

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

DANIEL LUZ DOS REIS

**AValiação DO DESEMPENHO DE EQUAÇÕES IDF A PARTIR DE DADOS DE
PRECIPITAÇÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO (TMPA-V7)**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2017

DANIEL LUZ DOS REIS

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE EQUAÇÕES IDF A PARTIR DE DADOS DE
PRECIPITAÇÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO (TMPA-V7)**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Murilo Cesar Lucas.

PATO BRANCO

2017



TERMO DE APROVAÇÃO

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE EQUAÇÕES IDF A PARTIR DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO (TMPA-V7)

DANIEL LUZ DOS REIS

No dia 21 de junho de 2017, às 8h15min, na Sala de Treinamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após argüição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná– UTFPR, conforme Ata de Defesa Pública nº12-TCC/2017.

Orientador: Prof. Dr. MURILO CESAR LUCAS (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 1 da Banca: Prof. Dr. CESAR AUGUSTO MEDEIROS DESTRO (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca: Prof. Dr. NEY LYZANDRO TABALIPA (DACOC/UTFPR-PB)

RESUMO

A demanda por obras de drenagem urbana esbara nas dificuldades impostas pelas cidades, que demandam precisão nos dimensionamentos, considerando o revés de gastos excessivos quando do superdimensionamento e, falhas constantes e suas consequências quando do subdimensionamento. A precisão depende de vários fatores, sendo um dos mais importantes, a precipitação, dado de entrada de água em uma bacia hidrológica e componente que influencia toda a dinâmica hídrica da mesma. Sua mensuração costuma ser realizada através de equações do tipo Intensidade-Duração-Frequência, construídas a partir de séries de máximos anuais e sensíveis ao tamanho desta série. Esses máximos anuais, de várias durações, podem ser bem mensurados por pluviógrafos, contudo a presença deste aparelhos é escassa no país, o que leva ao uso de pluviômetros, aparelho menor resolução temporal e com má distribuição no território nacional. Neste cenário surge a possibilidade da utilização de dados de sensoriamento remoto, como os obtidos pelo satélite TRMM que gera o produto 3B42 v7, com dados de precipitação para uma malha contínua e com resolução temporal superior a de pluviômetros. No presente trabalho, explorou-se o uso do produto 3B42 v7 e de dados de precipitação obtidos de pluviometria, aplicando-se o método de desagregação proposto por CETESB (1979) e distribuição de Gumbel-Chow. Como resultados pode-se prover uma nova equação IDF para Pato Branco – Paraná com o uso de 39 anos de série pluviométrica e, concluir-se a viabilidade da utilização dos dados do TRMM para construção de equações IDF.

Palavras-chave: Precipitação, IDF, TRMM.

ABSTRACT

The demand for urban drainage systems was limited by the difficulties imposed by the cities, which demand precision in the design, considering the setback of excessive spending when oversizing and constant faults and their consequences when undersizing. The accuracy depends on several factors, being one of the most important, the precipitation, the input of water in a hydrological basin and component that influences all the water dynamics of the same. Its measurement is usually performed through Intensity-Duration-Frequency equations, constructed from series of annual maxima and sensitive to the size of this series. These annual maximums, of various durations, can be well measured by rain gauges, however the presence of these devices is scarce in the country, which leads to the use of rain gauges, a less precise apparatus and with poor distribution in the national territory. In this scenario it is possible to use remote sensing data, such as those obtained by the TRMM satellite that generates the product 3B42 v7, with rainfall data for a continuous mesh and with a temporal resolution superior to that of rain gauges. In the present work, the use of the 3B42 v7 product and precipitation data obtained from rainfall was explored, applying the disaggregation method proposed by CETESB (1979) and Gumbel-Chow distribution. As results, a new IDF equation can be provided for Pato Branco - Paraná with the use of 39 years of rainfall series, and the feasibility of using the TRMM data to construct IDF equations.

Key-words: Precipitation, IDF, TRMM.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - REDE DE DADOS DA HIDROWEB SOBRE O ESTADO DO PARANÁ	16
FIGURA 2 – PRINCIPAIS SENSORES DO SATÉLITE TRMM	19
FIGURA 3 - PIXELS DO TRMM.....	20
FIGURA 4 - EVENTOS EXTREMOS EM GRANDES BACIAS	23
FIGURA 5 - EVENTOS EXTREMOS EM PEQUENAS BACIAS	23
FIGURA 6 - ISOZONAS DE TORRICO (1974).....	28
FIGURA 7 - INSTRUMENTOS NAS PROXIMIDADES DE PATO BRANCO - PR	33
FIGURA 8 - ANÁLISE DE DUPLA MASSA PARA O PERÍODO 1965-2015	42
FIGURA 9 - HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA	43
FIGURA 10 - GRÁFICO QUANTIL - QUANTIL NORMAL	44
FIGURA 11 - BOXPLOT – SÉRIES HISTÓRICA DE MÁXIMOS DE PRECIPITAÇÃO DO PLUVIÔMETRO E DO TMPA 3B42V7	45
FIGURA 12 - EMPR – IDF-FENDRICH EM RELAÇÃO A IDF-PLUVIÔMETRO	48
FIGURA 13 - GRÁFICO DE DISPERSÃO ENTRE A IDF-FENDRICH E A IDF-PLUVIÔMETRO	49
FIGURA 14 - EMPR – IDF-TMPA EM RELAÇÃO A IDF-PLUVIÔMETRO	51
FIGURA 15 - GRÁFICO DE DISPERSÃO ENTRE A IDF-TMPA E A IDF-PLUVIÔMETRO	52
FIGURA 16 - DISPERSÃO - TMPA AO SE SUBTRAIR OS ERROS SISTEMÁTICOS	54
FIGURA 17 - PLATAFORMA GIOVANNI - PRIMEIRO PASSO	63
FIGURA 18 – PLATAFORMA GIOVANNI - SEGUNDO PASSO	64
FIGURA 19 – PLATAFORMA GIOVANNI - TERCEIRO PASSO.....	65
FIGURA 20 – PLATAFORMA GIOVANNI - QUARTO PASSO	66

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - ÍNDICES DE TORRICO (1974).....	29
TABELA 2 - RELAÇÕES DE DESAGREGAÇÃO DA CETESB (1979)	30
TABELA 3 - RELAÇÕES DE DESAGREGAÇÃO	36
TABELA 4 - BIAS E RMSE PARA A IDF-FENDRICH.....	47
TABELA 5 - BIAS E RMSE PARA A IDF-TMPA.....	50
TABELA 6 – VALORES DOS RMSE SISTEMÁTICO E ALEATÓRIO PARA A IDF-TMPA	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
EMPA	Erro Médio Percentual Absoluto
GOES	Geostatioary Operational Environmental Satellite
GPM	Global Precipitation Measurement
IDF	Intensidade-Duração-Frequência
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency
NASA	National Aeronautics and Space Administration
RMSE	Root Mean Square Deviation
Snirh	Sistema Nacional de Informações sobre Recurso Hídricos
Tr	Período de Retorno
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	OBJETIVO GERAL	10
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
1.3	JUSTIFICATIVA	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1	MEDIÇÕES DE PRECIPITAÇÃO	13
2.1.1	Pluviômetros	14
2.1.2	Pluviógrafos	16
2.1.3	Pluviômetro de balança	17
2.1.4	Sensoriamento Remoto	18
2.2	PRECIPITAÇÕES INTENSAS	22
2.2.1	Consideração de eventos extremos de chuva em diferentes bacias hidrográficas	22
2.2.2	Intensidade – Duração - Frequência	24
2.2.3	Desagregadores	26
2.2.4	Distribuições Estatísticas	30
3	MATERIAIS E MÉTODOS	32
3.1	OBTENÇÃO DOS DADOS	32
3.1.1	Obtenção dos dados de pluviometria	32
3.1.2	Obtenção dos dados do TMPA v7	34
3.2	METODOLOGIA DE DESAGREGAÇÃO DE PRECIPITAÇÕES E MÉTODOS ESTATÍSTICOS PARA A CONSTRUÇÃO DE IDF	35
3.3	COMPARAÇÃO ESTATÍSTICA DAS SÉRIES DE MÁXIMOS	37
3.4	CONSTRUÇÃO DAS EQUAÇÕES IDF	38
3.4.1	Construção da equação IDF a partir dos dados do pluviômetro	38
3.4.2	Construção da equação IDF a partir dos dados do TMPA	38
3.5	COMPARAÇÃO DAS EQUAÇÕES IDF	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
4.1	ANÁLISE DESCRITIVA DA SÉRIE HISTÓRICA DE PRECIPITAÇÃO	41
4.2	EQUAÇÕES IDF	46
4.2.1	Nova proposta de equação IDF para Pato Branco	46

4.2.2	IDF com os dados do produto 3B42-v7	46
4.3	ANÁLISES ENTRE EQUAÇÕES IDF	46
4.3.1	IDF atualizada e IDF de Fendrich (1991)	46
4.3.2	IDF atualizada e IDF do TMPA v7	50
5	CONCLUSÕES	55
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
	APÊNDICE 1 – PROCEDIMENTOS REALIZADOS NA PLATAFORMA GIOVANNI – NASA, PARA A OBTENÇÃO DOS DADOS DO PRODUTO 3B42V7	61

1 INTRODUÇÃO

A urbanização e conseqüente impermeabilização de grandes áreas, provoca grande aumento nos picos de vazão de bacias hidrográficas. Contornar os problemas ocasionados por esse aumento demanda obras de drenagem urbana. Estas obras, esbarram na dificuldade de criação de grandes canais e galerias, ou mesmo sua ampliação, principalmente no sentido lateral do curso, devido à proximidade com instalações e edificações de grande valor econômico ou interesse social. Este quadro encarece as obras de infraestrutura de drenagem, que acabam demandando soluções técnicas precisas, a fim de se evitar subdimensionamento que tronam as obras insuficientes ou superdimensionamentos hidráulicos, que tornam as obras caras.

Para tais dimensionamentos é necessária a mensuração de diversos parâmetros hidrológicos. A acurácia na determinação destes parâmetros é que possibilita a qualificação de um dimensionamento como adequado para o seu fim. Um destes parâmetros é a precipitação, caracterizada para obras de drenagem por modelos do tipo intensidade-duração-frequência (IDF), que fornecem valores de entrada importantes para se modelar a interação da precipitação com a topografia e o solo e mensurar-se as conseqüências na bacia.

A criação de curvas IDFs para bacias hidrográficas, objeto de estudo importante em drenagem urbana, está atrelada a determinação de intensidades de precipitação com intervalos de duração relacionados a um período de retorno, intervalos esses, compatíveis com o tempo de concentração das microbacias urbanas. Para a criação de tais curvas, o ideal é o uso de dados de pluviógrafos, aparelhos que permitem a determinação discretizada da intensidade, sendo necessário atualmente o uso de pluviômetros. Essa necessidade ocorre por causa da escassez ou ausência de pluviômetros de báscula acoplados a dataloggers. Apesar da recente existência de programas de ampliação da rede brasileira de pluviômetros de báscula, há poucas séries históricas de longa duração (maior que 20 anos).

Uma abordagem clássica para construção de equações IDF a partir de poucos dados de precipitação, é o uso da estatística. Na abordagem estatística as alturas diárias de precipitação são desagregadas para tempos inferiores a um dia.

Exemplos de técnicas de desagregação de precipitações podem ser encontradas em CETESB (1979), Bell (1969), Torrico (1974), Back et al. (2012) e Damé (2006). Os desagregadores são empíricos e precisam ser validados localmente, porque costumam ser construídos para regiões específicas.

Nesse contexto surge a possibilidade da utilização de dados de precipitação a partir de sensoriamento remoto. Uma das principais vantagens do uso de dados de sensoriamento remoto são as resoluções temporal e espacial, as quais têm melhorado desde o lançamento dos primeiros aparelhos. Veja: Conti (2002), Gonçalves (2011), Shepherd et al. (2002), Leivas et al. (2009), Collischonn (2006), Collischonn et al. (2007), Nóbrega et al. (2008), Ochoa et al. (2014), Zulkafli et al. (2013).

O Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), é um satélite lançado pela National Aeronautics and Space Administration (NASA) em conjunto com a Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA). Este trabalho utiliza o TRMM Multi satellite Precipitation Analysis (TMPA) Versão 7 (3B42v7). O produto 3B42 conta com resolução espacial de $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$ (27x27 Km) e temporal de 3 horas. Melo et al. (2015) realizaram um estudo da qualidade do satélite TRMM sobre o Brasil e avaliaram boa estimativa dos dados de precipitação do satélite sobre a região sul do país.

Foi estabelecida a hipótese científica de que o TMPA 3B42v7 é adequado para a construção de equações IDF em regiões com ausência ou falhas na série de precipitação.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo é avaliar o desempenho de dados de precipitação de sensoriamento remoto para a elaboração de equações de intensidade, duração e frequência.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para que seja atingido o objetivo geral proposto, foram listados os seguintes objetivos específicos:

- Obter a série histórica de precipitações do município de Pato Branco-PR. Observando consistência e conformidade dos dados, assim como erros grosseiros presentes.

-Elaborar uma nova equação (atualizada) de intensidade, duração e frequência para o município de Pato Branco, usando dados medidos em terra (pluviômetros) e dados medidos pelo TMPA, Versão 7.

1.3 JUSTIFICATIVA

Em países desenvolvidos existe uma vasta malha de pluviômetros, pluviógrafos e radares de solo bem distribuídos em todo o território, fornecendo, assim, informações precisas e de qualidade sobre todos os aspectos dos eventos de precipitação. Em países não desenvolvidos ou em desenvolvimento, existem diversos pluviômetros, porém poucos pluviógrafo, além de haver regiões com baixa concentração desses instrumentos devido a sua má distribuição no terreno, o que acaba por gerar dados insuficientes ou pouco precisos sobre vários aspectos dos eventos de precipitação.

Em países com este cenário, justifica-se a necessidade de pesquisas com instrumentos de sensoriamento remoto, como já se tem histórico, observado que a precipitação e sua caracterização é um importante dado hidrológico, fundamental ao dimensionamento de quase todas as obras e, nisto, as obras hidráulicas relacionadas a drenagem e escoamento pluvial e fluvial.

