

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

Sarah Christina Ribeiro Antunes

**ESTUDO DA RELAÇÃO INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA DAS
PRECIPITAÇÕES PELO MÉTODO KIMBAL PARA O MUNICÍPIO DE MANAUS –
AM**

Juiz de Fora

2019

Sarah Christina Ribeiro Antunes

**ESTUDO DA RELAÇÃO INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA DAS
PRECIPITAÇÕES PELO MÉTODO KIMBAL PARA O MUNICÍPIO DE MANAUS –
AM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial a obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Área de concentração: Engenharia Sanitária e Ambiental

Linha de Pesquisa: Hidrologia e Drenagem Urbana

Orientador: MSc. Fabiano César Tosetti Leal

Juiz de Fora

2019

Sarah Christina Ribeiro Antunes

**ESTUDO DA RELAÇÃO INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA DAS
PRECIPITAÇÕES PELO MÉTODO KIMBAL PARA O MUNICÍPIO DE MANAUS –
AM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao Programa de Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial a obtenção do grau de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Aprovada em

BANCA EXAMINADORA

MSc. Fabiano César 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

É com o coração transbordando de alegria que escrevo essas palavras! Chegar ao final dessa trajetória não foi fácil, mas sei que a caminhada pela frente também será grandiosa e feliz. Com todo amor e gratidão que tenho em mim, agradeço à Deus por me guiar e proteger todos os dias, e por mostrar que tenho mais forças do que consigo imaginar.

Agradeço à minha mãe, Maria Inês, a maior responsável por essa conquista, por me apoiar em todos os momentos e sempre acreditar em mim: você é meu porto seguro vindo de Deus! Obrigada por todo o amor e paciência!

Agradeço ao meu pai, Sebastião, por sempre estar presente e por todo o amor recebido, incentivando minha formação.

Agradeço aos meus avós (*in memoriam*), Maria Aparecida e Sebastião, Margarida e Níveo, por mesmo de longe, guiarem meu caminho como estrelas no céu.

Agradeço ao Joaquim, meu amiguinho mais fiel, por todas as distrações e brincadeiras que tornam meus dias mais felizes.

Agradeço ao Gabriel, por ter acompanhado de perto a reta final desse sonho, com amor e paciência.

Agradeço ao Professor Fabiano, orientador deste trabalho, por toda a gentileza e atenção comigo, responsável pela excelência e dedicação desta monografia.

Também agradeço aos professores do Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária da UFJF, em especial Otávio, Jonathas e Evaristo, não somente por comporem minha banca, mas por serem grandes responsáveis pela profissional que hoje me torno.

Aos poucos e bons amigos, obrigada por terem tornado essa difícil caminhada em momentos mais leves!

Enfim, agradeço por ter conhecido pessoas tão importantes na minha trajetória acadêmica, e por sempre tentar enxergar os detalhes da vida com fé e amor. Sou extremamente grata!!!

“O Senhor é o meu pastor, nada me faltará. Certamente que a bondade e a misericórdia me seguirão todos os dias da minha vida; e habitarei na casa do Senhor por longos dias. (Sl 23, 1-6).”

RESUMO

A região norte do país, maior em extensão territorial, é amplamente contemplada com a presença da floresta amazônica, a qual intervém no clima predominantemente equatorial úmido, garantindo precipitações abundantes e intensas, associadas a elevadas temperaturas. Sabe-se que a precipitação pode influenciar direta e indiretamente nas atividades econômicas e antrópicas de uma determinada região, constituindo dados importantes para a caracterização do clima local. Dentre eles, os parâmetros altura pluviométrica máxima e período de retorno são dados fundamentais para o desenvolvimento de projetos de obras hidráulicas, tais como sistemas de drenagem, garantindo o planejamento adequado para que as mesmas suportem eventos críticos provocados por precipitações intensas. As precipitações de projeto são, principalmente, estimadas a partir das relações intensidade-duração-frequência (IDF), construídas a partir de séries históricas fornecidas pelas estações pluviométricas/pluviográficas. O presente trabalho objetiva a construção da relação IDF para o município de Manaus, localizado no estado do Amazonas, mediante dados pluviométricos disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e aplicação dos mesmos ao modelo Kimbal, fornecendo os valores de alturas pluviométricas para chuvas de curta duração com períodos de retorno de até 50 anos. Para a obtenção da equação de intensidade da precipitação, é utilizado o *software* PLUVIO 2.1 a fim de obter os coeficientes de desagregação para o município em estudo, e posteriormente realizar comparação destes com os existentes no estudo do Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS).

Palavras-chave: IDF, tempo de retorno, equação de chuvas, chuvas intensas.

ABSTRACT

The northern region of the country, larger in territorial extension, is widely contemplated with the presence of the Amazon rainforest, which intervenes in the predominantly humid equatorial climate, ensuring abundant and intense rainfall associated with high temperatures. It is known that precipitation can directly and indirectly influence the economic and anthropogenic activities of a given region, constituting important data for the characterization of the local climate. Among them, the parameters maximum rainfall height and return period are fundamental data for the development of projects of hydraulic works, such as drainage systems, ensuring the proper planning so that they support critical events caused by intense precipitation. Project rainfall is mainly estimated from intensity-duration-frequency (IDF) relationships, constructed from historical series provided by rainfall / rainfall stations. The present work aims the construction of the IDF relationship for the municipality of Manaus, located in the state of Amazonas, through rainfall data provided by the National Institute of Meteorology (INMET) and their application to the Kimbal model, providing rainfall values for rainfall. short duration with payback periods of up to 50 years. To obtain the precipitation intensity equation, the PLUVIO 2.1 software is used to obtain the disaggregation coefficients for the municipality under study, and then to compare them with those existing in the study by the National Department of Sanitation Works (DNOS).

Keywords: IDF, return time, rainfall equation, heavy rainfall.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação esquemática do Ciclo Hidrológico	6
Figura 2 – Esquema de ocorrência das chuvas Frontais ou Ciclônicas	8
Figura 3 – Esquema de ocorrência das chuvas Convectivas	8
Figura 4 – Esquema de ocorrência das chuvas Orográficas	9
Figura 5 – Bacia hidrográfica do município de Manaus/AM	11
Figura 6 – Esquematização de um pluviômetro	13
Figura 7 – Esquematização de um pluviógrafo do tipo bóia	15
Figura 8 – Esquematização de um radar meteorológico	16
Figura 9 – Delimitação territorial do município de Manaus/AM	23
Figura 10 – Estação meteorológica automática do município de Manaus/AM	25
Figura 11 – Vista da estação meteorológica automática de Manaus/AM	26
Figura 12 – Instruções de acesso ao BDMEP através do site do INMET	27
Figura 13 – Instruções para obtenção da base de dados pluviométricos a partir do site do INMET	28
Figura 14 - Parâmetros da equação Intensidade-Duração-Frequência para Manaus/AM	33
Figura 15 – Regressão Logarítmica para precipitação de Manaus/AM	40
Figura 16 - Regressão Linear para precipitação de Manaus/AM	40
Figura 17 - Regressão Potencial para precipitação de Manaus/AM	41
Figura 18 - Regressão Exponencial para precipitação de Manaus/AM	41
Figura 19 - Curvas IDF obtidas entre o presente estudo por meio do Método Kimbal e pela equação de chuvas intensas pelo <i>software</i> PLUVIO 2.1, e as geradas pelo PDDU (2014) e Monteiro e Braga (2018) para Manaus/AM (TR= 10 anos)	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relações entre chuvas de curta duração através dos coeficientes de desagregação	21
Tabela 2 – Precipitações máximas anuais relativas às chuvas de 1 dia para Manaus/AM	29
Tabela 3 – Ordenação das alturas pluviométricas e suas probabilidades correspondentes, em variados tempos de retorno	35
Tabela 4 – Precipitação máxima anual acima da média das precipitações máximas	38
Tabela 5 – Valor de R ² para cada regressão	42
Tabela 6 – Relação IDF: alturas pluviométricas máximas para diferentes tempos de retorno pelo Método Kimbal	43
Tabela 7 – Intensidades de precipitação máximas obtidas através do Método Kimbal ..	44
Tabela 8 – Intensidades de precipitação obtidas através da equação de chuvas intensas geradas pelo <i>Software</i> PLUVIO 2.1	45
Tabela 9 - Relação IDF: alturas pluviométricas para diferentes tempos de retorno e durações obtidas pela equação de chuvas intensas gerada pelo <i>Software</i> PLUVIO 2.1...	46
Tabela 10 – Diferença percentual entre as intensidades de precipitação obtidas pela equação de chuvas intensas geradas pelo <i>software</i> PLUVIO 2.1 em relação ao Método Kimbal	47
Tabela 11 – Coeficientes de desagregação obtidos através da equação de chuvas intensas gerada pelo <i>software</i> PLUVIO 2.1 para Manaus/AM	48
Tabela 12 – Comparativo entre os coeficientes de desagregação preliminares obtidos no presente estudo para Manaus/AM e aqueles gerados por Pfafstetter	49
Tabela 13 – Comparativo entre as intensidades de precipitação em diferentes durações da chuva, para o presente estudo e os gerados pelo PDDU (2014) e Monteiro e Braga (2018) para Manaus/AM (TR = 10 anos)	51
Tabela 14 – Percentuais comparativos das intensidades pluviométricas entre as metodologias abordadas para Manaus/AM	54

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS	4
2.1	Objetivo Geral	4
2.2	Objetivos Específicos	4
3	REVISÃO DA LITERATURA	5
3.1	Ciclo Hidrológico	5
3.2	Tipos de Chuvas	7
3.3	Região Norte	9
3.4	Instrumentos Meteorológicos	11
3.4.1	Pluviômetro	13
3.4.2	Pluviógrafo	14
3.4.3	Radar Meteorológico	15
3.5	Relação IDF: Intensidade-Duração-Frequência das Precipitações	16
3.6	Métodos Aplicados para Obtenção das Relações IDF	18
4	METODOLOGIA	21
4.1	Método Kimbal	21
4.2	Caracterização e dados pluviométricos do município	23
4.3	Desenvolvimento da Equação IDF através de <i>Software</i>	31
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
5.1	Obtenção da Curva intensidade-duração-frequência	34
5.2	Comparativo entre as relações intensidade-duração-frequência de Manaus/AM	49
6	CONCLUSÃO	54
	REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

A água pode ser considerada um dos recursos naturais mais importantes à manutenção de todas as formas de vida no planeta, presente em abundância na superfície terrestre e constituindo um dos principais elementos da biosfera. Estima-se que aproximadamente 97,5% do volume de água existente no mundo é salgada, e não adequada ao consumo humano direto ou a irrigação de culturas. A parcela restante, equivalente a 2,5% do volume, representa o percentual de água doce, que se subdivide de acordo com a localização do recurso. Aproximadamente 69% desta parcela correspondem à maior parte considerada de difícil acesso, tais como aquelas concentradas nas geleiras; 30% configuram-se em águas subterrâneas, normalmente armazenadas em aquíferos, e o 1% remanescente encontra-se distribuído nos mananciais superficiais. (ANA, S/d).

Ainda segundo dados da Agência Nacional de Águas (ANA, S/d), o abastecimento público provém em grande maioria das águas advindas de mananciais superficiais, seja para atividades ligadas à saúde, intermediando ações econômicas, seja para o desenvolvimento tecnológico da sociedade, tornando seu monitoramento frequente extremamente importante. Com base no acompanhamento, torna-se possível conhecer a quantidade e a qualidade disponível da água, bem como auxiliar estratégias de planejamento para a gestão dos recursos hídricos, permitindo acesso aos múltiplos usuários. Assim sendo, a renovação deste recurso, fruto do ciclo hidrológico, é de suma importância para o equilíbrio de todo o meio.

O ciclo hidrológico retrata o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, estimulado essencialmente através da energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre (TUCCI, 2012), contemplando as etapas de condensação, precipitação, evapotranspiração, infiltração e percolação, conhecidos como processos verticais, e os escoamentos superficial e sub superficial, classificados como processos horizontais (KOBAYAMA, 1999).

A precipitação é considerada a etapa vertical da dispersão do vapor de água atmosférico sob os continentes e oceanos, nas formas de chuvas, neblina, granizo, saraiva, orvalho, geada e neve, e para que as mesmas sejam formadas, faz-se necessário a dependência com a umidade relativa do ar ambiente, taxas de resfriamento da atmosfera, presença de núcleos formadores de chuva em nuvens, conhecidos como higroscópios, bem como os mecanismos de

crescimento das gotas. Parcela da água precipitada é provisoriamente retida no solo local, para que finalmente retorne à atmosfera através de evaporação e/ou transpiração da vegetação. A maior parte do volume precipitado compõe o escoamento superficial, enquanto que a parcela restante do volume pode realizar escoamento sub superficial, ocasionando a infiltração que abastece os aquíferos (VILLELA e MATTOS, 1975).

Há estreita relação entre o ciclo da água e as tipologias climáticas. Sabe-se que mudanças climáticas são capazes de alterar o regime de chuvas de um local, podendo provocar o aumento na probabilidade de eventos hidrológicos extremos, como inundações e períodos de seca. Tais eventos alteram a disponibilidade de água, interferindo, por exemplo, no suprimento de recursos hídricos à população, (ANA, S/d). Desse modo, a construção de planejamento para o uso da água e do solo precisa conter dados relacionados às variáveis climáticas, como as chuvas intensas. A caracterização dos tempos de retorno das chuvas intensas considerando a sua duração, bem como a equação das mesmas, torna-se imprescindível para elaboração de projetos de obras hidráulicas, galerias de águas pluviais, bueiros, sistemas de drenagem agrícola, urbana e rodoviária (DNIT, 2005; SANTOS et al, 2010).

Os sistemas de drenagem urbana são usualmente considerados como um conjunto de obras e estruturas destinadas à coleta, transporte e destinação final adequada das águas pluviais precipitadas sobre o solo, construídos a fim de evitar problemas causados pelo escoamento superficial desordenado, tais como assoreamento de cursos d'água, erosão, danos no pavimento, inundações e empoçamentos (LEAL, 2016). No campo da Engenharia, estes sistemas precisam ser dimensionados com base nas precipitações máximas, a fim de garantir qualidade de projeto e segurança às populações.

As chuvas intensas são normalmente conhecidas pelo grande volume de precipitação em curtos intervalos de tempo, variável no espaço, advindas da convecção atmosférica, podendo ocasionar transtornos ao local e seu entorno (SOUSA, 1998). Estas são caracterizadas por sua intensidade (I), duração (D) e frequência (F) de ocorrência, podendo ser representadas por equações denominadas IDF, obtidas através de dados pluviográficos de estações meteorológicas.

A ocorrência abundante de chuvas intensas na região norte do país é claramente observada pela influência da grandiosa Floresta Amazônica e da maior bacia hidrográfica do continente Americano. Conhecida por ser a maior em extensão territorial do Brasil, Blair (1942) identificou o clima da Região Amazônica como tropical chuvoso, classificado como um subtipo de clima equatorial. O município de Manaus/AM, localizado no estado do Amazonas, é caracterizado por estações do ano bem definidas, com chuvas intensas de novembro a maio (165-300 mm/mês), e um período de seca de julho a setembro (<65 mm/mês), resultados das altas temperaturas e umidade relativa, proporcionando as já mencionadas correntes convectivas geradoras de precipitações máximas (DNPM, 1976; LEOPOLDO et al., 1987). Desse modo, o período chuvoso, correspondente à maior parte do ano, provoca intenso escoamento superficial, proporcionando aumento no risco de inundações e enchentes na região.

Através do exposto, e devido a carência de informações relativas às equações de chuvas intensas do município de Manaus/AM, o presente estudo tem por objetivo a aplicação de metodologia consolidada para obtenção da relação IDF, utilizando método Kimbal, bem como a obtenção dos coeficientes de desagregação para diferentes durações de precipitação, com auxílio de dados pluviométricos fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo principal é a obtenção da relação intensidade-duração-frequência das precipitações no município de Manaus/AM, a partir de dados pluviométricos obtidos de estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.

