

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

Danielle de Castro Lopes

**Avaliação preliminar da relação intensidade-duração-frequência pelo método Kimbal e
obtenção dos coeficientes de desagregação para diferentes durações de precipitação**

Estudo de caso: Coronel Pacheco – MG

Juiz de Fora

2017

Danielle de Castro Lopes

Avaliação preliminar da relação intensidade-duração-frequência pelo método Kimbal e obtenção dos coeficientes de desagregação para diferentes durações de precipitação

Estudo de caso: Coronel Pacheco – MG

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial a obtenção do título de Engenheira Ambiental e Sanitária.

Orientador: Me. Fabiano Cesar Tosetti Leal

Juiz de Fora

2017

Danielle de Castro Lopes

Avaliação preliminar da relação intensidade-duração-frequência pelo método Kimbal e obtenção dos coeficientes de desagregação para diferentes durações de precipitação

Estudo de caso: Coronel Pacheco – MG

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial a obtenção do título de Engenheira Ambiental e Sanitária.

Aprovada em

BANCA EXAMINADORA

Me. Fabiano Cesar Tosetti Leal- Orientador

Universidade Federal de Juiz de Fora

Dr. Otávio Eurico de Aquino Branco

Universidade Federal de Juiz de Fora

Dr. Luiz Evaristo Dias de Paiva

Universidade Federal de Juiz de Fora

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por iluminar o meu caminho durante essa grande etapa, permitir que meu sonho se tornasse realidade e por ter me dado saúde e força para superar todos os obstáculos durante a minha vida.

Agradeço aos meus pais, Adriana e Amarildo, pelo amor incondicional, incentivo, apoio e principalmente, por acreditarem em mim e no meu sonho, pois não mediram esforços para que eu chegassem até esta etapa. Obrigada por sempre estarem presentes em minha vida. Sem vocês nada disso teria acontecido!

Agradeço ao meu irmão Bruno, por todo apoio, inspiração e por ser o melhor irmão que eu poderia ter.

Agradeço as minhas avós Uzenir e Zélia e ao meu avô José Luiz e a minha tia Sandra por todo amor e carinho.

Agradeço ao meu namorado, Pablo, por estar presente em cada momento da minha vida. Obrigada por ter me ajudado muito nesses últimos meses, sem sua ajuda, nada teria acontecido.

Agradeço a CESAMA, e principalmente ao DETA, pela grande oportunidade de estágio que tive e por terem confiado em meu potencial.

Agradeço ao meu orientador Fabiano, pelo exemplo de profissionalismo e dedicação. Pelas horas que foram dedicadas a me ensinar e, principalmente, por ter me ajudado de forma significativa para que este trabalho chegassem até o final.

Agradeço aos professores de todo departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária, por todo ensinamento durante esses anos, e principalmente aos professores Luiz Evaristo e Otávio, por aceitarem a participar da minha banca.

Aos demais amigos e familiares agradeço por todo apoio que sempre me proporcionaram.

RESUMO

A região sudeste do país em determinadas épocas do ano sofre com problemas de inundações, devido a isso o conhecimento sobre o regime de precipitação é de extrema importância para auxiliar os projetos de diferentes obras hidráulicas. Como as obras hidráulicas são projetadas pensando no futuro, os parâmetros altura pluviométrica máxima e período de retorno são dados fundamentais para o desenvolvimento desses projetos, pois tais obras devem suportar eventos críticos provocados por precipitações intensas. As precipitações de projeto são estimadas a partir das relações intensidade-duração-frequência, essas obtidas por meio de dados pluviométricos e pluviográficos que representem o regime de precipitação da região de projeto. Desse modo, esse trabalho tem como objetivo realizar a avaliação preliminar da relação Intensidade- Duração – Frequência (IDF) para o município de Coronel Pacheco – MG, que é construída a partir dos registros históricos de precipitação disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Para a construção dessa relação utilizou-se a série anual dos dados, onde esses foram modelados através da metodologia de Kimbal, fornecendo, ao final, os valores de alturas pluviométricas para chuvas de curta duração para períodos de retorno de até 50 anos. A partir do Software Pluvio 2.1 foi possível obter a equação de intensidade de chuvas e assim realizar a comparação entre os coeficientes de desagregação obtidos pelo estudo do Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS) com os coeficientes obtidos no presente trabalho para os municípios de Coronel Pacheco e Juiz de Fora.

Palavras-chave: chuvas intensas, tempo de retorno, IDF, método de Kimbal, equação de Chuvas, coeficientes de desagregação.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	OBJETIVOS	5
2.1	Objetivo Geral	5
2.2	Objetivos específicos	5
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
3.1	Chuvas	6
3.1.1	Tipos de precipitações	6
3.2	Parâmetros e conceitos utilizados para a medição de precipitação	8
3.3	Instrumentos meteorológicos de medição.....	10
3.3.1	Pluviógrafos	11
3.3.2	Pluviômetros	12
3.3.3	Radar Meteorológico	13
3.4	Relação intensidade/duração/frequência das chuvas de projeto	14
3.5	Método Racional aplicado ao dimensionamento do sistema de drenagem	16
3.6	Metodologias Simplificadas para Obtenção da Relação IDF	19
4	DESCRIÇÃO DAS METODOLOGIAS UTILIZADAS	23
4.1.1	Método Kimbal	23
4.1.2	Software Pluvio 2.1	24
4.2	Área de estudo	25
4.3	Dados pluviométricos do município	26
4.4	Equação intensidade de precipitação	31
5	RESULTADOS	34
5.1	Coronel Pacheco - MG	34
5.2	Juiz de Fora – MG	45

6	CONCLUSÃO	48
	REFERÊNCIAS	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fases do Ciclo Hidrológico	1
Figura 2: Chuva convectiva	7
Figura 3: Chuva orográfica	7
Figura 4: Chuva frontal.....	8
Figura 5: Modelo de pluviógrafo.....	11
Figura 6: Esquematização de um pluviômetro	12
Figura 7: Exemplo de Radar Meteorológico	13
Figura 8: Exemplo da relação IDF	15
Figura 9: Principais cursos d'água do município de Coronel Pacheco - MG.....	26
Figura 10: Estação meteorológica do município de Coronel Pacheco - MG.....	27
Figura 11: Estação Meteorológica de Coronel Pacheco	28
Figura 12: Banco de dados no site do INMET.....	28
Figura 13: Extração de dados do site do INMET	29
Figura 14: Parâmetros da equação Intensidade-Duração-Frequência para Coronel Pacheco.....	32
Figura 15: Regressão exponencial para precipitação de Coronel Pacheco	37
Figura 16: Regressão linear para precipitação de Coronel Pacheco	38
Figura 17: Regressão logarítmica para precipitação de Coronel Pacheco	38
Figura 18: Regressão potencial para precipitação de Coronel Pacheco	39

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - Relação entre as chuvas de 1 dia e 24 horas.....	19
QUADRO 2 - Relações entre chuvas de curta duração	20
QUADRO 3 - Coeficientes de desagregação para diferentes durações de chuva	24
QUADRO 4 - Precipitação máxima para chuva de 1 dia para o município de Coronel Pacheco...	30
QUADRO 5 - Valor das constantes obtidas pelo Plúvio 2.1	33
QUADRO 6 - Ordenação das alturas pluviométricas e suas respectivas probabilidades de ocorrência e períodos de retorno	34
QUADRO 7 - Precipitação máxima anual acima da média das precipitações máximas	36
QUADRO 8 - Valores de R^2 de cada tipo de regressão.....	39
QUADRO 9 - Relação IDF, para diferentes períodos de retorno pelo método de Kimbal	40
QUADRO 10 - Intensidade de precipitação obtida pelo método de Kimbal	41
QUADRO 11- Intensidade de precipitação obtida pela equação de chuvas intensas	42
QUADRO 12 - Relação de intensidade em mm/s	43
QUADRO 13 - Relação entre durações de precipitações	44
QUADRO 14 - Coeficientes de desagregação encontrados n o presente estudo para Coronel Pacheco – MG.	44
QUADRO 15 - Intensidade de precipitação obtida pela equação de chuvas intensas	45
QUADRO 16 - Relação de intensidade em mm/s	46
QUADRO 17 - Coeficientes de desagregação para o município de Juiz de Fora	46
QUADRO 18 - Coeficientes de Desagregação do DNOS, Coronel Pacheco e Juiz de Fora.....	47

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural imprescindível para a existência da vida na forma como a conhecemos. Acrescente-se à essa característica o fato de ser um recurso finito, porém renovável, de grande importância em diversas atividades associadas ao desenvolvimento humano, na manutenção da vida, na preservação da saúde, no desenvolvimento tecnológico e econômico.

O ciclo hidrológico, responsável pela sua renovação, é um fenômeno de circulação fechada da água presente nos continentes, oceano e atmosfera, sendo impulsionada pela energia solar, a ação da gravidade e a rotação terrestre. Esse ciclo só é fechado em nível global, pois o volume de água que é evaporado em um local do planeta, não necessariamente precipitará neste mesmo lugar, devido aos movimentos contínuos na atmosfera (TUCCI, 2012). As diversas etapas do ciclo hidrológico estão apresentadas na Figura 1.

Figura 1: Fases do Ciclo Hidrológico



Fonte: Info ENEM, 2016

A precipitação é toda água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre, como por exemplo, nas formas de chuva, neblina, granizo, saraiva, orvalho, geada e neve, sendo que a diferença entre as formas de retorno é o estado em que a água se encontra no momento. As precipitações são classificadas quanto à altura de precipitação, duração e distribuições temporal e

espacial. A chuva é a forma mais comum de retorno da água atmosférica, a qual é formada a partir da aglutinação e crescimento de micro-gotículas nas nuvens com presença de vapor d'água e também dos núcleos de condensação como, por exemplo, poeira ou gelo. À medida que vão se formando, essas gotas vão ganhando tamanho e peso que são suficientes para que a força da gravidade supere os movimentos ascendentes da atmosfera, e caia até a superfície (TUCCI, 2012).

No início da precipitação ocorre a etapa da infiltração, que é o processo pelo qual a água penetra nas camadas superficiais do solo e se move de forma descendente, sob a ação da gravidade, até atingir uma camada suporte, dando início a recarga dos aquíferos subterrâneos. Vale ressaltar que a água infiltrada no solo levará vários dias para percorrer poucos metros, enquanto a água não infiltrada levará poucos dias para percorrer longas distâncias. Vale dizer que o processo de infiltração dependerá, entre outros fatores, do tipo e quantidade de vazios presentes no solo, ou seja, a taxa de infiltração é inversamente proporcional à taxa de impermeabilização do terreno.

Uma grande parcela do volume precipitado, que não infiltra no terreno, dá origem à fase do ciclo hidrológico, denominada escoamento superficial. Nessa fase a água escoa em direção às áreas de menores cotas topográficas alimentando os mananciais superficiais, ou mesmo podendo infiltrar em outras regiões.

A evaporação é caracterizada por um processo físico, no qual um líquido passa para o estado gasoso, fase do ciclo hidrológico que dará início a formação das nuvens. Isso ocorre principalmente devido à radiação solar e aos processos de advecção e as de difusão molecular e turbulenta. Já a evapotranspiração apresenta um papel fundamental no ciclo hidrológico, que é caracterizado pela perda de água para a atmosfera na forma de vapor, decorrente das ações físicas e fisiológicas dos vegetais através dos estômatos. Essa última é de grande importância para o balanço hídrico de uma bacia hidrográfica (TUCCI, 2012).

Com o intenso incremento populacional verificado nos últimos anos, por consequência, aumenta-se também a densidade de edificações presentes nas cidades. Devido a isso, a impermeabilização do solo vem aumentando significativamente, dificultando ou até mesmo impedindo a infiltração de uma parcela da água no solo. Isso acarreta no aumento das vazões do escoamento superficial e, por consequência, diminui o tempo de concentração das bacias ou sub-bacias de drenagem, que é

o tempo necessário para que toda a bacia, ou sub-bacia, em estudo contribua para o escoamento superficial na seção estudada (TOMAZ, 2013). Segundo Costa et all (2016), o incremento das taxas de impermeabilização do terreno e suas consequências diretas relacionadas, implica em graves problemas ambientais como inundações urbanas, erosões, bem como degradação da qualidade das águas dos corpos receptores.

Os sistemas de drenagem urbana podem ser classificados como um conjunto de obras e estruturas destinadas à coleta, transporte e destinação final adequada das águas pluviais precipitadas sobre a superfície terrestre. Esses tipos de sistemas podem evitar problemas de escoamento superficial, erosão, danos no pavimento, assoreamento de cursos d'água, entre outros. (LEAL, 2016)

Muitas cidades no Brasil, se não a grande maioria delas, sofrem com os problemas relacionados à falta de um sistema de eficiente de drenagem urbana, refletidos na forma de impactos ao meio ambiente e, consequentemente, com sérios agravos à sociedade. Esses impactos estão associados a vários aspectos, promovendo diversos problemas e prejuízos à população urbana. A falta de um planejamento adequado, relacionado com as alterações que o meio sofre principalmente devido ao uso irregular do solo, gera problemas urbanos de difíceis soluções, que podem requerer projetos de engenharia consideravelmente caros (MONTES, 2008).

A grande necessidade do desenvolvimento de modelos matemáticos e estatísticos, a partir de uma série histórica de dados locais, se dá no sentido de relacionar o comportamento do ciclo hidrológico com as ocorrências de diferentes intensidades de precipitação, relacionadas a diferentes períodos de retorno ou tempo de recorrência, ou seja, o estabelecimento para a região de estudo da sua relação *intensidade-duração-freqüência* (IDF) das chuvas de projeto.