Elenca-se a Política Nacional de Saneamento Básico (Lei 11.445 de 05 de fevereiro de 2007), que tem como um dos seus princípios fundamentais a drenagem pluvial urbana, mostrando-a como fator importante e como um direito fundamental, visto que problemas de drenagem trazem riscos à segurança e a saúde pública e enormes prejuízos e transtornos.

De forma contraditória a isso, no cenário atual, as regiões urbanas, por vezes, crescem sem um estudo aprofundado das consequências do seu avanço e de técnicas e diretrizes preventivas que, no referente a drenagem pluvial, acaba por ocasionar grandes montantes de escoamento superficial, aliado a estrangulação de canais e ocupação do entorno destes com empreendimentos de alto valor, ocasionando o revés de se não adotada precisão nos dimensionamentos hidráulicos, tornar-se inviável a solução dos problemas urbanos de drenagem.

Se acrescenta ainda a acentuação dos eventos extremos de precipitação (CHRISTENSEN, 2014), onde prevê-se para a região sul do Brasil aumento em volume total e em intensidade das precipitações. Tornando imprecisas as relações IDF's obtidas com dados muito antigos, levantando questionamento sobre a validade dos desagregadores e acentuando os problemas já existentes de drenagem urbana, que acabam por solicitar ainda mais subsidio técnico.

No país existe facilidade na obtenção dos dados históricos dos postos pluviométricos, aqui se cita a iniciativa da Agência Nacional de Águas (ANA) em agrupar os dados de posto de medição pertencentes a diversos órgão em uma plataforma on-line livre disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>>.

Também existem diversos trabalhos (CETESB, 1979; TORRICO 1974; BELL 1969), abordando diferentes métodos estatísticos e desagregadores aplicados aos dados pluviométricos na construção de equações IDF's para várias regiões brasileiras, tornado viável a avaliação destes métodos estatísticos.

Acrescenta-se os trabalhos já citados na introdução, demonstrando e avaliando a qualidade dos dados do produto 3B42-v7 para diversas bacias hidrográficas do país; vale aqui destacar o trabalho de Melo et al. (2015), onde avaliou-se a acurácia dos valores do produto 3B42 em âmbito nacional de forma concisa e considerou plausível o seu uso na região sul, tornando possível a discussão deste trabalho. Todos os dados do TRMM estão disponíveis livremente no site da NASA mediante cadastro prévio.

Com esse trabalho pretende-se avaliar, a fim de validar, os parâmetros IDF's obtidos com dados do 3B42-v7 para as proximidades de Pato Branco. Esses dados, se satisfatoriamente validados, permitirão IDF's mais precisa, devido a maior qualidade na resolução espacial e temporal, principalmente para regiões com poucos pluviômetros ou com séries de dados apenas muito recentes ou pouco confiáveis, permitindo dimensionamentos mais condizentes com a realidade de uso. Além de buscar-se atualizar a equação IDF para Pato Branco a luz de uma maior e atual serie de dados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MEDIÇÕES DE PRECIPITAÇÃO

Eventos de precipitação não são constantes no tempo ou uniformemente distribuídos na superfície. (MOL e CAMPANA, 2004). Um evento de precipitação pode sofrer bruscas variações de intensidade ao longo de pequenas distâncias geográficas, podendo existir até mesmo pontos a um metro de distância, onde em um está ocorrendo evento de precipitação e em outro não.

Todavia, existe a possibilidade da extrapolação temporal e regional da medição de precipitação, podendo-se estimar com bases nas medições pontuais a precipitação para toda uma região, com a confiabilidade da estimativa variando com relações do inverso da distância ao ponto considerado. A exemplo, alguns trabalhos onde se trata da extrapolação regional de dados pontuais de precipitação: Amorim et al (2008), Wanderley et al (2012), Haberlandt (2007) e Salgueiro (2005).

Para a confiável estimativa dos eventos de precipitação, de acordo com Conti (2002), é necessária uma consolidada malha de medidores pontuais a fim de que as estimativas sejam mais precisas. Segundo Salgueiro (2005), existem recomendações quanto a densidade mínima de estações a fim de garantir qualidade na interpolação dos dados, sendo que esta consideração de densidade mínima leva em conta a precisão requerida e o fim que se deseja dar aos dados, assim como aspectos econômicos, a exemplo, regiões desprovidas de povoamento e exploração econômica demandam menor densidade de pluviômetros que um regiões com grande potencial hidroelétrico.

Conti (2002) afirmar que muitas regiões brasileiras e do mundo não contam com uma distribuição satisfatória. Sendo que no Brasil, as regiões, Sudoeste, Sudoeste e litoral e extremo leste do sertão nordestino contam com satisfatória rede pluviométrica. Entretanto encontrando-se, ainda, alguns problemas referentes a séries temporais pequenas e falhas nas leituras.

Outra forma de quantificação dos eventos de precipitação é por meio do uso de dados de sensoriamento remoto. Os satélites possibilitam a obtenção de dados de precipitação média em porções discretizadas do terreno (pixels). Isso se faz em larga escala para cada porção do terreno, ao contrário dos pluviômetros e

pluviógrafos que registram pontualmente e necessitam de vários aparelhos instalados por regiões. Melhorando o uso de estimativas por interpolação, já que o sensoriamento remoto fornece uma malha de dados de precipitação homogeneamente distribuídos. (GONÇALVES, 2011).

Elenca-se que para o dimensionamento de pequenas obras não convencionais relacionadas a drenagem de apenas um edifício ou para o dimensionamento de componentes do sistema de macro e micro drenagem de uma cidade, as características da precipitação a ser considerada são profundamente influenciadas pela qualidade dos dados de entrada, já que se tratam de distribuições estatísticas e computacionais, demonstrando a importância da mensuração adequada dos dados de precipitação.

2.1.1 Pluviômetros

Aparelho que acumula as alturas de precipitações durante um certo intervalo de tempo, usualmente, a escala diária. Essas leituras costumam ser feitas a cada 24 horas, mas podem ser realizadas em outros intervalos de tempo, dependendo do fim que se destina a medição e da disponibilidade de operador.

A operação destes aparelhos, assim como leitura dos dados e catalogação, costuma ser humana. Küchler et al (2010) cita que existem sistemas de aquisição de dados, compostos com balanças ou sifões, que podem ser acoplados ao pluviômetro para a tomada de leituras, visando eliminar a variável humana, sendo este procedimento pouco comum, em vista dos custos da automatização, prefere-se optar por aparelhos com melhor resolução temporal como pluviógrafos. (TUCCI, 2009).

Kuchler et al. (2010) diz que é necessária uma revisão constante da área de instalação e se possível instalação de mecanismos que previnam evaporação, ação lateral do vento e influência da declividade do terreno.

Os dados colhidos possuem unidade de milímetros por metro quadrado (mm/m^2), sendo comumente referenciados apenas como milímetros (mm) e, se referem a altura, em milímetros, da coluna de água acumulada sobre 1 m^2 de área durante o intervalo de tempo considerado, assim uma precipitação de 1 mm remete

a precipitação que acumulou 1 mm de água por metro quadrado de terreno no tempo considerado.

A priori, devido à natureza do pluviômetro, se considera que a precipitação ocorrida e medida pelo aparelho teve intensidade constante, por não se conseguir registrar variações de intensidade.

O aparelho tem baixo custo de instalação e manutenção e facilidade de operação, quando comparado a pluviógrafos, pluviômetros de balança e radares meteorológicos de solo (KÜCHLER et al, 2010). Porém, os dados de pluviômetros são limitados, possuindo boa aplicabilidade apenas para usos onde o interesse é o total precipitado em intervalos maiores que um dia, como o balanço hídrico mensal ou anual.

Todavia, mesmo com as limitações do pluviômetro, existem métodos de tratamentos dos dados, como a desagregação de precipitação, que visam utilizá-los para outros fins, visto a dificuldade de instalação de outros aparelhos mais completos, devido ao custo. (TUCCI, 2009).

No referente à utilização dos dados de pluviômetro em drenagem urbana, onde os tempos de concentração das bacias hidrográficas são menores que um dia (resolução temporal do pluviômetro), existe o entrave da diluição dos eventos máximos de precipitação, visto que eventos de grande intensidade são mais comuns quando possuem pequena duração e, por sua vez, o pluviômetro não é capaz de mensurar estas grandes intensidades discretizadas em pequenos intervalos de tempo, agregando todas as intensidades de precipitação em um único montante.

No Brasil, segundo ANA (2009) há 15622 estações pluviométricas, que pertencem a diferentes institutos e órgãos como ANA – Agência Nacional de Águas, INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, órgãos estaduais, universidades, prefeituras e particulares. A ANA possui o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos – Snirh, que conta com a plataforma on-line HidroWeb, acessível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>>. Esta plataforma possui um banco de dados de precipitação, vazão e qualidade da água, obtidos por diferentes aparelhos e entidades, disponibilizados de forma digital e gratuita. Na Figura 1 é apresentada a rede dos dados presentes na plataforma HidroWeb.

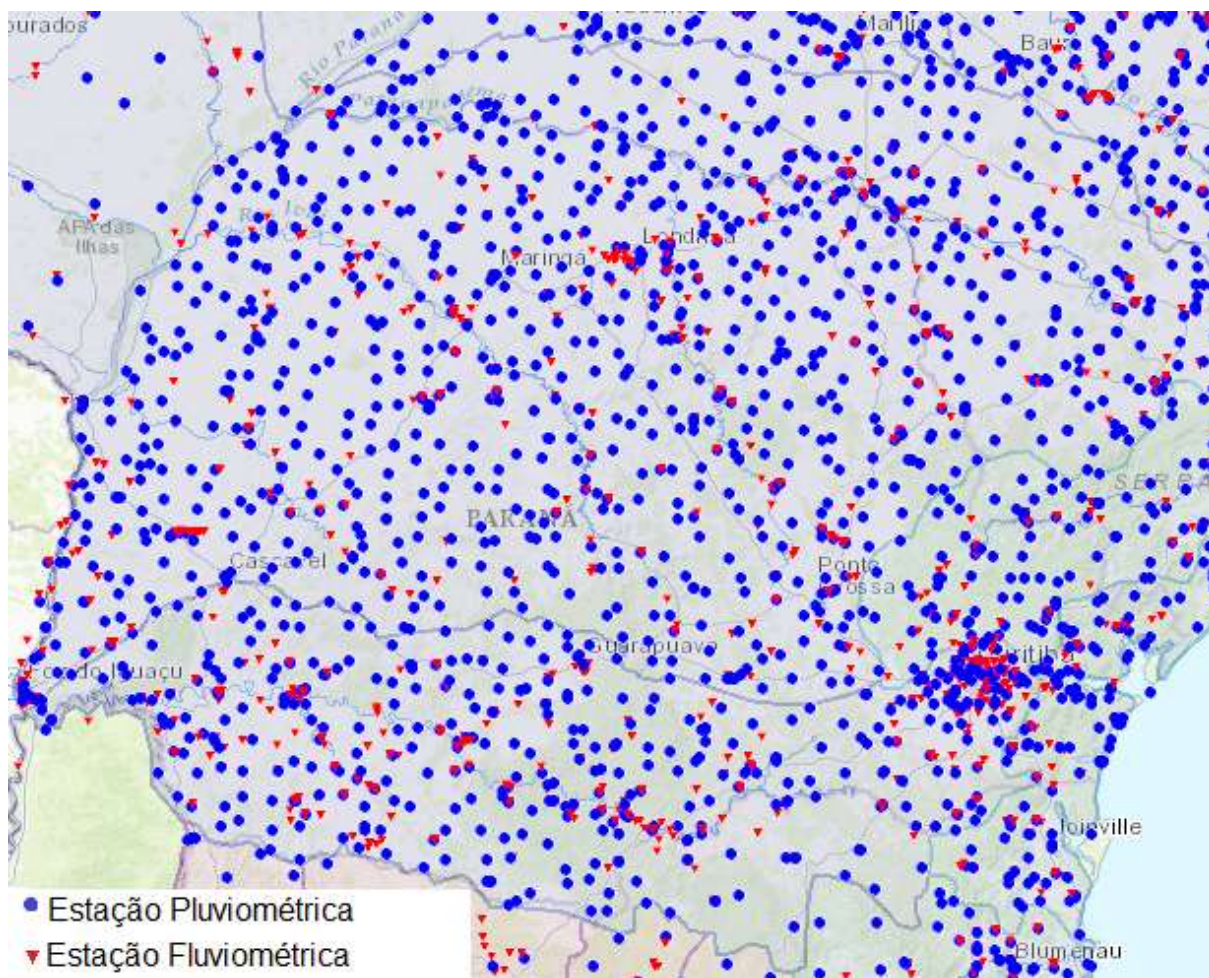


Figura 1 - Rede de dados da HidroWeb sobre o estado do Paraná
Fonte: HidroWeb - ANA

2.1.2 Pluviógrafos

Aparelhos mais complexos que os pluviômetros e que registram a intensidade momentânea de precipitação em um gráfico em função do tempo ou em sistemas eletrônicos de aquisição de dados. São os aparelhos melhor resolução temporal no que se refere a registro de precipitação. (TUCCI, 2009).

Sua principal vantagem é qualidade na determinação tanto da intensidade, como da duração, sendo que modelos comerciais costumam apresentar erros na ordem de 0,2 mm, tanto menores quanto maior a magnitude da precipitação (GOMIDE, 1998 apud GERVÁSIO et al, 2007). Sua instalação e manutenção é mais cara (KÜCHLER et al, 2010), necessita de alimentação elétrica, e nos modelos não eletrônicos troca de papel de registro e catalogação deste. A qualidade total dos dados é tão melhor quanto mais automatizado e instalado for o aparelho, podendo-se assim evitar os erros humanos. (GERVÁSIO et al, 2007).

São encontrados, normalmente, em conjunto com instalações de pesquisa ou outras estações de instrumentação, como estações meteorológicas, universidades, grandes centros urbanos ou em locais de interesse com demanda de estudos aprofundados.

Devido à menor quantidade de aparelhos instalados, existe um déficit de dados, o que possibilita sua utilização apenas em regiões próximas ao aparelho onde há validade dos dados, sendo que este uso ainda esbarra na maior complexidade e falta de tradição do que comparado a dados com pior resolução temporal obtidos de outros aparelhos, como pluviômetros. (Salgueiro, 2005 e Gonçalves, 2011).