2.2 Objetivos Específicos

- Obter dados pluviométricos de chuvas de 1 dia disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET;
- Apresentar a metodologia a ser aplicada para obtenção da relação IDF;
- Selecionar os eventos na base de dados;
- Definir a tipologia de série a ser utilizada;
- Estabelecer a relação intensidade-duração-frequência (IDF) para o município de Manaus/AM, através do método Kimbal;
- Obter as variáveis da equação de chuvas para Manaus/AM, através do *software* PLUVIO 2.1, desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa;
- Obter os coeficientes de desagregação para diferentes durações de precipitações;
- Comparar os coeficientes obtidos com os estudados na literatura.
- Pesquisar relações IDF para o município de Manaus/AM na bibliografia, e estabelecer comparação com o presente trabalho, caso existam.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Ciclo Hidrológico

O início das manifestações e diferentes estados da água no planeta decorrem através do ciclo hidrológico. Este é impulsionado através da energia solar, do movimento de rotação da Terra e pela ação das forças gravitacionais, caracterizando-o como um fenômeno de circulação fechada de toda água existente na superfície terrestre e na atmosfera. De fato, apenas em nível global o ciclo assume a denominação “fechada”, já que um determinado volume de água evaporado em um local do planeta, não necessariamente precipitará neste mesmo lugar, graças às movimentações constantes de precipitação na atmosfera (TUCCI, 2012).

O conceito de ciclo hidrológico relaciona-se à movimentação de água na Hidrosfera, em seus diversos estados físicos, entre as águas superficiais, as águas subterrâneas, os oceanos, as calotas de gelo, e a atmosfera. A circulação torna-se contínua devido à energia do Sol, que garante a potência necessária para a ocorrência da evaporação; e à gravidade, que possibilita a precipitação das massas de água condensada até a superfície, com posterior escoamento superficial e subterrâneo. A água precipitada que escoar superficialmente poderá seguir fluxo até os oceanos, ou infiltrar-se no solo como forma de absorção pela vegetação existente, garantindo a existência da evapotranspiração. Há de contabilizar ainda, o volume de água infiltrada que contribui para recarregar os aquíferos, caracterizando escoamento subterrâneo (CARVALHO, 2006). A seguir, as principais fases e processos do ciclo hidrológico estão representados na Figura 1.

Figura 1 – Representação esquemática do Ciclo Hidrológico



Fonte: UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2013.

Conforme exemplificado, o ciclo hidrológico permeia processos naturais de evaporação, condensação, precipitação, escoamento superficial, infiltração e escoamento subterrâneo. O volume de água no ciclo e a velocidade com a qual ela circula, são influenciadas por fatores como cobertura vegetal, topografia, geologia, tipo de solo, altitude e temperatura. (CARVALHO, 2006). Vale ressaltar que as características da água ao longo do ciclo hidrológico em suas diversas fases, variam no tempo e no espaço de forma aleatória, garantindo o movimento fechado apenas em nível global, como já citado (ANA, S/d).

A compreensão das fases e movimentações que englobam o ciclo hidrológico tornou-se de suma importância para uma drenagem eficiente das cidades. Em determinadas circunstâncias, precipitações mais intensas podem ocorrer, assim como períodos de seca podem ser acentuados. Com intuito de minimizar os problemas causados em ambos os eventos extremos, principalmente àqueles advindos de estimativas insuficientes de vazões de enchentes, que provocam efeitos catastróficos para as populações ribeirinhas e sobre a economia das empresas e nações envolvidas, é notória a preocupação em construir obras hidráulicas de qualidade (TUCCI, 2012).

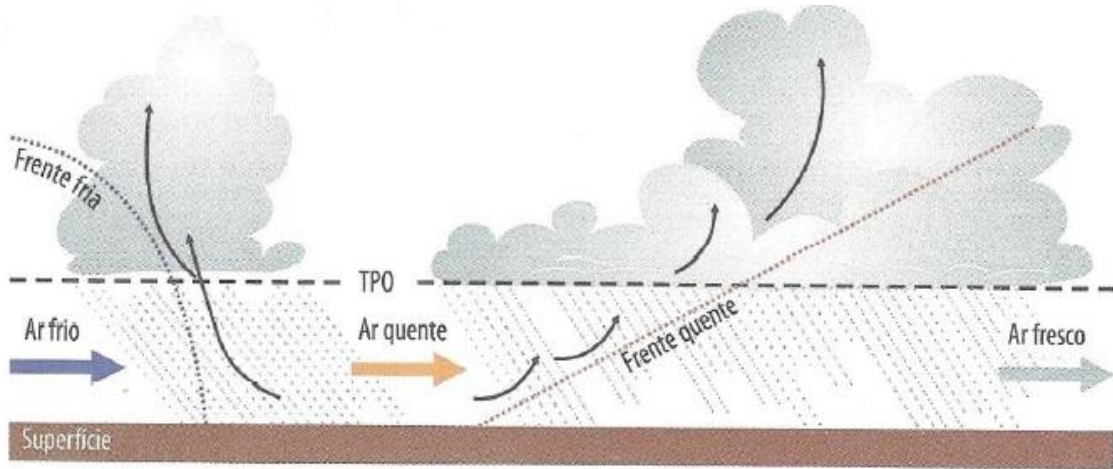
3.2 Tipos de Chuvas

Em Hidrologia, a precipitação é definida como toda a água proveniente da atmosfera que atinge a superfície terrestre. Neblina, chuva, granizo, saraiva, orvalho, geada e neve são exemplos de múltiplas formas de precipitações, diferenciando-se principalmente pelo estado em que a água se encontra. A quantificação do volume de precipitação numa bacia hidrográfica durante o ano configura-se em fator determinante para medir a necessidade de irrigação de culturas e, também, a disponibilidade desse recurso para o abastecimento público de água, por exemplo. Determinar a intensidade na qual ocorre a precipitação é fator importante para o controle de inundação e da erosão de solos (BERTONI e TUCCI, 1993).

As precipitações atmosféricas são classificadas mediante as condições climáticas momentâneas, resultantes do movimento ascensional das massas de ar (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007). Desta forma, o rápido resfriamento de grandes massas de ar pode ser produzido de forma ciclônica, convectiva ou orográfica.

As chuvas frontais ou ciclônicas são originadas através da ascensão forçada do ar úmido ao longo das frentes, de acordo com a Figura 2. Normalmente a intensidade e duração dessas chuvas são influenciadas pelo tempo de permanência da frente local, pelas diferenças de temperatura e velocidade entre elas, e pelo teor de umidade contida nas massas de ar (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007). Podem atingir grandes áreas com baixa intensidade, maior duração e gerar violentas descargas elétricas, resultando em alguns casos, inundações em grandes bacias (LEAL, 2016).

Figura 2 – Esquema de ocorrência das chuvas Frontais ou Ciclônicas



Fonte: MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007.

As chuvas convectivas, também conhecidas como chuvas de origem térmica, são resultantes do forte aquecimento do ar úmido na superfície terrestre, dando origem ao surgimento de camadas de ar com diferentes densidades, ocasionando estratificação térmica da atmosfera em equilíbrio estável. Esse chamado equilíbrio é quebrado quando as massas de ar ao subirem na atmosfera são resfriadas, de modo que ocorre a condensação do vapor resultante na precipitação. Caracterizadas por serem de curta duração e grande intensidade, ocorrem geralmente em pequenas áreas, com frequentes descargas elétricas (LEAL, 2016), conforme ilustrado na Figura 3.

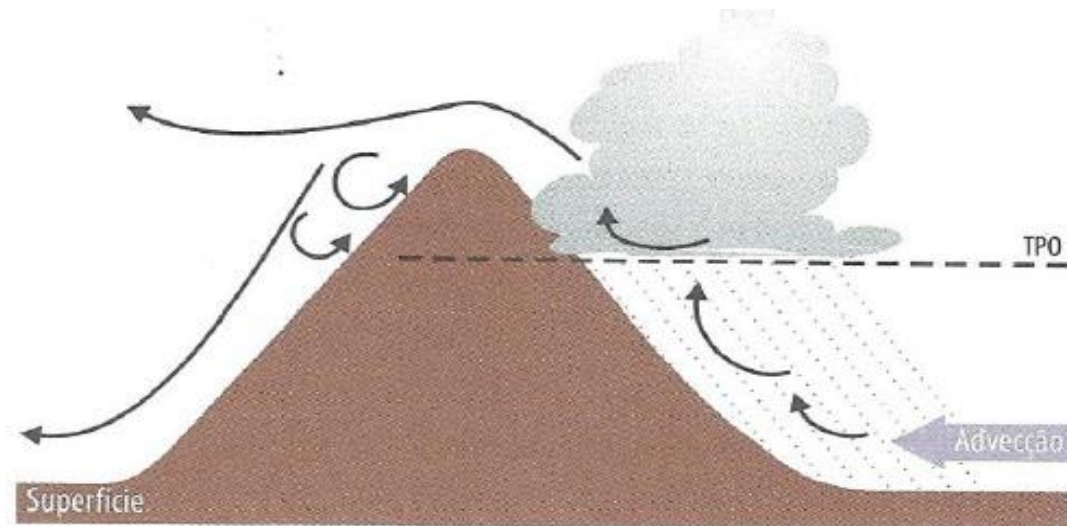
Figura 3 – Esquema de ocorrência das chuvas Convectivas



Fonte: MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007.

As chuvas de relevo ou orográficas recebem essa denominação exatamente pela influência significativa da ação física do relevo, que atuam como barreira topográfica à advecção livre do ar, forçando sua subida e posterior resfriamento (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007). A precipitação ocorre quando correntes de ar úmido provenientes dos oceanos são forçadas a contornar uma barreira natural do continente. São chuvas que abrangem pequenas áreas, possuem intensidade de média a alta, características de duração média a curta, sem descargas elétricas (CARVALHO, 2006). Esse tipo de precipitação está esquematizado na Figura 4.

Figura 4 – Esquema de ocorrência das chuvas Orográficas



Fonte: MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007.

3.3 Região Norte

Caracterizada pela maior extensão territorial do país, a Região Norte possui área de 3.853.676,948km², cobrindo cerca de 45,25% do território nacional, formada pelos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins. Ao norte da região encontra-se o Maciço das Guianas e o Planalto Central ao sul. A região é dominada por um dos mais importantes ecossistemas do mundo: a Amazônia (IBGE, S/d).

A Floresta Amazônica tem influência direta no clima mundial, e em especial na Região Norte, parcela importante do território brasileiro que a abriga. Com valores médios de precipitação

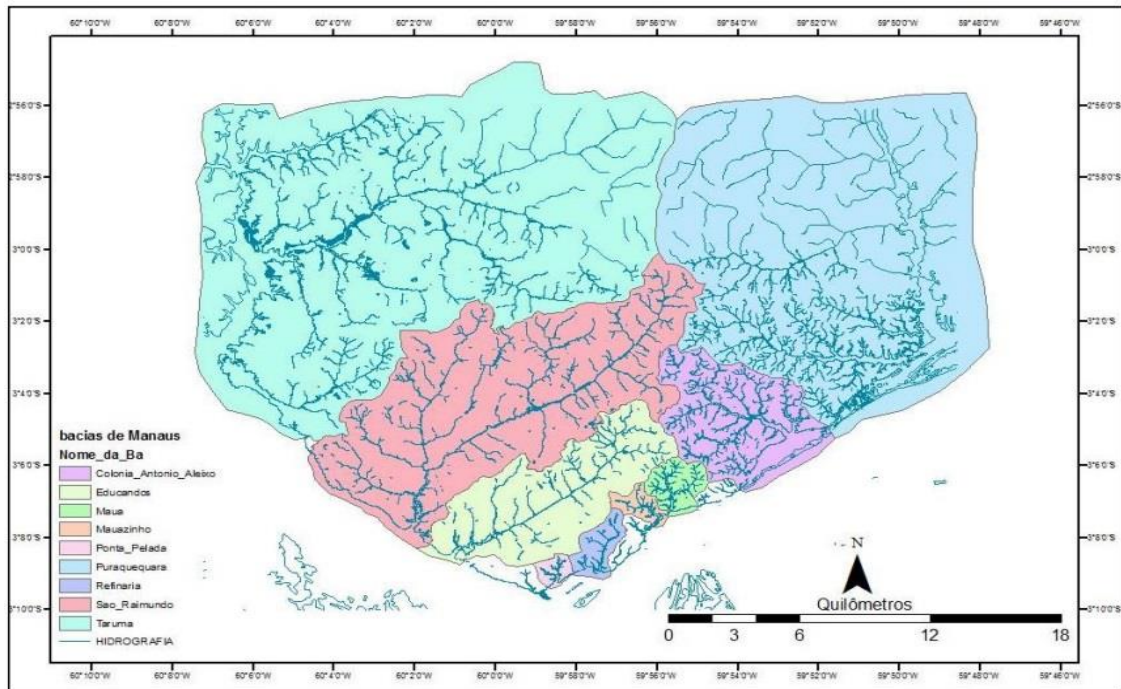
anual na casa dos 2.000 a 2.200 mm, os altos índices de pluviosidade estão intimamente ligados às chuvas de origem convectiva, garantindo longos períodos de precipitação intensa (LEIVAS et al, 2009). Graças a essas características e a presença da Amazônia, a Região Norte possui o clima mais úmido do país.

Considerado o maior estado brasileiro em extensão territorial, o Amazonas possui quase a totalidade de sua área pertencente à referida Floresta Amazônica, e por diversos rios que tornam o estado rico em bacias hidrográficas. Por ser cortado pela Linha do Equador ao norte, o estado possui clima úmido com altas temperaturas e elevados índices pluviométricos. Sua maior cidade, e também capital, é o município de Manaus/AM, conhecida popularmente como “Metrópole da Amazônia”, já que constitui o portão de entrada da maior reserva ecológica do mundo, contando com população estimada de 2 145 444 habitantes (IBGE, 2018). De acordo com o modelo de Köppen-Geiger, embora o clima predominante no Amazonas seja o Equatorial, a cidade de Manaus/AM possui clima Tropical Úmido.

Banhado, sobretudo pelo baixo curso de um dos maiores rios do mundo, o Rio Negro é o principal agente de drenagem do município de Manaus/AM, que conta com altos níveis de precipitação, variando de 1.800 mm a 2.200 mm anuais, nas áreas de menor precipitação, e entre 3.500 mm a 4.000 mm anuais nas áreas mais úmidas (SALATI, 1983). Tudo isso se deve ao clima Tropical Úmido, que garante chuvas intensas de novembro a maio e menores precipitações de julho até setembro, com sazonalidade bem definida ao longo ano, temperaturas típicas e chuvas não uniformes, caracterizando os períodos de verão e inverno, respectivamente (PINTO et al, 2009). Com altitude média inferior a cem metros, o relevo de Manaus/AM configura-se em planícies de inundação, terraços fluviais e erosivos, igapós e baixos planaltos de topos planos (SARGES et al, 2011), que, aliado as altas temperaturas, garante a existência de chuvas principalmente convectivas.

A bacia hidrográfica da cidade de Manaus/AM está representada na Figura 5.

Figura 5 – Bacia hidrográfica do município de Manaus/AM



Fonte: MACENA e COSTA, 2012.

De acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016), o sítio urbano de Manaus/AM possui o maior Produto Interno Bruto (PIB) entre as Regiões Norte e Nordeste, contabilizando aproximadamente 89 bilhões de reais no ano de 2016. Também possui a maior renda per capita dos municípios amazonenses, fazendo parte da sua economia os diversos nichos de indústrias, tais como as petroquímicas, eletrônicas, naval e metalúrgica, bem como os setores de comércio, serviços e turismo.

3.4 Instrumentos Meteorológicos

Para a realização de qualquer estudo científico atmosférico são necessárias observações, experiências e métodos científicos de análise de fenômenos como requisitos básicos ao ramo da meteorologia. De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, S/d), adquirir conhecimentos relativos aos processos atmosféricos é o principal objetivo dessa ciência, tornando fator importante à determinação dos parâmetros que envolvem as precipitações, por exemplo. As análises feitas em estações meteorológicas variam de acordo com a necessidade de informações que o usuário precisa, e com a obtenção de dados relativos à previsão do tempo, como temperaturas máximas e mínimas da atmosfera, bem como dados mais

específicos, tais como umidade relativa do ar, velocidade e direção dos ventos, e pressão atmosférica (GARCEZ, 1988).