Nesse sentido, o conhecimento de uma metodologia que permita o estabelecimento dessa relação é um diferencial significativo na elaboração de projetos de engenharia hidráulica e também de drenagem urbana. Em locais onde os únicos dados disponíveis são relativos a chuvas de um dia, fornecidas por pluviômetros, o conhecimento dessas metodologias expeditas são de extrema importância ao projetista, na medida em que permitam estabelecer as relações intensidade/duração/freqüência, a partir de dados simples e de fácil obtenção.

Assim, as relações intensidade-duração-frequência, baseadas em dados históricos obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, por exemplo, possibilitam a obtenção de intensidades de precipitação para a estimativa de vazões de projeto, tanto para o sistema de micro quanto para o de macrodrenagem, que garantam a eficiência esperada para os sistemas de drenagem que poderão ser implantados. Essa relação também é de grande importância para projetos hidráulicos, como vertedores de barragens, galerias pluviais, dimensionamento de bueiros, dentre outras obras hidráulicas.

Assim, estudos que permitem a obtenção dessas relações expeditas caracterizam-se como fundamentais, na medida em que podem otimizar o planejamento e projeto de obras hidráulicas que garantam o conforto e bem-estar da população.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma relação intensidade/duração/frequência preliminar para o município de Coronel Pacheco – MG, a partir dos dados pluviométricos de chuvas de 1 dia, obtidos junto ao INMET.

2.2 Objetivos específicos

- Obter os dados pluviométricos para a cidade de Coronel Pacheco – MG, a partir de estação meteorológica do INMET;
- Apresentar a metodologia a ser empregada na obtenção da relação IDF;
- Definir o tipo de série a ser utilizada;
- Selecionar os eventos na base de dados;
- Apresentar a metodologia de Kimbal para obtenção da relação expedita intensidade-duração-frequência (IDF).
- Estabelecer a relação expedita intensidade-duração-frequência (IDF) para a cidade de Coronel Pacheco - MG, através dos métodos de Kimbal;
- Obter a equação de chuvas para Coronel Pacheco - MG, a partir do software PLUVIO 2.1 desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa;
- Obter os coeficientes de desagregação para diferentes durações de precipitações através da equação de chuvas intensas geradas pelo PLUVIO 2.1;
- Comparar os coeficientes obtidos com os citados na literatura.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Chuvas

As chuvas, ou precipitações atmosféricas, são caracterizadas como o conjunto de águas provenientes do vapor d'água atmosférico podendo apresentar-se na forma de neblina, chuva, granizo, saraiva, orvalho, geada e/ou neve. A precipitação é de extrema importância, pois é a partir dela que se dá a formação do escoamento superficial, infiltração, evaporação, transpiração, recarga de aquíferos, vazão básica dos rios, por exemplo.

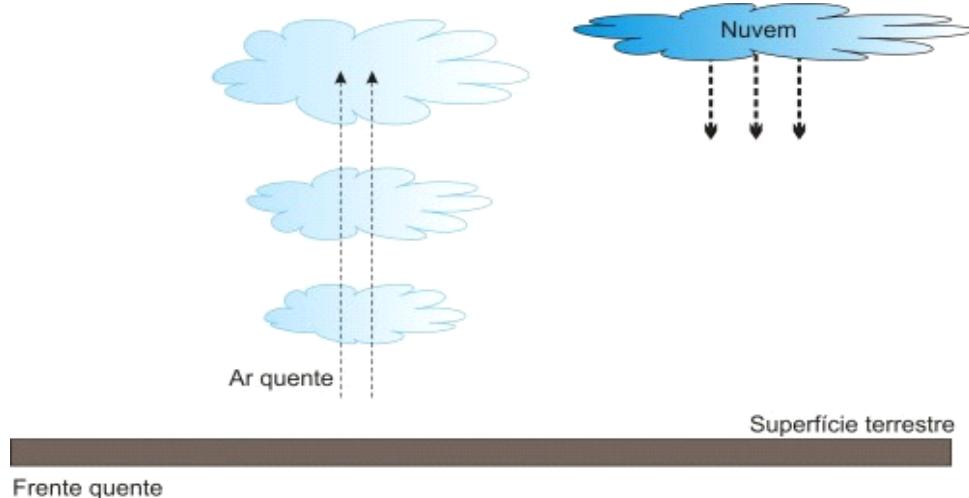
As precipitações são formadas a partir de massas de ar quente e úmido em contato com a superfície terrestre, quando as mesmas são transportadas para níveis mais altos da atmosfera. Em níveis mais altos da atmosfera, a menores pressões, a temperatura desse ar quente e úmido diminui devido à transformação de energia térmica em trabalho no processo de expansão adiabática (sem troca de calor). Com a diminuição da temperatura, ocorre a condensação e posteriormente a formação das nuvens, definidas como aerossóis constituídos por ar, vapor d'água e gotículas no estado líquido ou sólido, que são mantidas em suspensão pela turbulência ou correntes de ar ascendente. A partir do aumento do volume dessas gotículas, por conta da contínua condensação do vapor d'água, as mesmas vencem a resistência do ar e iniciam a sua precipitação, dando origem assim ao fenômeno chuva (LEAL, 2016).

3.1.1 Tipos de precipitações

As chuvas são classificadas de acordo com o seu principal mecanismo de formação, podendo ser: convectivas ou de verão, orográficas e frontais ou ciclônicas.

As chuvas convectivas são formadas quando o ar úmido é aquecido na superfície terrestre provocando o aparecimento de camadas de ar com diferentes densidades, carregadas de vapor d'água. Essas massas de ar ao subir sofrem resfriamento provocando a condensação desse vapor e, consequentemente, a precipitação. Esse tipo de precipitação tem como característica ser de curta duração, grande intensidade, frequentes descargas elétricas e são comuns em regiões equatoriais (LEAL, 2016 e GOMES, 2015). Na Figura 2 está representado esse tipo de precipitação.

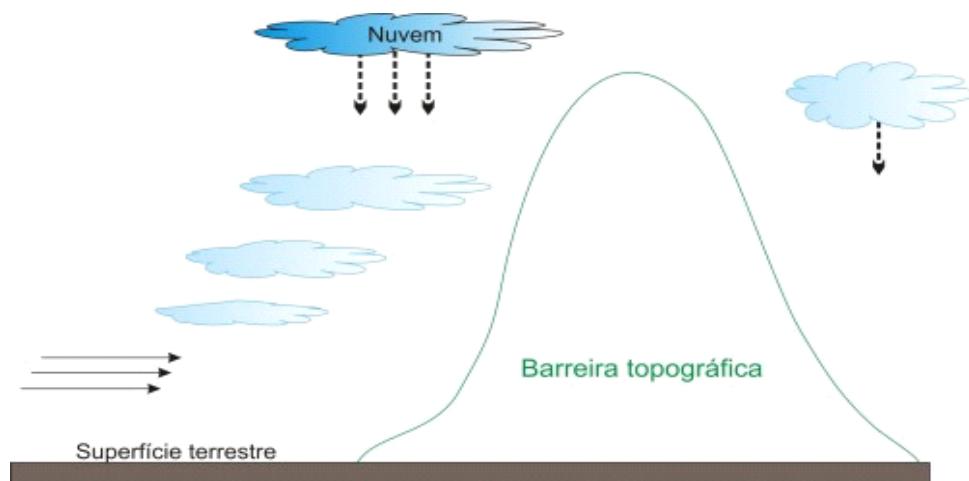
Figura 2: Chuva convectiva



Fonte: Info Escola, 2017

As chuvas orográficas originam-se por influência do relevo. São formadas quando os ventos úmidos provenientes do oceano encontram barreiras montanhosas no continente, elevando-se e resfriando-se, formando as nuvens e consequentemente a precipitação. Esse tipo de chuva é caracterizado por ser de média a alta intensidade, média a curta duração, cobrem pequenas áreas e sem descargas elétricas (GOMES, 2015). Na Figura 3 está representado esse tipo de precipitação.

Figura 3: Chuva orográfica

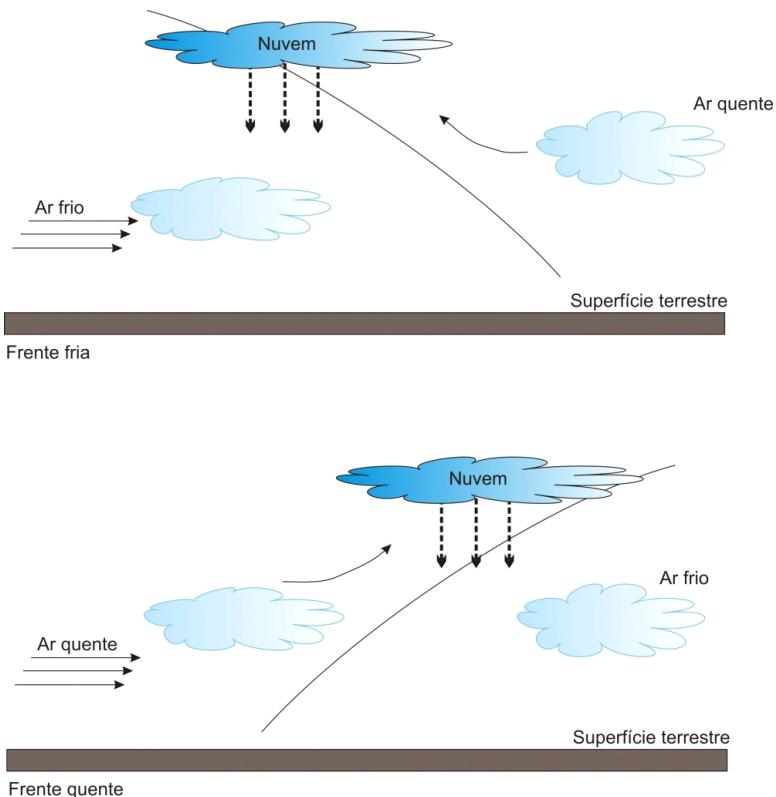


Fonte: Info Escola, 2017

As chuvas frontais estão associadas com a sobreposição de uma massa de ar quente sobre outra mais fria. A frente quente está relacionada quando a massa de ar quente se move sobre a massa fria, o que resulta em chuvas espalhadas, de grande duração e de baixa intensidade. Já a frente fria é resultante do avanço de uma massa fria sobre a quente, o que pode gerar queda de temperatura, geada e muitas vezes chuvas intensas que abrangem pequenas áreas (WILKEN, 1978).

Na Figura 4 está apresentado esquematicamente esse tipo de precipitação.

Figura 4: Chuva frontal



Fonte: Info Escola, 2017

3.2 Parâmetros e conceitos utilizados para a medição de precipitação

A quantidade de chuva é dada pela medida da altura de água que precipita e se acumula sobre uma superfície plana e impermeável. Essa é avaliada por meio de medidas em pontos já estabelecidos, utilizando aparelhos de medição, como por exemplo, o uso de pluviômetros e pluviógrafos, conforme sejam simples recipientes receptores da água precipitada ou registrem essas alturas no

decorrer do tempo. Vale destacar que, as leituras realizadas nos pluviômetros são periódicas, geralmente em intervalos de 24 horas, normalmente às 7 da manhã (CARVALHO, 2006).

Assim, a medida das precipitações é feita através da computação da quantidade de água recolhida em uma determinada área, sendo que alguns cuidados devem ser tomados para evitar os erros sistemáticos, que possam alterar os resultados. Devido a isso, é de extrema importância o conhecimento aprofundado dos parâmetros envolvidos na metodologia de medição das precipitações, a fim de que a base de dados obtida por essas medições seja representativa da região que retratam e possam gerar relações intensidade-duração-frequência confiáveis para obtenção de estimativas de vazões de projetos hidráulicos, como vertedores, barragens e galerias pluviais.

Segundo Garcez (1988), a altura pluviométrica ou altura de precipitação (h) é a quantidade de água precipitada por unidade de área horizontal, supondo-se que no período de ocorrência da precipitação não haveria evaporação, infiltração ou escoamento. A unidade deste parâmetro é expressa em milímetros.

A duração do fenômeno precipitação (t) é definida pelo intervalo de tempo decorrido entre o seu início e fim. A unidade utilizada para esse parâmetro pode ser dada em minutos ou horas (VILLELA & MATTOS, 1936).

A intensidade ou velocidade de precipitação (i) (Equação 1) é a relação entre a altura pluviométrica (h) e a duração da precipitação (t). É expressa, geralmente, em mm/h ou mm/min (GARCEZ, 1988).

$$i = \frac{h}{t} \quad (1)$$

A frequência é o número de ocorrências de uma dada precipitação em um intervalo de tempo já definido. A unidade desse parâmetro é geralmente em anos (GARCEZ, 1988).

Por fim, o tempo de recorrência, ou período de retorno (Equação 2), é definido como um intervalo de tempo, no qual uma precipitação de intensidade e duração características será igualada ou

ultrapassada pelo menos uma vez. Esse parâmetro também pode ser definido como o inverso da frequência (LEAL, 2016).

$$T = \frac{1}{F} \quad (2)$$

3.3 Instrumentos meteorológicos de medição

O regime de precipitações de uma região pode ser avaliado por meio de uma rede de postos de medição equipados com pluviógrafos e pluviômetros, que são instrumentos meteorológicos e também por meio de radares, que são instrumentos espaciais. Esses instrumentos têm como objetivo adquirir dados meteorológicos. De acordo com o INMET, a união desses instrumentos em um mesmo local é denominada estação meteorológica e o conjunto dessas estações distribuídas por uma região é definido como rede de estações meteorológicas.