Quando instalados junto a outros aparelhos de medição de precipitação, como os pluviômetros, costumam ser utilizados para testes de comparação, onde se realiza tratamentos com os dados dos aparelhos com pior resolução temporal, contudo vastamente presentes no território nacional e, se compara com os dados do pluviógrafos no local, buscando validar métodos, expandindo essa validade para outros locais com presença apenas de aparelhos mais simples, mas com proximidade e semelhança com o local de estudo.

2.1.3 Pluviômetro de balança

Aparelhos que acumulam pequenas quantidades de precipitação, na ordem de 0,2 mm e medem o tempo necessário para a ocorrência dessa acumulação, diminuindo o intervalo de diluição das intensidades de precipitação registrados por pluviômetros comuns. (KÜCHLER et al, 2010).

São mais baratos do que os pluviógrafos, tanto para instalação como para manutenção e operação e, mensuram com precisão muito maior os eventos quando comparados com o pluviômetro. Existindo uma tendência atual de instalação no Brasil, já que é uma opção vantajosa e existe demanda por dados de precipitação. (KÜCHLER et al, 2010).

Gervásio et al. (2007) ao citar Chevallier (2000), comenta, contudo, que tem pior resolução temporal comparado a pluviógrafos que fornecem medidas contínuas no tempo, como os com sistema de sifão ou balança.

2.1.4 Sensoriamento Remoto

Define-se como sistemas de obtenção de dados de forma remota, ou seja, sem a necessidade de mensurações realizadas por aparelhos no local de interesse de forma direta. Isto pode ser realizado para diferentes tipos de dados e áreas de interesse, seja por radares ou aparelhos de imagiação, de solo, em aeronaves, balões ou satélites.

Em hidrologia, possibilitam acesso a locais remotos e, com a automatização do sistema, continuidade espacial e temporal e menor ocorrência de erros grosseiros devido a fatores humanos, garantem confiabilidade após validação para uma determinada região (CONTI, 2002).

Seu desenvolvimento acompanha o entendimento do comportamento dos sistemas de precipitação e como as radiações eletromagnéticas, naturais e emitidas, interagem com estas, além como essa interação se modifica conforme características diversas dos sistemas de precipitação.

Desenvolveram-se no passar dos anos técnicas de imagiação, principalmente na faixa do infravermelho e da luz visível, recentemente desenvolvendo-se com sucesso técnicas na faixa das micro-ondas, faixa do espectro eletromagnético que permite obtenção de informações mais detalhadas sobre o interior das nuvens. (CONTI, 2002).

Cada frequência de radiação possibilita informações sobre determinados parâmetros das estruturas de precipitações e sua distribuição, como cristais de gelo e temperatura no centro ou superfície dos sistemas precipitantes. Esbarando, também, nas especificidades de cada tipo de sensor, como grande ou pequena resolução espacial e temporal, e especificidades do satélite que portam esses sensores. (CONTI, 2002 e GONÇALVES, 2011).

Os radares meteorológicos de solo são amplamente utilizado em países desenvolvidos e tem seu uso limitado no Brasil devido ao custo e tempo necessário para sua instalação; sendo que seriam necessárias 140 estações, bem alocadas devido a fatores do relevo e erros de mensuração a grande distância, para cobrir todo o território nacional; número ainda distante devido ao já citado alto investimento. (COLLISCHONN, 2006).

Os satélites, com grande histórico de evoluções como apresentado por Conti (2002), é um sistema colocado em orbita portando diversos sensores. O satélite

Tropical Rainfall Measurement Mission (TRMM), foi de dezembro de 1997 a 08 de abril de 2015, data de sua última medição (PMM, 2017), o sistema mais bem sucedido na coleta de dados meteorológicos por satélite, sendo sucedido pelo sistema GPM - *Global Precipitation Measurement* (Medição de Precipitação Global).

O TRMM, lançado em conjunto pela NASA e pela JAXA, conta com diferentes sensores (Figura 2): Imagiador de Micro-ondas, radar de precipitação, radiômetro no visível e infravermelho, sensor da energia radiante da superfície terrestre e das nuvens e sensor de imageamento de relâmpagos (KUMMEROW et al, 2000). Ainda segundo Gonçalves (2011), o radar de precipitação é o primeiro a ser lançado em um satélite, permitindo uma imaginação em 3D do evento de precipitação.

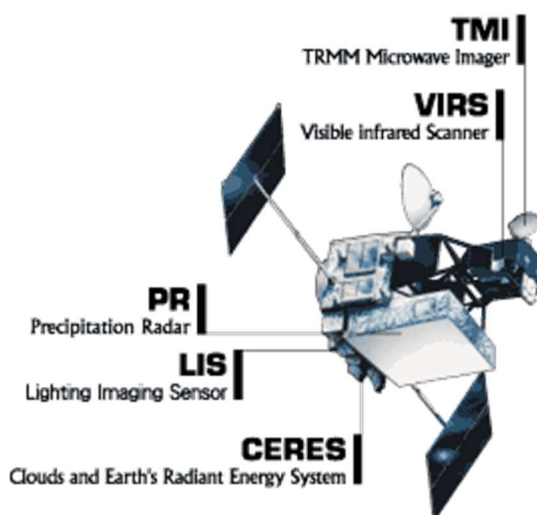


Figura 2 – Principais sensores do satélite TRMM
 Fonte: TRMM (2017)

Um dos mais importantes destes sensores para o TRMM é o de micro-ondas, o que se repete e intensifica no seu sucessor, o sistema GPM.

Os dados dos sensores do TRMM referentes a precipitação, o Multi-Satellite Precipitation Analysis (TMPA), são agrupados por um algoritmo que combina e corrige as informações colidas pelo próprio satélite e por outros satélites, como os da séries GOES – Geostationary Operational Environmental Satellite, comparando-os e corrigindo com base em um programa de validação em campo contando com vários radares de solo, presentes na região tropical, fornecendo assim o produto 3B42-v7, com resolução espacial de $0,25^\circ$ (27×27 Km) e temporal de 3 horas. O produto 3B42-v7, refere-se a versão 7 deste. Os controladores do programa, desde seu lançamento, tem melhorado sua compreensão sobre os sistemas precipitantes e

imaginação via satélite, o que levou ao desenvolvimento de várias versões do produto em questão, cada qual com menor erro sistemático. (PMM, 2017).

Os dados do TRMM são fornecidos para os centro de pixels, com tamanho igual a resolução espacial do satélite. De forma a exemplificar, a Figura 3, mostra a precipitação registrada em alguns pixels do TRMM, os valores registrados são mostradas em um escala de cores e, se referem ao acumulado no dia 25 de abril de 2007. No mesmo dia, na estação de código 02652013 pertencente ao Instituto das Águas do Paraná e, localizada sobre a região urbana de Pato Branco, obteve-se a medição de 131,8 mm, enquanto que o registro do satélite, para o pixel sobreposto a estação, forneceu a medição de 137 mm.



Figura 3 - Pixels do TRMM

Cada cor indica o acumulado de precipitação de um pixel do TMPA sobre a região geográfica indicada nos cantos da imagem, para o dia em questão. Percebe-se também a localização de uma estação pluviométrica do município de Pato Branco. A escala está em milímetros x 10².

Fonte: Adaptado de Giovanni (2017)

O trabalho de Melo et al. (2015) cita que os dados de precipitação do TMPA v7 sobre o Brasil são mais condizentes com as análises de precipitação realizadas em solo, quanto maior o intervalo de acumulação dos dados, sendo assim, muito compatíveis em análises mensais, diminuindo a compatibilidade para análises semanais e havendo ainda maiores discrepâncias para análises diárias. Apresentando-se erros maiores na região norte e litoral nordestino, na região sul

considerou-se a priori utilizáveis os dados; os melhores indicadores apareceram na região sudeste.

Essas divergências citadas por Melo et al. (2015) podem se dar por ineficiências do TMPA v7, como também, pela característica, citada por Kurek et al. (2015), que o satélite tem de prever a precipitação, fazendo com que os eventos de precipitação sejam registrados pelos diferentes instrumentos em horários diferentes; quando se avalia esta segunda hipótese, pode-se esperar melhor desempenho do TMPA v7 quando utilizado para modelagem de eventos extremos, já que para isto se tem interesse apenas no montante dos eventos extremos.

O produto 3B42 sofreu uma perda de qualidade em outubro de 2014 quando o combustível do satélite TRMM terminou. O produto continuou sendo ainda produzido mesmo após da queda do satélite no mar, contudo com menos dados de entrada, já que não havia mais dados fornecido pelo TRMM e somente dados produzidos pelos satélites auxiliares. A previsão é que o produto 3B42 deixe de ser produzido no final do ano de 2017, sendo substituído. (PMM, 2017).

Em 27 de fevereiro de 2014 foi lançado o GPM, contando com um constelação de satélites e motivado pelo sucesso do TRMM, busca medir a precipitação a partir do espaço. Seu produto de medição final, lançado apenas 4 meses após o evento de precipitação, conta a partir de meado do ano de 2016, com um sistema muito bem calibrado com resolução espacial de $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ e resolução temporal de meia-hora. Espera-se que conforme se forma-se sua série temporal, tenha potencial para ajudar na precisão de eventos extremos, já que possuirá significativa melhora em relação ao seu antecessor. (PMM, 2017).

Ao contrário das medições em terra citadas nas seções anteriores, a medição do TRMM não é pontual, mas média de um retângulo de aproximadamente 27 por 27 quilômetros, informação válida para a região do equador, confiável a priori até a latitude de $\pm 50^\circ$. (PMM, 2017).

Percebe-se que sua resolução temporal do TRMM é inferior em qualidade a de pluviômetros de balança, contudo muito superior à de pluviômetros comuns. Como os pluviômetros de balança ainda não possuem muitos exemplares instalados com grandes históricos de medição e, com levando em consideração as deficiências e limitações na malha e nos pluviômetros comuns, percebe-se as vantagens do TRMM, que tem os dados disponibilizados de forma gratuita, contínua e, a priori, sem falhas no período 1998-2014.

2.2 PRECIPITAÇÕES INTENSAS

Os eventos de precipitação são aleatórios e podem ser explicados por diferentes fenômenos, os principais são: as precipitações frontais originadas por causa de frentes frias, de considerável duração, vasta área de abrangência e intensidade média; as precipitações convectivas, de curta duração, pontuais e de alta intensidade; e as precipitações orográficas, comuns em terrenos elevados, de grande duração, área limitada pelo acidente geográfico e de baixa intensidade, costumeiramente gerando os maiores montantes anuais. Sendo que cada local pode sofrer precipitações advindas de diferentes fenômenos (CONTI, 2002).

Para uma dada região, os eventos de precipitação são afetados por diferentes variáveis, as mais impactantes costumam ser permanentes e sofrerem poucas variações com o tempo, assim as características de precipitação de um local permanecem relativamente constantes, sofrendo pequenas variações naturais ao processo. Essa característica da precipitação permite que seja descrita por distribuições probabilísticas e trabalhada estatisticamente (CONTI, 2002).

2.2.1 Consideração de eventos extremos de chuva em diferentes bacias hidrográficas

Pode-se refletir, com base em Tucci (2009) que em grandes obras e bacias hidrográficas, quando o interesse por eventos máximos de vazão, estes costumam ser consequência de precipitações frontais, devido a sua grande abrangência, tomando toda a bacia com duração maior ou igual ao tempo de concentração da bacia.

Para esses casos, as precipitações convectivas, mesmo possuindo grandes intensidades, maiores que a das frontais, tem o revés de acontecerem apenas localmente e, se sobre toda a bacia, possuem duração menor que o tempo de concentração, tendo a precipitação extrema local menor efeito na vazão quando comparado a intensidades um pouco menores, mas abrangendo toda a bacia por um tempo maior. Isso pode ser melhor visualizado ao se transformar os índices mm/h (milímetros por hora) dos dois eventos de precipitação em m³/h (metros cúbicos por hora), ao se multiplicar a relação mm/h pela área de abrangência em metros quadrado de cada forma de precipitação sobre a bacia e, também, ao se observar as

consequências de precipitações com duração menor que o tempo de concentração na Figura 4.

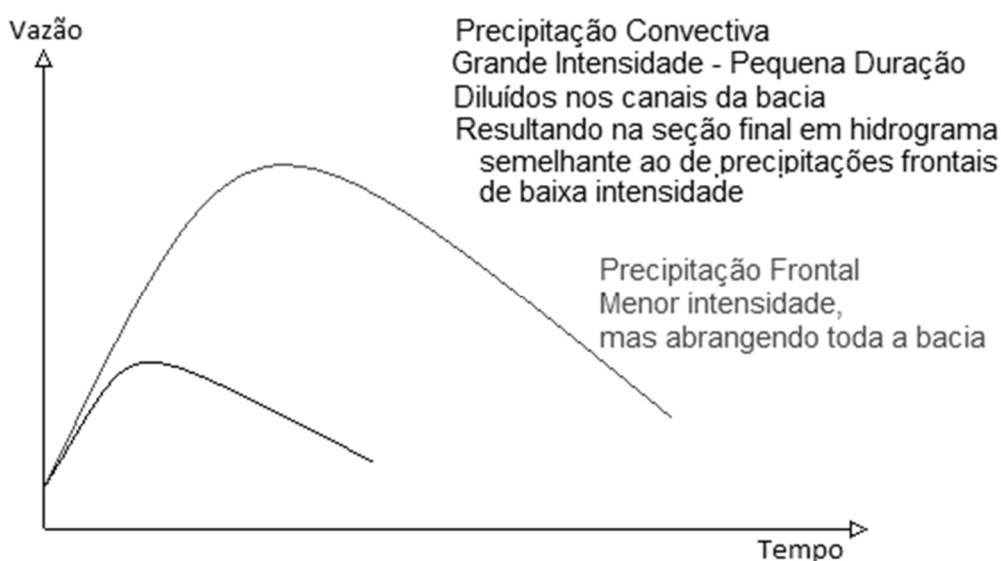


Figura 4 - Eventos extremos em grandes bacias
Fonte: Autoria Própria

Já em pequenas bacias hidrográficas, onde o tempo de concentração é semelhante ao tempo de duração característico de precipitações convectivas e a sua área de abrangência, estas é que costumam gerar as vazões máximas, visto que tem a capacidade de precipitar por toda a bacia durante tempo suficiente para que se tenha na seção de saída contribuição de precipitação escoada de todos os pontos. Observe na Figura 5 os mesmos índices aplicados anteriormente em grandes bacias.