Juntamente com os diversos parâmetros meteorológicos de análise, a avaliação do regime de precipitações de uma localidade é realizada através de instrumentos de medição reunidos em estações meteorológicas, que em conjunto distribuídas sob a mesma região, formam as redes de estações. No caso das intensidades das precipitações, a medição ocorre principalmente por meio de pluviômetros e pluviógrafos que, respectivamente, fornecem dados relativos às alturas pluviométricas e intensidade de precipitação e, de forma complementar, através da utilização de radares meteorológicos, são caracterizados e identificados os tipos de chuvas ocorrentes (PORTO et al, 2000). De acordo com Tucci (2002), a altura pluviométrica (h) é a unidade correspondente, em milímetros, à espessura da lâmina d'água precipitada que recobre uma determinada área atingida pela chuva.

Para efeito, a intensidade de precipitação expressa a relação entre a altura pluviométrica (h) e o intervalo de tempo correspondente a duração da precipitação (t), usualmente empregada em mm/h ou mm/min (LEAL, 2016), conforme segue a Equação 1.

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

O número de postos de medição meteorológico varia com a localidade e a distribuição da precipitação sob a mesma. Estes postos subdividem-se em redes fundamentais ou regionais, de acordo com o interesse nos dados a serem obtidos de cada região. Segundo Garcez (1988) e Leal (2016), as redes fundamentais coletam informações relacionadas ao regime pluviométrico de um Estado ou País, enquanto as redes regionais coletam informações para estudos específicos em uma bacia hidrográfica, variando de acordo com aspectos característicos da mesma. Vale ressaltar que as redes fundamentais são as mais comuns em áreas urbanas no Brasil, sendo normalmente compostas por pluviômetros e um número reduzido de pluviógrafos.

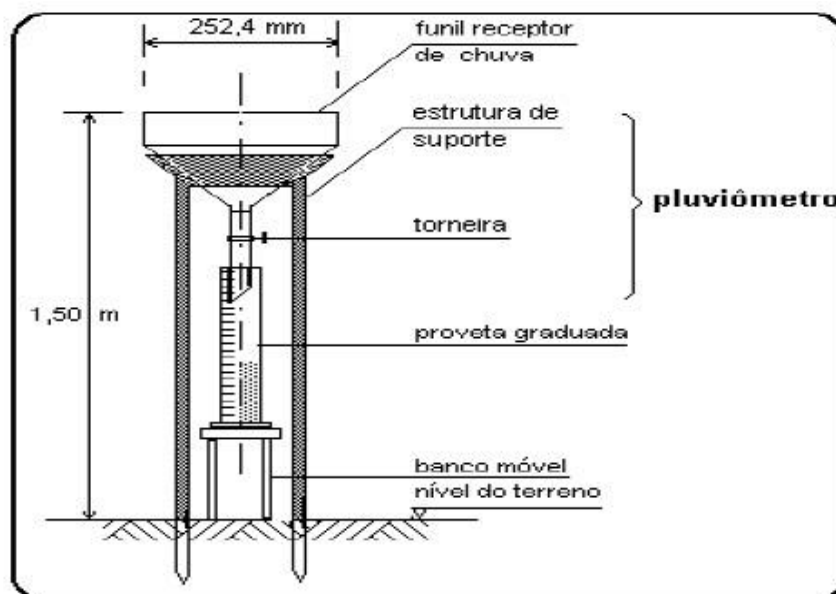
3.4.1 Pluviômetro

O pluviômetro consiste em um aparelho meteorológico que mede a altura da precipitação pluvial em milímetros, durante determinado tempo e local (INMET, S/d). Segundo Leal (2016), este aparelho consiste em um reservatório cilíndrico de fundo cônico e torneira para esgotamento, acoplado a um receptor em formato de funil com bordas que permitem diminuir e/ou evitar a evaporação da chuva acumulada. Somada a esses componentes, inclui-se uma proveta graduada necessária para medir o volume de precipitação.

A técnica para recolhimento da água precipitada é simplória, fornecendo alturas pluviométricas diárias ou a média de doze horas. A observação dos dados é feita normalmente no intervalo de uma a duas vezes por dia, em horários pré-estabelecidos. Vale destacar que as dimensões desses instrumentos devem sempre ser padronizadas, de forma que permita a comparação entre os dados obtidos em diferentes estações meteorológicas (GARCEZ, 1988).

A Figura 6 traz o esquema ilustrativo de um pluviômetro.

Figura 6 – Esquemática de um pluviômetro



Fonte: LEAL, 2016.

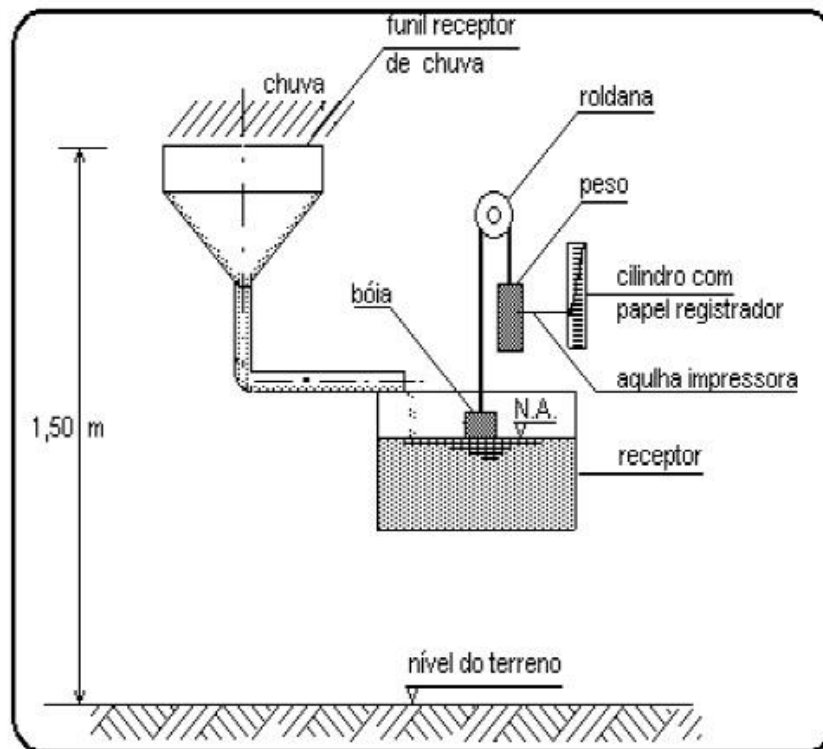
3.4.2 Pluviógrafo

O pluviógrafo consiste em um aparelho meteorológico que registra automaticamente a altura da precipitação pluvial em milímetros, bem como a duração da mesma (INMET, S/d). De acordo com Leal (2016), estes aparelhos são usados quando é necessário saber, de forma direta, as variadas intensidades de precipitação, que são definidas como a relação entre a altura pluviométrica e o intervalo de duração da chuva. O mecanismo de um pluviógrafo assemelha-se a um relógio: ocorre o movimento de rotação em um cilindro envolvido por papel graduado, sob o qual desliza uma pena capaz de grafar a altura de precipitação registrada. Toda a água precipitada é armazenada temporariamente em um receptor de dimensões padronizadas.

Através do aparato descrito acima, as diversas intensidades de precipitação medidas são conhecidas em menor tempo se comparado às observações manuais, graças à sua automatização. Cada dado obtido deve ser analisado, e se identificadas falhas, as mesmas devem ser preenchidas. Importante destacar que o equipamento precisa estar constantemente calibrado, assim evitando problemas nas medições (STUDART, 2004).

Segundo Leal (2016), os pluviógrafos mais usuais no Brasil são os do tipo cuba-basculantes, o tipo balança e o tipo boia ou flutuador. Na Figura 7, o pluviógrafo representa o modelo Hellmann-Fuess, exemplo do tipo boia.

Figura 7 – Esquemática de um pluviógrafo do tipo bóia



Fonte: LEAL, 2016.

3.4.3 Radar Meteorológico

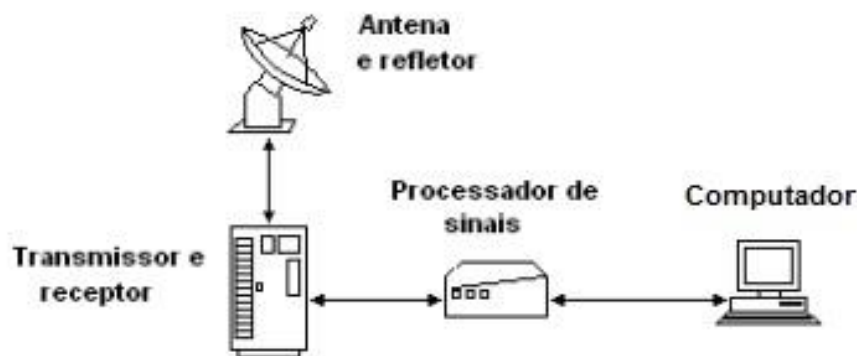
De acordo com as definições do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC, S/d), radares meteorológicos são equipamentos eletrônicos utilizados para a detecção de fenômenos à distância, de acordo com os sinais eletromagnéticos por eles refletidos. Esses radares funcionam como auxiliares na obtenção de dados por pluviômetros e pluviógrafos, de forma a minimizar os possíveis erros de medição através da combinação. Vale ressaltar que a representatividade espacial é apenas obtida com o uso dos radares (PEREIRA e CRAWFORD, 1995).

O princípio de funcionamento desses equipamentos consiste na aplicação de ondas eletromagnéticas de alta energia, que ao passarem por uma nuvem provocam ressonância em cada gota existente, provocando novas ondas eletromagnéticas que irradiam em todas as direções. Parcela dessa energia retorna ao radar, determinando a distância ao alvo e o tamanho

e distribuição das gotas (CPTEC, S/d). A principal descoberta com o uso desses aparatos é de como as células de chuva são formadas e distribuídas em determinadas regiões.

Cada radar meteorológico necessita ter um *software*, cada vez mais atualizado, que permita o tratamento do enorme número de dados de refletividade obtidos, garantindo em tempo real a geração do mapa de chuva a um nível de altura constante (Figura 8). Portanto, faz-se extremamente necessário o monitoramento da qualidade dos dados obtidos através dos radares, visto que o equipamento é sensível e pode descalibrar facilmente.

Figura 8 – Esquemática de um radar meteorológico



Fonte: Adaptado de QUEIROZ, 2008.

3.5 Relação IDF: Intensidade-Duração-Frequência das Precipitações

O conhecimento acerca das precipitações máximas e suas ocorrências são de suma importância em projetos de engenharia na área de hidráulica, visto que as mesmas são entendidas como um fenômeno de ocorrência extrema e de grande impacto em uma região ou bacia hidrográfica, responsáveis por inundações de áreas rurais e, principalmente urbanas (SOUSA e SILVA, 1998).

Segundo Gonçalves (2011), a precipitação de projeto qualifica a variação temporal das chuvas máximas, bem como suas probabilidades de ocorrência: quanto maior a intensidade, menores são as chances de ocorrência do evento. Assim, as precipitações intensas e de curta duração compõem o tipo de chuva que mais contribui para a formação de vazões significativas em

uma bacia de drenagem urbana. As chamadas chuvas de projeto são àquelas responsáveis pelo máximo evento hidrológico da rede.

A fim de proporcionar êxito nas obras de drenagem, o conhecimento do comportamento da precipitação permite o cálculo de vazão máxima para seu dimensionamento correto. De posse das informações hidrológicas obtidas, é possível relacionar a série de dados pluviais estatísticos (BERTONI e TUCCI, 1993) com modelos matemáticos existentes que descrevem características da precipitação, tais como as relações de intensidade, duração e frequência (IDF).

As relações IDF podem ser obtidas por diferentes métodos, conduzindo à obtenção das intensidades máximas das precipitações, em determinada duração e tempo de retorno. Essas equações variam em intervalos de tempo e, portanto, precisam ser atualizadas com o passar dos anos. Graças ao aumento dos bancos de dados pluviométricos, as relações podem sofrer mudanças significativas, por serem formadas por variáveis estocásticas (SILVA e ARAÚJO, 2013).

Variando de acordo com o objetivo do estudo e tamanho da série, a análise a respeito do banco de dados pluviométricos disponíveis pode ser realizada através de séries históricas de durações anuais ou parciais. As séries anuais visam selecionar as maiores precipitações anuais de duração pré-estabelecida para estudo, utilizando as alturas pluviométricas máximas de cada ano de observação (TUCCI, 2012). Em contrapartida, as séries parciais objetivam estudos de séries com extensão de poucos anos, normalmente inferior a 12 anos, e com tempos de retorno menores que cinco anos, considerando as alturas pluviométricas acima de um valor pré-fixado, independente do ano de observação (WILKEN, 1978). Além das supracitadas, na série total são utilizadas todas as alturas pluviométricas disponíveis.

Independente da série escolhida e através da relação IDF, os dados gerarão curvas correspondentes aos períodos de retorno das precipitações, onde se relacionam as intensidades médias máximas com suas respectivas durações. Para facilitar o entendimento, a forma genérica de representação dessas equações segue a Equação 2, onde i representa a intensidade em mm/hora, TR o tempo de retorno expresso em anos, t a duração da chuva em minutos, e a ,

b , c e d representam parâmetros específicos de cada localidade ou estação de medição (TUCCI, 2012).

$$i = \frac{a * TR^b}{(t + c)^d} \quad (2)$$

Vale destacar que o tempo de retorno ou recorrência (TR) da precipitação, é definido como o período em que uma chuva de intensidade e duração características será igualada ou superada pelo menos uma vez. Sua unidade é expressa em anos, e o mesmo pode ser determinado como o inverso da frequência (F), e vice-versa, conforme mostra a Equação 3 (LEAL, 2016).

$$TR = \frac{1}{F} \quad (3)$$

No Brasil, mesmo quando existem disponíveis dados de monitoramento das chuvas medidos através de pluviógrafos, ainda existe baixa densidade desses instrumentos nas redes, dificultando os registros pluviográficos das chuvas e a obtenção das relações intensidade-duração-frequência de certas localidades (SILVA e ARAÚJO, 2013). Para tal, métodos simplificados auxiliam na construção de tais equações, permitindo ampliar os conhecimentos na área.

3.6 Métodos Aplicados para Obtenção das Relações IDF

A obtenção das relações IDF pode seguir diversas metodologias, das mais simples, que utilizam fundamentos físico-teóricos, até as mais difíceis, por meio de formulações matemáticas complexas. Essas relações variam de acordo com o instrumento meteorológico de medição usado no registro dos dados de chuvas do local, podendo ser através de pluviógrafos ou pluviômetros. Para o primeiro, as equações provêm da análise estatística de uma longa série de dados pluviográficos locais, enquanto que para o segundo, elas são obtidas quando existem apenas dados de chuvas de um dia dados fornecidos por pluviômetros (LEAL, 2016).

As metodologias para obtenção das relações IDF, a partir de dados fornecidos por pluviômetros tornam-se simplificadas, haja vista sua facilidade de manipulação. Embora não

sejam consideradas alterações de permeabilidade da bacia durante a ocorrência de chuvas para métodos simplificados a equação, ou relação, obtida para um determinado local não pode caracterizar outro, já que constituem regiões distintas (FERNANDES, 2002).

De acordo com Leal (2016), para as regiões onde os únicos dados disponíveis são as chuvas de um dia, é importante o auxílio de procedimentos que, a partir dessas, relacione-as com as chuvas de 24 horas e posteriormente com as chuvas de curta duração. Ainda segundo o autor, em relação a períodos de recorrência menores que os anos de observação, o valor calculado para a probabilidade de ocorrência das chuvas aproxima-se bem do tempo de retorno. Portanto, para tal, é possível utilizar-se da metodologia conhecida como Método Kimbal, sem necessidade de se ajustar as leis probabilísticas.