Os dados colhidos em uma estação meteorológica, por exemplo, podem ser utilizados desde uma simples previsão do tempo até para finalidades específicas de acordo com os interesses do usuário. Assim, de modo geral, a partir dessas estações podem ser obtidos dados de temperatura mínima e máxima, do ar ou do solo, pressão atmosférica, umidade relativa do ar, direção e velocidade dos ventos, evaporação e a medição de precipitação (GARCEZ, 1988).

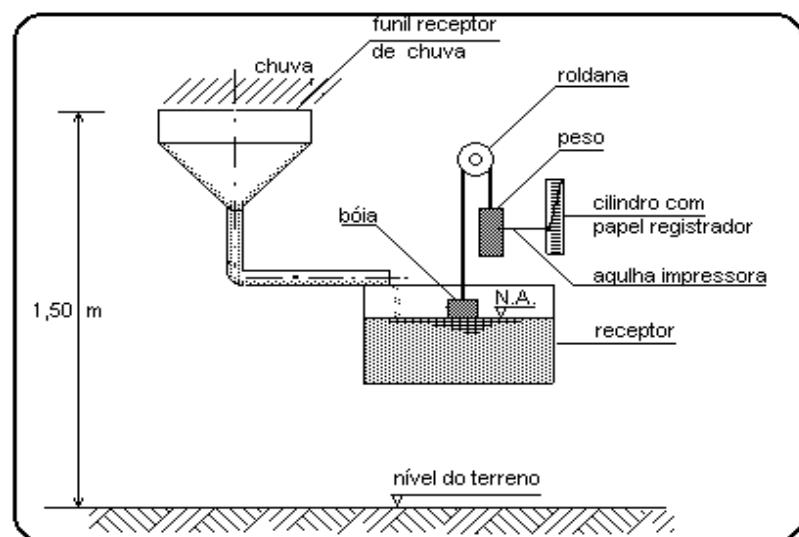
A quantidade de postos pluviométricos a serem instalados em uma área dependerá da finalidade a que se destinam os dados obtidos e da homogeneidade das precipitações. Devido a isso, existem dois tipos de redes de postos de medição, as básicas e as secundárias. As redes básicas são destinadas a recolher informações necessárias para conhecer o regime pluviométrico de um país ou Estado. Em geral, esse tipo de rede é constituído de pluviômetros e um número restrito de pluviógrafos e localizadas geralmente em áreas urbanas. Vale destacar que para as redes básicas no Brasil, tem sido admitido a média de 1 posto por 500 ou 400 Km², e são mantidas por órgãos oficiais que publicam os resultados dessas observações. Já as redes secundárias têm como objetivo recolher informações para estudo específico de bacias hidrográficas e podem variar de acordo com a sua finalidade, extensão de área de cobertura, características da bacia hidrográfica, entre outros (GARCEZ, 1988).

3.3.1 Pluviógrafos

O pluviógrafo é um registrador de precipitação automático, associado a um mecanismo de relojoaria, que imprime a rotação a um cilindro envolvido em um papel graduado, onde a uma pena é capaz de grafar a altura da precipitação registrada (STUDART, s/d). De acordo com o INMET, este aparelho registra a quantidade de precipitação pluvial, em milímetros (mm), registrando também a sua duração.

Através da instalação e operação de equipamentos automáticos, como é o caso do pluviógrafo, é possível conhecer de medir as diversas intensidades das chuvas em intervalos de tempo menores em relação às observações manuais. Após o processamento destes dados, os mesmos devem ser analisados e as falhas devem ser preenchidas (TUCCI, 2012). Vale destacar os três tipos de pluviógrafos mais usuais, que são o de balança, o de boia e o de cuba basculante. Na Figura 5 está apresentado um pluviógrafo modelo Hellmann-Fuess, do tipo boia.

Figura 5 Modelo de pluviógrafo



Fonte: Leal, 2016

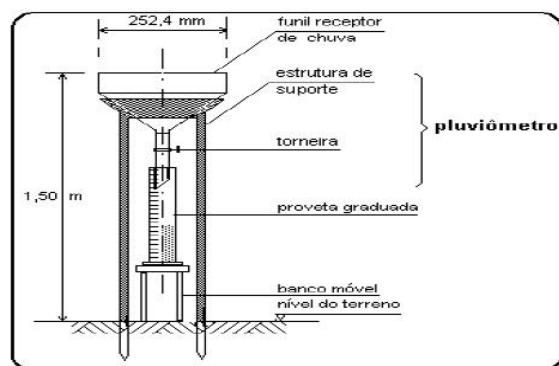
3.3.2 Pluviômetros

O pluviômetro consiste, primeiramente, por um receptor em forma de funil com borda para minimizar ou até mesmo evitar a evaporação da precipitação. O receptor é um reservatório cuja forma é um cilindro, juntamente com um tubo longo de medida, sendo que a área da seção transversal do coletor é cerca de 10 vezes maior que a do tubo. (PORTO, 2000) Segundo Leal (2016), é importante destacar que as dimensões desse aparelho são padronizadas, cujo objetivo é permitir a comparação entre outras estações de medição.

Em relação à observação dos dados, normalmente, é realizada uma ou duas vezes por dia, todos os dias em horas certas e pré-determinadas. Portanto, esse aparelho não indica a intensidade das chuvas ocorridas, mas sim a altura pluviométrica diária ou a intensidade média em 12 horas (GARCEZ, 1988).

A Figura 6 apresenta, esquematicamente, um pluviômetro.

Figura 6: Esquematização de um pluviômetro



Fonte: Leal, 2016

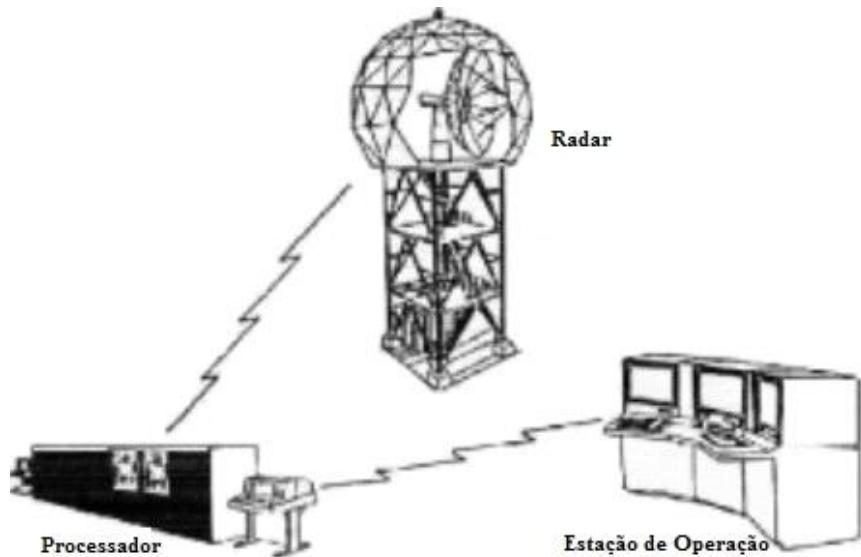
3.3.3 Radar Meteorológico

O radar meteorológico é o único instrumento capaz de prover informações complexas sobre as dimensões horizontal e vertical da chuva. Quando esse é utilizado em conjunto com um experimento de medição de taxa de precipitação permite o levantamento adequado do comportamento local da chuva. Sendo a sua grande importância na obtenção do conhecimento de como as células de chuva são formadas e distribuídas na região analisada (PUC RIO, s/d).

Esse aparelho é considerado uma forma complementar para a avaliação das características da precipitação pluvial, pois não mede diretamente a precipitação, sendo utilizado junto com pluviógrafos para a análise dos dados. O funcionamento consiste na emissão de energia eletromagnética, que ao atingir uma precipitação, ela é parcialmente refletida, absorvida e espalhada. A aquisição de dados de um radar meteorológico é feita continuamente através da medição do sinal refletido por cada alvo. Os dados recebidos são processados e armazenados de forma a reproduzir a estrutura tridimensional da área analisada (PORTO, 2000).

Na Figura 7 está esquematizado um exemplo desse instrumento.

Figura 7: Exemplo de Radar Meteorológico



Fonte: Apostila de Instrumentos de Medições Climáticas, 2010

3.4 Relação intensidade/duração/frequência das chuvas de projeto

Para projetos de obras hidráulicas, dentre eles os sistemas de drenagem urbana, é de fundamental importância conhecer as relações que caracterizam as precipitações máximas, ou seja, as relações intensidade, duração e frequência das regiões de projeto. Essas relações são obtidas a partir da observação do regime de precipitações da região durante um período de tempo longo e que represente os eventos extremos do local de estudo (TUCCI, 2012).

A análise estatística dos dados disponíveis de precipitação pode ser realizada a partir de dois tipos de séries: séries anuais ou séries parciais. O estudo baseado nas séries anuais consiste na seleção das maiores precipitações anuais de uma duração já definida, onde é ajustada uma distribuição de extremos que melhor se ajusta nos valores. A escolha do tipo de série a ser utilizada varia de acordo com o tamanho da série disponível e o objetivo do estudo (TUCCI, 2012). Segundo Garcez (1988), não é possível estender os resultados obtidos em uma região para outras.

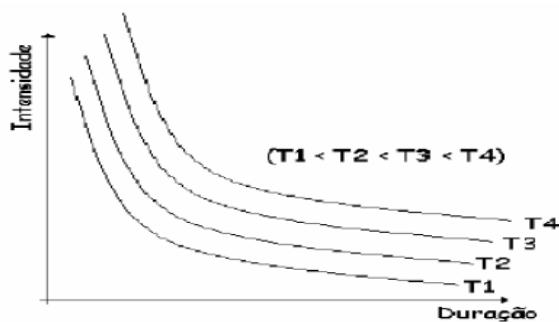
A partir da análise estatística dos dados é possível construir um gráfico dos resultados obtidos, onde para cada período de recorrência é fornecido uma curva, ligando as intensidades médias máximas às durações. Para facilitar os cálculos, essas curvas são ajustadas a expressões matemáticas, através de um número grande de observações (GARCEZ, 1988).

Essas equações podem ser descritas como a representada na Equação 3, onde i representa a intensidade, geralmente expressa em mm/h, T_r o tempo de retorno em anos, t a duração da chuva, em minutos e a , b , c e d são parâmetros que devem ser determinados para cada local de estudo (TUCCI, 2012).

$$i = \frac{a \times T_r^b}{(t + c)^d} \quad (3)$$

Vale destacar para a relação entre a intensidade e duração das chuvas que, independentemente do período de retorno, quanto mais intensa for a precipitação menor será a sua duração, e quanto menor o risco maior será a intensidade (TUCCI, 2012). Na Figura 8 apresenta-se qualitativamente o que se espera da variação da intensidade da precipitação e duração da chuva.

Figura 8: Exemplo da relação IDF



Fonte: Leal, 2016

Em regiões em que os dados disponíveis são os obtidos pelas leituras de pluviômetros, ou seja, alturas pluviométricas de chuvas de um dia, a relação IDF pode ser construída a partir de metodologias simplificadas, como o método de Kimbal. Por essa metodologia a partir do conhecimento das alturas pluviométricas das chuvas de um dia, e com a aplicação de coeficientes de desagregação, são obtidas as alturas pluviométricas das chuvas de 24 horas e as alturas pluviométricas das chuvas de curta duração.

Conhecida a relação IDF para a região em estudo, obtida a partir do conhecimento do regime de precipitações local, torna-se possível o estimar as vazões de dimensionamento das obras hidráulicas necessárias.

Dentro os métodos de conversão de dados de precipitação em dados de vazão pode-se citar o método racional, método do hidrograma unitário e a análise estatística.

Segundo Fernandes (2016), para o projeto e obras de microdrenagem o Método Racional é o mais aplicado no mundo ocidental, dada a sua simplicidade de manipulação. Por ser um método simplista, que não considera as alterações de permeabilidade da bacia durante a ocorrência do fenômeno chuva, o autor não recomenda sua aplicação em bacias de drenagem com área superior a 100 ha, dada a possibilidade de super ou subdimensionamento das unidades do sistema. Já para Wilken (1978), o método pode ser empregado em bacias com área de até 500 ha e para o Plano de Drenagem de Juiz de Fora (2011) a limitação foi de 200 ha.

3.5 Método Racional aplicado ao dimensionamento do sistema de drenagem

O método racional é considerado um método indireto e foi apresentado pela primeira vez em 1851 por Mulvaney e usado nos Estados Unidos por *Emil Kuichling* em 1889. Esse método estabelece uma relação entre a chuva e o escoamento superficial, ou deflúvio, o que possibilita ao projetista a determinação da vazão de pico, ou seja, a vazão máxima de projeto de uma determinada bacia, considerando uma seção de estudo (THOMAZ, 2013).

Essa metodologia consiste, primeiramente, em considerar a duração da precipitação intensa de projeto igual ao tempo de concentração da bacia ou sub-bacia, sendo possível aplicá-la em bacias consideradas suficientemente pequena (TUCCI, 2012).