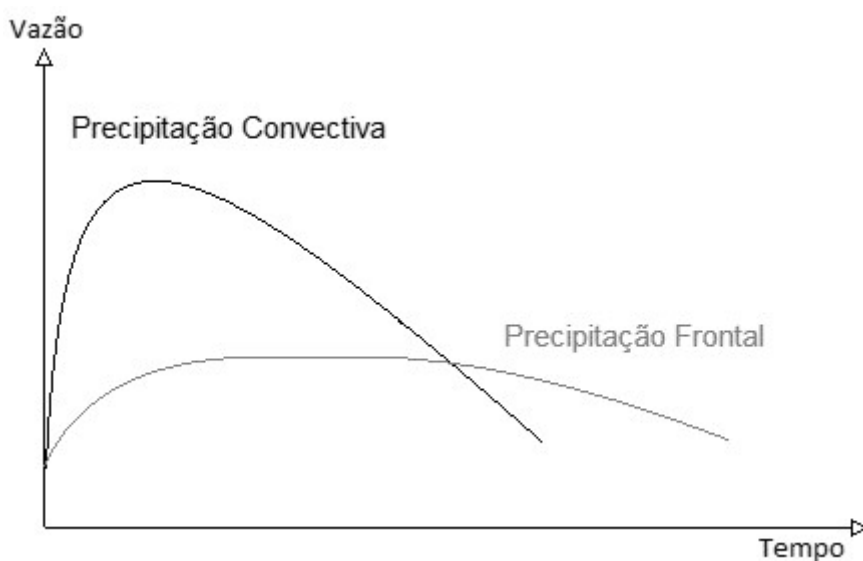


Figura 5 - Eventos extremos em pequenas bacias
Fonte: Autoria Própria

Assim, considera-se que um registro pontual de precipitação tem uma validade regional limitada. Os dados de uma estação podem ser representativos para pequenas bacias, sem contudo, descreverem o que acontece em grandes bacias devido a variação espacial da precipitação (SALGUEIRO, 2005). Para a interpolação dos valores de precipitação existem vários métodos, média ponderada pela distância, Método de Thiessen e Métodos das Isoietas (TUCCI, 2009). Sendo que para grandes bacias costuma-se construir modelos hidrológicos distribuídos contando com dados de várias estações diferentes (COLLISCHONN, 2006).

Neste cenário, o TPA v7 permite a vantagem do fornecimento de uma malha contínua de dados para toda a bacia, garantindo maior confiabilidade na interpolação dos dados e modelagem dos eventos precipitantes sobre grandes porções do terreno.

2.2.2 Intensidade – Duração - Frequência

As precipitações são eventos aleatórios que contam com algumas características próprias do clima da região, podendo sofrer influências de diferentes sistemas. Assim são eventos que seguem distribuições estáticas.

Deve-se notar que um evento de precipitação será descrito sempre por uma intensidade ou quantidade e uma duração. Considerando-se apenas os extremos de máximos, interesse da drenagem pluvial, quanto maior a intensidade ou duração, menor será a probabilidade de ocorrência. Isto é, estatisticamente, mais tempo será necessário para que sua ocorrência se repita já que sua frequência é baixa, sendo que a frequência para eventos de precipitação é relacionada ao período de retorno.

As variáveis de interesse, intensidade, duração e período de retorno, podem ser relacionadas por meio de equações de dois tipos, Precipitação-Duração-Frequência e Intensidade-Duração-Frequência (Equação 1), sendo a última mais utilizada para obras de drenagem.

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

Equação 1

Onde, Tr é o período de retorno em anos, t é a duração em minutos da precipitação considerada, i é a intensidade em milímetros por hora e a , b , c , d são parâmetros ajustáveis da equação que dependem da região.

Quanto maior o período de retorno do evento de precipitação, maior será a intensidade esperada, considerando uma mesma duração. Da mesma forma que quanto maior for a duração de um evento, para um mesmo período de retorno, menor será sua intensidade.

A cidade de Pato Branco – PR, possui uma equação de precipitações intensas (Equação 2), proposta por Fendrich (1991). Essa equação foi construída a partir de uma série de 11 anos (de 1979 até 1989) de dados de um pluviógrafo distante aproximadamente 11 km da região urbana. Fendrich (1991) utilizou o método estatístico de Gumbel-Chow (SOUZA, 2014) para os períodos de retorno de 2, 3, 5, 10, 20 e 50 anos e duração das precipitações máximas iguais a 10, 20, 30, 60, 120, 180, 360, 720 e 1440 minutos. A equação IDF de Pato Branco usada em projetos de obras hidráulicas e de saneamento é escrita como (Fendrich, 1991):

$$i = \frac{879,43 \cdot Tr^{0,152}}{(t + 9)^{0,732}}$$

Equação 2

Devido à natureza aleatória da precipitação e menor ocorrência de eventos extremos, a descrição dos eventos extremos é sensível as análises estatísticas ao período de dados observados. Pois pequenos períodos de observação podem não observar alguns eventos extremos, mesmo estes sendo corriqueiros no ponto considerado, já que este período de observações pode ter coincidido com uma série anormal de mínimos de precipitação, da mesma forma que o inverso também pode ocorrer, quando observa-se um período anormal de máximos.

Isto configura um entrave ao uso das IDFs, já que um de seus usos é para extrapolação de previsão de eventos extremos para período de retorno maiores que o período de observação. Assim equações derivadas de períodos pequenos de observação não são bons estimadores para precipitações com grandes períodos de retorno.

As diferentes durações de precipitação, como citado, também influenciam na intensidade esperada. Assim para a correta adequação da equação aos fenômenos, as durações devem ser satisfatoriamente discretizada, principalmente para

pequenas durações, como citado por Gonçalves (2011), já que estas são as que possuem maiores intensidade, com grande variação para pequenas variações de tempo de duração.

Visto isto, retoma-se a problemática da falta de aparelhos de medição de precipitação com discretização das durações em pequenos intervalos, como pluviógrafos e pluviômetros de balança. Com intuito de contornar esta dificuldade, surgiram os métodos de desagregação de precipitações de um dia em intervalos menores, tema melhor tratado na seção 2.3.3.

2.2.3 Desagregadores

Existindo somente a possibilidade de obtenção de dados diários de precipitação e não possibilidade de obtenção de dados de precipitação acumulada em pequenos intervalos de tempo como 5, 10, 15, 20, 25 e 30 minutos e 1, 6, 8, 10, 12 e 24 horas, surge a possibilidade da utilização do método dos desagregadores de precipitação diária.

A desagregação consiste na dissociação de eventos de maior duração, como a precipitação de 1 dia, em eventos de menor duração, por meio de índices multiplicativos de relação observados entre diferentes durações de precipitação. Por exemplo, a precipitação com duração de 24 horas é relacionada com a precipitação de 1 dia por meio do índice 1,14 e a precipitação de 1 hora é relacionada com a precipitação de 24 horas por meio do índice 0,42 (CETESB, 1979).

Existem diversos métodos de desagregação, cada qual originário de diferentes observações sobre as precipitações, contudo cabe citar que não existe uma fundamentação profunda dessa técnica. A técnica evoluiu de características, hipóteses e relações observadas e levantadas entre os dados de precipitação e se consagrou ao ser avaliada e validada, com um erro aceitável, em locais onde foi aplicada e comparada com dados pluviógrafos.

2.2.3.1 Método de Bell (1969)

Desenvolvida por Bell (1969), válida para durações de precipitação entre 5 minutos e 2 horas e período de retorno entre 2 e 100 anos. Seu desenvolvimento foi fundamentado na observação de dados de precipitação de diversas partes do

mundo, sendo o método construído de forma a reproduzir as relações observadas entre as precipitações de diferentes durações. (GONÇALVEZ, 2011).

Baseia-se na precipitação de 1 hora e 2 anos de recorrência. Para tal propõe a estimativa desta através da Equação 3 e Equação 4, com média dos acumulados diários máximos anuais em milímetros (M) e o número médio de dias de tormenta (n), sendo a consideração destes dias de tormenta algo subjetivo. (GONÇALVEZ, 2011).

$$P_2^{60} = 6,69 \cdot M^{-3} \cdot M \cdot n^{0,33}, \text{ para } 0 \leq M \leq 50,8 \text{ e } 1 \leq n \leq 80 \quad \text{Equação 3}$$

$$P_2^{60} = 8,27 \cdot 10^{-3} \cdot M^{0,67} \cdot n^{0,33},$$

Equação 4

$$\text{para } 50,8 \leq M \leq 114,3 \text{ e } 1 \leq n \leq 80$$

Em seguida os índices a serem utilizados para desagregação de precipitação, agora sempre em relação a precipitação P_2^{60} , são dados pela Equação 5.

$$P_T^t = (0,35 \ln Tr + 0,76) \cdot (0,54 t^{0,25} - 0,50) P_2^{60} \quad \text{Equação 5}$$

2.2.3.2 Método das isozonas

Proposto por Torrico (SANTOS et al, 2015), surgiu da percepção gráfica que as relações entre precipitações de uma dada duração tendiam a um mesmo coeficiente de relação para dadas regiões geográficas do país. Assim foi proposto a divisão do país em isozonas (Figura 6) com os dados para cada zona constantes na Tabela 1.

Para aplicação do método deve-se selecionar a série de máximos anuais de precipitação acumulada de um dia e adapta-la a uma distribuição probabilística em relação ao período de retorno. Assim se terá uma relação que retorna a precipitação de um dia associada a um período de retorno, essa deve ser transformada em uma precipitação contínua de 24 horas, que segundo Santos et al. (2015, apud TORRICO, 1974) é dada pela Equação 6, que pode então ser dissociada em tempos menores. (SANTOS et al, 2015).

$$P_{24h} = 1,095 \cdot P_{1dia} \quad \text{Equação 6}$$

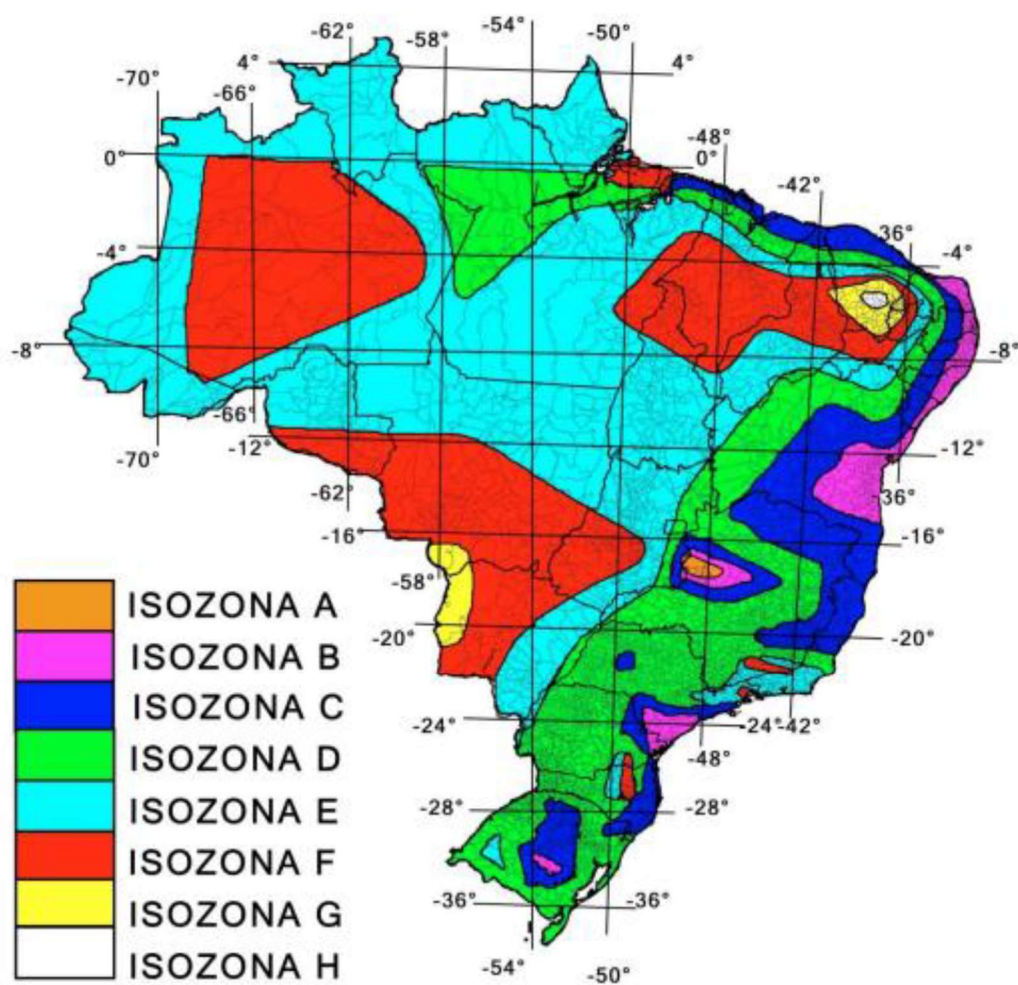


Figura 6 - Isozonas de Torrico (1974)

Observa-se a divisão territorial do Brasil em oito zonas, com critério de semelhante característica hidrológica, cada qual contando com índices diferentes para desagregação das precipitações.

Fonte: Santos et al. (2015) apud Torrico (1974).

Tabela 1 - Índices de Torrico (1974)

Relação:		1h/24h										6min/24h	
Tr		5	10	15	20	25	30	50	100	1000	10000	5 ~ 50	100
ISOZONAS	A	36,2	35,8	35,6	35,5	35,4	35,3	35,0	34,7	33,6	32,5	7,0	6,3
	B	38,1	37,8	37,5	37,4	37,3	37,2	36,9	36,6	35,4	34,3	8,4	7,5
	C	40,1	39,7	39,5	39,3	39,2	39,1	38,8	38,4	37,2	36,0	9,8	8,8
	D	42,0	41,6	41,4	41,2	41,1	41,0	40,7	40,3	39,0	37,8	11,2	10,0
	E	44,0	43,6	43,3	43,2	43,0	42,9	42,6	42,2	40,9	39,6	12,6	11,2
	F	46,0	45,5	45,3	45,1	44,9	44,8	44,5	44,1	42,7	41,3	13,9	12,4
	G	47,9	47,4	47,2	47,0	46,8	46,7	46,4	45,9	44,5	43,1	15,4	13,7
	H	49,9	49,4	49,1	48,9	48,6	48,6	48,3	47,8	46,3	44,8	16,7	14,9

Fonte: Torrico (1974) apud Santos et al. (2015).

