
1943009	05/01/2010	3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
1943009	05/01/2010	4	0,3	0,1	0	0,1	0	0,1	0	0,1	0	0,1	0	0
1943009	05/01/2010	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1943009	05/01/2010	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: o autor, 2021.

Após a organização dos dados em tabelas, iniciaram-se as análises preliminares associadas ao tratamento dos dados. De imediato, a análise se voltou aos erros mais evidentes como, por exemplo, quantidades de chuva divergentes totalizadas no pluviógrafo e no pluviômetro correspondente em 24 horas, para a estação referida. Em seguida, realizou-se uma nova etapa, incluindo a análise de consistência regional que, segundo Tucci (2012), consiste na comparação dos dados registrados de precipitação estudados com os registrados disponíveis nas estações vizinhas, de forma a verificar a possível ocorrência de erros. A consistência é uma propriedade por meio da qual a acurácia de uma estimativa aumenta quando o tamanho da amostra aumenta.

Visto que Nunes (2018) realizou a análise de consistência nos dados da estação de Belo Horizonte, a análise de consistência de dados desse trabalho

direcionou-se às demais estações (Vespasiano e Caeté). Essa etapa teve início com o cálculo do erro percentual, conforme a Equação 2.

$$Erro (\%) = \left(\frac{P_{Pluviógrafo} - P_{Pluviômetro}}{P_{Pluviômetro}} \right) \times 100 \quad (2)$$

Onde:

$P_{Pluviógrafo}$ = Somatório de um dia da precipitação discretizada em intervalos de tempo inferiores à 24 horas;

$P_{Pluviômetro}$ = Precipitação registrada no pluviômetro correspondente.

Os dados de precipitação dos pluviômetros, utilizados como referência, foram obtidos no Portal Hidroweb, disponibilizado pela Agência Nacional de Águas (ANA). Para este trabalho, adotou-se como critério de exclusão os erros que ultrapassaram 10%. Nos casos em que essa porcentagem excedia o critério estabelecido, foram analisados os dados pluviográficos das estações mais próximas de forma a comparar e avaliar a semelhança do total de precipitação durante um dia completo. A partir disso, houve a verificação se o total registrado pelo pluviógrafo da estação de referência realmente confirmava o registo do pluviômetro da estação com os erros acima do considerado aceitável.

Sendo assim foi possível utilizar a presente metodologia para correção dos erros, tendo como base as possíveis estações de referência, conforme demonstrado no Quadro 3.

Quadro 3 – Estação com erro e possíveis estações de referência.

Estação com erro	Possível estação de referência
Vespasiano	Caeté Caixa de Areia
Caeté	Vespasiano Caixa de Areia

Fonte: o autor, 2021.

Para eleger qual das duas estações de referência deveria ser usada, realizou-se uma segunda análise:

- cálculo do Coeficiente de Variação (CV): conforme Steel *et al.* (1997), o CV permite a comparação de resultados de diferentes experimentos envolvendo uma mesma variável, permitindo quantificar a precisão da pesquisa. Adotou-se como critério o limite de 20% de CV. Caso houvesse empate, para o

discernimento de qual se enquadrava melhor (ambas atendiam a porcentagem de 20%), optava-se por aquela que tivesse menor CV. Se ambas apresentassem valor de CV superior a 20%, desconsideravam-se os dados daquele dia. A Equação 3 apresenta o cálculo do coeficiente de variação.

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (3)$$

Onde,

CV = Coeficiente de variação

σ = Desvio padrão

\bar{x} = Média

A Tabela 2 exemplifica um erro na estação de Caeté (dia 29/01/1999), que foi considerado acima da média (60,41%) (o pluviógrafo da estação registrou 14,65 mm de chuva e o pluviômetro 37,00 mm). As estações Caixa de Areia e Vespasiano totalizaram 9,73 mm e 35,99 mm, respectivamente.

Tabela 2 - Erro detectado para o dia 29/01/1999 na estação Caeté

Estação	Data	Pluviógrafo	Pluviômetro	Erro
Caeté	29/01/1999	14,65	37,00	60,41%

Fonte: o autor, 2021

Sendo assim, as opções de estação de referência para correção do erro estão demonstradas na Tabela 3:

Tabela 3 - Estações de referência para correção do erro no dia 29/01/1999

Estação	Data	Pluviógrafo	σ	\bar{x}	CV
Caixa de Areia	29/01/1999	9,73	19,28	23,7	81,35%
Vespasiano	29/01/1999	35,99	0,71	36,50	1,95%

Fonte: o autor, 2021.

Analisando o CV, somente a estação de Vespasiano atendia ao critério estabelecido e, desta forma, ela foi utilizada para correção dos dados pluviográficos, conforme a Equação 4:

$$Pdisc_{corrigida(mm)} = \left(\frac{Pdisc_{ref}}{Ppluv_{ref}} \right) \times Ppluv_{est} \quad (4)$$

Onde,

$Pdisc_{corrigida(mm)}$ = Precipitação discretizada em intervalos de tempo inferiores a 24h após a correção (em mm);

$Pdisc_{ref}$ = Precipitação discretizada da estação de referência (em mm);

$Ppluv_{ref}$ = Precipitação total diária registrada no pluviógrafo da estação de referência (em mm);

$Ppluv_{est}$ = Precipitação total diária registrada no pluviômetro da estação a ser corrigida, em mm.

Por fim, após a análise preliminar dos dados, criou-se séries temporais de alturas pluviométricas máximas por ano hidrológico, apresentando durações de 10, 15, 30, e 45 minutos e 1, 2, 3, 4, 8, 14 e 24 horas.

3.3 ANÁLISE DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO SUBDIÁRIA DA RMBH POR MEIO DE MÉTODOS ESTATÍSTICOS

Após a obtenção das séries temporais de alturas pluviométricas máximas, procedeu-se para a conversão dos dados para intensidade de chuva, em mm/h. As análises que serão descritas na sequência foram realizadas por meio do programa *Minitab*® versão 18.

A inferência estatística tem como objetivo estudar generalizações sobre uma população através de evidências fornecidas por uma amostra retirada desta população. A amostra contém os elementos que podem ser observados e é onde as quantidades de interesse podem ser medidas (FREIRE, 2017). Para a realização deste processo, relata-se que a estatística possui diversos testes com diferentes fins. Em relação à normalidade dos dados, os testes podem ser paramétricos ou não. No presente trabalho, decidiu-se utilizar os testes não paramétricos, considerando a hipótese de que os dados não possuem uma distribuição específica.

A análise preliminar foi a de média móvel, medida de tendência central onde são descritos os valores típicos de uma distribuição, comumente a partir de um gráfico de pontos ou histograma. A média móvel suaviza as possíveis flutuações na série temporal, ficando mais evidente seu padrão (DOANE; SEWARD, 2014). Foram definidas médias móveis de 10 anos, a fim de se verificar, de forma descritiva e visual, o comportamento de todas as durações de chuva ao longo dos anos

hidrológicos, para cada uma das estações. Foram calculadas 16 médias móveis, sendo a primeira de 1990/1991 a 1999/2000 e a última de 2005/2006 a 2014/2015, cada uma das médias móveis calculadas foi plotada como um ponto nos gráfico de média móveis apresentados nas Figuras 7, 8 e 9.

Na sequência, para determinar se alguma das diferenças entre as médias móveis era estatisticamente significativa, optou-se por realizar o teste de Kruskal-Wallis (KRUSKAL e WALLIS, 1952), considerando as seguintes hipóteses:

H₀: hipótese nula, não existe diferença da intensidade de chuva entre as estações analisadas para a duração de “x” minutos.

H₁: hipótese alternativa, existe diferença da intensidade de chuva entre as estações analisadas para a duração de “x” minutos.

Sendo que:

Valor-p \leq α : as diferenças entre algumas das médias móveis são estatisticamente significativas (rejeita H₀) e

Valor-p $>$ α : as diferenças entre algumas das medianas não são estatisticamente significativas (não há prova suficiente para rejeitar H₀)

Dessa forma, foi possível realizar o comparativo das intensidades de chuva de mesma duração, em função das três estações delimitadas neste estudo.

No que se refere à verificação de tendências, os principais testes estatísticos utilizados em estudos que verificam a significância de mudanças graduais na série de dados hidrológicos são os testes não paramétricos de Mann-Kendall, de Spearman (VILLARINI *et al.*, 2009; VILLARINI *et al.*, 2011) e de Kendall Sazonal, e o teste paramétrico de regressão linear (RAUCH; LAGHARI; TOFFOL, 2009 apud NUNES, 2018), que testa se há uma tendência linear examinando a relação entre o tempo e a variável de interesse. Neste estudo, foi utilizado o teste não paramétrico de Mann-Kendall (MANN, 1945 apud NUNES, 2018; KENDALL, 1975 apud NUNES, 2018) para amostras independentes, com confiança de 95%. A hipótese nula do teste, H₀, supõe que as observações da série não apresentam tendência e, a hipótese alternativa, H₁, que as observações da série possuem tendência monotônica no tempo (QUEIROZ, 2013).

3.4 PROPOSIÇÃO DA NOVA CURVA IDF

Finalizada a etapa de verificação de tendência nas séries históricas, foram propostas novas curvas IDF para as estações e durações de chuva que apresentaram indicativos de alterações em suas séries históricas, ou seja, indicativos de que a curva IDF atualmente vigente (PINHEIRO; NAGHETTINI, 1997) pode não representar o padrão de chuvas para todas as localidades da RMBH.

A concepção das novas curvas IDF foi feita a partir da distribuição de Gumbel Teórica, desenvolvida em 1941, que apresenta um melhor ajuste para dados referentes a eventos máximos, conforme Nascimento et al. (2017). Para tal, calcularam-se as médias e os desvios-padrões das intensidades de chuva, com suas respectivas durações, para determinação dos parâmetros α e β , conforme as Equações 5 e 6:

$$\alpha = \frac{1,2825}{s} \quad (5)$$

$$\beta = \bar{x} - 0,45 \times s \quad (6)$$

Onde:

s = desvio padrão;

\bar{x} = média aritmética das intensidades.

Os dados calculados para α e β foram tabelados no *software Excel®* e utilizados para cálculo dos quantis das intensidades utilizados para a caracterização da equação IDF. Os quantis das intensidades foram calculados utilizando a equação 7:

$$X_i = \beta - \frac{1}{\alpha} \times \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{TR} \right) \right] \quad (7)$$

Sendo:

TR = tempo de retorno, em anos.

X_i = quantil da intensidade

Conforme Nascimento et al. (2017), a equação IDF proposta neste estudo é apresentada em sua forma generalizada, conforme a Equação 1, construída

segundo método proposto no capítulo 9.7 do Livro “Hidrologia Estatística”, de Naghettini e Pinto (2007), para estimar os parâmetros a, b, c e d desta equação.

Sendo assim, partindo da Equação 1, fez-se a seguinte simplificação:

$$i = \frac{a \cdot T^b}{(t + c)^d} \rightarrow i = \frac{A}{(t + c)^d} \quad (8)$$

Aplicando-se os logaritmos em ambos os lados da equação acima obteve-se:

$$i = \frac{A}{(t + c)^d} \rightarrow \log i = \log A - d \times \log(t + c) \quad (9)$$

Considerando a equação acima como equação linear do tipo $y = ax + b$, plotou-se um gráfico, no *software Excel*®, dos logaritmos das intensidades (i) e os logaritmos das durações (t) somados ao parâmetro “c”, sendo que o valor de “c” foi definido por tentativa e erro, levando-se em consideração a linearização da reta, determinada pelo valor de R² que mais se aproxima de 1.