A Equação 4 é a do método racional, aplicável no dimensionamento de sistemas de microdrenagem.

$$Q_{máx} = 0,278 \times C \times i \times A \times K_A \quad (4)$$

Na qual:

$Q_{máx}$ é o deflúvio superficial direto máximo em m^3/s ;

C é o coeficiente de escoamento superficial, ou coeficiente de “*runoff*”;

i é a intensidade de precipitação em mm/h ;

A é a área da bacia de contribuição em km^2 ;

K_A é o coeficiente de abatimento das chuvas de projeto (distribuição não homogênea da precipitação pela superfície da bacia)

Para a aplicação do método racional é necessário considerar algumas suposições básicas, como por exemplo: o pico do deflúvio superficial direto é função do tempo de concentração da bacia; a duração da chuva de projeto é igual ao tempo de concentração da bacia; e as condições de

permeabilidade da superfície da bacia permanecem inalteradas durante a duração da chuva (LEAL, 2016).

A seguir são apresentados, de forma sucinta, os parâmetros e conceitos envolvidos na aplicação do Método Racional no dimensionamento de sistemas de microdrenagem urbana.

O Coeficiente de escoamento superficial ou coeficiente de *runoff* ou coeficiente de deflúvio (C) depende do solo, do tipo de cobertura e ocupação, do período de retorno e da intensidade de precipitação, e engloba efeitos de infiltração, detenção, evaporação e retenção. Esse pode ser determinado através de equações já existentes, tabelas em função da duração de chuvas, forma da bacia e porcentagem de impermeabilização e por fim um ábaco em função do produto da intensidade de chuva e sua duração. (GARCEZ, 1988). Segundo Thomaz (2013), esse coeficiente é a razão entre o volume total de escoamento superficial no evento e o volume total precipitado.

Para determinar a intensidade da precipitação é necessário calcular o tempo de concentração, tempo necessário para que toda a bacia contribua para a seção em estudo. Para o sistema de microdrenagem, a Equação 5 representa o tempo de concentração que está subdividido em duas parcelas, a primeira relativa ao escoamento superficial pela sarjeta e a segunda função do escoamento pelo sistema de galerias.

$$t_c = t_i + t_p \quad (5)$$

Na qual:

- t_i é o tempo de escoamento do deflúvio pela sarjeta;
- t_p é o tempo do escoamento das vazões engolidas pelas bocas de lobo pelo sistema de galeria.

O tempo de escoamento superficial (t_i) sofre influência direta de vários fatores, como a declividade média do terreno, a rugosidade e extensão do trajeto, o tipo de cobertura vegetal, o armazenamento em depressões, a existência de chuvas antecedentes e a capacidade de infiltração do terreno.

Já o tempo de percurso e o tempo de pico são avaliados pelas características hidráulicas do escoamento.

Conhecido o tempo de concentração na seção em estudo, a intensidade de precipitação (i) passa a ser caracterizada pela relação entre a quantidade ou altura precipitada (h) e a duração do fenômeno (t), expressa em mm/h ou mm/min. De forma geral, para locais com dados de precipitação informados por pluviômetros, a intensidade de precipitação pode ser obtida pela Equação 6.

$$i = \frac{h}{t} \quad (6)$$

Na qual:

- i é a intensidade, ou velocidade, de precipitação em mm/h ou mm/min;
- h é a altura pluviométrica em mm;
- t é a duração da chuva, considerada igual ao tempo de concentração, em min ou horas.

O coeficiente de abatimento (K_a) é um coeficiente de redução da precipitação pontual, cuja finalidade é a de se obter a precipitação média sobre a área no entorno do ponto de observação ou do ponto de estimativa da precipitação pontual. Esse coeficiente varia de 0 até 1 dependendo das características da precipitação, como por exemplo, tempo de retorno, abrangência espacial e duração, e também as características da bacia, como comprimento, forma e localização geográfica (SANTOS, 2003).

Como visto, dentre as variáveis envolvidas na aplicação do Método racional, a que requer alguma metodologia específica para o seu conhecimento é a intensidade de precipitação, já que as demais variáveis dependem fundamentalmente de características específicas de cada bacia de contribuição.

Assim, o conhecimento de uma metodologia expedita que permita ao projetista a obtenção das vazões de dimensionamento a partir de dados simples de precipitações atmosféricas, configura-se como um diferencial significativo na elaboração de projetos de engenharia hidráulica.

3.6 Metodologias Simplificadas para Obtenção da Relação IDF

Dada a necessidade da avaliação da relação intensidade-duração-frequência das chuvas de curta duração em regiões onde os únicos dados disponíveis são os das chuvas de 1 dia, é necessário o uso de metodologias que permitam avaliar, com base nessas informações, as chuvas de 24 horas, e a partir dessa as chuvas de curta duração (CETESB, 1986).

O Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo realizou um estudo, pelo qual foi possível estabelecer uma relação média entre as alturas pluviométricas das chuvas máximas de 1 dia e de 24 horas. Esse estudo foi baseado em séries anuais, abrangendo o período de 1928 a 1965, a partir de dados pluviométricos e pluviográficos observados simultaneamente na cidade de São Paulo (CETESB, 1986). No **QUADRO 1** apresenta-se os resultados encontrados.

QUADRO 1 - Relação entre as chuvas de 1 dia e 24 horas

Duração	Período de Retorno (anos)					
	5	10	25	50	75	100
1 dia	83,0	93,8	108,0	118,0	125,6	128,0
2 dias	105,9	118,5	135,0	147,6	155,4	159,2
Média de 1 e 2 dias	94,4	106,1	121,1	133,3	140,5	144,0
24 horas	93,5	106,1	122,7	135,7	143,2	147,1
Erro relativo (%)	0,96	0,00	0,98	1,56	1,89	2,10
Período de Retorno (anos)						
		5	10	25	50	75
Relação entre as alturas pluviométricas das chuvas máximas de 24 horas e 1 dia	1,13	1,13	1,14	1,15	1,14	1,15

Fonte: Leal (2016)

Logo, de acordo com o **QUADRO 1**, pode-se concluir que as alturas pluviométricas máximas de 1 dia e de 24 horas, apresentam uma relação quase constante e independente do período de retorno, no valor médio é de 1,14. Portanto, em áreas onde somente dados de postos pluviométricos estão disponibilizados, a obtenção das alturas pluviométricas das chuvas de 24 horas pode ser feita a partir da altura de precipitação máxima de 1 dia de mesma frequência, aplicando-se o fator de correção 1,14 (CETESB, 1986).

De acordo com Genovez e Zuffo (2000) apud Teodoro et al (2014) as relações entre chuvas de curta duração, foram obtidas por Pfafstetter (1957), ao analisar curvas IDF obtidas em 98 postos de medição. Afirmam ainda que os coeficientes de desagregação obtidos são médias nacionais, alguns obtidos com períodos de observação muito curtos, o que justifica a necessidade de sua atualização. O **QUADRO 2**, a seguir apresenta os coeficientes de desagregação obtidos por Pfafstetter (1957).

QUADRO 2 - Relações entre chuvas de curta duração

Relação entre as alturas pluviométricas	Valores obtidos por Pfafstetter (médios)
5 min/30 min	0,34
10 min/30 min	0,54
15 min/30 min	0,70
20 min/30 min	0,81
25 min/30 min	0,91
30 min/1 h	0,74
1 h/24 h	0,42
6 h/24 h	0,72
8 h/24 h	0,78
10 h/24 h	0,82
12 h/24 h	0,85

Fonte: CETESB (1986)

Logo, em regiões onde as únicas informações são relativas às alturas pluviométricas das chuvas de 1 dia, observadas em postos pluviométricos, pode-se obter as alturas pluviométricas para as

chuvas de 24 horas, de determinada frequência, pela aplicação do coeficiente de majoração 1,14, apresentado no **QUADRO 1**. Já com a aplicação dos coeficientes apresentados na Tabela 2, as alturas pluviométricas das chuvas de curta duração, necessárias aos projetos de microdrenagem urbana, podem ser obtidas a partir do conhecimento das alturas pluviométricas das chuvas de 24 horas, para os períodos de retorno de interesse.

As séries pluviométricas são classificadas em série anual, parcial ou total. As séries parciais, fornecem resultados mais consistentes para períodos de retorno inferiores a 10 anos, enquanto as outras contemplam, praticamente, os mesmos resultados para períodos de retorno superiores a 10 anos. As séries anuais utilizam as alturas pluviométricas máximas de cada ano de observação. As séries parciais consideram as alturas pluviométricas acima de um valor pré-fixado, que independe do ano de observação. Por fim, nas séries totais são utilizadas todas as alturas pluviométricas disponíveis (CETESB 1986).

De acordo com U.S. Bureau, as séries parciais fornecem resultados mais consistentes que as séries anuais para períodos de retorno inferiores a 10 anos, enquanto que ambas as séries contemplam praticamente, os mesmos resultados para períodos de retorno iguais ou superiores a 10 anos.

A metodologia de determinação da relação intensidade-duração-frequência, a partir de dados pluviométricos para áreas de drenagem de até 25 km², relacionam os valores das alturas pluviométricas da série selecionada em ordem decrescente. Com isso, é estabelecido para cada série, um número de ordem (m), a posição de plotagem ou frequência (p) e o período de retorno (T). (LEAL, 2016)

Os métodos mais utilizados para definir o tempo de recorrência, que geralmente são de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos, são: método Kimball, Califórnia, Hazen e Gumbel (FATHY, 2014), conforme as equações 7, 8, 9 e 10

Método Kimball:

$$Tr = \frac{N + 1}{m} \quad (7)$$

Método Califórnia:

$$Tr = \frac{N}{m} \quad (8)$$

Método Hazen:

$$Tr = \frac{N}{m - 0,5} \quad (9)$$

Método Gumbel:

$$Tr = \frac{N}{m + c - 1} \quad (10)$$

Nas quais:

- T_R é o período de retorno em anos;
- N é o número de eventos considerados na série;
- m é um número de ordem atribuído a cada evento considerado;
- c o fator de correção de Gumbel.

4 DESCRIÇÃO DAS METODOLOGIAS UTILIZADAS

4.1.1 Método Kimbal

A metodologia de Kimbal, escolhida para o desenvolvimento deste trabalho, dá uma boa ideia do valor real da probabilidade de ocorrência do evento para tempos de retornos menores que número de anos de observação e não há a necessidade de se ajustar a leis probabilísticas. Apresenta-se, a seguir o passo a passo para a construção da relação IDF com o emprego dessa metodologia.

- 1º) Definiu-se o tipo de série a ser utilizada, sendo escolhida a série de máximos anuais;
- 2º) Os dados de precipitação máxima altura pluviométrica das chuvas de um dia de cada ano de registro, foram ordenados em ordem decrescente de seus valores;
- 3º) Atribuiu-se um número de ordem (m) para cada altura pluviométrica;
- 4º) As alturas pluviométricas foram inseridas em tabela no software EXCEL;
- 5º) Calculou-se a probabilidade acumulada (p) ou frequência com que cada evento foi igualado ou superado, através da Equação 11;

$$p = \frac{m}{(n + 1)} \quad (11)$$

Sendo:

- m: corresponde à posição de cada um dos valores na ordenação decrescente de precipitação
- n: o número de eventos observados que, no presente trabalho, totalizaram 42 eventos.

- 6º) Determinou-se o período de retorno (T_r), em anos, para cada altura pluviométrica de acordo com a Equação 12;

$$T_r = \frac{1}{p} \quad (12)$$

- 7º) Os pares, período de retorno ou probabilidade acumulada (eixo x) e altura pluviométrica da chuva de um dia (eixo y) geraram, pelo *software* EXCEL, curvas de frequência para chuvas de um dia para diferentes tipos regressão;
- 8º) Optou-se pela curva de frequência da regressão que mais se adaptou aos pontos da amostra;
- 9º) A partir dos valores obtidos para altura pluviométrica de chuva de um dia, para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20 e 50 anos, foi possível aproximar os valores de altura pluviométrica para chuvas de curta duração utilizando os coeficientes de desagregação de chuva, representados no QUADRO 3.

QUADRO 3 - Coeficientes de desagregação para diferentes durações de chuva

INTERVALO DE TRANSFORMAÇÃO	COEFICIENTES
24 h / 1 dia	1,14
12 h / 24 h	0,85
10 h / 24 h	0,82
8 h / 24 h	0,78
6 h / 24 h	0,72
1 h / 24 h	0,42
30 min. / 1 h	0,74
25 min. / 30 min.	0,91
20 min. / 30 min.	0,81
15 min. / 30 min.	0,70
10 min. / 30 min.	0,54
5 min. / 30 min.	0,34

Fonte: CETESB (1986)

4.1.2 Software Plúvio 2.1

A determinação das equações de chuvas intensas é muito difícil, devido à falta de informações, da baixa densidade da rede de pluviógrafos e do pequeno período de observação disponível, além do exaustivo trabalho de tabulação, análise e interpretação de grande quantidade de pluviogramas. A fim de obter a estimativa da intensidade máxima média de precipitação, Cecílio e Pruski (2003) estudaram várias formas de interpolar os parâmetros da equação de chuvas. Ao todo foram utilizadas 625 combinações variadas entre os quatro parâmetros da equação de chuvas intensas, “k”, “a”, “b” e “c”, interpolados com o emprego da metodologia do inverso da potência da

distância, com expoentes variando de 1 a 5. Por fim, perceberam em todas as combinações a tendência de superestimativa da intensidade de precipitação.