2.2.3.3 Metodologia CETESB (1979)

Segundo Tucci (2009), o método foi desenvolvido da observação em papel log-log que curvas de probabilidade de diferentes durações tende a se manter aproximadamente paralelas e que existe grande similaridade entre relações de precipitações médias máximas com diferentes durações, sendo essa similaridade minimizada conforme maior o período de retorno considerado. Assim se tabelou para o Brasil relações entre as diferentes durações de precipitação, como consta na Tabela 2.

Ainda segundo Tucci (2009), deve-se ter especial atenção para a relação 24h/1dia, sendo a indicação 1 dia referente a leitura encontrada no pluviômetro de interesse e a indicação 24h referente a maior precipitação num período de 24 horas, não necessariamente coincidindo com o horário de leitura do pluviômetro.

Tabela 2 - Relações de Desagregação da CETESB (1979)

Relações	CETESB (1979)
05min/30min	0,34
10min/30min	0,54
15min/30min	0,70
20min/30min	0,81
25min/30min	0,91
30min/01horas	0,74
01h/24h	0,42
06h/24h	0,72
08h/24h	0,78
10h/24h	0,82
12h/24h	0,85
24h/01dia	1,14

Fonte: Adaptado de CETESB (1979).

2.2.4 Distribuições Estatísticas

As precipitações extremas podem ser modeladas usando distribuições probabilísticas de máximos (BARRETO et al, 2015). Pode-se citar algumas destas distribuições: Log-Normal tipo II, Log-Normal tipo III, Fréchet, e Gumbel. Estas fornecem subsidio para extrapolação da previsão de precipitações além do período de observação de dados.

A distribuição de Gumbel para eventos hidrológicos costuma vir associada à hipótese de Ven Te Chow, visualizada na Equação 7. Esta hipótese relaciona um evento a ser prescrito (x), com a média dos eventos observados ($x_{méd}$), o desvio padrão (S_x) e um fator advindo de distribuição estatística que adeque os dados (K_T) (SOUZA, 2014).

$$x = x_{méd} - (S_x \cdot K_t) \quad \text{Equação 7}$$

A função de densidade acumulada de Gumbel ($F_x(x)$) retorna a probabilidade de se encontrar um valor de X maior ou igual ou valor do x de interesse, através do

período de retorno considerado (Tr) e de variável reduzida de Gumbel (y), conforme Equação.

$$F_x(x) = P(X \geq x) = 1 - e^{-e^{-y}} = \frac{1}{Tr} \quad \text{Equação 8}$$

A variável reduzida de Gumbel (y) é dada pela Equação 9. Enquanto a média ($x_{méd}$) e a variância (S_x^2) da função densidade de probabilidade de Gumbel são dados pelas Equação 10 e Equação 11.

$$y = \frac{x - \beta}{\alpha} \quad \text{Equação 9}$$

$$x_{méd} = \beta + 0,577\alpha \quad \text{Equação 10}$$

$$S_x^2 = \frac{\pi^2 \alpha^2}{6} \quad \text{Equação 11}$$

Pode-se explicitar na Equação 8 a variável reduzida de Gumbel (y), obtendo-se:

$$y = -\ln[-\ln(F_x(x))] \quad \text{Equação 12}$$

Para precipitações máximas, relacionar-se o fator ($1/Tr$) da Equação 8 com a Equação 12, obtendo-se a Equação 13.

$$y(Tr) = -\ln\left[\ln\left(\frac{Tr}{Tr - 1}\right)\right] \quad \text{Equação 13}$$

O termo (x) da Equação 12, representante da variável de interesse, ao ser posto em evidência fornece:

$$x = \beta + \alpha . y \quad \text{Equação 14}$$

A Equação 13, variável reduzida de Gumbel ($y(Tr)$), poder ser substituída na Equação 14, fornecendo:

$$x = \beta - \alpha \cdot \ln \left[\ln \left(\frac{Tr}{Tr - 1} \right) \right] \quad \text{Equação 15}$$

As Equação 10 e a Equação 11, ao serem adequação na Equação 15, retornam a seguinte relação:

$$x = x_{méd} - \left(\frac{\sqrt{6}}{\pi} \cdot S_x \right) \cdot \left[0,577 + \ln \left(\ln \left(\frac{Tr}{Tr - 1} \right) \right) \right] \quad \text{Equação 16}$$

Pode-se denominar o seguinte fator da Equação 16 como (K_t), obtendo-se a Equação 17. Isto é possível visto que este fator advém da função densidade de probabilidade de Gumbel, e o termo (K_t) da equação de Ven Te Chow refere-se a uma distribuição estatística que modele os dados.

$$K_t = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left[0,577 + \ln \left(\ln \frac{Tr}{Tr - 1} \right) \right] \quad \text{Equação 17}$$

Este fator (Equação 17) aplicado na Equação 7 (Ven Te Chow) retorna novamente a Equação 16. Obtêm-se assim a equação de Gumbel-Chow para eventos de máximo de precipitação (Equação 18), com (K_t) dado pela Equação 17.

$$P_{máx} = P_{médio} + K_T \cdot S_p \quad \text{Equação 18}$$

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 OBTENÇÃO DOS DADOS

3.1.1 Obtenção dos dados de pluviometria

Inicialmente, para a obtenção dos dados de precipitação de estações de medição próximas a Pato Branco – PR, fez-se uso da plataforma HidroWeb pertencente à ANA. Neste sitio on-line encontram-se para a presente região, somente pluviômetros e nenhum pluviógrafo. Foram então tomados os dados de todas as estações em um raio aproximado de 19 km contados do centro de Pato

Branco, distância esta, referente ao centro da cidade mais próxima, no município de Mariópolis - PR.

Foram encontradas sete estações (Figura 7), destas, quatro possuíam séries históricas longas e no período 1998-2014. Duas estações contando com dados de 1965 a 2015 e duas contando com dados de 1976 a 2015. Para a escolha da estação a ser utilizada, utilizou-se o seguinte critério, em ordem:

- Possuir série histórica consistente e no mínimo compatível com o período de anos inteiros de observação do TRMM, ou seja, do ano de 1998 ao ano de 2014.
- Localizar-se sobre, ou o mais próximo o possível da região urbana do município, a fim de ser representativa para esta região.
- Possuir longa série de dados, a fim de representar bem a situação e variabilidade hidrológica da região.

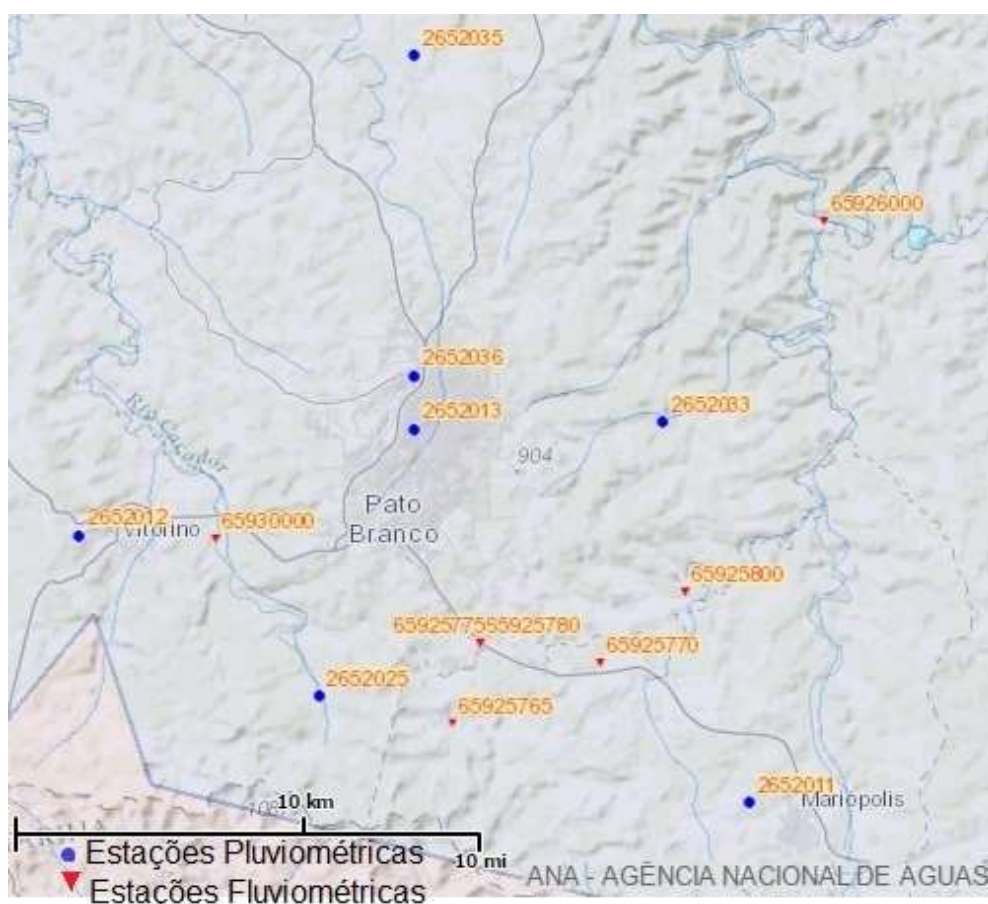


Figura 7 - Instrumentos nas proximidades de Pato Branco - PR
Fonte: HidroWeb - ANA

Escolheu-se a estação pluviométrica de código 2652013, pertencente ao Instituto das Águas do Paraná, situada na latitude -26,233289 e longitude -52,683355. Esta estação encontrar-se sobre o perímetro urbano, possui longa série de dados (1965 a 2015) condizente com o período de dados do TRMM e apresenta poucas falhas. Neste trabalho se fará referência a esta estação pluviométrica como pluviômetro de referência.

Em seguida, utilizando metodologia citada em Tucci (2009), realizou-se o preenchimento das falhas diárias através de regressão linear (Equação 19) e a análise de dupla massa, ambos os procedimentos foram realizados com acumulados mensais. Utilizou-se como referência para estas análises, o pluviômetro de código 2652011, situado a aproximadamente 19 km do pluviômetro de referência, contudo, em região de mesmo clima e em altitude semelhante. Essa escolha deve-se a este ser o único pluviômetro próximo com mesmo período de observações do pluviômetro de referência. Aqui esse segundo pluviômetro será denominado pluviômetro vizinho.

$$Y = a + b . X \qquad \text{Equação 19}$$

A Equação 19, modelo para o método de preenchimento de falhas por regressão linear, relaciona o valor de precipitação registrado na estação vizinha (X) e o valor da precipitação diária na estação que apresentou falha (Y), através de relação com dois parâmetros (a e b), obtidos de regressão linear com os acumulados mensais das estações.

Quando realizada a análise de dupla massa, observou-se inconsistências dos dados no ano 1975. Por não ser possível verificar a fonte destas inconsistência e sua influência nos resultados, os dados anteriores ao ano de 1977 foram desconsiderados. Assim, a série de dados de pluviometria utilizada, se estende do ano de 1977 a 2015.

3.1.2 Obtenção dos dados do TMPA v7

Os dados do produto 3B42-v7 são disponibilizados pela NASA em diferentes plataformas e formatos. Como para o presente estudo necessitava-se apenas dos dados de um pixel sobre as coordenadas do pluviômetro, utilizou a plataforma Giovanni, acessível em: <<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>>. No Apêndice 1 encontram-se indicados os passos utilizados na plataforma Giovanni para se obter

os dados do TMPA v7 utilizados, este passa-a-passo está na forma de um exemplo para o ano de 2007.

Os dados do TMPA v7, sendo referentes a intensidade de precipitação média de 3 horas, foram acumulados para a obtenção das séries de 6, 9, 12 e 24 horas. Séries, estas, necessárias a posterior construção da equação IDF.

3.2 METODOLOGIA DE DESAGREGAÇÃO DE PRECIPITAÇÕES E MÉTODOS ESTATÍSTICOS PARA A CONSTRUÇÃO DE IDF

A construção da IDF depende da medida das intensidades das precipitações para diferentes durações e períodos de retorno. Assim sendo, torna-se necessário a desagregação dos dados de pluviometria de 1 dia para menores durações de precipitação.

De forma análoga, Gonçalves (2011) cita a necessidade de desagregar-se a precipitação de três horas do TMPA v7, isto se deve a sensibilidade da curva IDF aos dados de pequena duração, pois são estas durações que apresentam grande intensidade e variação.

Opta-se pelo uso das relações de desagregação propostas por CETESB (1979). Essa escolha deve-se à seu uso em trabalhos de diversos autores em estados brasileiros próximos, comparando diferentes métodos de desagregação ou criando novas relações, porém concluindo validade e semelhança com o de CETESB (1979). Com base nisto, acredita-se no seu potencial de uso para a região considerada. Alguns dos trabalhos encontrados, a citar: Caldeira et al. (2015), Santos et al. (2009), Damé et al. (2008) e Mélo (2016).

A escolha do método de desagregação da CETESB (1979) deve-se ao trabalho de Back et al. (2012), que concluiu uma diferença geral de menos de 5% entre os desagregadores propostos por CETESB (1979) e os levantados por seu trabalho realizado no interior do estado de Santa Catarina, estado brasileiro distante aproximadamente 15 quilômetros de Pato Branco – PR.

O método de desagregação de CETESB (1979) apresenta dificuldade de uso quando da necessidade de relações para durações diferentes das citadas no trabalho original, ou seja, 05, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 360, 480, 600, 720 e 1440 minutos. Isto é um entrave a desagregação para pequenas durações dos dados do TMPA v7, que apresentam como menor duração 180 minutos (3 horas).

Entretanto, Silveira (2000) modificou o método da CETESB (1979), criando relações diretas a precipitação de 24 horas e desenvolvendo uma equação que permite relacionar qualquer duração em minutos a precipitação de 24 horas. Cabe citar que as relações obtidas de Silveira (2000) são as mesmas que as de CETESB (1979), seu ganho é permitir a obtenção e utilização de relações para quaisquer durações.

Com base nisto, desagregou-se os dados de pluviometria (precipitação de 1 dia), utilizando as durações e relações originais propostas por CETESB (1979) (Tabela 3).