Em seguida, determinou-se os valores “a” e “b” a partir da simplificação da Equação 8, conforme apresentado:

$$A = a \cdot T^b \quad (10)$$

Aplicando-se o conceito de logaritmo em ambos os lados da Equação 10, tem-se:

$$\log A = \log a + b \times \log T \quad (11)$$

Para a determinação dos parâmetros a e b, outro gráfico de dispersão foi feito, log A versus log T, nos eixos y e x, respectivamente, como pode ser observado nos Gráficos 12 e 13. Os dados obtidos foram compilados, e, uma vez ajustados os parâmetros das novas equações IDF, seguiu-se para as estimativas das intensidades de chuva, a fim de compará-las com as fornecidas pela equação IDF de Pinheiro e Naghettini (1997), apresentada na Equação 12, atualmente vigente para toda a RMBH. Esta conferência foi feita também na forma de gráficos de colunas no Excel, de forma a facilitar a visualização dos dados.

$$I = 0,76542 D^{-0,7059} P^{0,5360} \mu_{T,d} \quad (12)$$

Onde:

I = intensidade da chuva (mm/h);

P = Precipitação total anual (mm);

D = duração da chuva (horas); e

$\mu_{T,d}$ = quantil adimensional de frequência regional associado ao período de retorno T e à duração d (tabelado).

Para a estimativa de $\mu_{T,d}$ tem-se a tabela representada na Figura 6.

Figura 6 - Quantis adimensionais $\mu_{T,d}$

Durações	Período de retorno (anos)							
	1,05	1,25	2	10	20	50	100	200
10 minutos	0,691	0,828	1,013	1,428	1,586	1,791	1,945	2,098
15 minutos	0,695	0,830	1,013	1,422	1,578	1,780	1,932	2,083
30 minutos	0,707	0,836	1,013	1,406	1,557	1,751	1,897	2,043
45 minutos	0,690	0,827	1,013	1,430	1,589	1,795	1,949	2,103
1 hora	0,679	0,821	1,014	1,445	1,610	1,823	1,983	2,143
2 horas	0,683	0,823	1,014	1,439	1,602	1,813	1,970	2,128
3 horas	0,679	0,821	1,014	1,445	1,610	1,823	1,983	2,143
4 horas	0,688	0,826	1,013	1,432	1,591	1,798	1,953	2,108
8 horas	0,674	0,818	1,014	1,451	1,618	1,834	1,996	2,157
14 horas	0,636	0,797	1,016	1,503	1,690	1,931	2,112	2,292
24 horas	0,603	0,779	1,017	1,550	1,754	2,017	2,215	2,412

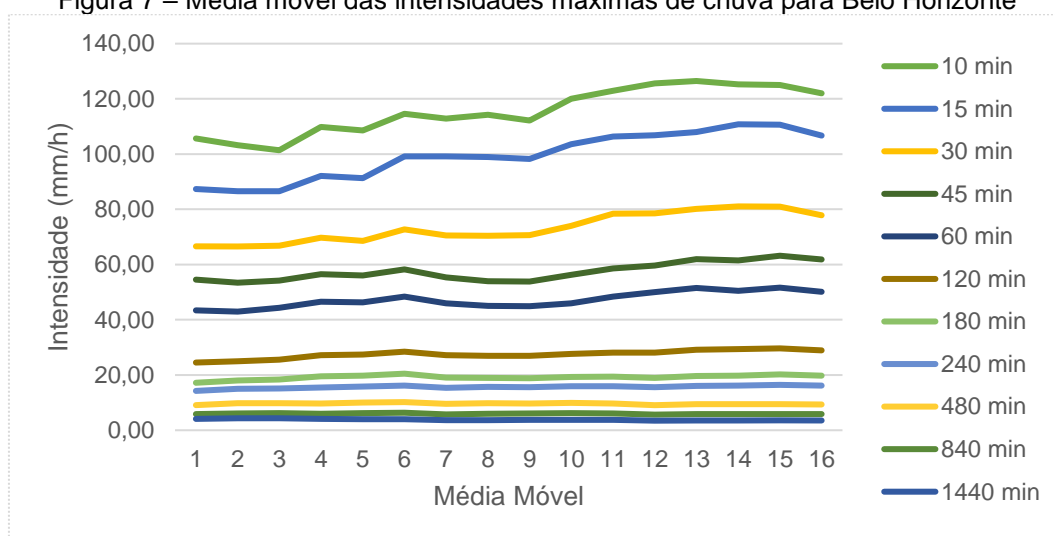
Fonte: Pinheiro e Naghettini (1997).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ANÁLISES DAS MÉDIAS MÓVEIS E TENDÊNCIAS PARA AS PRECIPITAÇÕES DE BELO HORIZONTE, CAETÉ E VESPASIANO

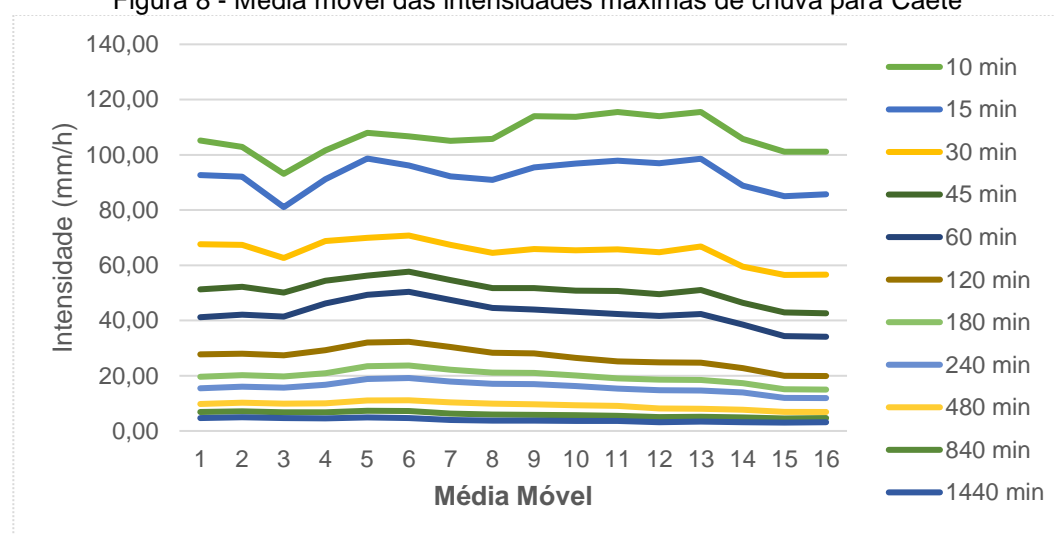
Os cálculos realizados para médias móveis corroboram a análise feita por Rioga *et al.* (2020), conforme apresentado nas Figuras 7, 8 e 9. Os dados são também apresentados em forma de Tabela no Apêndice A.

Figura 7 – Média móvel das intensidades máximas de chuva para Belo Horizonte



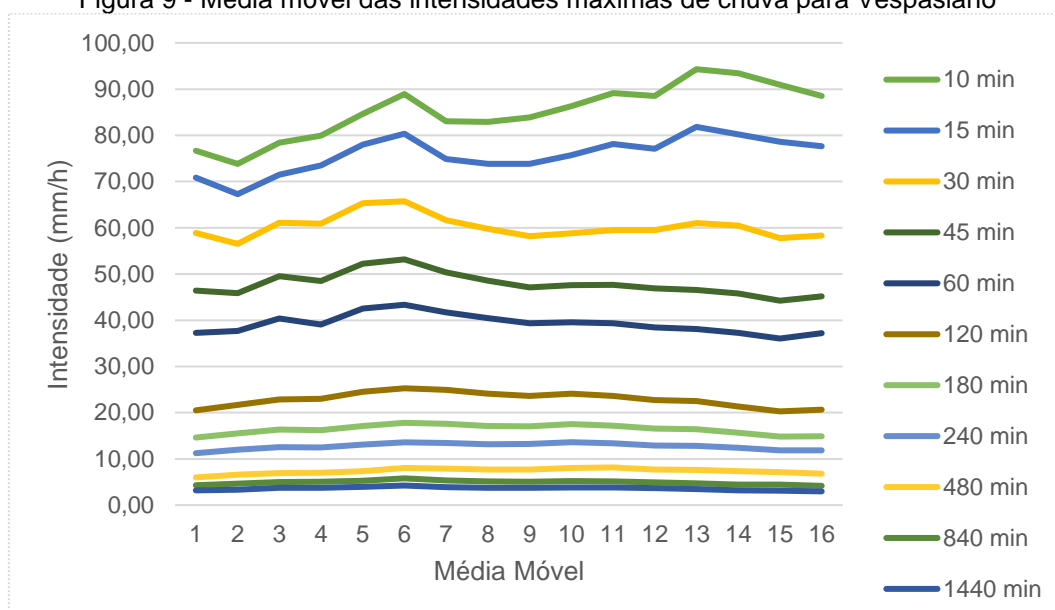
Fonte: o autor, 2021

Figura 8 - Média móvel das intensidades máximas de chuva para Caeté



Fonte: o autor, 2021

Figura 9 - Média móvel das intensidades máximas de chuva para Vespasiano



Fonte: o autor, 2021.

As estações de Belo Horizonte e Vespasiano apresentam, visualmente, tendência de crescimento para as intensidades de chuvas associadas a durações menores (10 e 15 min), sendo também observado que esta tendência de aumento da intensidade permanece para Belo Horizonte quando analisadas as durações de 30 min a 1 hora. Para Caeté, embora possa ser observada uma grande variabilidade para os valores de média móvel, não há visualmente uma tendência de crescimento ou de decréscimo para as durações analisadas. Dessa forma, é nítida a diferença nos padrões de variabilidade das intensidades máximas de chuva entre as estações.

Considerando a importância de verificar a significância estatística das análises realizadas, a Tabela 4 apresenta os resultados obtidos para o teste de Kruskal-Wallis. O teste supracitado permitiu rejeitar a hipótese nula, de que não existe diferença da intensidade de chuva entre as estações analisadas, para todas as durações, excetuando 1440 min. Dessa forma, pode-se afirmar que é significativa a diferença da intensidade de chuva entre as estações analisadas, ao nível de 5%. Esse resultado também ratifica o trabalho apresentado por Rioga *et al.* (2020), que identificou diferenças entre as intensidades das mesmas estações para os pares Caeté x Vespasiano, Caeté x Belo Horizonte e Vespasiano x Belo Horizonte

Tabela 4 - Resultado obtido para o teste de Kruskal-Wallis para diferentes durações de chuva

Duração	Valor-p
10 min	0,000
15 min	0,000
30 min	0,000
45 min	0,000
60 min	0,000
120 min	0,000
180 min	0,000
240 min	0,000
480 min	0,000
840 min	0,000
1440 min	0,387

Fonte: o autor, 2021

No que se refere à análise de tendência, a aplicação do teste de Mann-Kendall aos conjuntos de dados permitiu constatar a existência de tendências (positivas e negativas) na precipitação da região para os períodos analisados. Os resultados foram sumarizados na Tabela 5, onde S+ representa tendência positiva significativa, S- tendência negativa significativa e “ – ” representa a ausência de tendência. O resultado desta etapa foi também compilado no formato de tabelas contendo a duração, o valor de z, o Valor-p e a constatação de presença ou ausência tendência, conforme apresentado no Apêndice B.

O resumo apresentado na Tabela 5 demonstra que a estação localizada em Belo Horizonte apresentou tendência positiva (S+) para durações de 15 e 120 minutos. No entanto, vale destacar que o presente estudo utilizou apenas parte dos dados analisados por Nunes (2018), uma vez que foi priorizada a uniformização do período de dados em relação às estações de Vespasiano e Caeté. Nesse sentido, considerando que Nunes (2018) identificou tendências positivas em durações de 15 minutos a 1 hora, entende-se que a utilização de um período menor de dados pode ter provocado um resultado ligeiramente diferente, reforçando o trabalho de Nunes (2018), visto que os resultados da presente análise apontam para a mesma direção.