A metodologia utilizada pelo software Pluvio, desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos DEA – UFV, está baseada no uso de um interpolador que é capaz de obter cada um dos parâmetros da equação IDF da precipitação a partir das informações disponíveis para os estados no qual foram caracterizados os parâmetros, Bahia, Espírito Santo, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, São Paulo e Tocantins. Na interpolação é considerado apenas as informações relativas às equações de chuvas intensas disponíveis, sem levar em conta o efeito da altitude do local e da presença de qualquer fator que possa ser condicionador da precipitação, como por exemplo, serras, represas e entre outros.

4.2 Área de estudo

O município de Coronel Pacheco está localizado na Zona da Mata, no estado de Minas Gerais, pertencente à Macrorregião de Planejamento II (Mata) e à Microrregião homogênea de influência de Juiz de Fora. O relevo é caracterizado com 10% da área classificada como montanhosa, 80% ondulada e 10% plana e encontra-se inserido no bioma da Mata Atlântica. As coordenadas geográficas do município são de 22 °35'08" de latitude Sul e 43 °15'44" de longitude Oeste (PREFEITURA MUNICIPAL DE CORONEL PACHECO, s/d).

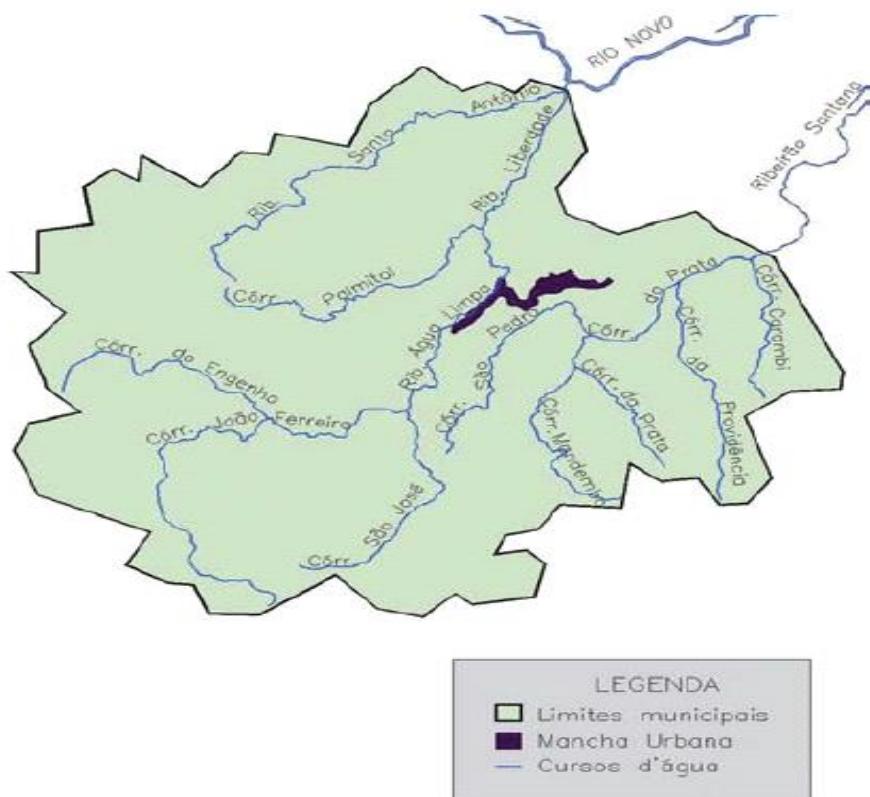
Segundo o último senso realizado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), possui área territorial total de 131,511 km² e densidade demográfica de 22,68 hab./Km². A população estimada para o ano de 2016 foi de 3.117 habitantes (IBGE,2016).

O clima é Tropical de Altitude, possuindo duas estações bem distintas, ou seja, uma seca e outra chuvosa. A média da temperatura do município é 20,6° C, sendo a máxima anual de 25,6° e mínima anual de 15,6° C. O índice pluviométrico anual apresenta o valor médio de 1.400 mm (Plano Municipal de Saneamento Básico de Coronel Pacheco-MG, 2013).

O município de Coronel Pacheco está localizado na Bacia Hidrográfica do Rio Paraibuna. Na cidade encontram-se nascentes de alguns contribuintes do rio Novo, afluente pela margem direita do rio Pomba. Sendo que os principais cursos d'água são os ribeirões Água Limpa, Liberdade e

Santo Antônio e os córregos da Prata, Palmital, São Pedro e João Ferreira, conforme apresentado na Figura 9.

Figura 9: Principais cursos d'água do município de Coronel Pacheco - MG

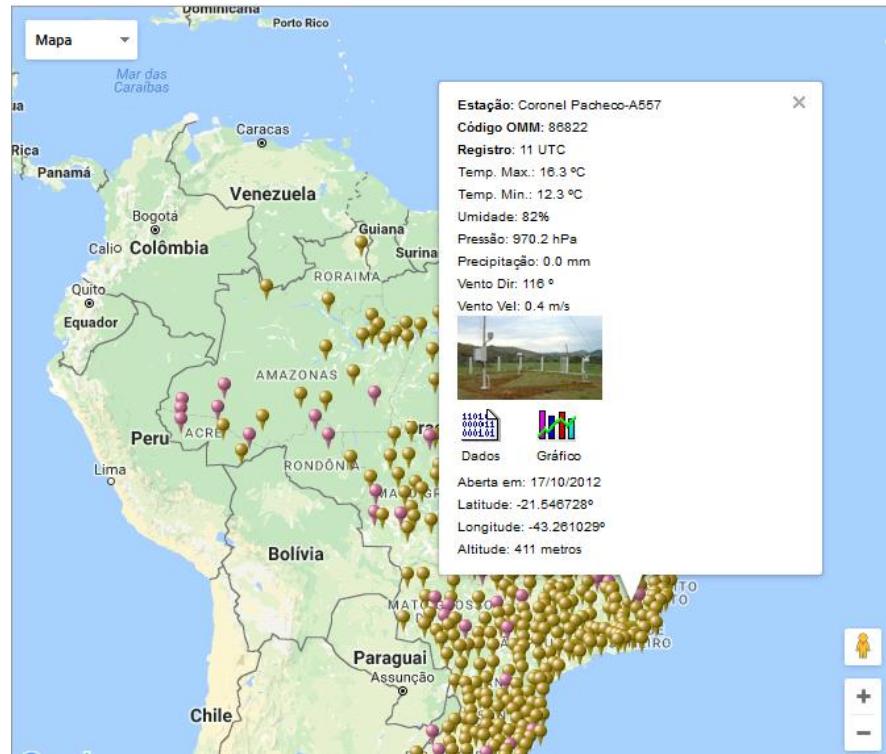


Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico de Coronel Pacheco (2013)

4.3 Dados pluviométricos do município

Os dados pluviométricos utilizados nesse trabalho foram gerados pela estação meteorológica de domínio do INMET, localizada na latitude de -21,56 S e longitude -43,25 W e altitude 435,00 metros (Figura 10).

Figura 10: Estação meteorológica do município de Coronel Pacheco - MG



Fonte: INMET, 2017

Essa estação é caracterizada como automática composta por uma unidade de memória central, o “data logger”, ligada a vários sensores para obtenção de parâmetros meteorológicos, como pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar, precipitação, radiação solar, direção e velocidade do vento, por exemplo. É capaz de integrar os valores observados minuto a minuto e depois disponibilizar automaticamente a cada hora. Na Figura 11 está representada a estação em questão.

Figura 11: Estação Meteorológica de Coronel Pacheco



Fonte: INMET (2017)

Primeiramente, para a construção da curva de Intensidade-Duração-Frequência do município em estudo, foi realizada uma análise da série de dados registrados pela estação meteorológica do INMET. Esses dados podem ser obtidos através do banco de dados BDMEP (Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa) no site do próprio INMET.

Figura 12: Banco de dados no site do INMET

Fonte: Arquivo do autor

Figura 13: Extração de dados do site do INMET

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO

Sobre o INMET | IMPRENSA | MAPA DO SITE | FALE CONOSCO

Vote no nome da MASCOTE | Clique aqui!

INMET | Instituto Nacional de Meteorologia

TEMPO | CLIMA | AGROMETEOROLOGIA | APLICAÇÕES | SATELITES | ESTAÇÕES E DADOS | INFORMAÇÕES

Dados Históricos

BDMEP - Série Histórica - Dados Mensais

Dados Mensais

Período - Data inicio (dd/mm/aaaa) : fim :
 Região : (OU) Estado :

Selecionar Variáveis : Direção do Vento Predominante (tabela) Velocidade do Vento Média (mps) Velocidade do Vento Máxima Média (mps)
 Evaporação do Piche (mm) Evapotranspiração Potencial BH (mm) Evapotranspiração Real BH (mm)
 Insolação Total (hs) Nebulosidade Média (décimos)
 Número de Dias com Precipitação (qtd) Precipitação Total (mm)
 Pressão Atm nível Mar Média (mbar) Pressão Atm Média (mbar) Temp Compensada Média (°C)
 Temp Máxima Média (°C) Visibilidade Média (%) Temp Mínima Média (°C)
 Umidade Relativa Média (%)

Pesquisa

Fonte: Arquivo do autor, 2017.

Como optou-se por utilizar uma série anual, foram selecionadas do BDMEP, as precipitações máximas de cada ano de observação. Com isso teremos um total de 44 leituras, ou seja, serão analisados 44 anos de observação entre os anos de 1966 a 2009. Devido a problemas não registrados pelo INMET, durante o período de observação, 2 anos encontram-se sem registros das precipitações, 1988 e 1989, totalizando 42 dados disponíveis.

O Software Excel foi utilizado como ferramenta para uma melhor tabulação dos dados pluviométricos selecionados. Com isso os dados coletados foram colocados em uma planilha e selecionando as precipitações máximas relacionada a cada ano de registro, obtendo-se, assim, uma lista de valores de precipitação máxima anual, que está representado no QUADRO 4.

QUADRO 4 - Precipitação máxima para chuva de 1 dia para o município de Coronel Pacheco

Mês	Ano	Precipitação máxima [mm]	Mês	Ano	Precipitação máxima [mm]
Novembro	1966	311,8	Janeiro	1987	343,8
Janeiro	1967	353,8	Dezembro	1990	212,1
Dezembro	1968	280,3	Janeiro	1991	578
Janeiro	1969	276,9	Janeiro	1992	521,9
Novembro	1970	174,1	Janeiro	1993	252,7
Dezembro	1971	441,8	Outubro	1994	152
Dezembro	1972	230,9	Dezembro	1995	470,1
Dezembro	1973	281,5	Dezembro	1996	282,5
Dezembro	1974	320,1	Janeiro	1997	419,3
Janeiro	1975	310,4	Janeiro	1998	312,9
Dezembro	1976	414,7	Dezembro	1999	292,3
Dezembro	1977	346,1	Janeiro	2000	360,7
Janeiro	1978	274,4	Dezembro	2001	309
Fevereiro	1979	540,2	Fevereiro	2002	374,1
Janeiro	1980	400,5	Novembro	2003	367,4
Novembro	1981	343,9	Dezembro	2004	480,8
Janeiro	1982	381,7	Janeiro	2005	393,7

Mês	Ano	Precipitação máxima [mm]	Mês	Ano	Precipitação máxima [mm]
Janeiro	1983	485	Fevereiro	2006	295,4
Dezembro	1984	321	Janeiro	2007	661,4
Janeiro	1985	716,8	Março	2008	475,5
Dezembro	1986	387,2	Janeiro	2009	267,9

Fonte: Base de dados INMET (2017)

A metodologia de Kimbal dá uma boa ideia do real valor de probabilidade de ocorrência para períodos de retorno menores do que o número de anos de observações. Com isso, na distribuição empírica as probabilidades com que serão igualadas ou superadas as precipitações pluviais foram calculadas por esse método.

O maior período de retorno a ser considerado na construção da relação IDF, pelo método de Kimbal, não deve superar o período de observações, será definido 50 anos como período de retorno máximo para a relação IDF da cidade de Coronel Pacheco, dada a sua proximidade com o número de anos de registros disponíveis.