É válido destacar que a metodologia escolhida para obtenção da relação IDF, através de dados pluviométricos para áreas de drenagem até 25km², reúne os valores das alturas pluviométricas da série selecionada em ordem decrescente. Para tanto, define-se para cada evento considerado independentemente do tipo de série em utilização, um número de ordem (m), a posição de plotagem ou frequência (p) e o período de retorno (TR) da chuva (LEAL, 2016).

Segundo Fathy (2014), são quatro os métodos mais utilizados para definir o tempo de recorrência, que geralmente são de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos, entre eles: Método Kimbal, Califórnia, Hazen e Gumbel, de acordo com as Equações 4, 5, 6 e 7.

○ Método Kimbal:
$$TR = \frac{N+1}{m}(4)$$

○ Método Califórnia:
$$TR = \frac{N}{m}(5)$$

○ Método Hazen:
$$TR = \frac{N}{m-0,5}(6)$$

○ Método Gumbel:
$$TR = \frac{N}{m+c-1}(7)$$

Nas quais TR , N , m e c são, respectivamente, tempo de retorno; número de anos de observações; número de ordem na série; e fator de correção de Gumbel.

Conforme anteriormente mencionado, há estreita afinidade entre as alturas pluviométricas das chuvas máximas de um dia, posteriormente com as de 24 horas, e em seguida com as chuvas de curta duração. As duas primeiras foram relacionadas após estudo realizado pelo Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo, aonde se abrangeu dados pluviométricos e pluviográficos no período de 1928 a 1965 (CETESB, 1986). Os resultados revelaram relação quase constante entre as alturas pluviométricas de um dia e de 24 horas, independente do período de retorno, com valor médio adimensional de 1,14.

Posteriormente, foi feito estudo a fim de relacionar as chuvas de curta duração, realizado por Otto Pfafstetter em 1957 pelo Departamento Nacional de Obras e Saneamento, analisando curvas IDF obtidas em 98 postos de medição. Segundo o autor da pesquisa, os coeficientes encontrados correspondem a médias nacionais, pelos quais pode-se obter as alturas pluviométricas das chuvas de 24 horas a partir da altura de precipitação máxima das chuvas de um dia, e essas, por sua vez, permitem a obtenção das alturas pluviométricas de chuvas de curta duração.

A Tabela 1 ilustra os coeficientes de desagregação para diferentes durações de chuva obtidos por Pfafstetter (1957), e compilados por CETESB (1986).

Tabela 1 - Relações entre chuvas de curta duração através dos coeficientes de desagregação

Relações entre alturas pluviométricas	Coefficientes de desagregação
5min/10min	0,34
10min/30min	0,54
15min/30min	0,70
20min/30min	0,81
25min/30min	0,91
30min/1h	0,74
1h/24h	0,42
6h/24h	0,72
8h/24h	0,78
10h/24h	0,82
12h/24h	0,85
24h/1dia	1,14

Fonte: CETESB, 1986.

4 METODOLOGIA

4.1 Método Kimbal

De acordo com Sturdat (2014), os estudos hidrológicos de cidades que não possuem equações que relacionem intensidade com a duração e a frequência de suas precipitações, poderão utilizar-se de outros métodos a fim de sua obtenção, respeitando cada duração e período de retorno das chuvas intensas. Assim sendo, e conforme apresentado anteriormente, o Método Kimbal fornece valores reais próximos da probabilidade de ocorrência de um evento, para tempos de retornos menores do que o número de anos de observação. Ademais, pela não necessidade de se ajustar às leis probabilísticas, este trabalho utiliza-se de tal metodologia para o desenvolvimento da Equação de intensidade-duração-frequência das chuvas intensas de Manaus/AM.

Para a construção da relação IDF através desta metodologia, alguns passos devem ser seguidos. A primeira etapa consistiu na seleção do tipo de série a ser utilizada, a partir da base de dados pluviométricos disponíveis. Neste trabalho, optou-se pela série de máximas anuais, já que existe para a cidade alvo do trabalho um longo período de observação. Através da escolha do método, a segunda etapa consistiu na ordenação decrescente das maiores alturas pluviométricas das chuvas de um dia obtidas para cada ano de observação, totalizando 58 anos. Feita a tabulação dos valores de precipitação máxima anual, foi necessário atribuir um número de ordem (m) para cada uma das alturas, e posteriormente inseri-las no formato de tabela no *Software* EXCEL, configurando o terceiro passo.

A quarta etapa versou a respeito do cálculo da probabilidade acumulada (p) ou frequência com que cada evento foi igualado ou superado, conforme ilustra a Equação 8:

$$p = \frac{m}{n + 1} \quad (8)$$

Na qual:

- m : corresponde à posição de cada um dos valores na ordenação decrescente de precipitação;
- n : é o número de eventos observados que, no presente trabalho, totalizaram 58 eventos.

Através da Equação 9, a quinta etapa determinou o tempo de retorno (TR), em anos, para cada altura pluviométrica.

$$TR = \frac{1}{p} \quad (9)$$

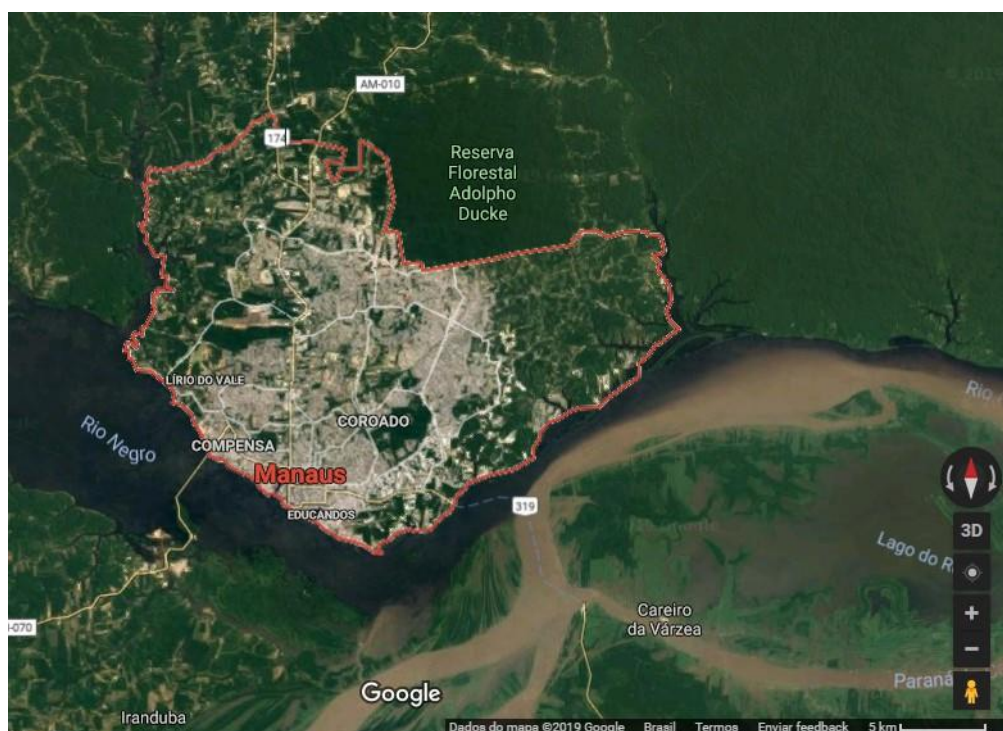
A sexta etapa consistiu na geração, a partir do *Software* EXCEL, das curvas de frequência para chuvas de um dia para diferentes tipos regressão, através da plotagem dos pares tempo de retorno (TR) ou probabilidade acumulada (eixo x) e altura pluviométrica da chuva de um dia (eixo y). Após a geração das curvas mencionadas, na sétima etapa optou-se por escolher a curva de frequência da regressão que mais se adaptou aos pontos da amostra.

A partir dos valores obtidos na curva de frequência selecionada para altura pluviométrica de chuva de um dia, nos períodos de retorno de 2, 5, 10, 20 e 50 anos, a nona e última etapa permitiu aproximar os valores de altura pluviométrica para chuvas de curta duração utilizando os coeficientes de desagregação de chuva, de acordo com a já apresentada Tabela 1.

4.2 Caracterização e dados pluviométricos do município

Manaus/AM é um município histórico e portuário, capital do estado do Amazonas, constituindo o principal centro urbano, financeiro, industrial e econômico da Região Norte brasileira. A cidade está localizada no centro da Floresta Amazônica, conhecida por microrregião do Médio Amazonas, e na mesorregião do Centro Amazonense (Plano Municipal de Saneamento Básico de Manaus-AM, 2014). Situada na confluência dos rios Negro e Solimões, a 2°57' e 3°10' de latitude Sul e 59°53' e 60°07' de longitude Oeste, Manaus/AM possui 11.458,5 km² de área territorial, com apenas 400 km² ocupados pela zona urbana, e densidade demográfica de 158,06 hab/km² (IBGE, 2010). A localização geográfica do município encontra-se demonstrada na Figura 9.

Figura 9 – Delimitação territorial do município de Manaus/AM



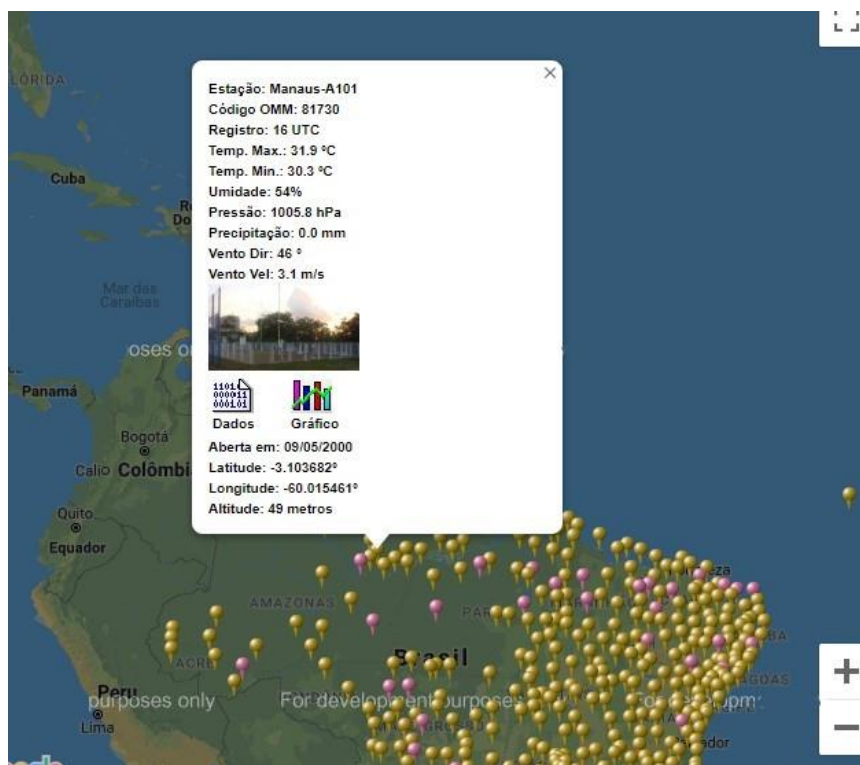
Fonte: Google Maps, 2019.

Segundo Macena e Costa (2012), o relevo da cidade é morfologicamente caracterizado por um baixo planalto argiloso-arenoso, seccionado por igarapés que abundam na cidade. Esses igarapés constituem as quatro principais bacias hidrográficas de Manaus/AM, contribuintes da Bacia Hidrográfica do Rio Negro, os quais são: igarapé São Raimundo e igarapé Educandos, localizadas no centro da cidade; e igarapé Tarumã-Açu e rio Puraquequara, parcialmente inseridas na malha urbana (Plano Municipal de Saneamento Básico de Manaus-AM, 2014).

Conforme abordado na seção 3.3., o clima do município é do tipo Tropical Úmido, segundo a classificação de Köppen-Geiger. Baseado no disposto, a temperatura média anual da cidade é de 26,7°C, com variações médias na faixa dos 23,3°C a 31,4°C, e umidade relativa do ar em torno de 80% (Plano Municipal de Saneamento Básico de Manaus-AM, 2014).

A fim de conhecer os diferentes aspectos climáticos do município, principalmente relativos aos dados de precipitação pluviométrica, Manaus/AM conta com uma estação meteorológica automática de domínio do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), situada a -3°10' latitude Sul e -60°01' longitude Oeste, à 61,25 metros de altitude, como mostra a Figura 10. Essa estação encontra-se em funcionamento desde janeiro de 1910, e é classificada pelo código OMM: 81730.

Figura 10 – Estação meteorológica automática do município de Manaus/AM



Fonte: INMET, 2019.

De acordo com informações disponibilizadas pelo INMET (2019), as estações meteorológicas automáticas são compostas por uma unidade de memória central, chamado de “data logger”, ligado a vários sensores que registram os diversos parâmetros meteorológicos de interesse, tais como a radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar, pressão atmosférica, direção e velocidade do vento, e também o parâmetro enfoque deste trabalho: precipitação. Em Manaus/AM, a estação mencionada está ilustrada na Figura 11.

Figura 11 – Vista da estação meteorológica automática de Manaus/AM



Fonte: INMET, 2019.

De posse das etapas descritas no item 4.1, o primeiro passo consiste na obtenção e diagnóstico da série de dados pluviométricos disponíveis pela estação meteorológica de Manaus/AM, a fim de construir a curva de intensidade-duração-frequência das chuvas máximas do município. A seleção desses dados foi possível através do site do INMET no domínio BDMEP, conhecido como Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa, com acesso exemplificado por meio da Figura 12.

Figura 12 – Instruções de acesso ao BDMEP através do site do INMET



Fonte: Arquivo do autor, 2019.

A tipologia da série escolhida no presente trabalho é a anual. Para tanto, foram selecionadas no domínio do BDMEP uma base de dados contendo as precipitações máximas diárias para cada ano de observação escolhidos anteriormente. A estação convencional do município de Manaus/AM foi inaugurada no ano de 1910, porém apenas os dados pluviométricos dos anos de 1961 a 2018 encontram-se digitalizados na plataforma do BDMEP, totalizando 58 anos de observação para o presente estudo. Vale ressaltar que a totalidade de anos selecionados possui registros das alturas pluviométricas diárias.

A Figura 13 ilustra a seleção de indicadores que forneceram a base de dados no intervalo selecionado.

Figura 13 – Instruções para obtenção da base de dados pluviométricos a partir do site do INMET

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO

SOBRE O INMET IMPRENSA MAPA DO SITE FALE CONOSCO

INMET Instituto Nacional de Meteorologia

Notas Técnicas Destques Semanais SIDAGRO

TEMPO CLIMA AGROMETEOROLOGIA APLICAÇÕES SATÉLITES ESTAÇÕES E DADOS INFORMAÇÕES

BDMEP

Dados Históricos

BDMEP - Série Histórica - Dados Diários

Período - Data início (dd/mm/aaaa) : 01/01/1961 fim : 31/12/2018

Região : Norte (OU) Estado : Amazonas

selecionar / variáveis :

- Precipitação(mm)
- Temp Máxima(°C)
- Insolação(horas)
- Evaporação do Piche(mm)
- Umidade Relativa Média(%)
- Temp Mínima(°C)
- Temperatura Compensada Média(°C)
- Velocidade Vento Média(mps)

Pesquisa

Fonte: Arquivo do autor, 2019.