Tabela 5 - Resultado do teste de tendência de Mann Kendall para dados das estações de Vespasiano, Belo Horizonte e Caeté, no período de 1990 a 2014.

Duração	Vespasiano	Belo Horizonte	Caeté
10 min	-	-	-
15 min	-	S+	-
30 min	-	-	-
45 min	-	-	-
60 min	-	-	-
120 min	-	S+	-
180 min	-	-	-
240 min	-	-	-
480 min	-	-	S-
840 min	-	-	S-
1440 min	-	-	S-

Fonte: o autor, 2021

Para a estação de Caeté é possível verificar que não há indícios de tendência para intensidades de chuva com duração inferior a 480 minutos. Para as maiores durações - 480 min, 840 min e 1440 min - destaca-se a presença de tendência negativa significativa. Por fim, para a estação de Vespasiano, nenhuma tendência significativa foi encontrada.

Diante do exposto, considerou-se que a estação de Caeté apresenta comportamento estacionário para durações de chuva inferiores a 480 min, enquanto para as maiores durações a hipótese de estacionariedade foi descartada. Já para a estação localizada em Vespasiano, como nenhuma duração apresentou tendência, seguiu-se com a hipótese de estacionariedade dos dados apresentados.

4.2 VERIFICAÇÃO DA EQUAÇÃO IDF DE PINHEIRO E NAGHETTINI (1997) PARA OS DIAS ATUAIS

Considerando os resultados obtidos na etapa anterior, embora a identificação de tendências não tenha sido predominante entre as estações estudadas, a diferença entre as intensidades de chuva observadas nestas estações foi significativa. Dessa forma, a utilização de uma equação IDF regionalizada para todas as cidades da RMBH pode ser incoerente, perante a análise dos dados atuais. Complementarmente, ainda que a identificação de tendência não tenha sido generalizada, o fato é que ela foi observada para algumas durações, e representa

um resultado relevante do ponto de vista estatístico. A equação IDF atualmente vigente para a RMBH é estacionária e não abrange tais tendências.

Dessa forma, com o propósito de analisar a aplicabilidade da equação IDF de Pinheiro e Naghettini (1997) para a RMBH nos dias atuais, ajustou-se novas equações IDF para Vespasiano e Caeté a partir dos dados de precipitação das séries históricas compreendidas no período de 1990 à 2015. Estes dados foram ajustados conforme metodologia apresentada no item 3.4. Vale ressaltar que para Belo Horizonte uma nova IDF não foi ajustada, uma vez que Nunes (2018) identificou tendências associadas à grande parte dos dados analisados, o que contraria a premissa de estacionariedade deste modelo de equação. De forma análoga, o ajuste da IDF para Caeté foi limitado à duração de 240 minutos.

Sendo assim, foram calculados as médias e os desvios-padrões das intensidades para determinação dos parâmetros α e β da distribuição de Gumbel Teórica, por meio das Equações 5 e 6, sendo estes apresentados na Tabela 6 e na Tabela 7. Na sequência, foram calculados os quantis das intensidades utilizando a Equação 7. Como a equação IDF proposta é fundamentada na transformação logarítmica das variáveis, foi necessário o cálculo do logaritmo dos quantis das intensidades apresentadas, antes do ajuste da IDF, conforme metodologia apresentada por Nascimento *et al.* (2017). O resultado pode ser visto no Apêndice C.

Tabela 6 – Parâmetros da Distribuição de Gumbel (média, desvio padrão, α e β) para a estação de Vespasiano.

Tempo (min)	Desv A	Média	α	β
10	26,491	85,246	0,048	73,325
15	26,712	76,511	0,048	64,490
30	21,518	60,541	0,060	50,858
45	16,441	47,782	0,078	40,384
60	12,550	38,998	0,102	33,351
120	6,172	22,173	0,208	19,396
180	3,869	15,835	0,331	14,094
240	2,634	12,283	0,487	11,097
480	1,669	6,954	0,769	6,203
840	1,413	4,596	0,908	3,960
1440	1,006	3,380	1,275	2,927

Fonte: o autor, 2021

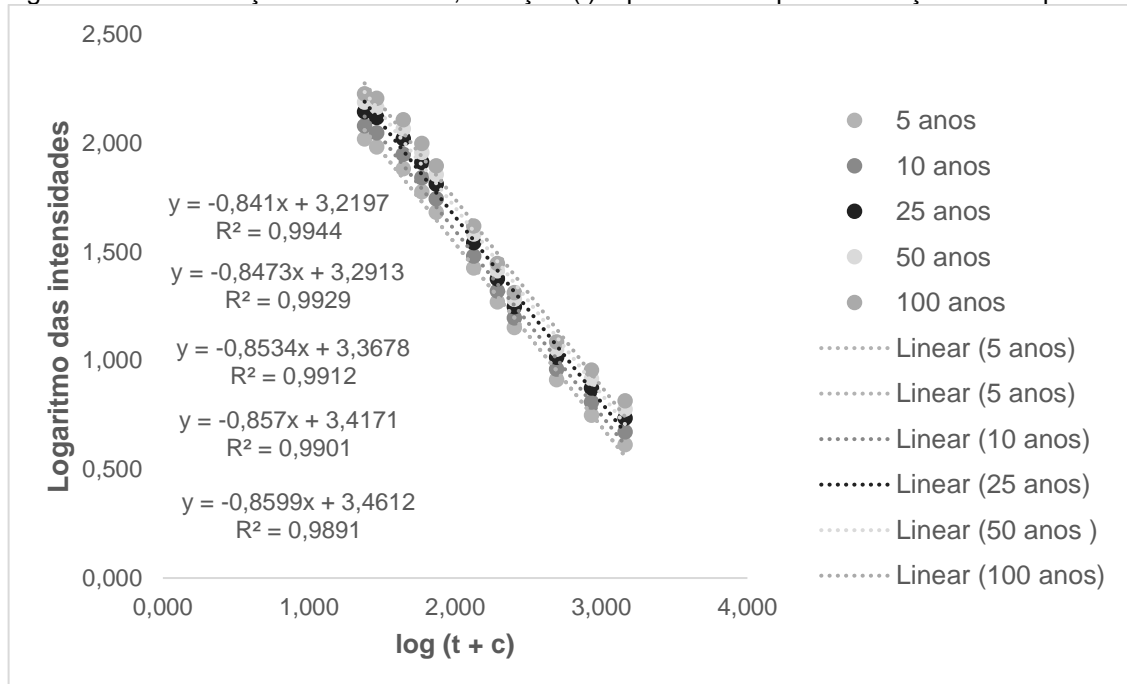
Tabela 7 – Parâmetros da Distribuição de Gumbel (média, desvio padrão, α e β) para a estação de Caeté.

Tempo (min)	Desv A	Média	α	β
10	30,836	105,343	0,042	91,467
15	26,857	92,397	0,048	80,311
30	17,238	64,611	0,074	56,854
45	13,737	49,738	0,093	43,556
60	12,459	40,770	0,103	35,163
120	8,619	25,268	0,149	21,390
180	6,331	18,564	0,203	15,715
240	5,475	14,860	0,234	12,396

Fonte: o autor, 2021.

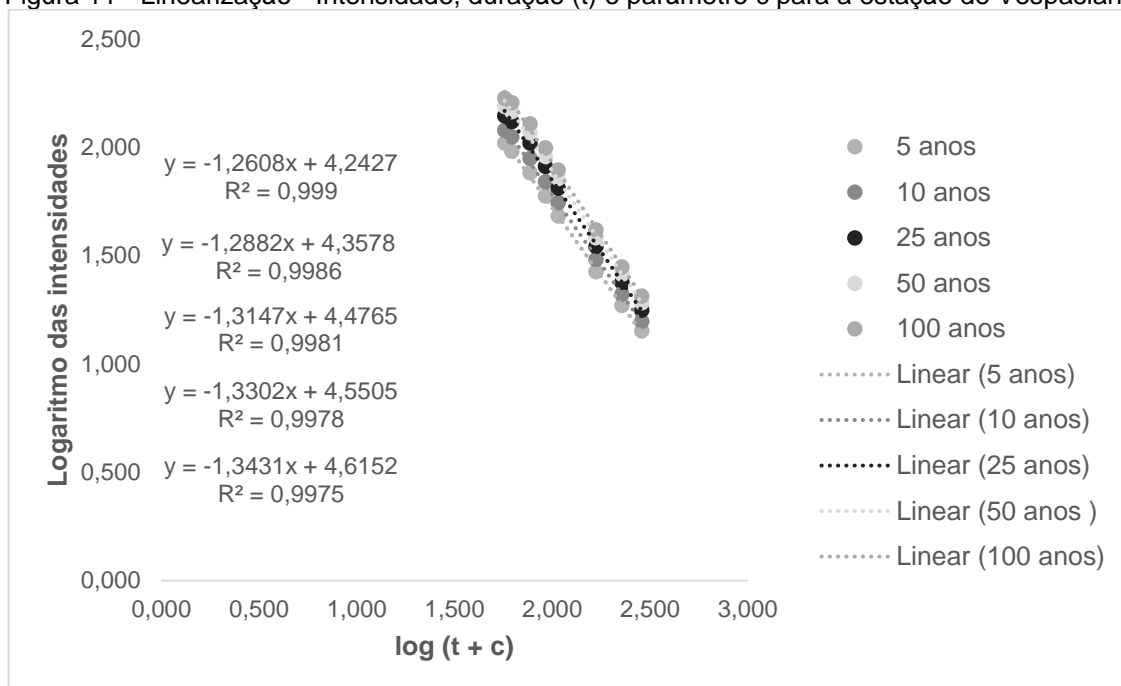
Os parâmetros “c”, “d” e “log A” foram obtidos por meio da linearização dos logaritmos das intensidades (i), apresentados no Apêndice C. Para tal, nas Figuras 10 e 11 estão plotados no eixo Y estes logaritmos, e no eixo X os valores dos logaritmos de suas respectivas durações (t) somadas ao parâmetro “c”. Para a determinação do valor de c utilizou-se o método de tentativa e erro, onde o valor de “c” foi definido levando-se em consideração o valor de R^2 que mais se aproximava de 1.

Figura 10 - Linearização - Intensidade, duração (t) e parâmetro c para a estação de Vespasiano



Fonte: o autor, 2021

Figura 11 - Linearização - Intensidade, duração (t) e parâmetro c para a estação de Vespasiano



Fonte: o autor, 2021

A partir das Figuras 10 e 11, pode-se obter os valores de Log A e de “d”, conforme a Equação 9, sendo estes apresentados na Tabela 8. O Log de T é o mesmo, visto que foram propostas IDF’s com o mesmo tempo de retorno.