4.4 Equação intensidade de precipitação

A relação IDF pode ser associada a expressões matemáticas obtidas a partir de análise estatística de uma longa série de observações de dados pluviográficos e pluviométricos, sendo assim apresentada na Equação 13.

$$i = \frac{K \times T^m}{(t + b)^n} \quad (13)$$

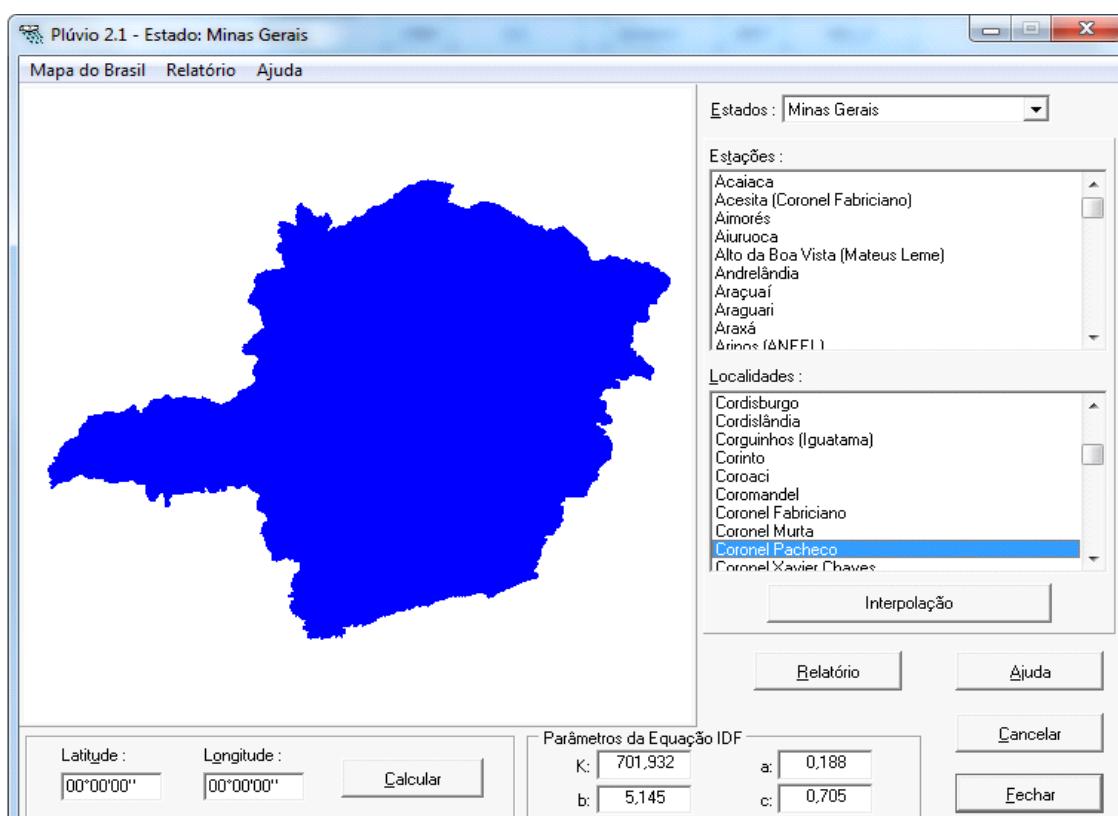
Fonte: Universidade Federal de Viçosa.

Na qual:

- i : intensidade das precipitações [mm/h];
- t : duração da precipitação [min];
- T : tempo de recorrência ou período tempo de retorno [anos];
- “ K ”, “ m ”, “ b ” e “ n ”: constantes que variam de acordo com o local.

Para a cidade de Coronel Pacheco ainda não existe uma equação que represente a relação intensidade-duração-frequência de precipitação local. Portanto, a partir do software Pluvio é possível obter a equação de chuvas para o município através da interpolação para valores de seus coeficientes, conforme descrito anteriormente. Na Figura 14 estão apresentados os valores das constantes para o local em estudo.

Figura 14: Parâmetros da equação Intensidade-Duração-Frequência para Coronel Pacheco



Fonte: Software Pluvio 2.1 (2017)

No QUADRO 5 constam os valores das constantes para a Equação 13.

QUADRO 5 - Valor das constantes obtidas pelo Plúvio 2.1

Constante	Valor
K	701,932
m	0,188
n	0,705
b	5,145

Fonte: Arquivo do autor (2017)

Assim, a equação representativa da relação intensidade-duração-frequência para o município de Coronel Pacheco, de acordo com os parâmetros obtidos pelo software Plúvio 2.1 é descrita pela Equação 14.

$$i = \frac{701,932 \times T_r^{0,189}}{(t + 5,145)^{0,705}} \quad (14)$$

5 RESULTADOS

5.1 Coronel Pacheco - MG

A ordenação das alturas pluviométricas e suas respectivas probabilidades de ocorrência e períodos de retorno estão apresentadas no QUADRO 6. Os dados pluviométricos obtidos junto ao site do INMET foram ordenados de forma decrescente e a eles atribuídos números de ordem de 1 a 42. No passo a passo apresentado no item 4.1.1 para o Método Kimbal são apresentadas as equações para os cálculos da probabilidade acumulada e período de retorno.

QUADRO 6 - Ordenação das alturas pluviométricas e suas respectivas probabilidades de ocorrência e períodos de retorno

Ordem (m)	Ano de Observação	Precipitação máxima anual [mm]	Probabilidade acumulada	Período de retorno (T) [anos]
1	1985	716,8	0,023	43,00
2	2007	661,4	0,047	21,50
3	1991	578	0,070	14,33
4	1979	540,2	0,093	10,75
5	1992	521,9	0,116	8,60
6	1983	485	0,140	7,17
7	2004	480,8	0,163	6,14
8	2008	475,5	0,186	5,38
9	1995	470,1	0,209	4,78
10	1971	441,8	0,233	4,30
11	1997	419,3	0,256	3,91
12	1976	414,7	0,279	3,58
13	1980	400,5	0,302	3,31
14	2005	393,7	0,326	3,07
15	1986	387,2	0,349	2,87
16	1982	381,7	0,372	2,69
17	2002	374,1	0,395	2,53
18	2003	367,4	0,419	2,39
19	2000	360,7	0,442	2,26
20	1967	353,8	0,465	2,15
21	1977	346,1	0,488	2,05
22	1981	343,9	0,512	1,95
23	1987	343,8	0,535	1,87
24	1984	321	0,558	1,79
25	1974	320,1	0,581	1,72

Ordem (m)	Ano de Observação	Precipitação máxima anual [mm]	Probabilidade acumulada	Período de retorno (T) [anos]
26	1998	312,9	0,605	1,65
27	1966	311,8	0,628	1,59
28	1975	310,4	0,651	1,54
29	2001	309	0,674	1,48
30	2006	295,4	0,698	1,43
31	1999	292,3	0,721	1,39
32	1996	282,5	0,744	1,34
33	1973	281,5	0,767	1,30
34	1968	280,3	0,791	1,26
35	1969	276,9	0,814	1,23
36	1978	274,4	0,837	1,19
37	2009	267,9	0,860	1,16
38	1993	252,7	0,884	1,13
39	1972	230,9	0,907	1,10
40	1990	212,1	0,930	1,08
41	1970	174,1	0,953	1,05
42	1994	152	0,977	1,02

Fonte: Arquivo do autor (2017)

A partir do QUADRO 6, pode-se verificar que a maior altura pluviométrica de chuva de um dia encontrada em toda a série histórica foi de 716,8 mm no ano de 1985 e a menor de 152,0 mm no ano de 1994. Já a média das alturas pluviométricas das chuvas máximas de “um dia”, na cidade de Coronel Pacheco é de, aproximadamente, 367,06 mm. É importante notar, que dentre os dados da série histórica disponível, cerca de 43% dos dados obtiveram valores de precipitação, de chuva de 1 dia, acima do valor médio de precipitação máxima para Coronel Pacheco. Essas precipitações e seu respectivo ano e mês de ocorrência estão apresentadas no QUADRO 7.

QUADRO 7 - Precipitação máxima anual acima da média das precipitações máximas

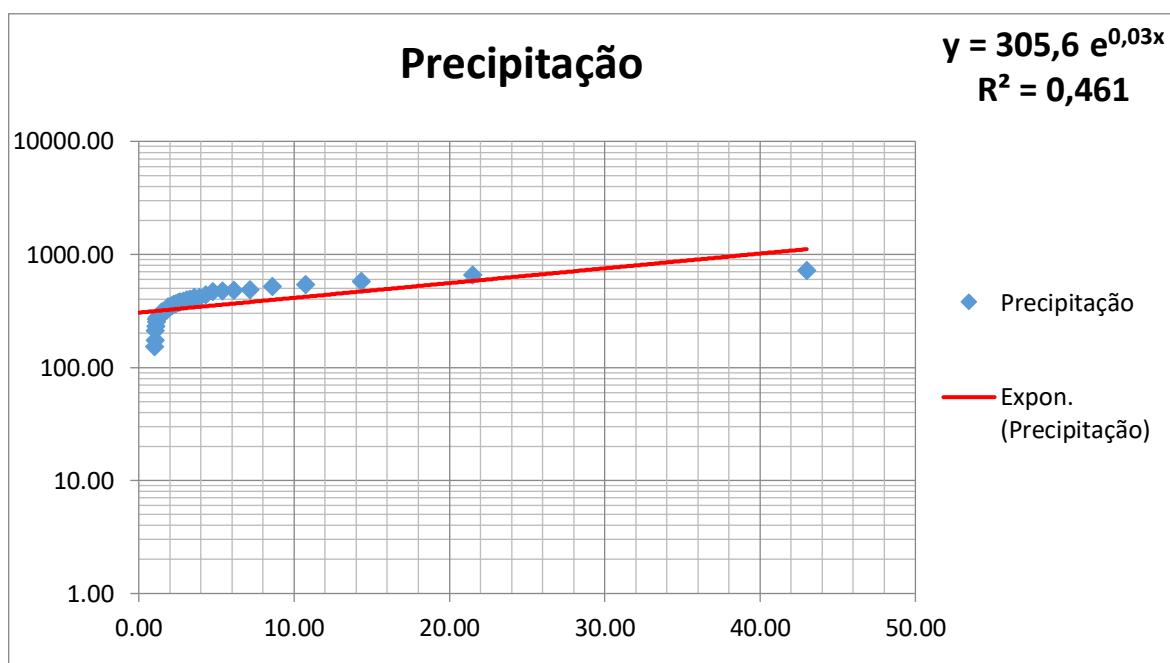
Mês	Ano	Precipitação máxima [mm]
Janeiro	1985	716,8
Janeiro	2007	661,4
Janeiro	1991	578
Fevereiro	1979	540,2
Janeiro	1992	521,9
Janeiro	1983	485
Dezembro	2004	480,8
Março	2008	475,5
Dezembro	1995	470,1
Dezembro	1971	441,8
Janeiro	1997	419,3
Dezembro	1976	414,7
Janeiro	1980	400,5
Janeiro	2005	393,7
Dezembro	1986	387,2
Janeiro	1982	381,7
Fevereiro	2002	374,1
Novembro	2003	367,4

Fonte: Arquivo do autor (2017)

As maiores alturas pluviométricas para as chuvas de um dia de acordo com o QUADRO 7 ocorreram com maior frequência nos meses de dezembro e janeiro, meses inseridos no período chuvoso para o município. Além disso, o mês de janeiro foi o que registrou o maior número de ocorrências de precipitações. Já o mês de outubro do ano de 1994 foi o que registrou o menor valor dentre os dados considerados, da ordem de 152 mm. Essas informações são de extrema importância para o planejamento de obras de engenharia hidráulica, como por exemplo, construção de barragens, vertedores e obras de drenagem urbana.

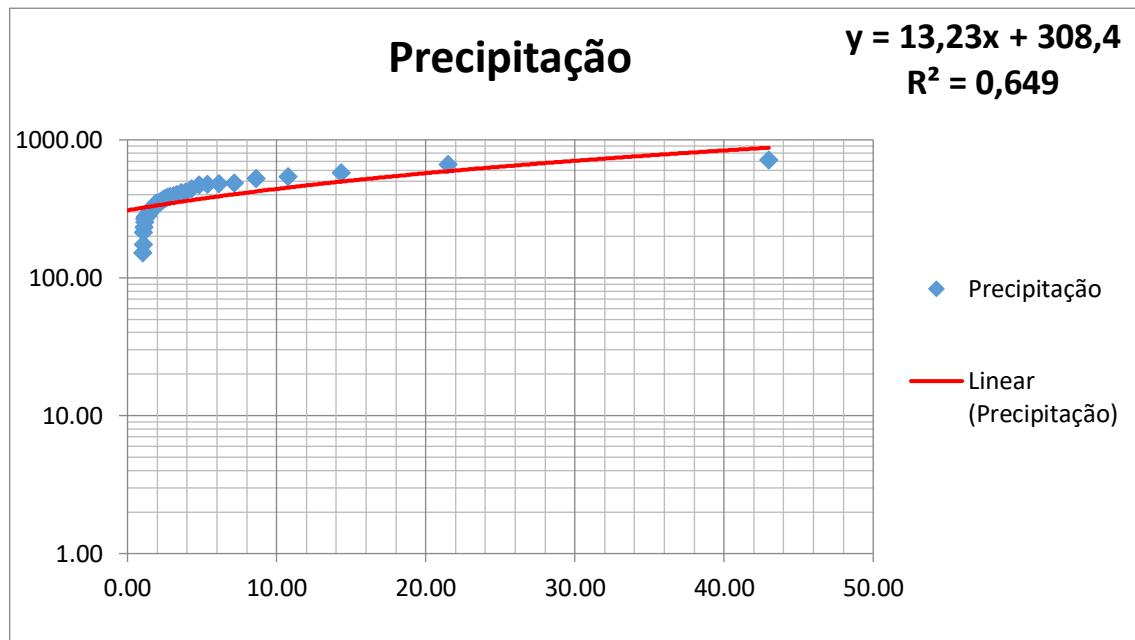
A metodologia de Kimbal utilizada neste trabalho se mostrou adequada para representar as precipitações máximas anuais em função da distribuição de probabilidade. É um método relativamente simples e que apresentou estimativas de precipitação dentro de um intervalo razoável de valores. Foram utilizados quatro tipos de regressões para o ajuste da curva de frequência das chuvas de um dia, regressão logarítmica, linear, potencial e exponencial e, para cada regressão, foram igualmente geradas as suas respectivas equações. Nas Figura 15, 16, 17 e 18 são apresentadas as curvas e as equações para as respectivas regressões.