A partir da base de dados diários gerada com a pesquisa, foi elaborado por meio do *software* EXCEL, uma planilha que compilou as datas correspondentes à maior altura pluviométrica registrada para Manaus/AM para cada ano de observação, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2 – Precipitações máximas anuais relativas às chuvas de 1 dia para Manaus/AM

Data	Precipitação Diária Máxima (mm)	Data	Precipitação Diária Máxima (mm)
08/04/1967	180,8	26/04/1993	105,2
08/03/1968	168,3	30/04/1974	105,1
15/01/1996	155	06/05/1997	105
20/04/2000	154,4	27/05/1991	104,5
23/03/1983	151	05/05/1963	103,1
08/03/1978	150,8	10/02/1962	100,2
28/02/1988	145,6	15/12/2006	97,4
05/04/2017	142	27/02/2001	96,9
22/04/2013	140	14/01/1995	96,2
22/02/2003	138,8	10/12/2002	90,8
08/03/2014	137	31/03/1981	90,4
21/10/1979	135,2	19/05/1969	87,8
27/04/1999	133,2	02/05/1984	87,4
21/12/2010	132,5	21/03/1985	87,2
01/11/1986	131,8	07/01/2012	85,2
09/03/1964	131	04/12/2018	83,7
16/03/1965	123,7	26/11/1980	82,7
09/04/1961	118,6	14/05/1973	81,4
21/11/2016	117,8	24/04/1987	80,6
18/03/2004	116,5	15/03/2008	78,4
30/04/2011	116,2	10/04/1972	75
11/02/1976	114	16/11/2009	72
03/04/1971	112,6	30/03/2005	71,2
24/03/2015	110,4	31/05/1990	71
26/02/1970	110,3	24/12/1998	69,2
06/11/1989	107,2	12/02/1977	66,8
23/11/1994	106,7	20/01/2007	65,4
16/03/1992	106,5	05/02/1975	64,2
18/04/1966	106,1	26/09/1982	58,4

Fonte: BMDEP *apud* INMET, 2019.

Conforme já explicado, o Método Kimbal fornece uma estimativa próxima dos valores reais das probabilidades acumuladas (p), as quais serão igualadas ou superadas, em relação aos seus tempos de retorno (TR) menores que os anos de observação do evento. Para tanto, através dessa metodologia, o maior tempo de retorno possível na construção da Equação IDF não pode exceder o período de observações.

Seguindo o fato de que foram observados 58 anos de dados pluviométricos no presente trabalho, foi definido o intervalo de 50 anos como período de retorno máximo para a relação intensidade-duração-frequência da cidade de Manaus/AM.

4.3 Desenvolvimento da Equação IDF através de *Software*

A obtenção da equação de intensidade-duração-frequência das chuvas máximas de uma cidade ou região pode ser realizada através de expressões matemáticas estatísticas e ferramentas computacionais, associadas à análise de uma longa base de dados pluviométricos e pluviográficos selecionados, registrados pelas estações meteorológicas, conforme já mencionado. Essas relações associam parâmetros de medição para a construção de curvas que fornecem valores da intensidade (i) máxima das precipitações em mm/hora, em função do tempo de retorno (TR) em anos e do intervalo de duração (t) da chuva em minutos, como mostra a Equação 10.

$$i = \frac{(K * TR)^m}{(t + b)^n} \quad (10)$$

Na qual as variáveis K , m , n e b representam as constantes de cada local.

De acordo com informações acerca do município de Manaus/AM disponíveis na literatura, foram encontrados dados referentes ao Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU) do município, contidos no Relatório Parcial da Etapa 2 realizado no ano de 2014, onde foi feito estudo para obtenção da Equação IDF da localidade, através da Metodologia de Gumbel citada na seção 3.6. Por meio deste método, foram também utilizados dados da mesma estação automática do INMET, juntamente com uma estação da ANA/ANEEL, totalizando os anos de 1927 até 2010, obtendo-se variáveis com valores explicitados na Equação 11:

$$i = \frac{(1280,038 * TR)^{0,18177}}{(t + 11)^{0,7703}} \quad (11)$$

Outros estudos acerca da Equação IDF de Manaus/AM também foram realizados por Monteiro e Braga (2018), através da ferramenta *Solver* pertencente ao *Software* EXCEL, funcionando como um teste de hipóteses baseada em programação matemática, a fim de obter os coeficientes da equação para a localidade. Através da definição dos tempos de retorno e

duração das precipitações, a ferramenta em questão estipula valores para as variáveis apresentadas na Equação 10, de forma a aproximar ao máximo os valores dos dados estipulados com a tabela de intensidade elaborada. Desse modo, os dados pluviométricos auxiliares para a obtenção dos parâmetros mencionados foram provenientes de uma estação operada pela ANA, no período de 1997 a 2016, originando a Equação 12:

$$i = \frac{(1102,276 * TR)^{0,115066}}{(t + 9,786324)^{0,724259}} \quad (12)$$

Porém, segundo Silva e Araújo (2013), as equações IDF não são estáticas ao longo do tempo, necessitando de atualizações com o passar dos anos, já que estão sujeitas a mudanças significativas. Por esse motivo, e também devido à ampliação da base de dados pluviométricos registrados pelas estações meteorológicas, métodos simplificados também podem ser aplicados para seu desenvolvimento.

O presente trabalho aplica a metodologia Kimbal a fim de se obter a relação intensidade-duração-frequência para a cidade de Manaus/AM, propondo também comparação com outras relações já existentes. Para tanto, foi necessário a utilização do *Software* PLUVIO 2.1, que fornece através de interpolação dos dados pluviométricos, as variáveis K , m , n e b .

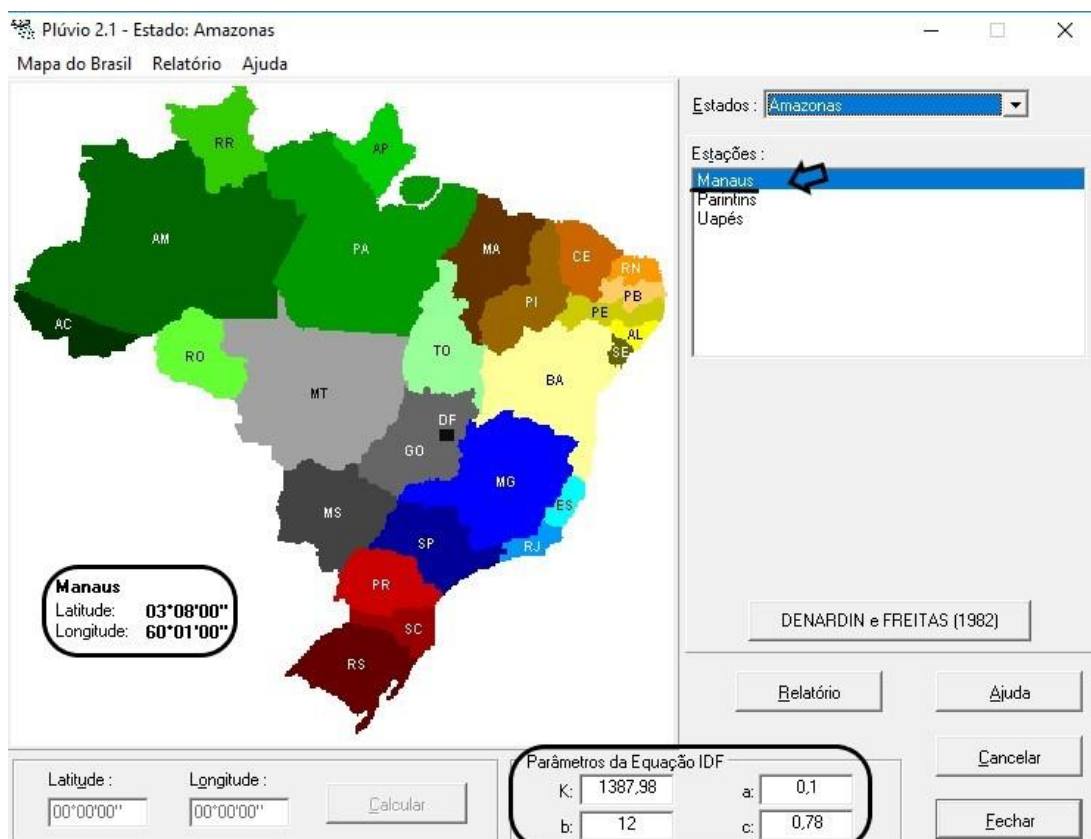
O *Software* PLUVIO 2.1 foi desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (DEA-UFV). Todos os estados brasileiros fazem parte de seu arcabouço de informações, porém somente algumas cidades encontram-se disponíveis para a geração das equações IDF, com base nos dados pluviométricos disponibilizados por essas estações locais. É importante salientar que, segundo o Relatório Final desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa (2008, p. 14):

[...] O *Software*, denominado PLUVIO 2.1, possibilita a obtenção da equação de chuvas intensas para qualquer localidade dos Estados de Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Bahia e Tocantins. Para os demais estados, permite sua obtenção apenas para as localidades onde já existem as equações.

O *Software* é capaz de tratar os dados referentes às precipitações máximas através do “Método do inverso da quinta potência da distância”, por representar a melhor das combinações existentes entre os tipos de interpolação na estimativa da intensidade máxima média de precipitação (CECÍLIO e PRUSKI, 2003). Ainda segundo os autores, o método citado apresenta os melhores resultados em comparação com os demais, gerando erro de apenas 19,37% nos testes realizados, considerado aceitável para a formulação das equações. Porém vale ressaltar que a interpolação realizada pelo PLUVIO 2.1 considera apenas os dados disponíveis a respeito das equações de chuvas intensas, desprezando o efeito da altitude do local e da presença de qualquer fator que influencie na precipitação, tais como, barreiras topográficas e represas.

Dessa forma, com base em todo o disposto referente às mudanças que sofrem as relações IDF, e utilizando-se do programa PLUVIO 2.1, foi escolhida a estação correspondente para o presente estudo, obtendo-se no ano de 2019, a equação das chuvas intensas do município de Manaus/AM, como mostra a Figura 14.

Figura 14 - Parâmetros da equação Intensidade-Duração-Frequência para Manaus/AM



Fonte: Arquivo do autor, 2019.

As variáveis K , a , b e c geradas pelo *Software* PLUVIO 2.1 correspondem, respectivamente, as chamadas variáveis K , m , b e n , pertencentes ao modelo base da equação IDF. Assim, a Equação 13 revela a forma em que ficou a relação intensidade-duração-frequência através dos valores gerados pelo *Software*.

$$i = \frac{1387,98 * TR^{0,1}}{(t + 12)^{0,78}} \quad (13)$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Obtenção da Curva intensidade-duração-frequência

Com base nos passos e metodologia apresentados para o Método Kimbal contidas na Seção 4.1, os dados pluviométricos registrados no domínio do INMET foram ordenados decrescentemente, retornando os valores das alturas pluviométricas e suas respectivas probabilidades de ocorrência, juntamente com os demais tempos de retorno pré-estabelecidos, conforme mostra a Tabela 3. Os números de ordem (m) seguiram o padrão crescente de 1 a 58, correspondente ao número de eventos selecionados, iniciando pela maior altura pluviométrica.

Tabela 3 – Ordenação das alturas pluviométricas e suas probabilidades correspondentes, em variados tempos de retorno

Ordem (m)	Ano de Observação	Precipitação Diária Máxima Anual (mm)	Probabilidade Acumulada (p)	Tempo de retorno (TR) (anos)
1	1967	180,8	0,017	59,00
2	1968	168,3	0,034	29,5
3	1996	155	0,051	19,67
4	2000	154,4	0,068	14,75
5	1983	151	0,085	11,80
6	1978	150,8	0,102	9,83
7	1988	145,6	0,119	8,43
8	2017	142	0,136	7,38
9	2013	140	0,153	6,56
10	2003	138,8	0,169	5,90
11	2014	137	0,186	5,36
12	1979	135,2	0,203	4,92
13	1999	133,2	0,220	4,54
14	2010	132,5	0,237	4,21
15	1986	131,8	0,254	3,93
16	1964	131	0,271	3,69
17	1965	123,7	0,288	3,47
18	1961	118,6	0,305	3,28
19	2016	117,8	0,322	3,11
20	2004	116,5	0,339	2,95
21	2011	116,2	0,356	2,81
22	1976	114	0,373	2,68
23	1971	112,6	0,390	2,57
24	2015	110,4	0,407	2,46
25	1970	110,3	0,424	2,36
26	1989	107,2	0,441	2,27

Tabela 3 – Continuação

Ordem (m)	Ano de Observação	Precipitação Diária Máxima Anual (mm)	Probabilidade Acumulada (p)	Tempo de retorno (TR) (anos)
27	1994	106,7	0,458	2,19
28	1992	106,5	0,475	2,11
29	1966	106,1	0,492	2,03
30	1993	105,2	0,508	1,97
31	1974	105,1	0,525	1,90
32	1997	105	0,542	1,84
33	1991	104,5	0,559	1,79
34	1963	103,1	0,576	1,74
35	1962	100,2	0,593	1,69
36	2006	97,4	0,610	1,64
37	2001	96,9	0,627	1,59
38	1995	96,2	0,644	1,55
39	2002	90,8	0,661	1,51
40	1981	90,4	0,678	1,48
41	1969	87,8	0,695	1,44
42	1984	87,4	0,712	1,40
43	1985	87,2	0,729	1,37
44	2012	85,2	0,746	1,34
45	2018	83,7	0,763	1,34
46	1980	82,7	0,780	1,28
47	1973	81,4	0,797	1,26
48	987	80,6	0,814	1,23
49	2008	78,4	0,831	1,20
50	1972	75	0,847	1,18
51	2009	72	0,864	1,16
52	2005	71,2	0,881	1,13

Tabela 3 – Continuação

Ordem (m)	Ano de Observação	Precipitação Diária Máxima Anual (mm)	Probabilidade Acumulada (p)	Tempo de retorno (TR) (anos)
53	1990	71	0,898	1,11
54	1998	69,2	0,915	1,09
55	1977	66,8	0,932	1,07
56	2007	65,4	0,949	1,05
57	1975	64,2	0,966	1,04
58	1982	58,4	0,983	1,02

Fonte: Arquivo do autor, 2019.

Com respeito à Tabela 3, algumas análises podem ser feitas a partir da série de dados ordenados referentes às máximas alturas pluviométricas para uma série anual, tais como a verificação da maior altura pluviométrica de chuva de um dia correspondente a 180,8 mm, observada no ano de 1967, ao passo que a menor altura registrada foi de 58,4 mm no ano de 1982. É notório destacar que, mesmo nas chamadas estações “secas”, o município de Manaus/AM possui durante os anos altos índices pluviométricos, responsáveis em sua maioria pelo clima local, conforme já explicado no item 3.3. deste estudo.

Constata-se ainda através dos dados da Tabela 3, que a média aritmética das alturas pluviométricas das chuvas máximas de um dia apresentou valor aproximado de 107,87 mm. Destaca-se que, para os eventos considerados, em torno de 43,1% dos dados encontram-se acima do valor médio das chuvas máximas de um dia. Essas precipitações, e seus respectivos anos e mês de ocorrência, estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Precipitação máxima anual acima da média das precipitações máximas

Mês de Observação	Ano de Observação	Precipitação Diária Máxima Anual (mm)
Abril	1967	180,8
Março	1968	168,3
Janeiro	1996	155
Abril	2000	154,4
Março	1983	151
Março	1978	150,8
Fevereiro	1988	145,6
Abril	2017	142
Abril	2013	140
Fevereiro	2003	138,8
Março	2014	137
Outubro	1979	135,2
Abril	1999	133,2
Dezembro	2010	132,5
Novembro	1986	131,8
Março	1964	131
Março	1965	123,7
Abril	1961	118,6
Novembro	2016	117,8
Março	2004	116,5
Abril	2011	116,2
Fevereiro	1976	114
Abril	1971	112,6
Março	2015	110,4
Fevereiro	1970	110,3

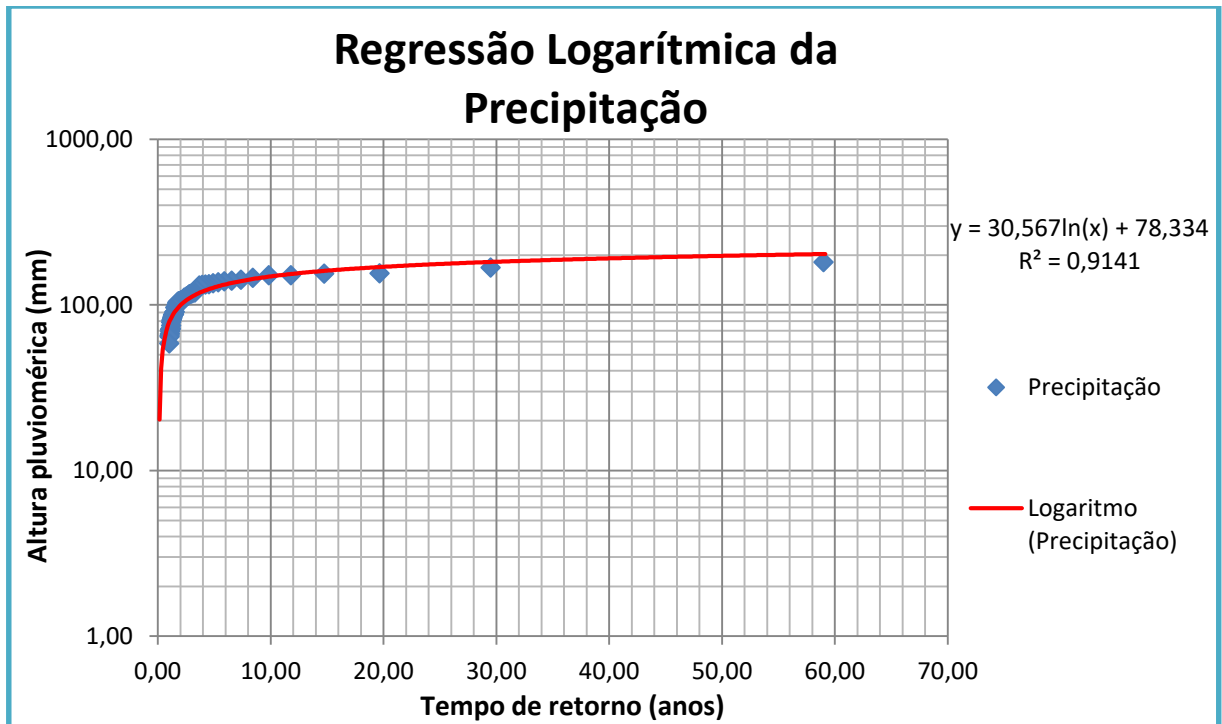
Fonte: Arquivo do autor, 2019.