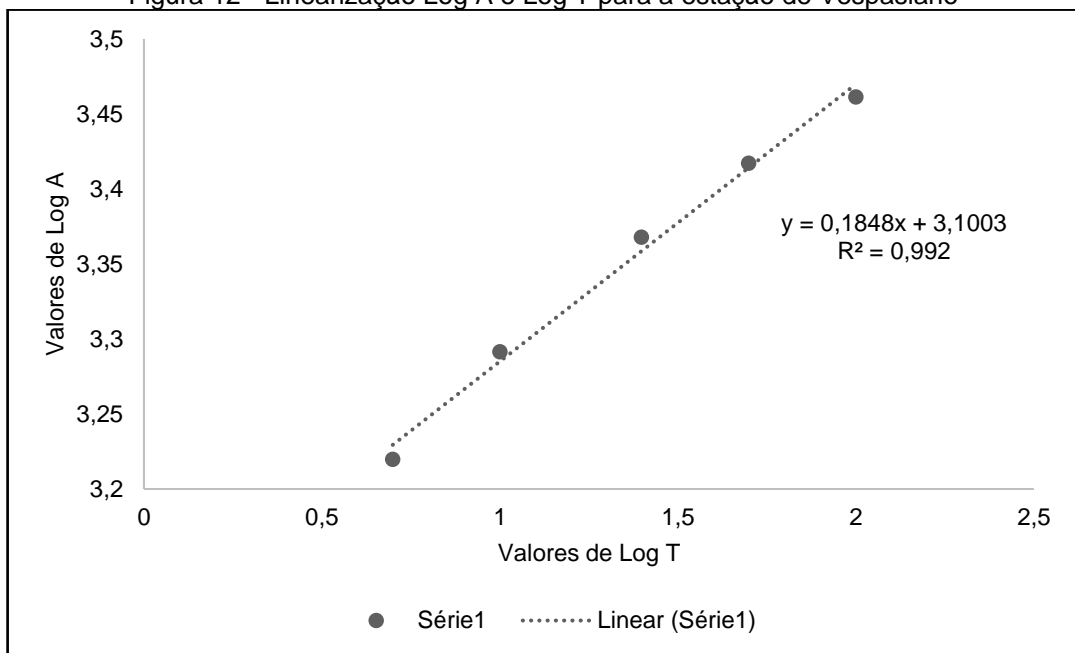
Tabela 8 - Parâmetros A, d e Log (T) para cálculo da IDF de Vespasiano e Caeté.

		Vespasiano			Caeté		
T	log T	log A	A	d	log A	A	d
5	0,699	3,22	1658,441	0,841	4,243	17486,38	1,261
10	1	3,291	1955,69	0,847	4,358	22792,92	1,288
25	1,398	3,368	2332,384	0,853	4,477	29957,12	1,315
50	1,699	3,417	2612,763	0,857	4,551	35522,21	1,33
100	2	3,461	2892,011	0,86	4,615	41228,73	1,343

Fonte: o autor, 2021

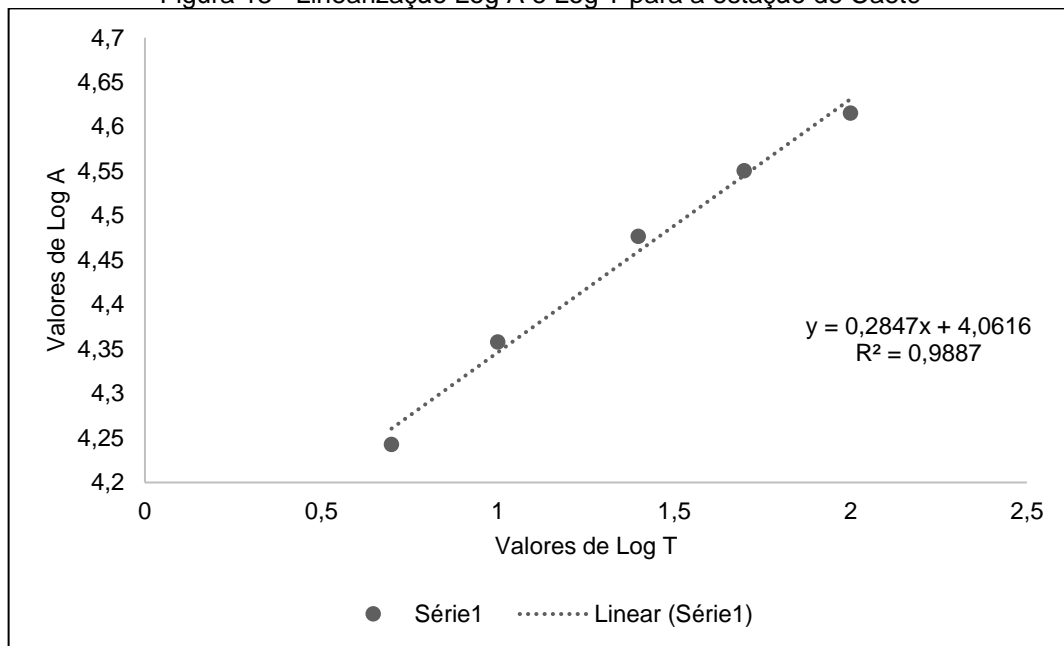
Na sequência, para determinar os parâmetros a e b, necessários para individualizar a equação IDF para cada localidade, os gráficos das Figuras 12 e 13 foram construídos e ajustados a partir da Equação 11, sendo agora plotadas as variáveis log T e log A, nos eixos X e Y, respectivamente.

Figura 12 - Linearização Log A e Log T para a estação de Vespasiano



Fonte: o autor, 2021

Figura 13 - Linearização Log A e Log T para a estação de Caeté



Fonte: o autor, 2021

Os gráficos supracitados permitiram determinar os parâmetros “a” e “b” necessários para o ajuste das IDF’s propostas. Na Tabela 9 é possível observar os valores obtidos para Vespasiano e Caeté.

Tabela 9 – Parâmetros que individualizam a equação IDF ajustada para Vespasiano e Caeté (a, b, c, d).

	Vespasiano	Caeté
Log a	3,1	4,062
a	1259,795	11523,914
b	0,156	0,285
c	14	47
d	0,852	1,307

Fonte: o autor, 2021

Dessa forma, a partir dos valores apresentados na Tabela 9, obteve-se as equações IDF para Vespasiano e Caeté, conforme pode ser visto nas Equação 12 e 13 respectivamente.

Equação IDF proposta para Vespasiano:

$$i = \frac{a.T^b}{(t+c)^d} \rightarrow i = \frac{1259,795 T^{0,156}}{(t+14)^{0,852}} \quad (12)$$

Equação IDF proposta para Caeté:

$$i = \frac{a.T^b}{(t+c)^d} \rightarrow i = \frac{11523,914 T^{0,285}}{(t+47)^{1,307}} \quad (13)$$

4.3 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS EQUAÇÕES IDF EXISTENTES PARA A REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE

De posse das equações IDF calculadas para Vespasiano e Caeté, seguiu-se para as estimativas das intensidades de chuva, de forma a compará-las com as fornecidas pela equação IDF de Pinheiro e Naghettini (1997), considerando as mesmas durações e períodos de retorno. Os dados foram dispostos em formato de tabela e apresentados no Apêndice D.

Inicialmente, analisou-se de forma empírica os dados das séries históricas *versus* intensidades de chuva calculadas. Em poucos casos as séries históricas analisadas superaram as estimativas das intensidades de chuva para tempos de retorno superiores a 50 anos. Nestes casos, realizou-se uma pesquisa de forma a analisar se esses resultados de alguma maneira estavam atrelados a eventos

extremos registrados. Já para a série histórica de Caeté, foi identificado um evento superior ao tempo de retorno de 100 anos: no ano de 2003 para a duração de 240 minutos. O Jornal Estadão (2003) publicou uma matéria referente a este evento, onde destaca que Caeté foi um dos municípios que decretou estado de emergência devido às fortes chuvas:

Mais de 20 mortos e 70 feridos nas chuvas em MG. As fortes chuvas que atingiram Minas Gerais desde a noite da última quarta-feira provocaram mortes e destruição no Estado. De acordo com a Coordenadoria Estadual de Defesa Civil (Cedec). (Estadão, 2003)

O mesmo ocorreu para o evento que superou a estimativa para o tempo de retorno de 100 anos em Vespasiano, para durações de 15 e 30 minutos, no ano de 2011. O Jornal Globo (2011) destacou que o Ribeirão da Mata subiu cerca de 6 metros em Vespasiano e que ruas, casas e lojas foram invadidas pela inundação, além de parte da principal avenida da cidade.

O estudo desses fatos corrobora com os cálculos das estimativas dos quantis de intensidade de chuva para diferentes tempos de retorno, demonstrando que os eventos que superaram as estimativas de fato estão associados a precipitações extremas.

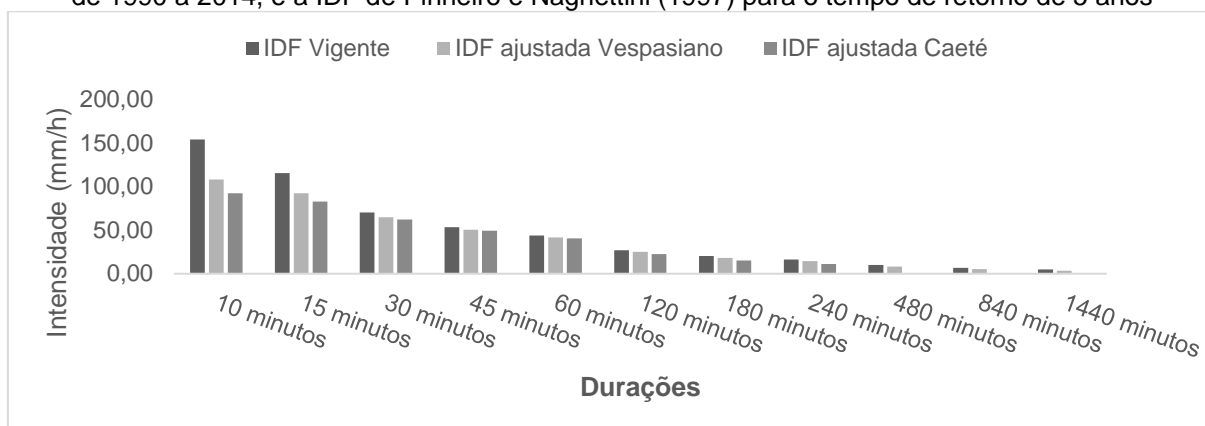
Na sequência, foram analisados os gráficos de coluna plotados no *software Excel®*, a fim de comparar as intensidades de chuva resultantes dessas equações.

Conforme apresentado na Figura 14, é possível verificar que a IDF de Pinheiro e Naghettini (1997) apresenta valores de intensidade de chuva superiores aos das IDFs ajustadas para todas as durações, considerando o Tempo de Retorno de 5 anos.

Nota-se que a IDF vigente apresenta valores, em média, 20% superiores à IDF ajustada para Vespasiano e, em média, 29% superiores à IDF ajustada para Caeté. Vale ressaltar que a IDF vigente apresenta valores superiores para todas as durações, sendo intensificado para durações inferiores a 30 min, para ambas as localidades.

Ainda para 5 anos de Tempo de Retorno, a IDF ajustada para Vespasiano apresenta valores, em média, 12% superiores à IDF ajustada para Caeté, sendo as maiores divergências encontradas para as durações de 180 min e 240 min, 20% e 30% superiores, respectivamente.