Figura 15: Regressão exponencial para precipitação de Coronel Pacheco



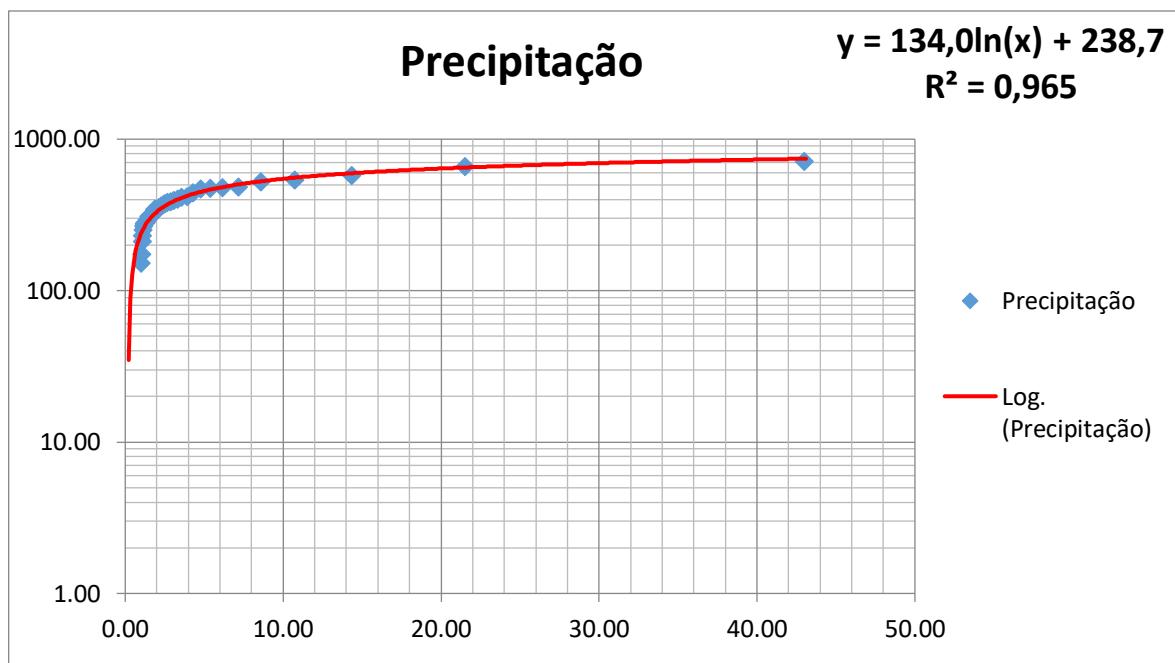
Fonte: Arquivo do autor, 2017.

Figura 16: Regressão linear para precipitação de Coronel Pacheco



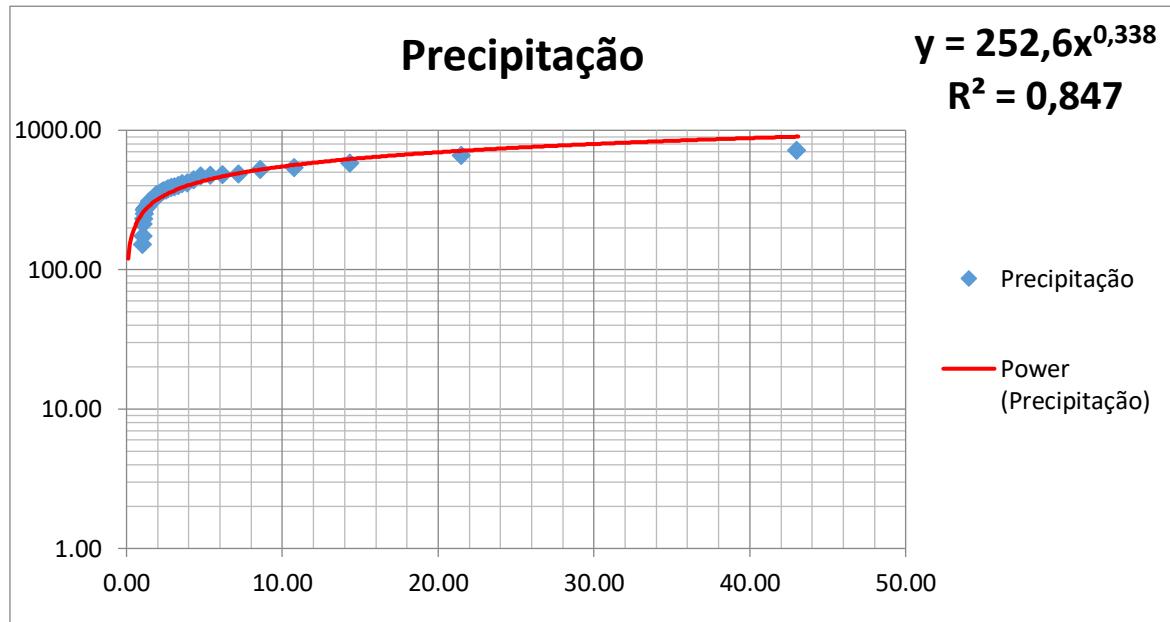
Fonte: Arquivo do autor, 2017.

Figura 17: Regressão logarítmica para precipitação de Coronel Pacheco



Fonte: Arquivo do autor, 2017.

Figura 18: Regressão potencial para precipitação de Coronel Pacheco



Fonte: Arquivo do autor, 2017.

Comparando-se os quatro gráficos gerados pelo software, a curva de frequência de chuva de 1 dia que mais se ajusta aos pontos, é a curva da regressão logarítmica. Isso pode ser comprovado pelo valor obtido para R^2 para cada uma das curvas geradas, onde quanto mais próximo de 1 mais ajustada está a curva à tendência da base de dados (QUADRO 8).

QUADRO 8 - Valores de R^2 de cada tipo de regressão

Tipo de regressão	Valor R^2
Regressão Exponencial	0,461
Regressão Linear	0,649
Regressão Logarítmica	0,965
Regressão Potencial	0,847

Fonte: Arquivo do autor (2017)

A partir da curva de regressão logarítmica gerada, foi possível estimar as alturas pluviométricas máximas anuais para as de chuva de um dia para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25 e 50 anos e suas respectivas probabilidades de ocorrência. O QUADRO 9 apresenta a relação Intensidade-

Duração-Frequência para a cidade de Coronel Pacheco-MG, podendo-se notar que os valores encontrados neste quadro, aumentam à medida que o período de retorno aumenta, estando de acordo com o conceito de "tormentas infreqüentes". Vale destacar que é possível por meio de interpolações obter valores aproximados para alturas pluviométricas para diferentes períodos de retorno e diferentes durações, apesar de não ser possível afirmar que a variação entre os valores encontrados seja linear.

QUADRO 9 - Relação IDF, para diferentes períodos de retorno pelo método de Kimbal

DURAÇÃO	ALTURAS PLUVIOMÉTRICAS (mm)					
	PÉRIODOS DE RETORNO (anos)					
	2 (50%)	5 (20%)	10 (10%)	20 (5%)	25 (4%)	50 (2%)
5 min	39,944	54,736	65,925	77,114	80,716	91,905
10 min	63,441	86,933	104,704	122,475	128,196	145,967
15 min	82,238	112,691	135,727	158,764	166,180	189,216
20 min	95,162	130,399	157,056	183,712	192,294	218,950
25 min	106,910	146,498	176,445	206,393	216,033	245,981
30 min	117,483	160,987	193,896	226,805	237,399	270,309
1 hora	158,761	217,550	262,022	306,493	320,810	365,282
6 horas	272,162	372,943	449,180	525,417	549,960	626,197
8 horas	294,842	404,021	486,612	569,202	595,790	678,381
10 horas	309,963	424,740	511,566	598,392	626,343	713,169
12 horas	321,303	440,279	530,282	620,284	649,258	739,261
24 horas	378,003	517,976	623,861	729,746	763,833	869,719
1 dia	331,582	454,365	547,246	640,128	670,029	762,911

Fonte: Arquivo do autor (2017)

A partir do QUADRO 9, obtém-se a intensidade de precipitação para as diferentes durações e períodos de retorno a partir das alturas pluviométricas obtidas pelo método de Kimbal, onde é divido o valor dessas alturas por seus respectivos períodos de duração, apresentado no QUADRO 10.

QUADRO 10 - Intensidade de precipitação obtida pelo método de Kimbal

Duração	INTENSIDADE DE PRECIPITAÇÃO [mm/h]					
	PÉRIODOS DE RETORNO (anos)					
	2 (50%)	5 (20%)	10 (10%)	20 (5%)	25 (4%)	50 (2%)
5 min	479,482	657,003	791,292	925,581	968,813	1103,102
10 min	380,765	521,738	628,379	735,021	769,351	875,993
15 min	329,057	450,884	543,044	635,203	664,872	757,031
20 min	285,574	391,303	471,284	551,265	577,014	656,995
25 min	256,664	351,690	423,574	495,458	518,600	590,484
30 min	235,040	322,060	387,888	453,716	474,908	540,736
1 hora	158,811	217,608	262,087	306,565	320,884	365,362
6 horas	45,375	62,174	74,882	87,590	91,681	104,389
8 horas	36,867	50,516	60,842	71,167	74,491	84,816
10 horas	31,006	42,485	51,169	59,853	62,649	71,333
12 horas	26,784	36,700	44,201	51,702	54,117	61,619
24 horas	15,755	21,588	26,001	30,413	31,834	36,246

Fonte: Arquivo do autor (2017)

Pela equação obtida pelo software Pluvio 2.1 para o município de Coronel Pacheco, foi possível construir o QUADRO 11 com as intensidades de precipitação para as mesmas durações e períodos de retorno utilizados pela metodologia Kimbal.

QUADRO 11- Intensidade de precipitação obtida pela equação de chuvas intensas

DURAÇÃO	Intensidade de precipitação [mm/h]					
	PÉRIODOS DE RETORNO (anos)					
	2 (50%)	5 (20%)	10 (10%)	20 (5%)	25 (4%)	50 (2%)
5 min	156,236	185,777	211,781	241,425	251,825	287,073
10 min	117,788	140,059	159,663	182,012	189,852	216,427
15 min	96,328	114,541	130,574	148,851	155,263	176,996
20 min	82,389	97,967	111,680	127,313	132,797	151,385
25 min	72,501	86,209	98,276	112,032	116,858	133,215
30 min	65,066	77,369	88,199	100,544	104,875	119,555
1 hora	42,112	50,074	57,083	65,073	67,877	77,377
6 horas	12,493	14,855	16,934	19,304	20,136	22,954
8 horas	10,225	12,158	13,860	15,800	16,480	18,787
10 horas	8,749	10,404	11,860	13,520	14,102	16,076
12 horas	7,702	9,158	10,440	11,901	12,414	14,151
24 horas	4,736	5,632	6,420	7,19	7,634	8,703

Fonte: Arquivo do autor (2017)

Através do **QUADRO 11** é possível calcular os coeficientes de desagregação a partir da equação de chuvas de intensas do município do Coronel Pacheco, obtido pelo software Pluvio 2.1.1. Portanto, para chegar a tais coeficientes, o primeiro passo é multiplicar a intensidade de precipitação pela duração do evento em horas (5, 10, 15, 20, 25, 30 min e 1, 6, 8, 10 e 12 horas). No **QUADRO 12** está apresentando essa relação.

QUADRO 12 - Relação de intensidade pluviométrica

DURAÇÃO	ALTURAS PLUVIOMÉTRICAS (mm)					
	PÉRIODOS DE RETORNO (anos)					
	2 (50%)	5 (20%)	10 (10%)	20 (5%)	25 (4%)	50 (2%)
5 min	13,020	15,481	17,648	20,119	20,985	23,923
10 min	19,631	23,343	26,611	30,335	31,642	36,071
15 min	24,082	28,635	32,644	37,213	38,816	44,249
20 min	27,463	32,656	37,227	42,438	44,266	50,462
25 min	30,209	35,920	40,948	46,680	48,691	55,506
30 min	32,533	38,684	44,099	50,272	52,437	59,777
1 hora	42,112	50,074	57,083	65,073	67,877	77,377
6 horas	74,955	89,128	101,603	115,825	120,814	137,725
8 horas	81,798	97,264	110,878	126,398	131,843	150,297
10 horas	87,494	104,037	118,600	135,201	141,025	160,764
12 horas	92,421	109,896	125,279	142,814	148,966	169,817
24 horas	113,675	135,168	154,088	175,656	183,223	208,869

Fonte: Arquivo do autor (2017)

O próximo passo consiste em estimar valores para os coeficientes de desagregação, considerando as relações entre durações de precipitações utilizadas pelo DNOS, obtidos no estudo de chuvas intensas no Brasil. Essas relações estão apresentadas no QUADRO 13, a seguir. Já no QUADRO 14 estão relacionados os coeficientes de desagregação obtidos no presente estudo para a cidade de Coronel Pacheco – MG.

QUADRO 13 - Relação entre durações de precipitações

Relação de tempo
12 h / 24 h
10 h / 24 h
8 h / 24 h
6 h / 24 h
1 h / 24 h
30 min. / 1 h
25 min. / 30 min.
20 min. / 30 min.
15 min. / 30 min.
10 min. / 30 min.
5 min. / 30 min.

Fonte: CETESB, 1986

QUADRO 14 - Coeficientes de desagregação encontrados n o presente estudo para Coronel Pacheco – MG.