A partir das informações provenientes das Tabelas 2 e 4, é possível constatar que as maiores alturas pluviométricas das precipitações máximas de um dia ocorreram entre os meses de outubro a março, época marcada pela numerosa ocorrência das chuvas intensas que assolam Manaus/AM, conforme descrito no item 3.3. Vale destacar que os meses de março e abril apresentaram maior recorrência na distribuição exposta na Tabela 3, tornando importante o monitoramento quando se deseja realizar o planejamento de obras, tais como de engenharia hidráulica e drenagem urbana.

Paralelo a essas análises, e ainda de acordo com a Tabela 2, dentre a série histórica de dados pluviométricos selecionados, cabe destacar que justamente no mês de setembro, em 1982, inserido na “época seca” da cidade, registrou-se o menor valor de precipitação máxima anual daquele ano, correspondente a 58,4 mm de chuva.

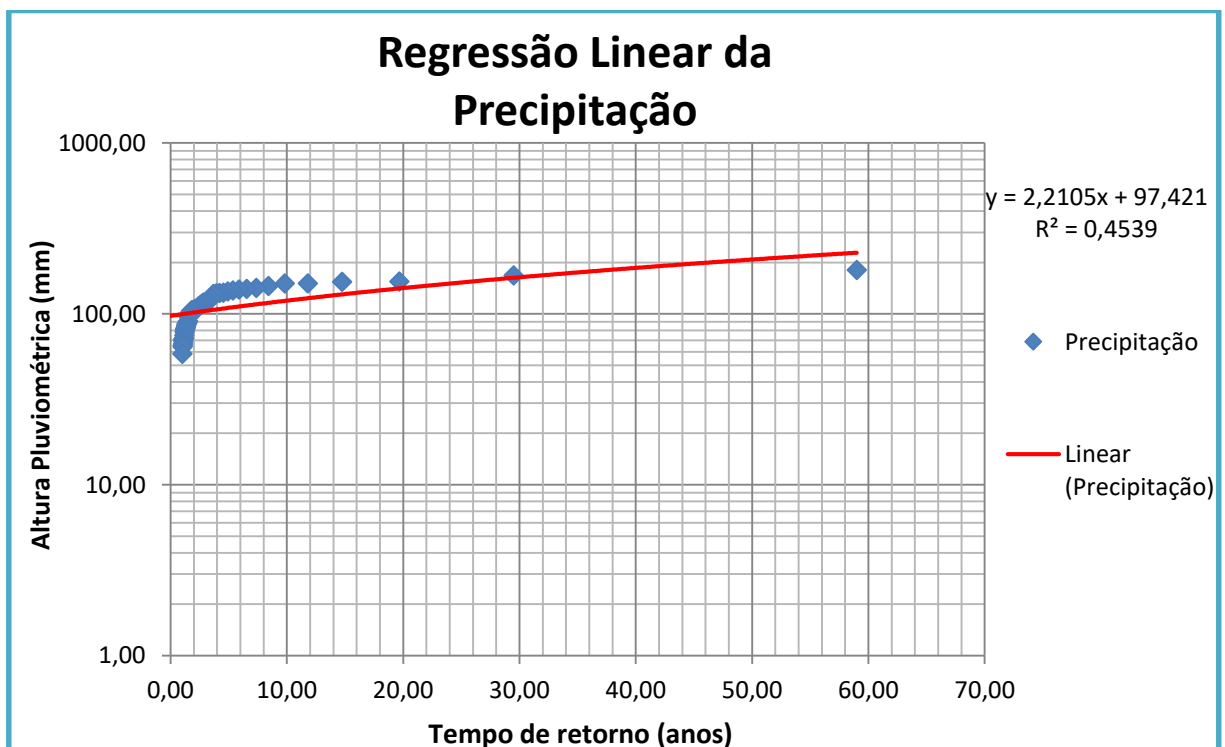
Baseada na série de dados escolhida e seus atributos, o Método Kimbal utilizado neste trabalho, mostrou-se adequado para representar as precipitações máximas anuais em função da distribuição de probabilidade, pelo fato de apresentar estimativas de precipitação dentro de um intervalo razoável de valores, tornando-se metodologia simplificada. No presente estudo, foram utilizados alguns tipos de regressões que permitem o ajuste da curva de frequência das chuvas de um dia, as quais são: regressão logarítmica, linear, potencial e exponencial. Para cada regressão foram geradas as respectivas equações que melhor se ajustaram aos dados de entrada. As Figuras 15, 16, 17 e 18 ilustram as regressões mencionadas.

Figura 15 – Regressão Logarítmica para precipitação de Manaus/AM



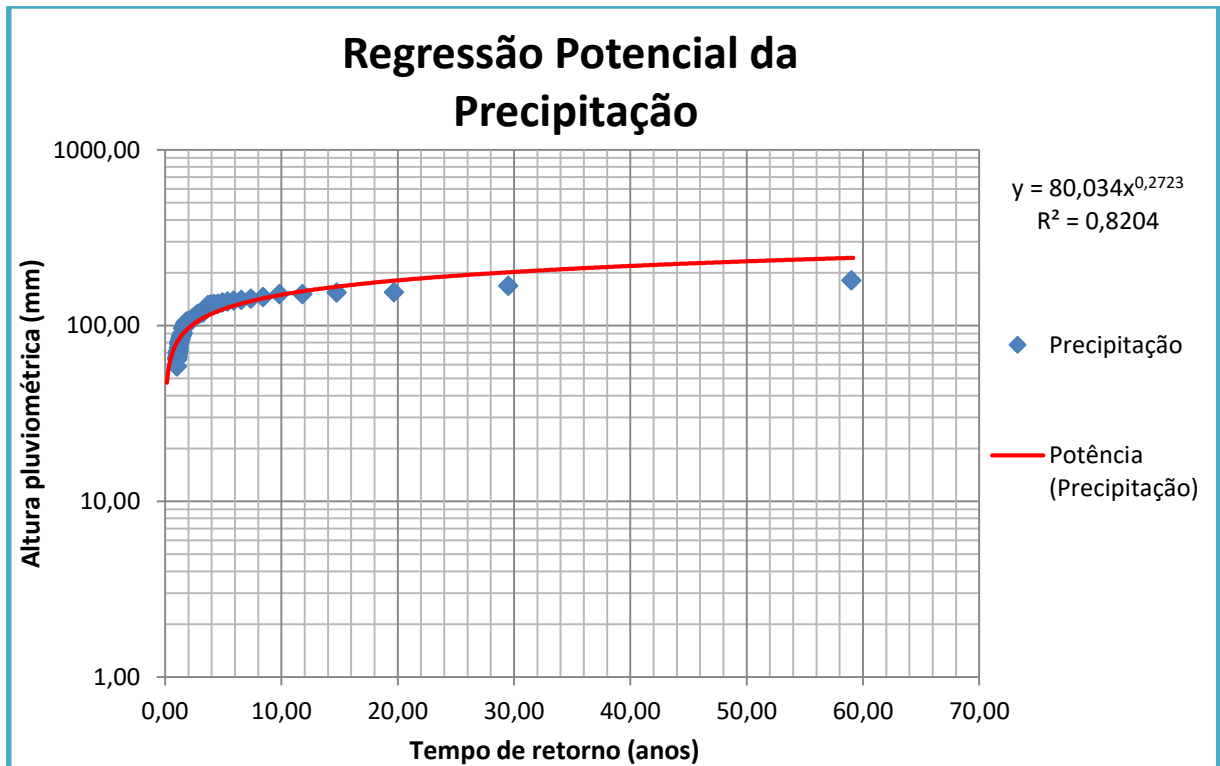
Fonte: Arquivo do autor, 2019.

Figura 16 - Regressão Linear para precipitação de Manaus/AM



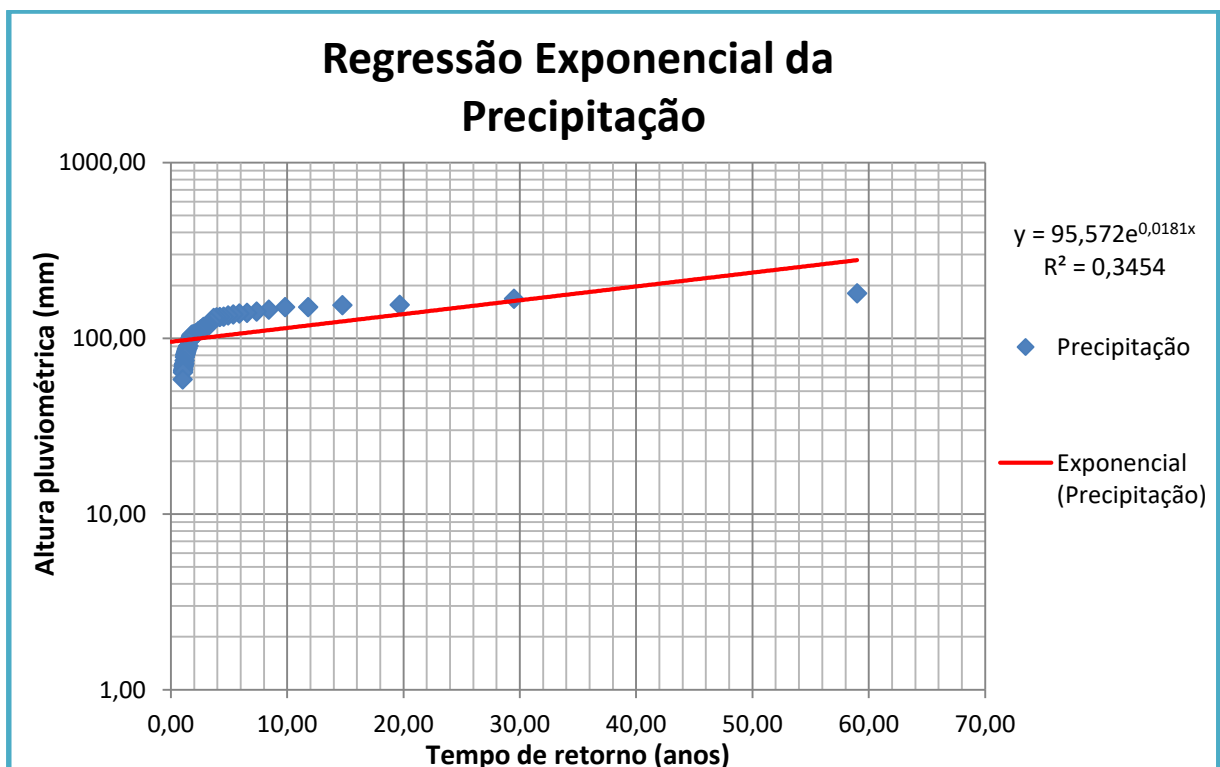
Fonte: Arquivo do autor, 2019.

Figura 17 - Regressão Potencial para precipitação de Manaus/AM



Fonte: Arquivo do autor, 2019.

Figura 18 - Regressão Exponencial para precipitação de Manaus/AM



Fonte: Arquivo do autor, 2019.

Analisando comparativamente os gráficos gerados através do *Software EXCEL*, nota-se que entre as regressões apresentadas, a curva de frequência de chuva de 1 dia que mais se ajusta aos pontos da amostra é proveniente da regressão logarítmica. Esse fato é comprovado pelo valor do coeficiente de determinação R^2 , já que o mesmo é o mais próximo de 1, proporcionando uma curva mais ajustada à tendência da base de dados. A Tabela 5 relaciona todos esses coeficientes em ordem decrescente, encontrados nas regressões analisadas.

Tabela 5 – Valor de R^2 para cada regressão

Tipo de Regressão	Valor de R^2
Logarítmica	0,9141
Potencial	0,8204
Linear	0,4539
Exponencial	0,3454

Fonte: Arquivo do autor, 2019.

Com base na curva gerada através da regressão logarítmica, foi possível estimar as alturas pluviométricas máximas anuais das chuvas de um dia para tempos de retorno iguais a 2, 5, 10, 20, 25 e 50 anos e suas respectivas probabilidades de ocorrência. A partir de então, aplicando-se os coeficientes constantes da Tabela 1, foi gerada a Tabela 6, a qual apresenta a relação intensidade-duração-frequência para o município de Manaus/AM. Através da mesma, percebe-se que os valores encontrados para altura pluviométrica da chuva de um dia aumentam à medida que o tempo de retorno aumenta. Mesmo sem garantir linearidade entre a variação dos valores encontrados, há possibilidade de obter valores aproximados para alturas pluviométricas em diferentes períodos de retorno e diferentes durações, por meio de interpolações simples.

Tabela 6 – Relação IDF: alturas pluviométricas máximas para diferentes tempos de retorno pelo Método Kimbal

DURAÇÃO	ALTURAS PLUVIOMÉTRICAS (mm)					
	PÉRIODOS DE RETORNO (anos)					
	2 (50%)	5 (20%)	10 (10%)	20 (5%)	25 (4%)	50 (2%)
5 min	11,989	15,363	17,915	20,468	21,289	23,842
10 min	19,041	24,400	28,454	32,508	33,813	37,866
15 min	24,683	31,630	36,885	42,139	43,831	49,086
20 min	28,562	36,600	42,681	48,761	50,719	56,800
25 min	32,088	41,119	47,950	54,781	56,980	63,812
30 min	35,262	45,185	52,692	60,199	62,616	70,123
1 hora	47,651	61,061	71,206	81,350	84,616	94,761
6 horas	81,687	104,676	122,067	139,458	145,056	162,447
8 horas	88,494	113,399	132,239	151,079	157,144	175,984
10 horas	93,033	119,215	139,021	158,827	165,203	185,009
12 horas	96,436	123,576	144,107	164,638	171,247	191,778
24 horas	113,454	145,384	169,538	193,691	201,467	225,621
1 dia	99,521	127,530	148,717	169,905	176,725	197,913

Fonte: Arquivo do autor, 2019.

A partir dos valores das alturas pluviométricas das chuvas de um dia obtidas pela regressão logarítmica da curva de frequência e aplicando-se os coeficientes de desagregação constantes da Tabela 1, foi possível construir a relação intensidade-duração-frequência (IDF) para a cidade de Manaus (Tabela 6). A seguir, considerando-se as alturas pluviométricas das chuvas de curta duração apresentadas na Tabela 6, é apresentada na Tabela 7 a relação IDF na forma de intensidades de precipitação.