Figura 14 - Gráfico comparativo entre as IDF ajustadas de Vespasiano e Caeté, com a série histórica de 1990 a 2014, e a IDF de Pinheiro e Naghettini (1997) para o tempo de retorno de 5 anos



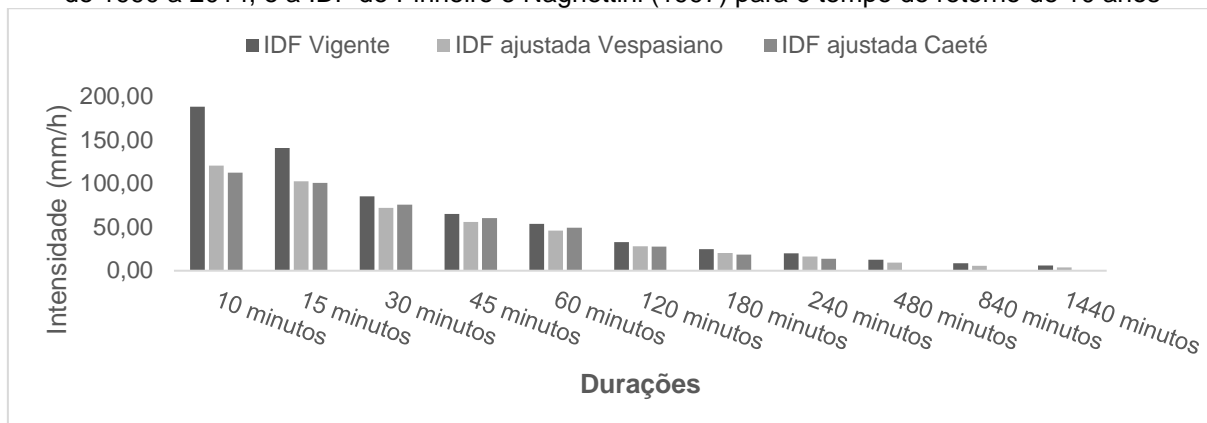
Fonte: o autor, 2021

No que se refere ao gráfico da Figura 15, verifica-se, novamente, que para todas as durações e Tempo de Retorno de 10 anos, a estimativa realizada por Pinheiro e Naghettini (1997) apresenta valores de intensidade superiores aos das IDF ajustadas para Vespasiano e Caeté.

Nota-se que a IDF vigente apresenta valores, em média, 33% superiores à IDF ajustada para Vespasiano e, em média, 30% superiores à IDF ajustada para Caeté. Mais uma vez a IDF vigente apresenta valores superiores para todas as durações, sendo essa diferença superior à média de 33%, em Vespasiano, para as durações de 10 min, 15 min, 480 min, 840 min e 1440 min. Já em relação a Caeté a IDF vigente apresenta valores superiores à média de 30% para as durações de 10 min, 15 min, 180 min e 240 min.

A IDF ajustada para Vespasiano apresentou valores em média 3% superiores à IDF ajustada para Caeté, apresentando expressiva queda quando comparado ao Tempo de Retorno de 5 anos.

Figura 15 - Gráfico comparativo entre as IDF ajustadas de Vespasiano e Caeté, com a série histórica de 1990 a 2014, e a IDF de Pinheiro e Naghettini (1997) para o tempo de retorno de 10 anos



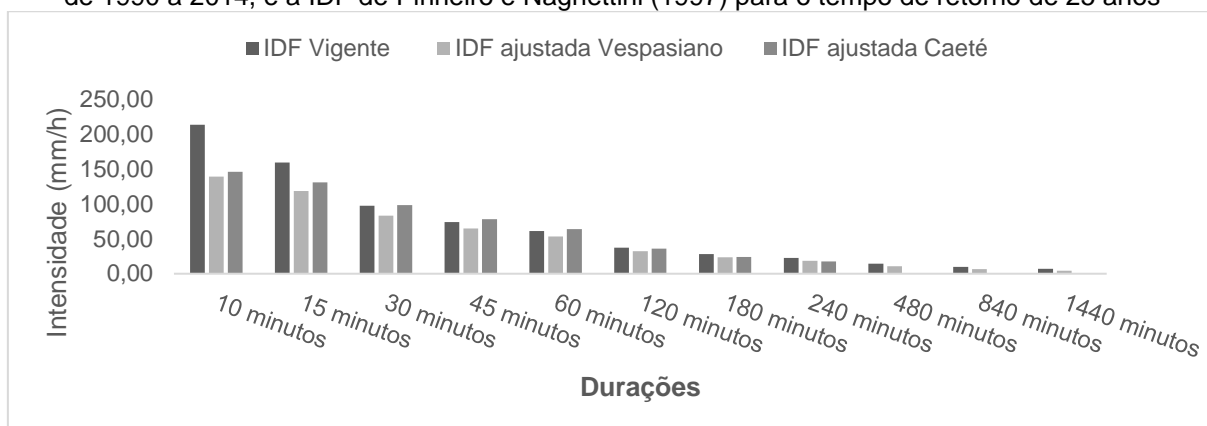
Fonte: o autor, 2021

Já para os gráficos apresentados nas Figuras 16 e 17, que correspondem aos tempos de retorno de 25 e 50 anos, observa-se que para as durações de 30 min, 45 min, 60 min e 120 min a IDF ajustada para Caeté apresenta valores de intensidade superiores às IDF de Pinheiro e Naghettini (1997) e Vespasiano. Para as demais durações (10 min, 15 min, 80 min e 240 min), verifica-se que as intensidades decorrentes da IDF de Pinheiro e Naghettini (1997) voltam a apresentar valores superiores às demais.

A IDF ajustada para Caeté apresentou valores superiores à IDF vigente para as durações de 30 minutos, 45 min e 60 min, no tempo de retorno de 25 anos, sendo, em média, 4% superior. Já para o tempo de 50 anos, para as durações de 30 min, 45 min, 60 min e 120 min foi, em média, 11% superior, representando um aumento expressivo.

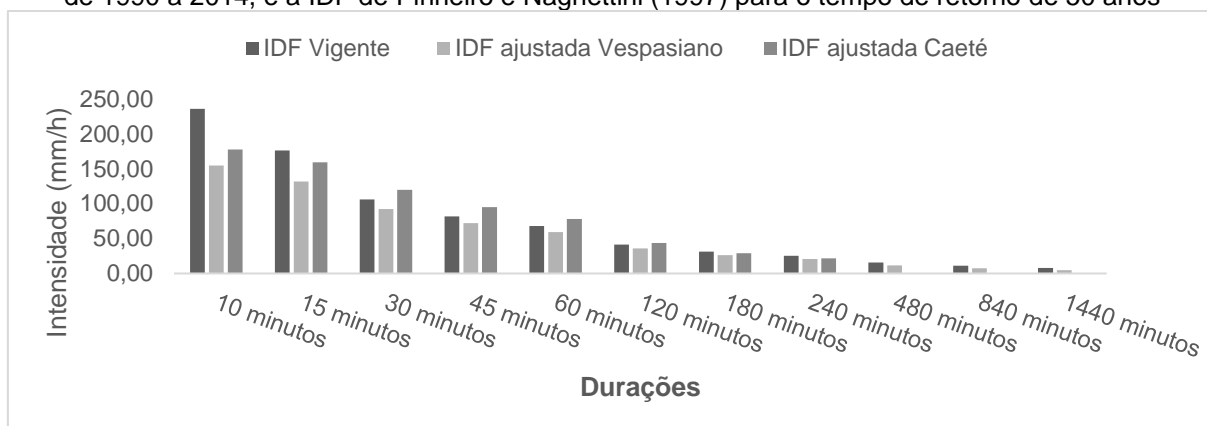
Nota-se, então, que a partir do tempo de retorno de 25 anos há uma inversão e a IDF ajustada para Caeté apresenta valores superiores aos de Vespasiano, sendo, em média, 9% e 17% superiores, para os tempos de retorno de 25 e 50 anos respectivamente.

Figura 16 - Gráfico comparativo entre as IDF ajustadas de Vespasiano e Caeté, com a série histórica de 1990 a 2014, e a IDF de Pinheiro e Naghettini (1997) para o tempo de retorno de 25 anos



Fonte: o autor, 2021.

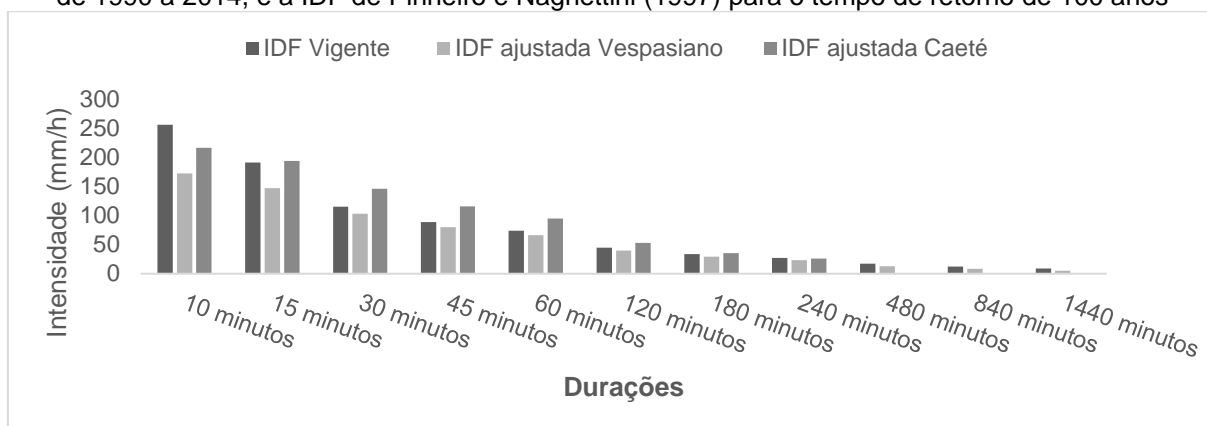
Figura 17 - Gráfico comparativo entre as IDF ajustadas de Vespasiano e Caeté, com a série histórica de 1990 a 2014, e a IDF de Pinheiro e Naghettini (1997) para o tempo de retorno de 50 anos



Fonte: o autor, 2021.

Finalmente, no Gráfico da Figura 18, é possível verificar que para o tempo de retorno de 100 anos a IDF ajustada para Caeté apresenta valores superiores às demais equações para durações de 15 min, 30 min, 45 min, 60 min e 120 min, sendo seus valores, em média, 8% superiores aos calculados pela equação vigente e 24% superiores aos calculados para Vespasiano. Para as demais durações (10 min, 240 min), verifica-se que as intensidades decorrentes da IDF de Pinheiro e Naghettini (1997) voltam a apresentar valores superiores.

Figura 18 - Gráfico comparativo entre as IDF ajustadas de Vespasiano e Caeté, com a série histórica de 1990 a 2014, e a IDF de Pinheiro e Naghettini (1997) para o tempo de retorno de 100 anos



Fonte: o autor, 2021

Vale ressaltar que para todos os tempos de retorno (10 anos, 15 anos, 25 anos, 50 anos e 100 anos), para durações acima de 240 min, a IDF proposta por Pinheiro e Naghettini (1997) apresentou valores superiores aos da IDF calculada para Vespasiano, não sendo possível comparar os dados aos da IDF proposta para Caeté, uma vez que a hipótese de estacionariedade foi rejeitada pelo teste de Mann-Kendall para estas durações.

No geral, as intensidades calculadas para Vespasiano e Caeté apresentaram divergências maiores em relação à IDF vigente para durações inferiores a 30 min, superiores a 480 min para Vespasiano, e superiores a 180 min para Caeté. Quando comparadas entre si, a IDF proposta para Vespasiano apresentou valores superiores à de Caeté para os tempos de retorno de 5 e 10 anos, quando ocorre uma inversão e a IDF proposta para Caeté começa a apresentar valores superiores.

Para Vespasiano, a análise, de forma geral, permite inferir que a equação vigente ainda atende às necessidades locais, sendo importante atentar para a diferença entre os valores de intensidade para o tempo de retorno de 100 anos.

Ressalta-se que a hipótese de estacionariedade para Belo Horizonte foi refutada, visto que Nunes (2018), em seu trabalho, identificou a presença de tendência de alterações nos padrões climatológicos, apontando para um aumento na intensidade de chuvas para durações inferiores a 1h a partir do ano de 2000. Nesse sentido, a referida autora procedeu ao ajuste de uma equação IDF não-estacionária para o município.