Por outro lado, os dados para diferentes durações a partir do TMPA v7 foram obtidos, por: medição direta para a duração de 3 horas, acumulação para as durações de 06, 09, 12 e 24 horas e desagregação da precipitação de 03 horas para as durações menores que esta, resultando nas durações de 05, 10, 15, 20, 25 e 30 minutos e 01, 03, 06, 09, 12 e 24 horas. As relações de desagregação em relação a precipitação de 03 horas podem ser visualizadas nas duas colunas da direita na Tabela 3.

Tabela 3 - Relações de Desagregação

Relações	CETESB (1979)	Relações à 03h	Silveira (2000)
05min/30min	0,34	05 minutos	0,177269
10min/30min	0,54	10 minutos	0,281545
15min/30min	0,70	15 minutos	0,364966
20min/30min	0,81	20 minutos	0,422317
25min/30min	0,91	25 minutos	0,474455
30min/01horas	0,74	30 minutos	0,52138
01h/24h	0,42	01 hora	0,704567
06h/24h	0,72		
08h/24h	0,78		
10h/24h	0,82		
12h/24h	0,85		
24h/01dia	1,14		

Fonte: Adaptado de CETESB (1979) e Silveira (2000)

Quanto ao modelo estatístico para modelagem dos extremos de precipitação, optou-se pela distribuição estatística de Gumbel, também conhecida como Método de Fisher-Tippett. Opta-se por esta devido à larga utilização e sucesso para

estimativa de eventos extremos de precipitação. (VILLELA E MATTOS, 1975 apud SAMPAIO, 2011; LEOPOLDO et al, 1984 apud SAMPAIO, 2011; BACK, 2001 e ZAHAD FILHO et al, 2010).

Em relação ao método para seleção de eventos extremos a ser utilizado, opta-se pelo método de séries anuais, onde para a seleção dos eventos extremos se considera somente a maior precipitação anual. Esta escolha é motivada pelo número de ano de dados da série do TMPA v7 (17 anos) e pelo número de ano da série do pluviômetro (39 anos).

A preferência pelo método das séries anuais é feita em detrimento do método de séries parciais, onde fixa-se um valor como mínimo e seleciona-se todas as precipitações com intensidade maior que este mínimo, não importando o ano a que se refere. O método das séries anuais é mais preciso e recomendado para observações com 12 anos de dados ou mais, devendo ser utilizado o método das séries parciais, apenas quando se dispõe de pequeno número de dados, referentes a menos de 12 anos de observação.

3.3 COMPARAÇÃO ESTATÍSTICA DAS SÉRIES DE MÁXIMOS

As séries de máximos anuais são a fonte de dados no qual se baseia a construção das curvas IDF's. A abrangência da série de dados do pluviômetro e do TMPA v7 são diferentes, o pluviômetro conta com dados de 1977 a 2015 e o TMPA v7 com dados de 1998 a 2014. Diante do exposto, é necessário verificar a influência do período de observações nos resultados, devido a possibilidade de ocorrência de mudanças no regime hidrológico do período 1977-1997 para o período 1998-2015.

Para a verificação de homogeneidade hidrológica dos dados de máximo do período de 1977 a 1997 para o período 1998 a 2015, separou-se a série de máximos do pluviômetro (1977 a 2015), em duas séries individuais, uma coincidindo com o período de observações do TMPA v7 (1998 a 2014) e outra com os dados anteriores a este período (1977 a 1997).

Esta verificação de igualdade de precipitações máximas (a partir dos dados do pluviômetro) entre os períodos de 1977-1998 e 1998-2014 foi feita empregando o teste t (t-Student) para as médias e o teste F (F-Fisher) para variâncias, ambos para um nível de significância (α) igual a 5%. Para verificação de normalidade (para $\alpha=0,05$), foram realizados os testes de normalidade de Kolmogorov-Smirnov,

Shapiro-Wilk e Anderson-Darling e também os gráficos quantil-quantil e histograma de frequências.

3.4 CONSTRUÇÃO DAS EQUAÇÕES IDF

3.4.1 Construção da equação IDF a partir dos dados do pluviômetro

. Primeiro, selecionou-se a série de máximos diários anuais de precipitação, transformando-a, em seguida, em série de máximos de precipitação de 24 horas, ao se multiplicar individualmente cada termo desta série pelo coeficiente apresentado na Tabela 3. Da série de máximos de precipitação de 24 horas, calcula-se a média aritmética (precipitação máxima média) e o desvio padrão amostral.

Os valores de k_t (Equação 20) da distribuição estática de Gumbel-Chow (Equação 20), são calculados em função dos períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos. A precipitação máxima média e seu respectivo desvio-padrão e os valores de k_t foram usados na equação de Gumbel-Chow (Equação 18), permitindo encontrar-se a precipitação com duração de 24 horas.

$$K_t = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left[0,577 + \ln \left(\ln \frac{Tr}{Tr - 1} \right) \right] \quad \text{Equação 20}$$

Os valores de $p_{m\acute{a}x}$ são então desagregados, fornecendo os valores de precipitação esperada para cada duração e período de retorno. Estes valores de precipitação são, então, divididos pela duração a que se referem, obtendo-se os valores de intensidade máxima ($i_{m\acute{a}x}$). Por fim, os valores de intensidade máxima são ajustados à equação IDF por meio de um modelo matemático de regressão não-linear. Os coeficientes da equação IDF foram ajustados usando o método dos mínimos quadrados no software Matlab.

3.4.2 Construção da equação IDF a partir dos dados do TMPA

Dos dados do TMPA selecionou-se as séries de máximos anuais de precipitação, com duração de 03, 06, 09, 12 e 24 horas. Para cada uma destas durações encontrou-se a média aritmética e o desvio padrão amostral da série, da mesma forma que apresentado na seção anterior.

Os valores de k_t da distribuição de Gumbel, são calculados para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos. Os valores de k_t , média aritmética e desvio padrão amostral podem, então, serem aplicados na equação de Gumbel-Chow (Equação 18), permitindo encontrar-se a precipitação com duração de 03, 06, 09, 12 e 24 horas para cada período de retorno considerado.

Os valores de p_{max} para cada período de retorno e duração de 3 horas, são então desagregados, fornecendo os valores de precipitação esperada para as durações menores que 3 horas. Estes valores de precipitação são então divididos pela duração a que se referem, obtendo-se os valores de intensidade máxima ($i_{máx}$). Por fim, os valores de intensidade esperada são ajustados à equação IDF através de regressão não-linear no software Matlab.

Quanto a obtenção sem utilização de método de desagregação, das durações maiores que 3 horas para o TMPA v7 e, posterior desagregação da precipitação de 3 horas em durações menores, ao contrário do realizado com dados de pluviometria, onde as intensidades para as precipitações de todas as duração são derivadas da precipitação de 1 dia, percebe-se um ganho ao contornar-se os erros implícitos ao método de desagregação.

3.5 COMPARAÇÃO DAS EQUAÇÕES IDF

Os valores de intensidade obtidos da equação IDF com dados de pluviometria (IDF-Pluviômetro), foram tomados como parâmetro verdade para as comparações realizadas nesta seção. Isto deve-se a considerável série de observações, a localização sobre a região urbana de Pato Branco e confiáveis métodos estatísticos aplicados na modelagem desta equação IDF.

A equação IDF de Fendrich (1991) para Pato Branco (IDF-Fendrich) e a IDF obtida com os dados do TMPA v7 (IDF-TMPA), serão comparadas com a IDF-Pluviômetro através dos procedimentos que se seguem nesta seção.

Para verificar se a IDF-TMPA subestima ou superestima as intensidade de precipitação em relação à intensidades da IDF-Pluviômetro, utilizou-se a métrica BIAS (Equação 21). Esta métrica retorna valores negativos (subestimativa) caso as intensidades da IDF-TMPA, sejam menores em relação à IDF-Pluviômetro.

$$BIAS = \sum_{t=1}^n \frac{i_{TMPA} - i_{Pluviômetro}}{n} \quad \text{Equação 21}$$

A estimativa da magnitude da superestimativa ou subestimativa de intensidade da IDF-TMPA foi realizada por meio da métrica Root Mean Square Error (RMSE), apresentado na Equação 22.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (i_{TMPA} - i_{Pluviômetro})^2}{n}} \quad \text{Equação 22}$$

Conjuntamente a estas análises construiu-se um gráfico de dispersão das intensidades e um gráfico com os erros médios percentuais relativos (EMPR) para cada período de retorno. O EMPA correlaciona a intensidade de precipitação obtidos a partir da IDF a comparar (i_{com}) com a mesma intensidade obtida através da IDF atualizada ($i_{atualizada}$) através da Equação 23.

$$EMPR = \frac{\sum_{t=1}^n \left| \frac{i_{TMPA} - i_{Pluviômetro}}{i_{t,atualizada}} \right|}{n} \cdot 100 \quad \text{Equação 23}$$

Todas estas análises foram realizados com a IDF-Fendrich e a IDF-TMPA em relação a IDF-Pluviômetro. Quanto às divergências entre os resultados obtidos da IDF-Pluviômetro e IDF-TMPA foi avaliado investigar a natureza da do erro quadrático médio, isto é, se são erros sistemáticos e/ou aleatórios nas medições do TMPA v7.

O erro sistemático podem ser indicados pelo RMSE sistemático ($RMSE_{sist}$), como mostrado na Equação 24. Esta necessita de um parâmetro ($TMPA_{reg}$), que é obtido através da equação determinada por regressão linear entre os dados da IDF-TMPA e os dados da IDF-Pluviômetro. A Equação 24 também necessita dos dados da IDF-Pluviômetro (i_{pluv}).

$$RMSE_{sist} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (TMPA_{t,reg} - i_{t,pluv})^2}{n}} \quad \text{Equação 24}$$

De forma análoga, os erros aleatórios podem ser estimados através dos valores originais da IDF do TMPA v7e os valores do $TMPA_{reg}$, como mostra a Equação 25.

$$RMSE_{aleatório} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (TMPA - TMPA_{reg})^2}{n}} \quad \text{Equação 25}$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ANÁLISE DESCRITIVA DA SÉRIE HISTÓRICA DE PRECIPITAÇÃO

Na análise de dupla massa entre os dados do pluviômetro vizinho e o pluviômetro de referência (Figura 8), foi observada a inconsistência entre os anos de 1975 e 1977. Como não se pode aferir qual a origem desta inconsistência, excluir-se os dados anteriores ao ano de 1977, obtendo-se uma série de 39 anos.

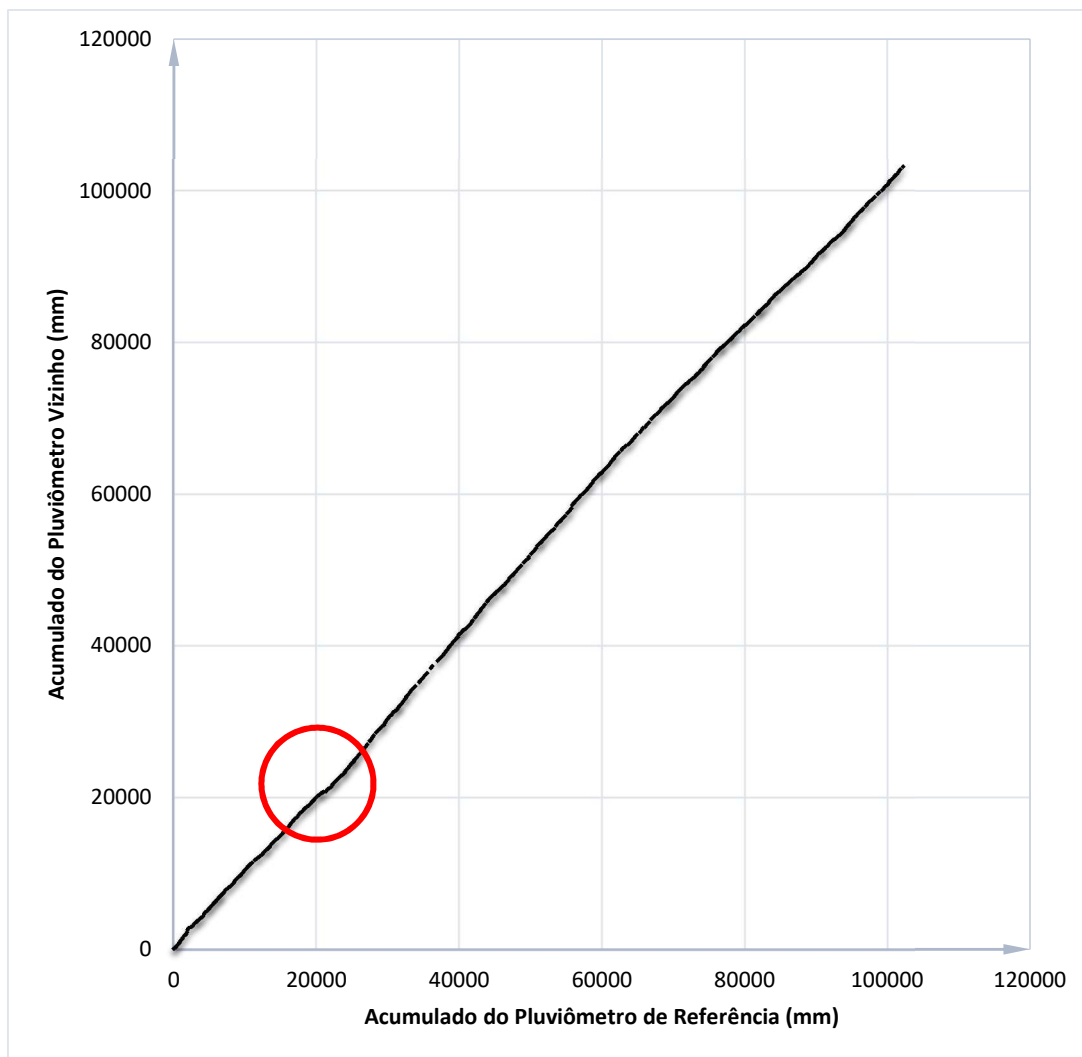


Figura 8 - Análise de dupla massa para o período 1965-2015
 O Círculo em vermelho indica a região da reta que apresenta a inconsistência
 Fonte: Autoria Própria

O procedimento de preenchimento de falhas na série histórica do pluviômetro de referência, não retornou nenhum valor de máximo anual. Sendo assim, estas falhas não influenciaram na construção da construção IDF, por serem desprezadas na escolha da série de máximos anuais diários.