Tabela 7 – Intensidades de precipitação máximas obtidas através do Método Kimbal

DURAÇÃO	INTENSIDADES DE PRECIPITAÇÃO (mm/h)					
	PÉRIODOS DE RETORNO (anos)					
	2 (50%)	5 (20%)	10 (10%)	20 (5%)	25 (4%)	50 (2%)
5 min	143,867	184,356	214,984	245,613	255,473	286,101
10 min	114,248	146,400	170,723	195,045	202,876	227,198
15 min	98,733	126,519	147,538	168,558	175,325	196,344
20 min	85,686	109,800	128,042	146,284	152,157	170,399
25 min	77,011	98,685	115,080	131,475	136,753	153,148
30 min	70,523	90,371	105,385	120,398	125,232	140,246
1 hora	47,651	61,061	71,206	81,350	84,616	94,761
6 horas	13,615	17,446	20,345	23,243	24,176	27,074
8 horas	11,062	14,175	16,530	18,885	19,643	21,998
10 horas	9,303	11,921	13,902	15,883	16,520	18,501
12 horas	8,036	10,298	12,009	13,720	14,271	15,981
24 horas	4,727	6,058	7,064	8,070	8,394	9,401

Fonte: Arquivo do autor, 2019.

Através da equação de chuvas intensas para a cidade de Manaus/AM obtida por meio do *Software* PLUVIO 2.1 e descrita no item 4.4 pela Equação 12, tornou-se possível a construção da Tabela 8, que apresenta intensidades de precipitação pela aplicação desta equação para as mesmas durações e períodos de retorno utilizados anteriormente pelo Método Kimbal.

Tabela 8 – Intensidades de precipitação obtidas através da equação de chuvas intensas geradas pelo *Software* PLUVIO 2.1

DURAÇÃO	INTENSIDADES DE PRECIPITAÇÃO (mm/h)					
	PÉRIODOS DE RETORNO (anos)					
	2 (50%)	5 (20%)	10 (10%)	20 (5%)	25 (4%)	50 (2%)
5 min	163,206	178,867	191,705	205,464	210,100	225,180
10 min	133,474	146,282	156,781	168,034	171,825	184,158
15 min	113,769	124,686	133,635	143,226	146,458	156,970
20 min	99,648	109,210	117,049	125,450	128,280	137,488
25 min	88,979	97,518	104,517	112,018	114,546	122,767
30 min	80,603	88,338	94,678	101,473	103,763	111,210
1 hora	52,938	58,018	62,182	66,645	68,149	73,040
6 horas	14,705	16,116	17,273	18,512	18,930	20,289
8 horas	11,824	12,958	13,888	14,885	15,221	16,314
10 horas	9,973	10,930	11,714	12,555	12,838	13,760
12 horas	8,673	9,505	10,187	10,919	11,165	11,966
24 horas	5,083	5,571	5,971	6,400	6,544	7,014

Fonte: Arquivo do autor, 2019.

Geradas pelo *Software* PLUVIO 2.1 e apresentadas na Tabela 8, as intensidades de precipitação em mm/h foram transformadas para mm/min, o que permitiu obter as respectivas alturas pluviométricas das chuvas de curta duração para os períodos de retorno considerados constantes da Tabela 9. As Tabelas 8 e 9, construídas a partir do *Software* PLUVIO 2.1, assemelham-se às Tabelas 6 e 7 elaboradas pelo emprego da metodologia Kimbal.

Tabela 9 - Relação IDF: alturas pluviométricas para diferentes tempos de retorno e durações obtidas pela equação de chuvas intensas gerada pelo *Software* PLUVIO 2.1

DURAÇÃO	ALTURAS PLUVIOMÉTRICAS (mm)					
	PÉRIODOS DE RETORNO (anos)					
	2 (50%)	5 (20%)	10 (10%)	20 (5%)	25 (4%)	50 (2%)
5 min	13,600	14,906	15,975	17,122	17,508	18,765
10 min	22,246	24,380	26,130	28,006	28,638	30,693
15 min	28,442	31,171	33,409	35,807	36,615	39,242
20 min	33,216	36,403	39,016	41,817	42,760	45,829
25 min	37,075	40,632	43,549	46,674	47,727	51,153
30 min	40,302	44,169	47,339	50,737	51,882	55,605
1 hora	52,938	58,018	62,182	66,645	68,149	73,040
6 horas	88,230	96,696	103,636	111,074	113,581	121,733
8 horas	94,590	103,666	111,107	119,081	121,768	130,508
10 horas	99,729	109,298	117,143	125,551	128,384	137,599
12 horas	104,076	114,062	122,249	131,023	133,980	143,596
24 horas	122,001	133,708	143,305	153,590	157,056	168,328

Fonte: Arquivo do autor, 2019.

Após a construção de valores por diferentes vieses, faz-se conveniente estabelecer relação entre as intensidades de precipitação máximas geradas pela equação de chuvas intensas e pelo método Kimbal. As diferenças percentuais entre os dois métodos encontram-se apresentadas na Tabela 10, obtidas por meio de divisão entre os valores de ambos os métodos comentados.

Tabela 10 – Diferença percentual entre as intensidades de precipitação obtidas pela equação de chuvas intensas geradas pelo *software* PLUVIO 2.1 em relação ao Método Kimbal

DURAÇÃO	DIFERENÇAS PERCENTUAIS (EQ. DE CHUVAS INTENSAS/MÉTODO KIMBAL)					
	PÉRIODOS DE RETORNO (anos)					
	2 (50%)	5 (20%)	10 (10%)	20 (5%)	25 (4%)	50 (2%)
5 min	+13,442	-2,977	-10,829	-16,346	-17,760	-21,294
10 min	+16,829	-0,081	-8,166	-13,849	-15,305	-18,944
15 min	+15,229	-1,449	-9,424	-15,028	-16,465	-20,054
20 min	+16,295	-0,537	-8,586	-14,243	-15,692	-19,314
25 min	+15,540	-1,183	-9,179	-14,799	-16,239	-19,838
30 min	+14,293	-2,25	-10,160	-15,719	-17,143	-20,703
1 hora	+11,095	-4,984	-12,673	-18,077	-19,461	-22,922
6 horas	+8,009	-7,624	-15,099	-20,353	-21,699	-25,063
8 horas	+6,888	-8,583	-15,981	-21,180	-22,512	-25,841
10 horas	+7,198	-8,318	-15,737	-20,951	-22,287	-25,626
12 horas	+7,922	-7,699	-15,168	-20,417	-21,762	-25,124
24 horas	+7,533	-8,031	-15,473	-20,704	-22,044	-25,393

Fonte: Arquivo do autor, 2019.

Observando a Tabela 10, nota-se que as diferenças percentuais entre a equação de chuvas intensas obtida pelo *software* PLUVIO 2.1 e o Método Kimbal para os valores encontrados das intensidades de precipitação ou alturas pluviométricas, variam de 16,829% para mais (em tempo de retorno igual a dois anos e duração de cinco minutos) a 25,841% para menos (em tempo de retorno igual a 50 anos e duração de oito horas). Essa constatação possivelmente pode ser elucidada por conta do mecanismo de funcionamento do *software* PLUVIO 2.1, que para gerar a equação de chuvas intensas do município de Manaus/AM, realizou interpolação entre equações de localidades já conhecidas pelo sistema, conforme anteriormente comentado no item 4.3.

A fim de obter valores aproximados dos coeficientes médios de desagregação de chuvas de curta duração para o presente trabalho, foram relacionadas as alturas pluviométricas geradas a partir do *software* PLUVIO 2.1 para Manaus/AM com as respectivas durações dos eventos definidas pelo Departamento Nacional de Obras e Saneamento no estudo de Chuvas Intensas no Brasil. Vale ressaltar que o valor encontrado para cada relação é independente do tempo de

retorno, variando o resultado da mesma apenas pelo intervalo de duração da chuva, conforme já havia sido previsto por Pfafstetter no estudo mencionado acima no ano de 1957. A partir dos dados dispostos na Tabela 9, a Tabela 11 apresenta os valores obtidos estimados para os coeficientes de desagregação deste trabalho para o município de Manaus/AM.

Tabela 11 – Coeficientes de desagregação obtidos através da equação de chuvas intensas gerada pelo *software* PLUVIO 2.1 para Manaus/AM

Intervalo de transformação	Coeficientes de desagregação
12h/24h	0,85
10h/24h	0,82
8h/24h	0,78
6h/24h	0,72
1h/24h	0,43
30min/1h	0,76
25min/30min	0,92
20min/30min	0,82
15min/30min	0,71
10min/30min	0,55
5min/30min	0,34

Fonte: Arquivo do autor, 2019.

Com base na proximidade entre os valores encontrados no presente estudo para os coeficientes médios de desagregação, e aqueles determinados pelo estudo de Pfafstetter (1957), foi possível estabelecer comparação entre os mesmos, de acordo com a Tabela 12. A partir desta tabela, comprova-se que as formas apresentadas para obtenção da relação IDF de Manaus/AM no presente estudo tornam-se válidas.

Tabela 12 – Comparativo entre os coeficientes de desagregação preliminares obtidos no presente estudo para Manaus/AM e aqueles gerados por Pfafstetter

Intervalo de transformação	Coeficientes médios obtidos no presente estudo a partir da equação de chuvas intensas	Coeficientes médios obtidos por Pfafstetter (1957)
12h/24h	0,85	0,85
10h/24h	0,82	0,82
8h/24h	0,78	0,78
6h/24h	0,72	0,72
1h/24h	0,43	0,42
30min/1h	0,76	0,74
25min/30min	0,92	0,91
20min/30min	0,82	0,81
15min/30min	0,71	0,70
10min/30min	0,55	0,54
5min/30min	0,34	0,34

Fonte: Arquivo do autor, 2019.

5.2 Comparativo entre as relações intensidade-duração-frequência para Manaus/AM

Conforme apresentado no item 4.3, Manaus/AM possui duas equações de chuvas intensas. A primeira foi obtida por estudos realizados pela empresa Concremat para o Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU), no Relatório Parcial da Etapa 2 realizado no ano de 2014, utilizando a metodologia de Gumbel. A segunda equação, encontrada por estudos de Monteiro e Braga, foi obtida através do *Software* EXCEL e sua ferramenta *Solver*, para o ano de 2018. Cabe destacar novamente que no presente estudo foram utilizadas a metodologia Kimbal e a Equação de Chuvas a partir do PLUVIO 2.1. Também como informado anteriormente, as equações IDF não são estáticas ao longo do tempo, variando conforme os dados pluviométricos disponíveis, necessitando de atualizações ao longo do tempo.

Portanto, é possível estabelecer comparativos entre as curvas IDF e a equação de chuvas dos três estudos, a fim de observar se há relação intrínseca entre as mesmas. A diferença consiste,

predominantemente, nos diferentes períodos de dados pluviométricos utilizados, nas estações meteorológicas de medição escolhidas, e nos métodos adotados que geraram as equações intensidade-duração-frequência para a cidade de Manaus/AM.

Relacionando apenas os intervalos de duração das chuvas em comum nos três estudos, com as respectivas intensidades de precipitação, gerou-se a Tabela 13, responsável por auxiliar a construção do gráfico comparativo entre as curvas IDF. Este é baseado nas intensidades de precipitação em diferentes durações do evento, escolhido um tempo de retorno de 10 anos, conforme explicita posteriormente a Figura 19.

Cabe destacar que as intensidades de precipitação listadas no estudo do PDDU (2014) foram obtidas através da metodologia Gumbel e ajustadas por sua respectiva equação IDF (Equação 12). Por esse motivo, a título de comparação, na Tabela 13 foram selecionadas as intensidades pluviométricas obtidas pela equação de chuvas intensas do presente estudo através do *software* PLUVIO 2.1 (Equação 11), bem como as intensidades pluviométricas obtidas através da metodologia Kimbal, também pertencentes a esse estudo.

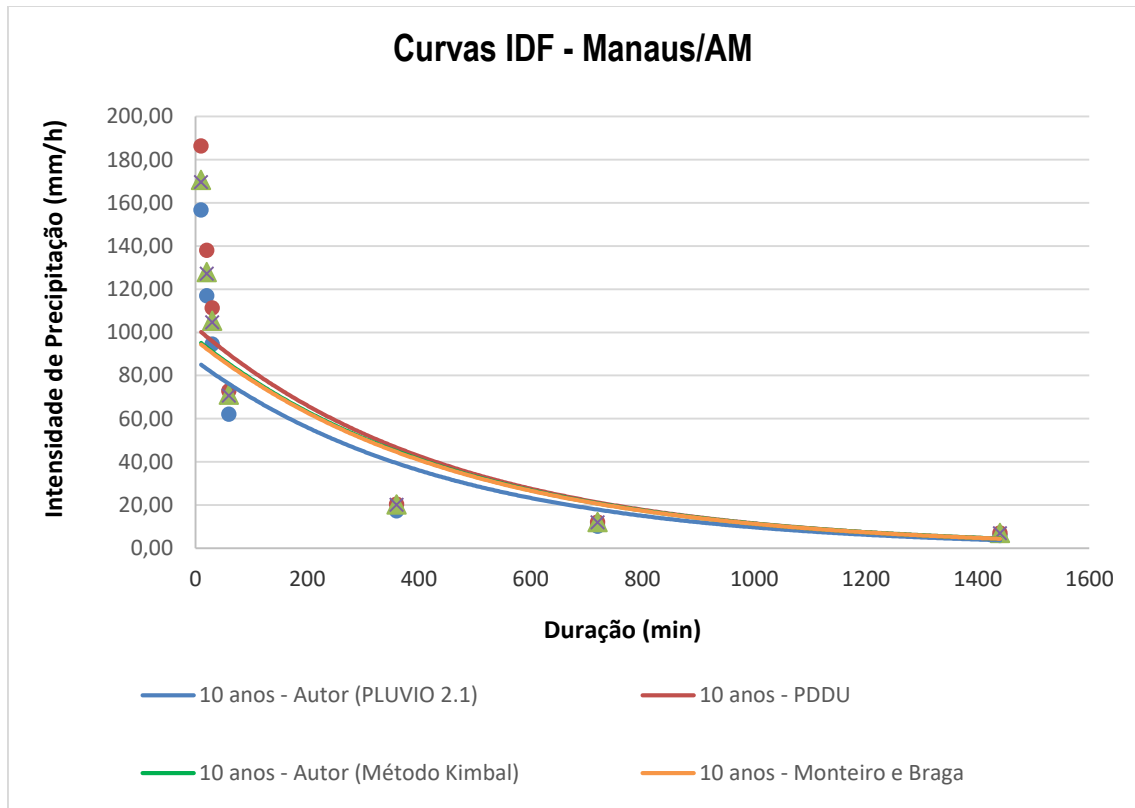
É pertinente observar que no Brasil, ao longo de muitas décadas, são usados períodos de retorno de 2 ou 5 anos em projetos de obras de microdrenagem. Porém, para cidades com mais de cem mil habitantes, o ideal é considerar tempos de retorno na ordem de 10 a 25 anos, de forma a garantir maior segurança dos sistemas (TOMAZ, 2010). Por tal razão, escolheu-se para a construção do gráfico da Figura 19 o tempo de retorno de 10 anos.

Tabela 13 – Comparativo entre as intensidades de precipitação em diferente durações da chuva, para o presente estudo e os gerados pelo PDDU (2014) e Monteiro e Braga (2018) para Manaus/AM (TR = 10 anos)

Intervalo de duração	Intensidades de precipitação obtidas pelo PLUVIO 2.1 (mm/h)	Intensidades de precipitação obtidas pelo Método Kimbal (mm/h)	Intensidades de precipitação obtidas no PDDU (2014) (mm/h)	Intensidades de precipitação obtidas por Monteiro e Braga (2018) (mm/h)
10min	156,78	170,72	186,44	169,65
20min	117,05	128,04	138,12	127,24
30min	94,68	105,38	111,36	104,73
1h	62,18	71,21	72,95	70,76
6h	17,27	20,34	20,41	20,22
12h	10,19	12,10	12,11	11,93
24h	5,97	7,06	7,14	7,02

Fonte: Arquivo do autor, 2019.