Esta mesma autora, Nunes (2018), comparou diferentes IDF's ajustadas para o município de Belo Horizonte (incluindo a IDF não-estacionária ajustada em seu

trabalho), com a equação de Pinheiro e Naghettini (1997), e chegou à conclusão que para probabilidades de excedência inferiores (tempos de retorno menores) a IDF vigente abrangia as intensidades ajustadas. Esse resultado corrobora, de certa forma, com o resultado obtido neste estudo, visto que para Tempos de Retorno inferiores a 10 anos a equação vigente para a RMBH segue aplicável aos municípios de Vespasiano e Caeté.

À luz do exposto, tendo em vista que para Tempos de Retorno superiores a 10 anos a IDF proposta por Pinheiro e Naghettini (1997) não atende ao município de Caeté, assim como o município de Belo Horizonte (NUNES, 2018), pode-se inferir que há a necessidade de revisão da equação atualmente vigente, de forma a evitar defasagem no dimensionamento de estruturas de drenagem, reforçando a tese de Zuffo (2004), que sugere a revisão das IDFs em locais que passaram por alto crescimento e desenvolvimento populacional, e que ainda utilizam equações com revisão ou reformulação superior a 10 anos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos últimos anos ocorreram avanços consideráveis na compreensão das mudanças observadas na qualidade e na quantidade das águas, assim como na drenagem urbana, porém, no Brasil, as infraestruturas não conseguem sanar de forma equilibrada a imposição do homem no meio ambiente. Sendo assim, o objetivo principal da drenagem urbana de minimizar as inundações e de proteger a saúde pública e ambiental não consegue ser atingida. Com o referencial bibliográfico fica evidente que o problema se agrava por questões econômicas e políticas, enfatizadas pela falta de equipes técnicas capacitadas para manusearem às infraestruturas de drenagem.

Visualiza-se, dessa forma, que os desafios associados à drenagem de águas pluviais em centros urbanos são amplos e diversos. A drenagem urbana não necessariamente precisaria suportar grandes enchentes, mas, ao menos deveria ocasionar consequências em menores proporções. Outro problema relevante é a generalização das técnicas e dos estudos que não consideram os fenômenos locais que podem ser intensificados em áreas urbanas, com o maior crescimento populacional.

Sendo assim, há a importância de se promover estudos climáticos locais, considerando que as alterações podem estar relacionadas às peculiaridades de cada cidade. Há ainda a necessidade de se conhecer as variações das precipitações, suas alterações e intensidades, assim como as questões climáticas em geral, de acordo com o território e a sua população. Dessa forma, fica evidente a necessidade de revisão das equações IDF, de maneira a evitar a defasagem no dimensionamento de estruturas de drenagem, considerando as diversas alterações climáticas que interferem na hidrologia urbana.

Nesse contexto, constatou-se no âmbito deste trabalho que a Região Metropolitana de Belo Horizonte utiliza nos dias atuais uma equação IDF desenvolvida em 1997, sob a hipótese de que não houve alteração nos padrões de chuvas intensas. Além disso, os cálculos envolvem toda a região, mesmo Belo Horizonte tendo um processo de urbanização intensa que influi constantemente no clima local, diferentemente das demais cidades estudadas, conforme comprovado na análise de Kruskal-Wallis, que rejeitou a hipótese de que as intensidades de chuva são iguais em toda a região.

A IDF proposta por Pinheiro e Naghettini (1997) não se mostrou abrangente também para a localidade de Caeté para tempos de retorno superiores a 10 anos, atestando a necessidade de revisão das IDFs em locais que passaram por alto crescimento e desenvolvimento populacional.

REFERÊNCIAS

ALEXANDRE, G. R. **Estudo para identificação de tendências do regime pluvial na região metropolitana de Belo Horizonte a partir de métodos estatísticos e modelos climáticos**. UFMG, 2010.

ALLEY, R. *et al.* **Mudança do Clima: a base das ciências físicas**. (trad.) Alexandra de Ávila Ribeiro, Paris, 2007.

ALMEIDA, A. C. A.; ANDRADE, J. C. S.; VENTURA, A. C. Soluções locais para problemas globais: análise de possíveis contribuições das tecnologias sociais para a mitigação do aquecimento global. **Revista Ciências Administrativas**, Fortaleza, v. 17, n. 3, p. 768-795, set./dez, 2011.

ARAÚJO, E.D., SILVA, J.B., MACHADO, C.C.C. Identificação de Ilhas de Calor na Cidade de Campina Grande-PB utilizando Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.9, n.2, p. 614-626, 2016.

ARCHER, B. Forecasting Demand: Quantitative and Intuitive Techniques. **International Journal of Tourism Management**, v.1, n.1, p. 5-12, 1980.

ASSIS, W. L., FONSECA, F. D., LOBO, F. F. C., GARCIA, A. R. Verticalização e impermeabilização do solo urbano: entre as promessas e a realidade - considerações com base no caso de belo horizonte/MG. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, XVI, 2013 Foz do Iguaçu, 2013.

AZEVEDO, J. P. S. **Vulnerabilidades da infraestrutura de drenagem urbana e os efeitos das mudanças climáticas na região metropolitana do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, Fevereiro 2011.

BAPTISTA, M. B. A. D.; NASCIMENTO, N.O. Aspectos institucionais e de financiamento dos Sistemas de Drenagem Urbana. **RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.7, n.1, jan/mar, 2002.

BELO HORIZONTE. Coordenadoria de Defesa Civil do Município de Belo Horizonte. Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. **Planilha de ocorrência de sinistros em função de impactos hidrometeorológicos de 2009 a 2012**, 2012.

BELO HORIZONTE. **Gestão compartilhada**. Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, 2017.

BERTONI, J.C.; TUCCI, C. E. M. (org.) **Inundações Urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

BRITTO, A. L.; JOHNSON R. M. F. **Mudanças climáticas, saneamento básico e governança da água na região metropolitana do Rio de Janeiro**. Florianópolis, 2010.

BUENO, L. M. DE M., TÂNGARI, V. R., PEREIRA, J. M., PEZZUTO, C. C., MONTEZUMA, R. DE C. M., & REGO, A. DE Q. Mudanças climáticas e as formas de ocupação urbana: processo de criação de cenários socioambientais. **Revista Paisagem e Ambiente - Ensaios**, São Paulo, n.30, p. 123-136, 2012.

BURIAN, J. S.; EDWARDS G. F. **Historical perspectives of urban drainage**. Estados Unidos, 2002.

BUTLER, D.; DAVIES, J. W. **Urban Drainage**. London: Taylor & Francis, 2011.

CAJAZEIRO, J. M. D. **Análise da susceptibilidade à formação de inundações nas bacias e áreas de contribuição do Ribeirão Arrudas e Córrego da Onça em termos de índices morfométricos e impermeabilização**. 2012. 104 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

CÂMARA MUNICIPAL DE CAETÉ. **História**, 2011. Disponível em: <<https://www.camaradecaete.mg.gov.br/detalhe-da-materia/info/historia/6495>>. Acesso em: 10. mai 2021.

CAMPOS, A. R., SANTOS, G. G., SILVA, J. B. L., IRENE FILHO, J., & LOURA, D. D. S. Equações de intensidade-duração-frequência de chuvas para o estado do Piauí. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 45, n. 3, p. 488-498, jul/set 2014.

CASTRO, A. L. C. **Glossário de defesa civil estudos de riscos e medicina de desastres**. 2. ed. Brasília: Indesp, 1998.

CHAMBERS, J. C.; MULLICK, S. K.; SMITH, D. D. How to Choose the Right Forecasting Technique. **Harvard Business Review**, v. 49, July-August, p. 45-57, 1971.

CHOCAT, B., KREBS, P., MARSALEK, J., RAUCH, W., & SCHILLING, W. Urban drainage. In: **Proceedings of 5th International Conference on Sustainable Techniques and Strategies**. Lyon, p. 6-10, June/2004.

CHRISTOFIDIS, D.; ASSUMPÇÃO, R. D. S. F. V.; KLIGERMAN, D. C. A evolução histórica da drenagem urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza. **Saúde Debate**, n.43, v.13, p. 94-108, dez 2019.

COLOMBELLI, K.; MENDES, R. Determinação dos parâmetros da equação de chuvas intensas para o município de Videira/SC. **Unoesc & Ciência - ACET**, v. 4, n. 2, p. 169–180, 2013.

COTTON, W., PIELKE, R.A. Sr. **Human Impacts on Weather and Climate**, Chap 5, 2nd edn, Cambridge University Press: Cambridge, 2007.

CRUZ, M. A. S.; SOUZA, C. F.; TUCCI, C. E. M. Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: planejamento e tecnologias verdes para a sustentabilidade das águas urbanas. **RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.17, n.2, abr/jun 2012.

DAMÉ, R. C. F.; TEIXEIRA, C. F. A; TERRA, V. S. S. Comparação de diferentes metodologias para estimativa de curvas intensidade-duração-frequência para pelotas - RS. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 2, p. 245-255, 2008.

DOANE, D. P.; SEWARD, L. E. **Estatística Aplicada à Administração e Economia**. 4.ed. AMGH Editora, 2014.

DO NASCIMENTO, Adélia Santana et al. Análise de chuvas intensas para o município de Belo Horizonte. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 32184-32218, 2020.

DUARTE, A. R. B. Histórico da urbanização de Belo Horizonte a partir da década de 70: uma análise das políticas públicas ambientais e de urbanização do município. **Revista ALPHA**. Patos de Minas: UNIPAM, n.10, p. 21-31, dez, 2009.

DULNIK, Paulo Roberto. **Elaboration of a tipping bucket rain gauge with an optical sensor**. 2006. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Estadual do Oeste do Parana, Cascavel, 2006.

FÁTIMA, Maria de. **Impactos da drenagem urbana na saúde pública em municípios de pequeno porte no estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil**. Recife, 2013. 250 f. Tese (doutorado) - UFPE, Centro de Tecnologia e Geociências, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, 2013.

FAGERLAND, Morten W.; SANDVIK, Leiv. The wilcoxon–mann–whitney test under scrutiny. **Statistics in medicine**, v. 28, n. 10, p. 1487-1497, 2009.

FERNANDES, C. **Microdrenagem**: um estudo inicial. Campina Grande: DEC/CCT/UFPB, 2002.

FERREIRA, C.C.M., BATISTA, G.M.F., VIANNA, Y.C.G. Variações ou tendências climáticas: um estudo com as séries de temperatura do ar para a cidade de Juiz de Fora-MG. **Revista de Ciências Humanas**, v. 15, n. 2, p. 414-433, 2015.

FORGIARINI, F. R. **Incentivos econômicos à sustentabilidade da drenagem urbana**: o caso de Porto Alegre – RS. 2010. 244f. Tese (Doutorado em Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

FREIRE, João Luís Rodrigues. **Introdução à inferência estatística**. 2017. 69f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso PROFMAT) – Instituto de Matemática Pura e Aplicada, Rio de Janeiro, 2017.

GARCIA, C. M. Contribuição do meio urbano nas mudanças climáticas: estudo de caso do município de Castro – PR. **V Encontro Nacional da Anppas**, Florianópolis, Outubro, 2010.

GEST, A. P. **Our debt to Greece and Rome**. Edited by G.D. Hadzsits and D.M. Robinson, Cooper Square Publishers, Inc., New York, 1963.

HACKBART, E. STEIN, C. E. **Uma abordagem dos testes não-paramétricos com utilização do Excel**. Universidade Regional de Blumenau, 2003.

HALL, J. W., DAWSON, R. J., WALSH, C. L., BARKER, T., BARR, S. L., BATTY, M., ... & ZANNI, A. **Engineering Cities**: how can cities grow whilst reducing emissions and vulnerability? Newcastle: Newcastle University, 2009.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Belo Horizonte, 2017.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2015.