Relação de tempo	Coeficientes de Desagregação
12 h / 24 h	0,40
10 h / 24 h	0,60
8 h / 24 h	0,74
6 h / 24 h	0,84
1 h / 24 h	0,93
30 min. / 1 h	0,77
25 min. / 30 min.	0,37
20 min. / 30 min.	0,66
15 min. / 30 min.	0,72
10 min. / 30 min.	0,77
5 min. / 30 min.	0,81

Fonte: Arquivo do autor, 2017

5.2 Juiz de Fora – MG

Para fins título de comparação com os coeficientes de desagregação encontrados para Coronel Pacheco, foram repetidos todos os cálculos para o município de Juiz de Fora. A base de dados foi também obtida através do site do INEMET, assim como para o município de Coronel Pacheco. A cidade de Juiz de Fora possui a sua própria equação para a relação intensidade-duração-frequência, o que garante uma precisão maior em relação ao programa Pluvio, já que o mesmo utiliza interpolações para obtenção dos coeficientes da equação. Em resumo, no QUADRO 15 estão apresentadas as intensidades de precipitação a partir da equação de chuvas intensas do município de Juiz de Fora, no Fonte: Arquivo do autor (2017)

QUADRO 16 são apresentadas as alturas pluviométricas obtidas a partir do quadro anterior e, por fim, o QUADRO 17 apresenta os valores dos coeficientes de desagregação obtidos para o município de Juiz de Fora.

QUADRO 15 - Intensidade de precipitação obtida pela equação de chuvas intensas

DURAÇÃO	Intensidade de precipitação [mm/h]					
	ALTURAS PLUVIOMÉTRICAS (mm)					
	PÉRIODOS DE RETORNO (anos)					
	2 (50%)	5 (20%)	10 (10%)	20 (5%)	25 (4%)	50 (2%)
5 min	133,598	156,547	176,491	198,976	206,808	233,155
10 min	114,659	134,355	151,471	170,769	177,490	200,103
15 min	100,497	117,759	132,762	149,676	155,567	175,386
20 min	89,499	104,872	118,233	133,296	138,542	156,193
25 min	80,707	94,570	106,618	120,201	124,932	140,849
30 min	73,514	86,142	97,117	109,489	113,799	128,297
1 hora	48,091	56,352	63,531	71,625	74,444	83,928
6 horas	11,176	13,096	14,764	16,645	17,300	19,504
8 horas	8,608	10,086	11,371	12,820	13,325	15,022
10 horas	7,012	8,217	9,263	10,443	10,855	12,237
12 horas	5,923	6,940	7,824	8,821	9,168	10,336
24 horas	3,092	3,624	4,085	4,606	4,787	5,397

Fonte: Arquivo do autor (2017)

QUADRO 16 - Relação de intensidade pluviométrica

DURAÇÃO	ALTURAS PLUVIOMÉTRICAS (mm)					
	PÉRIODOS DE RETORNO (anos)					
	2 (50%)	5 (20%)	10 (10%)	20 (5%)	25 (4%)	50 (2%)
5 min	11,133	13,046	14,708	16,581	17,234	19,430
10 min	19,110	22,392	25,245	28,462	29,582	33,350
15 min	25,124	29,440	33,190	37,419	38,892	43,847
20 min	29,833	34,957	39,411	44,432	46,181	52,064
25 min	33,628	39,404	44,424	50,084	52,055	58,687
30 min	36,757	43,071	48,558	54,745	56,899	64,148
1 hora	48,091	56,352	63,531	71,625	74,444	83,928
6 horas	67,055	78,573	88,583	99,869	103,800	117,024
8 horas	68,863	80,692	90,972	102,562	106,598	120,179
10 horas	70,121	82,165	92,633	104,435	108,545	122,374
12 horas	71,071	83,279	93,888	105,850	110,016	124,032
24 horas	74,217	86,965	98,044	110,535	114,886	129,522

Fonte: Arquivo do autor (2017)

QUADRO 17 - Coeficientes de desagregação para o município de Juiz de Fora

Relação de tempo	Coeficientes de Desagregação
12 h / 24 h	0,30
10 h / 24 h	0,52
8 h / 24 h	0,68
6 h / 24 h	0,81
1 h / 24 h	0,91
30 min. / 1 h	0,76
25 min. / 30 min.	0,65
20 min. / 30 min.	0,90
15 min. / 30 min.	0,93
10 min. / 30 min.	0,94
5 min. / 30 min.	0,96

Fonte: Arquivo do autor (2017)

No QUADRO 18 estão apresentados os valores dos coeficientes de desagregação do DNOS obtidos no estudo “Chuvas intensas no Brasil”, bem como os coeficientes obtidos para os municípios de Coronel Pacheco e Juiz de Fora, no qual pode-se observar a diferença entre eles. Essa diferença encontrada entre os coeficientes pode ser justificada pela assertiva de que o regime de precipitação de uma região não pode representar regiões distintas.

QUADRO 18 - Coeficientes de Desagregação do DNOS, Coronel Pacheco e Juiz de Fora

Relação de tempo	Municípios		
	DNOS	Coronel Pacheco	Juiz de Fora
12 h / 24 h	0,34	0,40	0,30
10 h / 24 h	0,54	0,60	0,52
8 h / 24 h	0,7	0,74	0,68
6 h / 24 h	0,81	0,84	0,81
1 h / 24 h	0,91	0,93	0,91
30 min. / 1 h	0,74	0,77	0,76
25 min. / 30 min.	0,42	0,37	0,65
20 min. / 30 min.	0,72	0,66	0,90
15 min. / 30 min.	0,78	0,72	0,93
10 min. / 30 min.	0,82	0,77	0,94
5 min. / 30 min.	0,85	0,81	0,96

Fonte: Arquivo do autor (2017)

6 CONCLUSÃO

O regime de chuvas de maior intensidade em Coronel Pacheco se concentra com maior predomínio nos meses de dezembro e janeiro. Com essas altas concentrações de chuvas faz-se necessário o uso de sistemas de drenagem eficientes no município para assim evitar possíveis inundações na sua malha urbana e consequentes problemas de saúde decorrentes da falta de saneamento.

Através das alturas pluviométricas máximas anuais analisadas, percebe-se uma variação considerável entre o maior e o menor valor observado, caracterizando-se assim uma falta de padrão do município, que pode ser decorrente de secas intensas em alguns anos.

Considerando-se a curva de regressão logarítmica para precipitação de Coronel Pacheco é possível perceber que quanto maior o tempo de retorno, maior a chance de uma chuva de grande magnitude e maior será sua intensidade em um período muito curto de duração.

Os coeficientes de desagregação obtidos para o município de Coronel Pacheco e Juiz de Fora, que são cidades relativamente próximas, apresentaram diferença, não muito significativa, quando comparados com os coeficientes obtidos pelo DNOS. Isso pode ser explicado pelo fato desses coeficientes serem obtidos pela média de valores de alturas pluviométricas encontradas em 98 postos de medição espalhados por todo o país, não garantindo que os valores necessariamente precisam ser os mesmos para todos os municípios brasileiros. Vale destacar que os coeficientes independem do período de retorno, levando-se em conta apenas a relação entre as alturas pluviométricas.

Este trabalho pode ser útil para compor a elaboração de um possível plano de drenagem do município de Coronel Pacheco, visto que esse ainda não o possui. Esse plano seria essencial para projetos hidráulicos, como vertedores de barragens, galerias pluviais, dimensionamento de bueiros dentre outras obras hidráulicas.

Por fim, vale ressaltar a importância da ampliação da rede de monitoramento meteorológico na região, facilitando futuros estudos que melhor retratem a realidade do município. Recomenda-se também que a medida em que novos dados das chuvas de um dia forem disponibilizados pelo

INMET, os valores para os coeficientes de desagregação encontrados nesse trabalho sejam atualizados, bem como outras metodologias sejam utilizadas para fins de comparação de resultados.

REFERÊNCIAS

- CARVALHO, F. D.; SILVA, B., D., L. **Capítulo 4: Precipitação.** Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2006. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap4-PPT.pdf>>. Acesso em: 11 de março de 2017.
- CARVALHO, F. D.; SILVA, B., D., L. **Capítulo 2: Ciclo Hidrológico.** Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2006. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap2-CH.pdf>>. Acesso em: 05 de abril de 2017.
- CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS - CPTEC. **Glossários: Princípios de Meteorologia e Meio Ambiente.** 2010. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/glossario.shtml#28>>. Acesso em: 16 mai 2017.
- CETESB. 1986. Drenagem Urbana: manual de projeto, 3 ed. São Paulo, 1986.
- COSTA, J.; POLETO, C.; RAMME, S. S. **Redução e retardo do escoamento superficial das águas pluviais em telhado verde.** IV ENDICT – Encontro de Iniciação Científica Câmpus Toledo de 20 e 21 de outubro de 2016. Disponível em: <<http://www.utfpr.edu.br/toledo/estrutura-universitaria/diretorias/dirppg/iv-encontro-de-iniciacao-cientifica-do-campus-toledo/JeffersondaCostaartigocompleto.pdf>>. Acesso em: 3 de maio de 2017.
- FATHY, I.; NEGM, A.M.; EL-FIKY, M.; NASSAR, M.; AL-SAYED, E. **Intensity duration frequency curves for Sinai peninsula, Egypt.** In: ImpactJournals. Vol. 2, ed. 6, pag 105-112. Junho, 2014. Disponível em: <<http://oaji.net/articles/2014/489-1404561400.pdf>>. Acesso em: 15 de maio de 2017
- FERNANDES, C. **Capítulo 2: Chuvas.** In: Apostila de microdrenagem. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2002, 196p. Disponível em: <<http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Dren02.html>>. Acesso em: 18 de maio de 2017.
- GARCEZ, N. L.; ALVAREZ, A. G. Livro: **Hidrologia.** 291 p. 2 ed. Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo. 1988.
- GOMES, R. H. M. **Precipitação.** Notas de Aula de Hidrologia. Universidade Federal De Juiz de Fora. 2015.
- IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades – Informações completas.** Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/mg/coronel-pacheco/panorama>>. Acesso em: 5 de maio de 2017.
- INMET. **Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática.** Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>. Acesso em: 5 de maio de 2017.

INMET: Instituto Nacional de Meteorologia. **Instrumentos Meteorológicos**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=instrumentos>>. Acesso em: 17 de maio de 2017.

LEAL, T. C. F. **Notas de aula: Drenagem Urbana**. Universidade Federal de Juiz de Fora. 2016. LUCIENE. **Aplicação das Técnicas de Probabilidade e Estatística em Hidrologia**. Universidade Estadual do Rio de Janeiro. 2003. Disponível em: <http://www.eng.uerj.br/~luciene/hidraulica_aplicada/aplicacao_das_tecnicas.pdf>. Acesso em: 17 de março de 2017.

MONTES, M. R.; LEITE, F. J. **A drenagem urbana de águas pluviais e seus impactos – Cenário atual da Bacia do Córrego Vaca-Brava Goiânia-GO**. Goiânia-GO, s/d. Disponível em: <<http://www.pucgoias.edu.br/ucg/prope/cpgss/ArquivosUpload/36/file/A%20DRENAGEM%20URBANA%20DE%20C3%81GUAS%20PLUVIAIS%20E%20SEUS%20IMPACTOS%20CEN%C3%81RIO%20ATUAL%20VACA%20BRAVA.pdf>>. Acesso em: 28 de abril de 2017.

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

Plano de Drenagem de Juiz de Fora – Parte 1 – Zona Norte, 2011. Disponível em: <https://www.pjf.mg.gov.br/secretarias/seplag/planos_programas/drenagem.php>. Acesso em: 1 de junho de 2017.

Plano Municipal de Saneamento Básico – Coronel Pacheco – MG, 2013. Disponível em: <<http://www.ceivap.org.br/mata/Coronel-Pacheco.pdf>>. Acesso em: 2 de maio de 2017.

PORTO, R. L. L.; FILHO, K.Z.; MARCELLINI, S.S. **Apostila de Instrumentos de Medições Climáticas**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, SP. 2000.

SANTOS, X. C. E.; NAGHRTTINI, M. **Agregação do Coeficiente de Abatimento Espacial à Relação Intensidade-Duração-Freqüência das Precipitações Sobre a Região Metropolitana de Belo Horizonte**. Belo Horizonte-MG, 10 de fevereiro de 2003. Disponível em: <<https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=37&SUMARIO=565>>. Acesso em: 26 de maio de 2017.

STUDART, T. M. de C. **Capítulo 5: Precipitação**. Notas de Aula de Hidrologia Aplicada. Universidade Federal do Ceará. Disponível em: <http://www.deha.ufc.br/ticiiana/Arquivos/Graduacao/Apostila_Hidrologia_grad/Cap_5_precipitacao_2004.pdf>. Acesso em: 15/05/2017.

TOMAZ, P. **Capítulo 2: Método Racional**. In: Apostila do curso de manejo de águas pluviais. 2013. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_metodo_calculos_vazao/capitulo_02.pdf>. Acesso em: 25 de maio de 2017.

TEODORO, P. E. et al. **Influência de diferentes coeficientes de desagregação na determinação de equações IDF para Aquidauana - MS.** Revista Eletrônica de Engenharia Civil, vol. 9 nº 2. 2014. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/reec/article/viewFile/28701/17155>>

TOMAZ, P. **Capítulo 3: Tempo de concentração.** In: Apostila do curso de manejo de águas pluviais. 2013. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_calculoshidrolicos/capitulo04.pdf>. Acesso em: 24 de abril de 2017.

TUCCI, M. E. C. Livro: **Hidrologia.** 943 p. 4 ed. Editora da UFRGS/ABRH. Porto Alegre. 2012.

VILELA, S. M.; MATTOS, A. Livro: **Hidrologia Aplicada.** 245 p. Volume único.1 ed. Editora McGraw-Hill do Brasil. São Paulo - SP. 1936.

WILKEN, S. P. **Engenharia de drenagem superficial.** São Paulo, Campanha de tecnologia de saneamento ambiental, 1978.