Quanto ao preenchimento de falhas, cabe ainda citar a falha nas séries de observações de todos os pluviômetros nas proximidades de Pato Branco, no período setembro-dezembro de 2013. Esta falha está presente, também, no pluviômetro de referência e, por não existir dados de referência em nenhum pluviômetro próximo, não foi possível preenche-la. Contudo, o valor de máximo diário anual encontrado para o período válido de observações no ano de 2013 foi de 113 mm; este valor é próximo da média das séries de máximos anuais (119,2 mm) que conta com desvio

padrão de 29,6 mm. Assim optou-se por manter o ano de 2013 e seu valor na série de máximos diários anuais de pluviometria.

Com intuito de escolher-se as métricas estatísticas para comparação dos períodos de medição pluviométrica anteriores e coincidentes como o período do TMPA v7, verificou-se a adequação da série de máximos diários anuais de pluviometria a distribuição normal. Os testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilk e Anderson-Darling, indicaram que a hipótese nula, de que os dados apresentados provêm de uma distribuição normal, não pode ser rejeitada para um nível de significância de 05%.

A normalidade dos dados de precipitação máxima do pluviômetro foi confirmada por meio da análise visual do histograma de frequências (Figura 9) e do gráfico quantil-quantil (Figura 10). Foi observada a adequação, dos valores de precipitação a reta teórica, evidenciando a validade da distribuição normal.

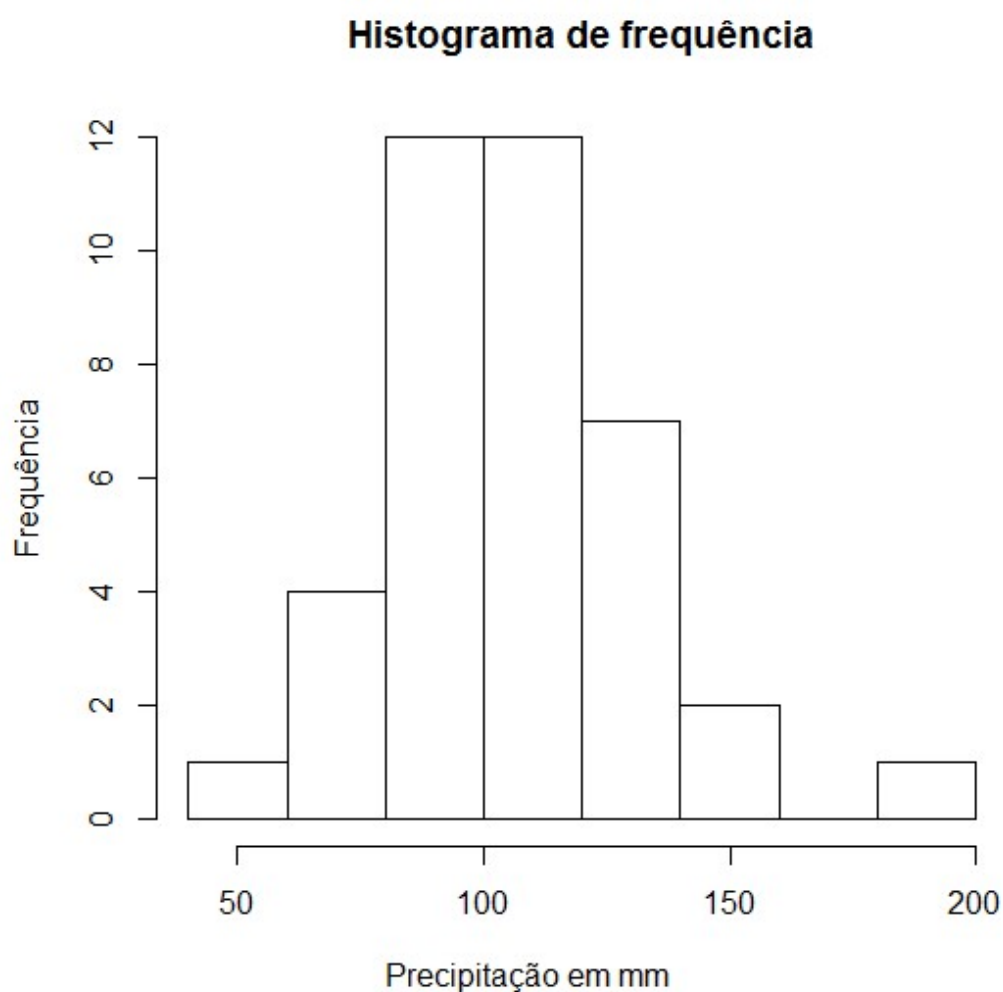


Figura 9 - Histograma de Frequência

As frequências por intervalo de precipitação aproximam a imagem da curva de Gauss da distribuição normal

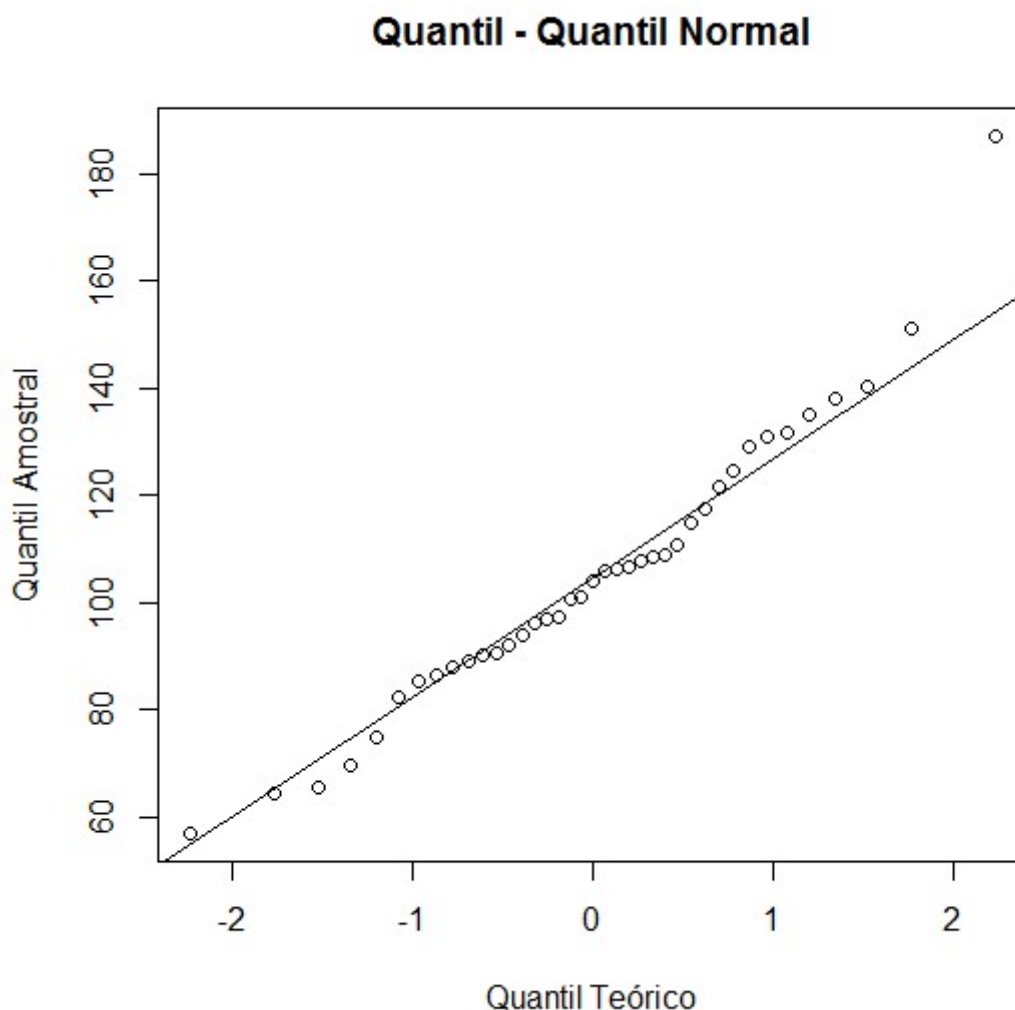


Figura 10 - Gráfico Quantil - Quantil Normal

Os valores de máximo diário anual de precipitação indicado pelos círculos aproximam-se da reta teórica de distribuição normal

Como foi comprovada a adequação dos valores de precipitação máxima (pluviômetro) à distribuição normal, utilizou-se para a análise dos seus períodos 1977-1997 e 1998-2015, teste paramétricos, o teste t de Student para a média e teste f de Fischer para a variância. Ambos os testes retornaram que a hipótese nula de que as médias e variâncias são iguais, não pode ser rejeitado para um nível de significância de 05%.

Desta forma, conclui-se que a IDF advinda da série de máximos do TMPA v7 no período 1998-2014 pode ser comparada a IDF advinda da série de máximos de pluviometria para o período 1977-2015, sem a necessidade de levar-se em consideração a diferença dos períodos. Já que estatisticamente, existem indícios que permitem afirmar que os dois períodos são iguais quanto a média e variância para um intervalo de confiança de 95% e significância de 05%, não havendo indícios

de que houve uma variação nas condições hidrológicas em relação a eventos extremos no período.

Por fim, para análise visual das séries de máximos diários anuais, apresenta-se o boxplot comparativo (Figura 11), com os dados de máximo diário do pluviômetro de referência e os dados de máximo diário do TMPA v7. Percebe-se que as medianas das duas séries são próximas (104 e 109 mm), porém, o limite inferior do TMPA (88 mm) é sensivelmente maior que o limite inferior do pluviômetro (57 mm), o mesmo acontece com os limites superiores, 151 mm registrado pelo pluviômetro contra 179 mm registrados pelo TMPA.

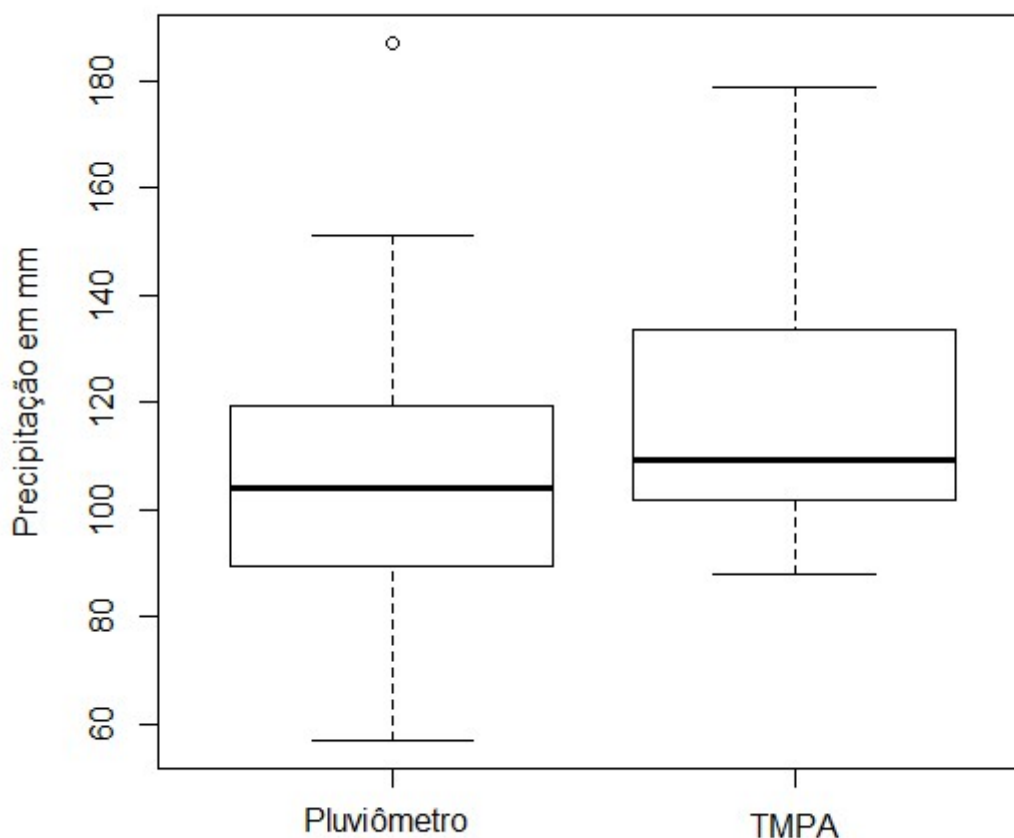


Figura 11 - Boxplot – Séries histórica de máximos de precipitação do pluviômetro e do TMPA 3B42V7

Percebe-se no boxplot com os dados do pluviômetro, um evento extremo discrepante (Figura 11). Este evento ocorreu no dia 20 de maio de 1983 e registrou-se 187 mm. Durante a análise dos pluviômetros próximos na mesma data, percebeu-

se que estas medições não variavam mais que 20 mm do registrado pelo pluviômetro de referência. Por isso, este evento extremo foi considerado válido.

4.2 EQUAÇÕES IDF

4.2.1 Nova proposta de equação IDF para Pato Branco

Observando-se a metodologia constante na seção 3.4.1, como proposta de IDF para Pato Branco, obtêm-se com o auxílio do software Matlab a Equação 26, com intensidade esperada (i) em mm/h, período de retorno (TR) em anos e duração (t) em minutos. Esta equação possui conformidade com os dados estimados indicada por um R^2 de 0,9985 e RMSE de 2,7989 mm/h.

$$i = \frac{986,7 \cdot TR^{0,1457}}{(t + 9,791)^{0,7244}} \quad \text{Equação 26}$$

4.2.2 IDF com os dados do produto 3B42-v7

Observando-se a metodologia constante na seção 3.4.2, a IDF (Equação 27) com dados do TMPA v7 é obtida com o auxílio do software Matlab. Com intensidade esperada (i) em mm/h, período de retorno (TR) em anos e duração (t) em minutos. Esta equação possui conformidade com os dados estimados indicada por um R^2 de 0,9985 e RMSE de 2,7815 mm/h.

$$i = \frac{863,1 \cdot TR^{0,1457}}{(t + 8,675)^{0,6901}} \quad \text{Equação 27}$$

4.3 ANÁLISES ENTRE EQUAÇÕES IDF

4.3.1 IDF atualizada e IDF de Fendrich (1991)

Os valores calculados para o BIAS e o RMSE da IDF-Fendrich em relação a IDF-Pluviômetro, podem ser observados na Tabela 4. Através do BIAS, percebe-se que a IDF-Fendrich subestima os valores de intensidade para todos os períodos de

retorno e para a equação como um todo. E relação a magnitude desta subestimativa, o RMSE indica valores na ordem de 10,65 mm/h.