JARDIM, C. H. “Médias” e “desvios” na análise geográfico climatológica: o episódio de chuva concentrada do dia 23 de novembro de 2010 e o veranico de janeiro/fevereiro de 2011 em Belo Horizonte - MG. **Revista Geografias**, Belo Horizonte, ed. especial, p. 35-49, jan./jun, 2012.

JURAS, L. A. G. M. **Mudança do clima**: principais conclusões do 5º relatório do IPCC. Consultora Legislativa da Área XI Meio Ambiente e Direito Ambiental, Organização Territorial, Desenvolvimento Urbano e Regional. Brasília, novembro, 2013.

KENDALL, M. G. **Rank Correlation Methods**. 4.ed. London: Charles Griffin, 1975.

KICH, E. D. M.; MELATI, M. D.; MARCUZZO, F. F. N. Estudo do regime hídrico pluvial e fluvial na sub-bacia visando a determinação do seu ano hidrológico. **XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, n. 51, p. 1–8, 2015.

KRUSKAL, W. H.; WALLIS, W. Use of ranks in one-criterion variance analysis. **Journal of the American statistical Association**, v. 47, n. 260, p. 583-621, 1952.

LUCAS, T. D. P. B., AUGUSTO, P., DOS REIS, S., & ROCHA, S. C. Impactos hidrometeorológicos em Belo Horizonte - MG. **Revista Brasileira de Climatologia**, a. 11, v. 16, p. 7-28, jan/jul 2015.

MAITELLI, G. T; SOUZA, S. C. Mudanças climáticas na interface superfície urbanizada atmosfera. In: **Encontro de Geógrafos da América Latina**. São Paulo, 2005.

MAKRIDAKIS, S.; WHEELWRIGHT, S.; HYNDMAN, R. **Forecasting**: methods and applications. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 1998.

MANN, H. B. Non-parametric test against trend. **Econometrica**, v.13, p.245-259, 1945.

MARCUZZO, F. F. N.; GOULARTE, E. R. P. Mapeamento espacial, temporal e sazonal das chuvas no bioma amazônico do Estado do Tocantins. In: **X Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**, 2013.

MARENGO, J. A. O futuro clima do Brasil. **Revista USP**, São Paulo, n.103, p. 25 - 32, 2014.

SÁ MARQUES, A., SIMÕES, N., & PINA, R. **Sistemas de drenagem de águas pluviais**. ERSAR, Lisboa, 2013.

MARTINS, J. R. S. Gestão da drenagem urbana: só tecnologia será suficiente? **Artigo Científico**, São Paulo, 2012.

MATOS, J. A. Aspectos históricos a atuais da evolução da drenagem de águas residuais em meio urbano. **Revista Universidade do Minho**, v. 16, 2003.

MENDONÇA, E. C. **Metodologia para avaliação de desempenho de sistemas de drenagem urbana**. 2009.171p. Tese (Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; CARNEIRO, P. R. F. Sustainable drainage systems: an integrated approach, combining hydraulic engineering design, urban land control and river revitalisation aspects. In: JAVAID, Muhammad Salik. **Drainage Systems. InTech**, 2012.

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; REZENDE, O. M. **Drenagem urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

MUMFORD, L. **The city in history: its origins, its transformations, and its prospects**. New York: Harcourt, Brace & World, 1961.

NAGHETTINI, MAURO; PINTO, ÉBER JOSÉ DE ANDRADE. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007.

DO NASCIMENTO, A. S., DE ARAÚJO NUNES, A., ABADE, D. S. O., CASTRO, G. A., OLIVEIRA, J. G., DE CASTRO, K. D. R., & TEODORO, M. R. **Análise de chuvas intensas para o município de Belo Horizonte: Impactos na drenagem urbana**. 98f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2017.

NUNES, A. A. **Tendências em eventos extremos de precipitação na Região Metropolitana de Belo Horizonte: detecção, impactos e adaptabilidade**. 191f. Tese (Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

NUNES, L. H. Repercussões globais, regionais e locais do aquecimento global. **Revista Terra Livre**, São Paulo, v. 1, n. 20, p. 101-110, janeiro/julho, 2003.

PNUMA. **Mudanças climáticas podem causar inundações extremas**. Disponível em: <<https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/mudancas-climaticas-podem-causar-inundacoes-extremas#:~:text=O%20aumento%20da%20temperatura%20global,favorecer%20a%20forma%20de%20nuvens>>. Acesso em: 01 abr 2021.

PREFEITURA MUNICIPAL DE VESPASIANO. **A Cidade**. Disponível em: <<https://www.vespasiano.mg.gov.br/vespasiano/a-cidade/>>. Acesso em: 12 ago 2021.

QUEIROZ, M. A. **Avaliação de tendências em séries de precipitação diária máxima anual na faixa central do estado de Minas Gerais**. 184F. Tese (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

RAMOS, A., M. **Influência das mudanças climáticas devido ao efeito estufa na drenagem urbana de uma grande cidade**. 2010. 160 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

RAMOS, C. **Perigos naturais devidos a causas meteorológicas: o caso das cheias e inundações**. 2013. Disponível em: <<https://recil.grupolusofona.pt/handle/10437/5308>>. Acesso em: 24 jul 2021.

RAUCH W.; LAGHARI A. N.; TOFFOL S. Are extreme rainfall intensities more frequent? Analysis of trends in rainfall patterns relevant to urban drainage systems. **Water Science & Technology**, v. 59, n. 9, p. 1769-1776, 2009.

RIBEIRO, E. L. **Cidades (in)sustentáveis: reflexões e buscas de modelos urbanos de menor entropia**. João Pessoa: Universitária, 2006.

DE SOUZA RIOGA, A. L., DE ARAÚJO NUNES, A., & REIS, B. C. M. Análise da variabilidade de chuvas intensas na região metropolitana de belo horizonte. **XIII Encontro Nacional de Águas Urbanas**, Porto Alegre, out 2020.

ROCHA, C. I. O. **Plano diretor de drenagem urbana em cidades planejadas: premissa de zoneamento baseado no risco de contaminação da água subterrânea**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

ROSSI, E.; GONÇALVES, L. M. Eco técnicas de Drenagem Urbana: urbanização de impacto ambiental reduzido. **Anais III Simpósio de Pós - Graduação em Engenharia Urbana**, 2012.

SANTOS, D. P. **Mitigação do impacto das alterações climáticas na drenagem urbana**. Coimbra, Portugal, 2014.

SILVA, M. K. **Modelo para pré-dimensionamento de bacias de retenção para controle da poluição difusa das águas pluviais no município de Porto Alegre**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009

SILVA; G. F. N.; HORA, K. E. R. O plano diretor municipal e sua interface com a drenagem urbana. **Revista Labverde**, n.7, p. 143–167, dez. 2013.

SILVA, Francisco Osny Eneas da; PALÁCIO JUNIOR, Francisco F. R.; CAMPOS, Jose N. B. Equação de chuvas para Fortaleza-CE com dados do pluviógrafo da UFC. **Revista DAE**, n. 192, Fortaleza, maio-agosto/2013.

SILVEIRA, A. L. L. da. **Drenagem urbana**: Aspectos de Gestão. Primeira edição, p. 70, 2002. 70 f. Apostila do curso Gestores Regionais de Recursos Hidricos, Instituto de Pesquisa Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Fundo Setorial de Recursos Hidricos (CNPq). Rio Grande do Sul: UFRGS, 2002.

SIMONS, D. B., PONCE, V. M., LI, R. M., CHEN, Y. H., GESSLER, J., WARD, T. J., & DUONG, N. **Flood flows, stages and damages**. Fort Collins: Colorado State University, 1977.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H.; DICKEY, D. A. **Principles and procedures of statistics: a biometrical approach**. New York: McGraw-Hill. 1997.

SUDECAP – Superintendência de Desenvolvimento da Capital. MAGNA Engenharia Ltda. **Plano Diretor de Drenagem de Belo Horizonte – PDDBH**: Primeira Etapa. Belo Horizonte, 2001.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. do (orgs.). In: **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Ministério das Cidades. Global Water Partnership, 2005.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de águas pluviais urbanas**: Saneamento para Todos. 2012

VAZ, C. M. **Análise de tendência em séries de precipitação diária máxima anual**. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico- Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2008.

VILLARINI, G., SMITH, J. A., SERINALDI, F., BALES, J., BATES, P. D., & KRAJEWSKI, W. F. Flood frequency analysis for nonstationary annual peak records in an urban drainage basin. **Advances in Water Resources**, v. 32, p. 1255-1266, 2009.

VILLARINI, G., SMITH, J. A., NTELEKOS, A. A., & SCHWARZ, U. Annual maximum and peaks-over-threshold analyses of daily rainfall accumulation for Austria. **Journal of Geophysical Research**, v. 116, D05103, 2011.

WILLEMS, P., & OLSSON, J. **Impacts of climate change on rainfall extremes and urban drainage systems**. IWA Publishing, London, 2012.

ZUFFO, Antônio Carlos. Equações de chuvas são eternas? In: Congresso Latino-americano de Hidráulica, XXI, São Pedro, 2004. **Anais**. São Pedro: 2004. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~zuffo/b407.pdf>>. Acesso em: 01. jul 2021.

APÊNDICE A – SÉRIES TEMPORAIS DE MÉDIA MÓVEIS DE ALTURAS PLUVIOMÉTRICAS MÁXIMAS POR ANO HIDROLÓGICO

Tabela A.1 - Médias móveis de alturas pluviométricas máximas calculada para Belo Horizonte

10 min	15 min	30 min	45 min	60 min	120 min	180 min	240 min	480 min	840 min	1440 min
105,72	87,4	66,62	54,6	43,44	24,52	17,2	14,25	9,14	5,85	4,09
103,2	86,56	66,56	53,44	42,97	25,02	18,08	14,98	9,79	6,14	4,34
101,4	86,56	66,89	54,17	44,32	25,52	18,42	15,13	9,77	6,2	4,33
109,8	92,12	69,72	56,48	46,49	27,14	19,5	15,45	9,66	6,03	4,09
108,6	91,32	68,54	56,09	46,34	27,38	19,81	15,87	10	6,22	4,06
114,6	99,2	72,7	58,31	48,46	28,44	20,49	16,2	10,19	6,35	3,95
112,8	99,2	70,5	55,39	45,99	27,14	19,11	15,38	9,56	5,79	3,61
114,3	99	70,4	54,01	44,99	26,98	18,93	15,67	9,77	5,95	3,66
112,2	98,2	70,7	53,84	44,87	26,93	18,85	15,58	9,72	6,06	3,75
120	103,6	73,98	56,31	45,94	27,7	19,27	15,9	9,88	6,15	3,8
123	106,4	78,48	58,6	48,44	28,1	19,44	15,93	9,73	6,06	3,78
125,58	106,8	78,58	59,67	50,07	28,16	18,94	15,62	9,09	5,67	3,47
126,48	108	80,18	62	51,51	29,2	19,63	16,03	9,44	5,84	3,56
125,28	110,8	81,06	61,47	50,49	29,38	19,78	16,12	9,41	5,85	3,55
124,98	110,6	80,94	63,2	51,65	29,65	20,27	16,44	9,44	5,87	3,58
121,98	106,68	77,86	61,85	50,19	28,96	19,8	16,17	9,33	5,88	3,58

Fonte: o autor, 2021

Tabela A.2 - Médias móveis de alturas pluviométricas máximas calculada para Caeté

10 min	15 min	30 min	45 min	60 min	120 min	180 min	240 min	480 min	840 min	1440 min
105,16	92,6	67,6	51,22	41,13	27,7	19,66	15,48	9,77	6,86	4,72
102,86	92,06	67,35	52,21	42,09	27,94	20,16	16,06	10,27	7,14	4,96
93,11	81,05	62,61	50,12	41,47	27,34	19,69	15,69	9,84	6,79	4,68
101,58	91,18	68,73	54,4	46,19	29,29	20,9	16,72	10,04	6,74	4,58
108,01	98,65	69,89	56,27	49,3	32,07	23,41	18,87	11,05	7,31	4,86
106,7	96,15	70,77	57,68	50,38	32,29	23,7	19,17	11,1	7,26	4,71
105,02	92,24	67,39	54,68	47,46	30,45	22,18	17,94	10,37	6,3	3,99
105,78	90,92	64,54	51,71	44,52	28,37	21,16	17,08	9,87	5,99	3,8
113,94	95,47	65,84	51,72	43,95	28,08	21,03	16,91	9,66	5,84	3,72
113,72	96,85	65,36	50,84	43,14	26,41	20,03	16,25	9,36	5,69	3,65
115,47	97,9	65,71	50,67	42,34	25,13	19,08	15,39	9,04	5,54	3,58
114	96,93	64,77	49,56	41,64	24,89	18,54	14,73	8,13	5,02	3,13
115,51	98,63	66,82	51,07	42,36	24,75	18,47	14,64	8,06	5,17	3,35
105,78	88,81	59,56	46,35	38,48	22,77	17,34	13,94	7,7	4,91	3,21
101,13	85	56,5	42,91	34,3	19,93	15,12	11,98	6,9	4,52	3,02
101,09	85,65	56,57	42,61	34,11	19,88	14,98	11,91	6,92	4,68	3,19

Fonte: o autor, 2021.