Figura 19 - Curvas IDF obtidas entre o presente estudo por meio do Método Kimbal e pela equação de chuvas intensas pelo *software* PLUVIO 2.1, e as geradas pelo PDDU (2014) e Monteiro e Braga (2018) para Manaus/AM (TR= 10 anos)



Fonte: Arquivo do autor, 2019.

Analisando a Figura 19 é notório perceber que as quatro curvas representadas são bastante semelhantes, convergindo até mesmo em alguns pontos plotados. Conforme mencionado acima, algumas das diferenças existentes entre elas correspondem a variação na metodologia utilizada para obtenção das mesmas e correspondentemente de suas equações IDF. Como exemplo, nota-se que a curva obtida no PDDU fornece alguns valores de picos de intensidades de precipitação estimadas mais altos.

Com base nos métodos probabilísticos expostos para o cálculo das chuvas intensas, cabe ressaltar que a metodologia Gumbel, utilizada no estudo do Plano Diretor de Drenagem Urbana de Manaus-AM (2014), é considerada mais expressiva se comparada ao Método Kimbal, pois a mesma se baseia segundo a teoria assintótica de valores extremos para as funções acumuladas de probabilidade, convergindo melhor aos dados da amostra (PINTO; NAGHETTHINI, 2007). Entretanto, para o presente trabalho, o que se observa na Figura 19 é

intrínseca proximidade dos valores encontrados por ambas metodologias, evidenciando que para o município de Manaus/AM, o Método Kimbal também apresentou resultados satisfatórios e aproximados ao fato.

É notório perceber que a maior proximidade observada está relacionada as metodologias de Kimbal, do presente trabalho, juntamente com a metodologia de Monteiro e Braga (2018), através da ferramenta *Solver*. As curvas se sobrepõe em quase todos os pontos selecionados, indicando a equivalência entre os valores encontrados graças a convergência entre os métodos.

Correlacionando os dados contidos na Tabela 13 e na Figura 19, percebe-se que para Manaus/AM, as maiores intensidades de precipitação para os determinados intervalos de duração do evento são de 156,78 mm/h (obtida pela equação de chuvas intensas através do *software* PLUVIO 2.1) e 170,72 mm/h (obtida pelo Método Kimbal) para o presente estudo, com relação a 186,44 mm/h para o Relatório PDDU (2014) e 169,65mm/h para Monteiro e Braga (2018). Vale ressaltar que o valor da intensidade pluviométrica aumenta à medida que o valor do tempo de retorno cresce.

De acordo com a Tabela 14, com relação ao período de retorno fixo de 10 anos e definidos intervalos de duração da chuva entre 10 minutos a 24 horas, os valores de intensidade de precipitação apresentaram aumento na faixa de 17% a aproximadamente 20%, comparando a curva IDF do PDDU (2014) obtida pelo Método Gumbel com a curva obtida pela equação de chuvas intensas gerada pelo *software* PLUVIO 2.1 deste trabalho. Em comparação à curva IDF gerada neste estudo pelo Método Kimbal e a curva IDF do PDDU (2014) gerada pelo Método Gumbel, constata-se melhor aproximação, com aumento na ordem de 0,08% a 9%, revelando mais um indício de proximidade entre as curvas mencionadas.

Conforme já afirmado anteriormente, a maior correspondência entre os resultados obtidos no presente estudo através da metodologia Kimbal foi com os resultados apresentados pelo trabalho de Monteiro e Braga (2018), com aumento em torno de 1% nos valores, possivelmente explicada pela proximidade das bases de dados utilizadas nos dois estudos, bem como a atualidade das equações. Observa-se que quando a comparação é feita entre a curva IDF de Monteiro e Braga (2018) com a obtida através do *software* PLUVIO 2.1 no

presente trabalho, os valores ficam mais distantes, observando-se incrementos maiores na faixa de 8% a 18%.

Tabela 14 – Percentuais comparativos das intensidades pluviométricas entre as metodologias abordadas para Manaus/AM

Intervalo de duração	Comparação entre PDDU (2014) e PLUVIO 2.1 do presente estudo	Comparação entre PDDU (2014) e método Kimbal do presente estudo	Comparação entre Monteiro e Braga (2018) e PLUVIO 2.1 do presente estudo	Comparação Monteiro e Braga (2018) e método Kimbal do presente estudo
10min	18,92%	9,21%	8,21%	1,01%
20min	18,00%	7,87%	8,71%	1,01%
30min	17,62%	5,67%	10,61%	1,01%
1h	17,32%	2,44%	13,79%	1,01%
6h	18,18%	0,34%	17,08%	1,00%
12h	18,84%	0,08%	17,07%	1,01%
24h	19,59%	1,13%	17,59%	1,00%

Fonte: Arquivo do autor, 2019.

6 CONCLUSÃO

O trabalho corroborou a logística já apresentada referente aos poucos estudos relacionados à construção de curvas intensidade-duração-frequência, juntamente com suas equações de chuvas intensas para a cidade de Manaus/AM, tornando-se importante para desenvolvimento do seguimento.

Comprovou-se ao longo do estudo, que no período de novembro a maio, o município de Manaus/AM possui verão bem definido, baseado nos altos índices pluviométricos registrados na série histórica selecionada. Destaca-se, porém, a inexistência de um padrão de precipitação na cidade, já que existe grande amplitude entre a maior e a menor das alturas pluviométricas analisadas.

Vale ressaltar que as elevadas intensidades de precipitação servem como indicadores para os serviços de drenagem, pois auxiliam a projetar sistemas mais eficientes que impeçam inundações na malha urbana do município, bem como podem minimizar a incidência problemas de saúde decorrentes da falta de saneamento. No caso da comparação entre os valores do presente trabalho, com aqueles provenientes do estudo feito no PDDU de Manaus/AM (2014) e por Monteiro e Braga (2018), constata-se que o segundo apresentou maiores valores de intensidade de chuva, o que, em tese, pode proporcionar maior segurança no dimensionamento de sistemas de drenagem.

Com relação a curva IDF do presente estudo, a partir de sua regressão logarítmica, foi possível constatar que em maiores períodos de retorno, maiores são as probabilidades de ocorrência de uma chuva de grande magnitude, e maior também serão suas intensidades em um período muito curto de duração, conforme já esperado.

É sabido que a interpolação das variáveis pertencentes a equação de chuvas intensas garante boa representatividade para cada local escolhido. No caso de Manaus/AM, a comparação realizada entre as equações deste trabalho e àquela gerada por Monteiro e Braga (2018) para o município, revelam melhor aproximação entre os parâmetros, se comparada à encontrada no PDDU (2014), possivelmente diferentes em função da necessidade de atualização constante da mesma.

Os coeficientes médios de desagregação obtidos revelam intrínseca proximidade com aqueles estudados por Pfafstetter (1957), através da utilização da equação de chuvas intensas para o município de Manaus/AM, garantindo independência com os tempos de retorno e variância de acordo com a duração do evento. Comprova-se, portanto, que ambas metodologias apresentadas para determinação da relação IDF em Manaus/AM são admissíveis, pois apresentam resultados dentro de uma margem considerada aceitável.

O trabalho em questão possui resultados interessantes e atuais acerca do comportamento das chuvas de um dia, a partir de suas alturas pluviométricas, podendo auxiliar a atualização do plano de drenagem urbana da cidade de Manaus/AM. A existência de um plano atualizado melhora as condições de saneamento e qualidade do meio ambiente da cidade, bem como ajuda a evitar perdas econômicas ao município.

Convém salientar a importância de maior ampliação na rede de monitoramento meteorológico na região de Manaus/AM, bem como nos instrumentos necessários, a fim de permitir o acesso a dados cada vez mais confiáveis, garantindo resultados mais precisos.

Em suma, é aconselhada a atualização deste estudo, à medida que novos dados pluviométricos das chuvas de um dia tornarem-se disponíveis, bem como a utilização de outras metodologias que permitam a obtenção das equações IDF e dos coeficientes de desagregação, proporcionando incremento à literatura.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. *Mudanças climáticas e recursos hídricos*. S/d. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/panorama-das-aguas/mudancas-climaticas-recursos-hidricos>>. Acesso em: 07 de dezembro de 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. *Água no mundo*. S/d. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/panorama-das-aguas/agua-no-mundo>>. Acesso em: 07 de dezembro de 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. *Unidade 1: Hidrologia Básica*. S/d. Disponível em: <https://capitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/66/2/Unidade_1.pdf>. Acesso em: 15 de janeiro de 2019.

BERTONI, J.C.; TUCCI, C.E.M. Precipitação. In: TUCCI, C.E.M. *Hidrologia ciência e aplicação*. Porto Alegre: ABRH, p.177-242. 1993.

BLAIR, T. A. *Climatology general and regional*. New York, Prentice - Hall, Inc., 1942.

CALBETE, N.O.; CALBETE, S. R.; ROZANTE, J. R.; LEMOS, C. F. *Precipitações intensas ocorridas no período de 1986 a 1996 no Brasil*. Climanálise 10 anos (Publ. esp.), p.106-109. 1996.

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: 07 de dezembro de 2018.

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: 12 de dezembro de 2018.

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

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>>. Acesso em: 12 de fevereiro de 2019.

CETESB. 1986. *Drenagem Urbana: manual de projeto*. 3 ed. São Paulo, 1986.

CONCREMAT. *Relatório Parcial da Etapa 2*. Plano Diretor de Drenagem Urbana do Município de Manaus. v. 21. Outubro de 2014.

CORDERO, A. *Apostila de Hidrologia*. Fundação Universidade Regional de Blumenau - FURB. Blumenau – SC. 2013. 108 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. *Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem*. 2. ed. Rio de Janeiro: IPR. Publ., 715, 2005.

DNPM.Ministério das Minas e Energia. *Radam Brasil, Levantamento de Recursos Naturais*. Vol. 18. Manaus, Folha SA, 20. Rio de Janeiro, 1978.

FATHY, I.; NEGM, A.M.; EL-FIKY, M.; NASSAR, M.; AL-SAYED, E. *Intensitydurationfrequency curves for Sinai Peninsula*, Egypt. ImpactJournals, New York, ed. 6, v.2, p.105-112. Junho, 2014. Disponível em: <<http://oaji.net/articles/2014/489-1404561400.pdf>>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2019.

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: 19 de fevereiro de 2019.

FREITAS, E. da S. Determinação e comparação de curvas IDF com dados pluviógrafos e pluviométricos na bacia hidrográfica experimental do Riacho Guaraíra – PB. Trabalho de Conclusão de Curso. Joao Pessoa. p. 61. 2016.

GARCEZ, N. L.; ALVAREZ, A. G. Livro: *Hidrologia*. 291 p. 2 ed. Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo. 1988.

GONÇALVES, L. S. *Relações Intensidade-Duração-Frequência com base em estimativas de precipitação por satélite*. 2011. 135f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2011.

GPRH. Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos. *Relatório Final: Modelo físico-matemático para o controle da erosão hídrica nas condições edafoclimáticas brasileiras*. Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2008.

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Cidades – Informações completas*. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/am/manaus/panorama>>. Acesso em: 26 de fevereiro de 2019.

KOBIYAMA, M. *Manejo de bacias hidrográficas: conceitos básicos*. In: Curso de Manejo de bacias hidrográficas sob a perspectiva florestal, *Apostila*, Curitiba: FUPEF, p. 29-31.1999.

LEAL, T. C. F. *Notas de aula: Drenagem Urbana*. Universidade Federal de Juiz de Fora. 2016.

LEIVAS, J. F.; RIBEIRO, G. G.; SOUZA, M. B.; FILHO, J. R. *Análise comparativa entre os dados de precipitação estimados via satélite TRMM e dados observados de superfície em Manaus*. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, 2009, Natal. Anais.. INPE, 2009. Artigos, p. 1611-1616.

LEOPOLDO, P. R.; FRANKEN, W.; SALATI, E.; RIBEIRO, M. N. *Towards a water balance in the central Amazonian region*. *Experientia*, v. 43, n. 3, p. 222-233, 1987.

MACENA, L. S. S.; COSTA, R. C. *A cidade como espaço do risco: estudo em bacias hidrográficas de Manaus, Amazonas – BR*. Revista Geonorte, Edição Especial, V.1, N.4, p.318 – 330, 2012.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. *Climatologia: noções básicas e climas do Brasil*. São Paulo: Oficina de Texto, p. 71-72. 2007.

MONTEIRO, M.; BRAGA, E. *Análise da Equação IDF de Manaus*. Anais do Seminário Internacional em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia, v. 5. Manaus: EDUA. 2018.

PEREIRA, F. A. J.; CRAWFORD, K. C. *Integrating WSR-88D estimates and Oklahoma Mesonet measurements of rainfall accumulations: a statistical approach*, 27th Radar Conference, AMS, Preprints, 240-242, 1995.

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

PINTO, A. G. N.; HORBE, A. M. C.; SILVA, M. S. R.; MIRANDA, S. A. F.; PASCOALOTO, D.; SANTOS, H. M. C. *Efeitos da ação antrópica sobre a hidrogeoquímica do rio Negro na orla de Manaus/AM*. Revista Scielo. v.39, n.3. Manaus, 2009.

PINTO, E. de; NAGHETTHINI, M. *Hidrologia estatística*. [S.1.]: CPRM, 2007.

PMSB. *Plano Municipal de Saneamento Básico – Manaus – AM*, 2014. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/15053510-Cidade-de-manaus-prefeitura-municipal-pmsb-plano-municipal-de-saneamento-basico-sistema-de-abastecimento-de-agua-potavel-e-esgotamento-sanitario.html>>. Acesso em: 25 de fevereiro de 2019.

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.

QUEIROZ, A. P. *Monitoramento e previsão imediata de tempestades severas usando dados de radar*. Dissertação (Mestrado), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008.

SALATI, E. O clima atual depende da floresta. In: Salati, E.; Shubart, H.O.R.; Junk, W.; Oliveira, A.E. (Org.) *Amazônia, desenvolvimento, integração e ecologia*. Brasiliense, São Paulo, p.15-44, 1983.

SANTOS, G.G.; GRIEBELER, N.P.; OLIVEIRA, L.F.C. *Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.14, n.2, p.115–123. Campina Grande – PB, 2010.

SARGES, R. R.; SILVA, T. M.; RICCOMINI, C. *Caracterização do relevo da região de Manaus, Amazônia Central*. Revista Brasileira de Geomorfologia. v. 12, n. 1, p.95-104, 2011.

SILVA, C. L. *Análise tectônica da região de Manaus e adjacências*. Universidade Estadual Paulista – UNESP, Rio Claro, 2005.

SILVA, R. da S. & ARAÚJO, G. R. de S. *Algoritmo para Determinação da Equação de Chuvas Intensas*. Revista Brasileira de Geografia Física v.6 n.5, p. 1371 -1383. 2013.

SOUSA, F. de A. S. de. & SILVA, V. de P. R. da. *Análise de intensidade de chuva pela curva normalizada da precipitação*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande. v. 2, n. 3, p. 319-323. 1998.

STUDART, T.M.de C. *Capítulo 5: Precipitação*. Notas de Aula de Hidrologia Aplicada. Universidade Federal do Ceará. 2004. 22p. Disponível em: <http://www.deha.ufc.br/ticiana/Arquivos/Graduacao/Apostila_Hidrologia_grad/Cap_5_precipitacao_2004.pdf>. Acesso em: 12 de fevereiro de 2019.

TOMAZ, P. *Capítulo 22 – Chuvas Intensas*. In: Apostila do curso de manejo de águas pluviais. 2012. 49 p. Disponível em:

<http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_metodo_calculos_vazao/capitulo22.pdf>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2019.

TOMAZ, P. *As enchentes e o período de retorno*. Guarulhos. 2010.

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

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. *Hidrologia aplicada*. São Paulo: Mc Graw Hill, 1975, 247p.

WILKEN, P. S. *Engenharia de drenagem superficial*. São Paulo: CETESB, 1978, 477p.