Tabela A.3 - Médias móveis de alturas pluviométricas máximas calculada para Vespasiano

10 min	15 min	30 min	45 min	60 min	120 min	180mi n	240 min	480 min	840 min	1440 min
76,65	70,87	58,89	46,43	37,31	20,53	14,63	11,24	5,99	4,33	3,20
73,82	67,28	56,53	45,86	37,66	21,66	15,54	11,96	6,62	4,64	3,34
78,42	71,49	61,07	49,49	40,41	22,89	16,33	12,55	6,92	5,00	3,72
79,93	73,51	60,85	48,48	39,08	23,04	16,23	12,44	7,01	5,07	3,77
84,65	77,97	65,32	52,20	42,52	24,54	17,12	13,09	7,33	5,25	3,95
88,91	80,34	65,74	53,17	43,35	25,28	17,81	13,60	8,03	5,79	4,24
83,03	74,87	61,67	50,34	41,69	24,91	17,60	13,44	7,90	5,32	3,91
82,94	73,86	59,75	48,57	40,46	24,14	17,11	13,20	7,71	5,13	3,77
83,89	73,86	58,17	47,13	39,37	23,61	17,03	13,21	7,71	5,06	3,73
86,28	75,71	58,80	47,62	39,59	24,14	17,50	13,62	8,02	5,18	3,80
89,13	78,11	59,52	47,69	39,37	23,65	17,19	13,40	8,15	5,16	3,85
88,52	77,12	59,51	46,92	38,46	22,71	16,53	12,92	7,68	4,90	3,71
94,31	81,83	61,04	46,52	38,10	22,51	16,40	12,82	7,63	4,69	3,47
93,46	80,20	60,46	45,82	37,29	21,31	15,64	12,43	7,36	4,45	3,22
90,94	78,61	57,78	44,23	36,04	20,29	14,86	11,85	7,16	4,46	3,15
88,55	77,65	58,35	45,19	37,21	20,67	14,91	11,88	6,77	4,17	2,98

Fonte: Autor Próprio, 2021

APÊNDICE B – RESULTADO DOS TESTES DE MANN-KENDALL

Tabela B.1 – Resultado do teste de tendência de Mann Kendall realizado no Minitab para dados de Belo Horizonte de 1990 a 2014.

Duração	z	p-value upward trend	p-value downward trend	Tendência
10 min	1,38833	0,0825181	0,917482	NS
15 min	2,15356	0,0156375	0,984363	S+
30 min	1,16652	0,121701	0,878299	NS
45 min	1,51525	0,0648551	0,935145	NS
60 min	1,41472	0,0785751	0,921425	NS
120 min	1,6582	0,0486383	0,951362	S+
180 min	1,58857	0,0560786	0,943921	NS
240 min	1,1911	0,116807	0,883193	NS
480 min	-0,02336	0,509316	0,490684	NS
840 min	0,046723	0,481367	0,518633	NS
1440 min	-1,1162	0,867831	0,132169	NS

Fonte: o autor, 2021.

Tabela B.2 - Resultado do teste de tendência de Mann Kendall realizado no Minitab para dados de Caeté de 1990 a 2014.

Duração	z	p-value upward trend	p-value downward trend	Tendência
10 min	-875711	0,809406	0,190594	NS
15 min	-0,389536	0,65156	0,34844	NS
30 min	-1,35886	0,912905	0,0870952	NS
45 min	-1,11729	0,868064	0,0131936	NS
60 min	-0,394771	0,653494	0,346506	NS
120 min	-1,01513	0,844977	0,155023	NS
180 min	-1,12792	0,870323	0,129677	NS
240 min	-0,98732	0,838257	0,161743	NS
480 min	-1,83359	0,966643	0,0333571	S-
840 min	-2,11569	0,982814	0,0171858	S-
1440 min	-2,14304	0,983945	0,0160548	S-

Fonte: o autor, 2021.

Tabela B.3 - Resultado do teste de tendência de Mann Kendall realizado no Minitab para dados de Vespasiano de 1990 a 2014.

Duração	z	p-value upward trend	p-value downward trend	Tendência
10 min	0,733146	0,231735	0,768265	NS
15 min	-0,16919	0,567175	0,432825	NS
30 min	-0,28198	0,61102	0,38898	NS
45 min	-0,50756	0,69412	0,30588	NS
60 min	-0,28198	0,61102	0,38898	NS
120 min	0	0,5	0,5	NS
180 min	0,028209	0,488748	0,5111252	NS
240 min	0,112792	0,455098	0,544902	NS
480 min	0,677289	0,249111	0,750889	NS
840 min	0,479555	0,315772	0,684228	NS
1440 min	-0,3103	0,621834	0,378166	NS

Fonte: o autor, 2021.

APÊNDICE C – QUANTIS LOG PARA A ESTAÇÃO DE VESPASIANO E CAETÉ

Tabela C.1 – Logaritmos das Intensidades – Quantis Log para Estação de Vespasiano.

Tempo (min)	Tempo de Retorno (anos)				
	5	10	25	50	100
10	2,018	2,078	2,144	2,187	2,226
15	1,981	2,047	2,118	2,164	2,205
30	1,881	1,948	2,019	2,066	2,107
45	1,775	1,840	1,911	1,956	1,997
60	1,682	1,743	1,811	1,855	1,894
120	1,425	1,480	1,541	1,582	1,618
180	1,270	1,320	1,376	1,413	1,447
240	1,152	1,196	1,247	1,281	1,313
480	0,911	0,960	1,016	1,052	1,086
840	0,749	0,809	0,874	0,917	0,956
1440	0,613	0,671	0,735	0,777	0,815

Fonte: o autor, 2021.

Tabela C.2 – Logaritmos das Intensidades – Quantis Log para Estação de Caeté.

Tempo (min)	Tempo de Retorno (anos)				
	5	10	25	50	100
10	2,106	2,163	2,226	2,268	2,306
15	2,048	2,105	2,168	2,210	2,247
30	1,887	1,940	1,999	2,039	2,074
45	1,775	1,830	1,891	1,931	1,968
60	1,697	1,756	1,821	1,864	1,902
120	1,498	1,562	1,632	1,678	1,719
180	1,364	1,429	1,498	1,544	1,585
240	1,274	1,342	1,416	1,463	1,506

Fonte: o autor, 2021.

Tabela C.3 – Quantis das intensidades calculados para Estação de Vespasiano.

Tempo (min)	Tempo de Retorno (anos)				
	5	10	25	50	100
10	104,31	119,81	139,39	153,92	168,35
15	95,73	111,36	131,11	145,76	160,30
30	76,02	88,61	104,52	116,32	128,04
45	59,61	69,23	81,39	90,40	99,36
60	48,03	55,37	64,65	71,53	78,37
120	26,61	30,23	34,79	38,17	41,54
180	18,62	20,88	23,74	25,87	27,97
240	14,18	15,72	17,67	19,11	20,55
480	8,15	9,13	10,36	11,28	12,19
840	5,61	6,44	7,48	8,26	9,03
1440	4,10	4,69	5,43	5,99	6,53

Fonte: o autor, 2021.

Tabela C.4 – Quantis das intensidades calculados para Estação de Caeté.

Tempo (min)	Tempo de Retorno (anos)				
	5	10	25	50	100
10	123,34	151,68	187,49	214,06	240,42
15	106,05	132,18	165,19	189,68	213,99
30	75,03	91,91	113,23	129,05	144,76
45	57,93	71,06	87,65	99,96	112,17
60	48,72	59,17	72,36	82,16	91,87
120	30,60	37,41	46,01	52,38	58,71
180	22,48	27,48	33,80	38,48	43,13
240	18,19	22,35	27,61	31,50	35,37

Fonte: o autor, 2021.

APÊNDICE D – INTENSIDADES CALCULADAS PELA IDF AJUSTADA PARA VESPASIANO, CAETÉ E PELA IDF DE PINHEIRO E NAGHETTINI

Tabela D.1 - Intensidades calculadas pela IDF ajustada para Vespasiano, Caeté e pela IDF de Pinheiro e Naghettini

Duração	TEMPO DE RETORNO														
	5 anos			10 anos			25 anos			50 anos			100 anos		
	IDF	IDF Caeté	IDF Pinheiro e Nagheti	IDF Vespasiano	IDF Caeté	IDF Pinheiro e Nagheti	IDF Vespasiano	IDF Caeté	IDF Pinheiro e Nagheti	IDF Vespasiano	IDF Caeté	IDF Pinheiro e Nagheti	IDF Vespasiano	IDF Caeté	IDF Pinheiro e Nagheti
10 min	108,09	92,25	153,89	120,43	112,37	188,04	138,94	145,87	213,34	154,81	177,69	235,84	172,48	216,46	256,12
15 min	92,00	82,65	115,36	102,51	100,68	140,64	118,26	130,68	159,40	131,76	159,19	176,05	146,81	193,92	191,08
30 min	64,50	62,26	70,36	71,87	75,84	85,25	82,91	98,45	97,38	92,38	119,92	106,17	102,93	146,08	115,02
45 min	50,24	49,33	53,26	55,98	60,10	65,13	64,58	78,01	73,93	71,96	95,03	81,75	80,17	115,76	88,76
60 min	41,43	40,49	43,70	46,16	49,33	53,71	53,25	64,03	61,17	59,33	78,00	67,77	66,11	95,01	73,71
120 min	24,98	22,63	26,74	27,84	27,56	32,79	32,11	35,78	37,31	35,78	43,58	41,32	39,87	53,09	44,89
180 min	18,23	15,15	20,12	20,31	18,45	24,73	23,43	23,95	28,17	26,11	29,18	31,20	29,09	35,54	33,94
240 min	14,49	11,15	16,35	16,15	13,58	20,01	18,63	17,63	22,71	20,75	21,47	25,12	23,12	26,16	27,29
480 min	8,22	-	10,09	9,16	-	12,43	10,57	-	14,17	11,78	-	15,71	13,12	-	17,10
840 min	5,16	-	6,92	5,75	-	8,67	6,63	-	9,98	7,39	-	11,14	8,23	-	12,19
1440 min	3,28	-	4,80	3,65	-	6,11	4,21	-	7,09	4,70	-	7,95	5,23	-	8,74

Fonte: o autor, 2021