Tabela 4 - BIAS e RMSE para a IDF-Fendrich

Período de Retorno	BIAS	RMSE (mm/h)
2	-7,64	8,85
5	-8,31	9,60
10	-8,83	10,19
15	-9,15	10,54
20	-9,37	10,79
25	-9,55	10,99
50	-10,11	11,61
100	-10,67	12,23
Toda a equação	-9,20	10,65

Fonte: Autoria Própria

A subestimativa apresentada pela IDF-Fendrich é explicada pelo maior número de anos de observações com que foi construída a IDF-Pluviômetro. Observado que pequenos períodos de observações, como é o caso da IDF-Fendrich (11 anos), podem não visualizar alguns eventos extremos e acabam por subestimar valores de intensidade de precipitação.

Na Figura 12 pode-se observar o EMPR para a comparação em questão. O EMPR fornece sempre valores percentuais absolutos (positivos), entretanto ao observar-se os valores negativos de BIAS, opta-se por mostrar os resultados do EMPR plotados no sentido negativo do eixo, com intuito de permitir uma análise mais intuitiva da subestimativa gerada pela IDF-Fendrich. Esta subestimativa varia no intervalo aproximado de 9,8 a 12%, sendo mais intensa para pequenos períodos de retorno.

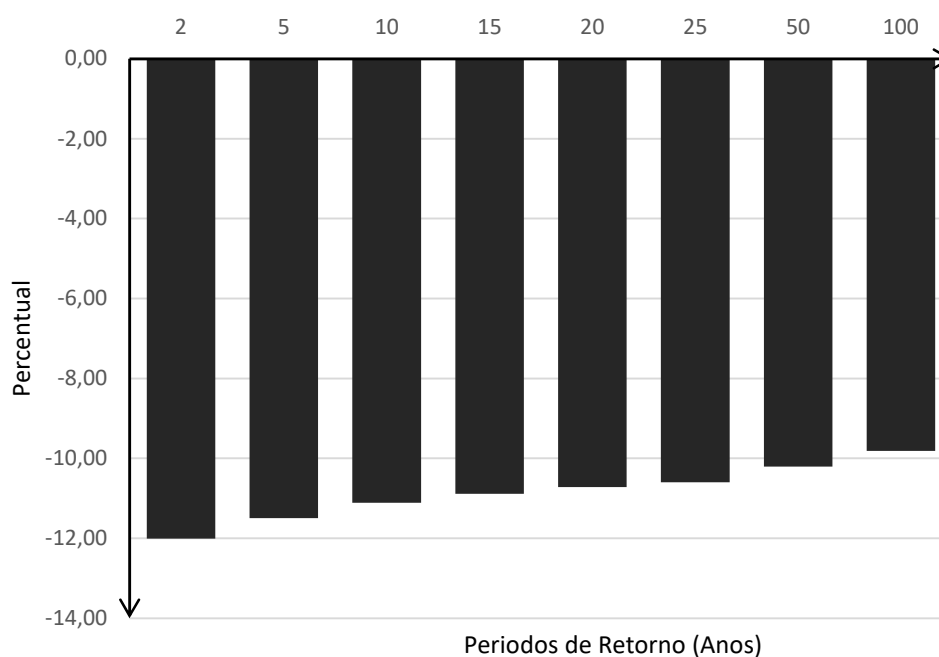


Figura 12 - EMPR – IDF-Fendrich em relação a IDF-Pluviômetro

A Figura 13 apresenta um gráfico de dispersão, nas ordenadas constam as intensidades da IDF-Fendrich e nas abscissas as intensidades da IDF-Pluviômetro. A bissetriz mostrada indica os pontos de equivalência entre as duas equações. Percebe-se que, conforme os resultados de BIAS, RMSE e EMPR, os valores encontram-se abaixo da bissetriz, indicando, na comparação, menores valores da IDF-Fendrich, assim como aumento da distância dos pontos a bissetriz para períodos de retorno maiores, como indicado pelo RMSE.

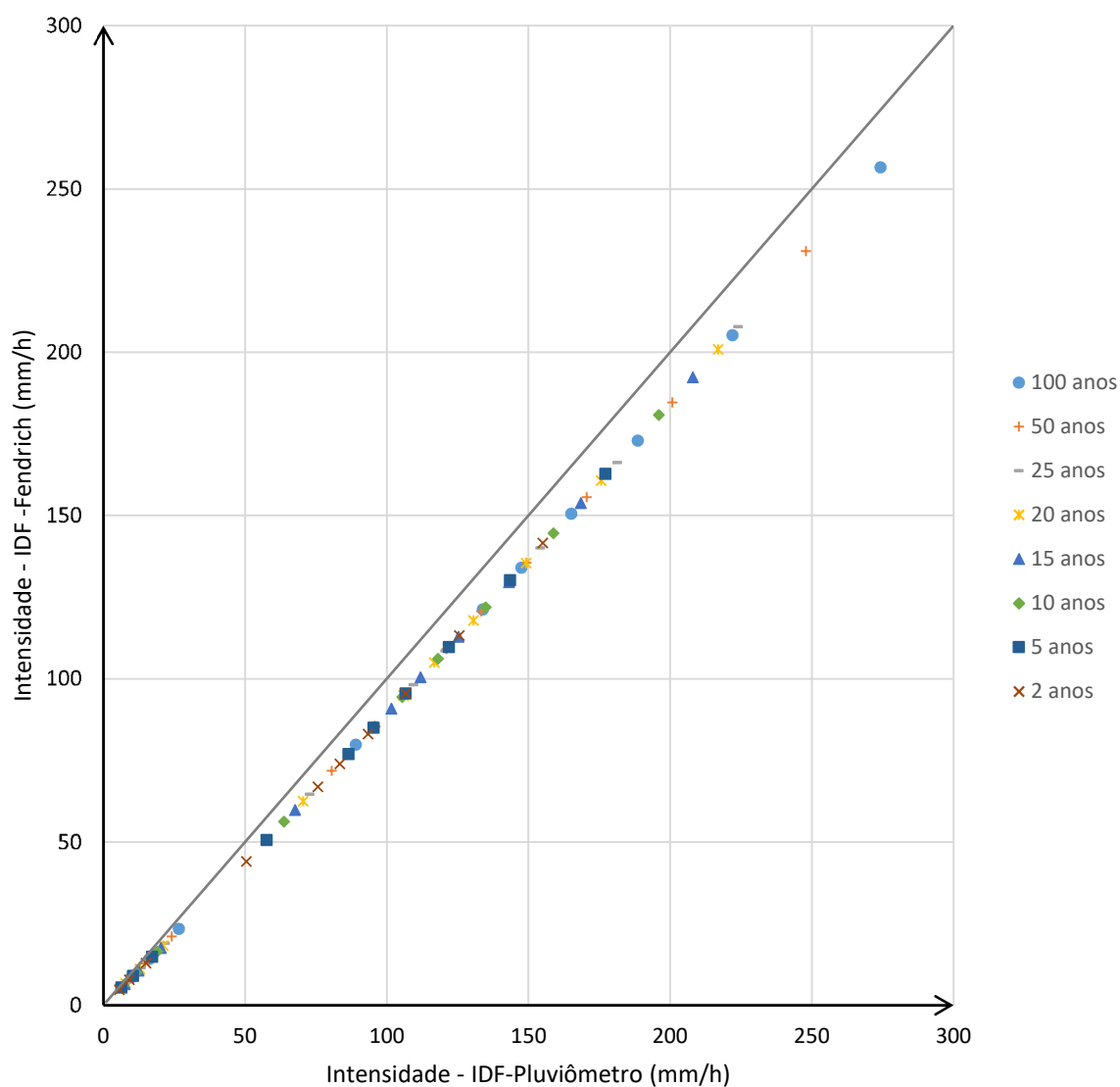


Figura 13 - Gráfico de dispersão entre a IDF-Fendrich e a IDF-Pluviômetro
A legenda se refere aos períodos de retorno em anos

Atribuir-se o comportamento relativo entre as duas IDFs, a forma que a IDF-Fendrich foi produzida. Ela se utilizou de um período de apenas 11 anos de dados, enquanto a IDF-Pluviômetro conta com um período de 39 anos de observações. Percebe-se também que IDF-Fendrich possui pouca discretização para pequenas durações (10, 20, 30 e 60 minutos), o que segundo Gonçalves (2011) pode levar a maiores discrepâncias entre o estimado pela IDF e o real; a IDF-Pluviômetro conta, para o intervalo menor que 1 hora, com as durações de 05, 10, 15, 20, 25, 30 e 60 minutos.

Pode-se concluir que mesmo que a equação de Fendrich (1991) tenha sido produzida com dados de pluviógrafo, enquanto que a IDF-Pluviômetro foi produzida

com dados de pluviometria, a IDF-Pluviômetro é mais confiável para estimativa de precipitações sobre a região urbana de Pato Branco. Já que foi produzida com maior número de dados, além destes serem dados atualizados de precipitação, o que permite refletir melhor as condições hidrológicas da região. Além de ser produzida com base em métodos estatísticos confiáveis.

4.3.2 IDF atualizada e IDF do TMPA v7

Os valores calculados para o BIAS e o RMSE da IDF-TMPA em relação a IDF-Pluviômetro, podem ser observados na Tabela 5. Através do Bias, percebe-se que a IDF-TMPA superestima os valores de intensidade para todos os períodos de retorno e para a equação como um todo. O RMSE indica a magnitude desta superestimativa com um pequeno valor na ordem de 1,53 mm/h.

Tabela 5 - Bias e RMSE para a IDF-TMPA

Período de Retorno	Bias	RMSE (mm/h)
2	1,04	1,10
5	1,19	1,26
10	1,32	1,39
15	1,40	1,47
20	1,46	1,54
25	1,51	1,59
50	1,67	1,76
100	1,85	1,94
Total	1,43	1,53

Na Figura 14 pode-se observar o EMPR para a comparação em questão. Nota-se que para todos os períodos de retorno o EMPR retorna valores próximos a 3,79%. Esta igualdade nos valores, pode ser atribuída ao uso de mesma distribuição estatística de máximos, método de desagregação de precipitações e software para regressão não-linear na construção das duas IDFs.

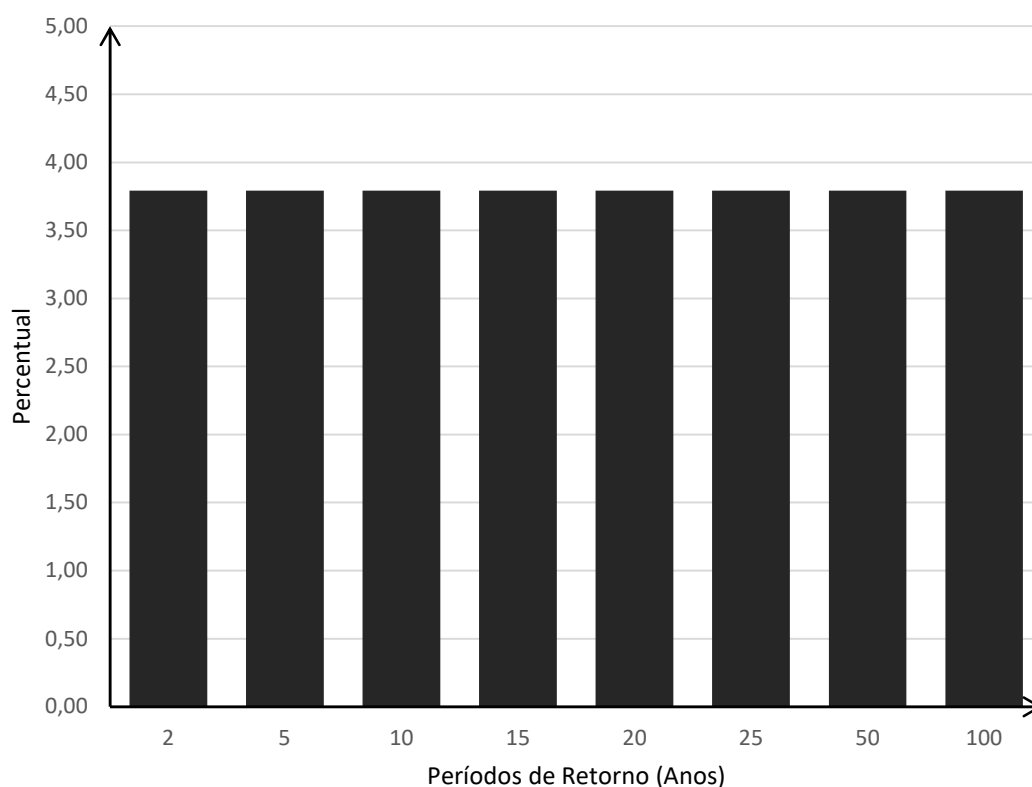


Figura 14 - EMPR – IDF-TMPA em relação a IDF-Pluviômetro

O BIAS e RMSE permitem observar que a IDF-TMPA fornece uma pequena superestimativa (1,53 mm/h) em relação a IDF-Pluviômetro. Enquanto que o trabalho de Melo et al. (2015), ao comparar os dados diários do produto 3B42v7 para a região sul do Brasil, concluiu que este subestimava a precipitação quando comparado a dados de pluviômetros.

A diferença dos resultados encontrados em relação a Melo et al. (2015) pode ser explicada pelos diferentes métodos utilizados para a comparação. Na construção de equações IDF utilizou-se apenas os dados de extremos diários anuais de precipitação, enquanto que o trabalho de Melo et al. (2015), comparou todos os dados de precipitação diária. De forma que o TMPAV7 pode estar subestimando os valores de precipitação em relação a média diária, mas superestimando os valores de eventos extremos.

A Figura 15 apresenta um gráfico de dispersão, nas ordenadas constam as intensidades da IDF-TMPA e nas abcissas as intensidades da IDF-Pluviômetro. A bissetriz mostrada indica os pontos de equivalência entre as duas equações.

Percebe-se, como esperado, através dos resultados de Bias, RMSE e EMPR, que os valores encontram-se a pequena distância acima da bissetriz, indicando

pequena superestimativa, 1,53 mm/h em média. Nota-se também que os dados para grandes períodos de retorno tendem a estar mais afastados da bissetriz, refletindo o RMSE encontrado, crescente com o período de retorno.

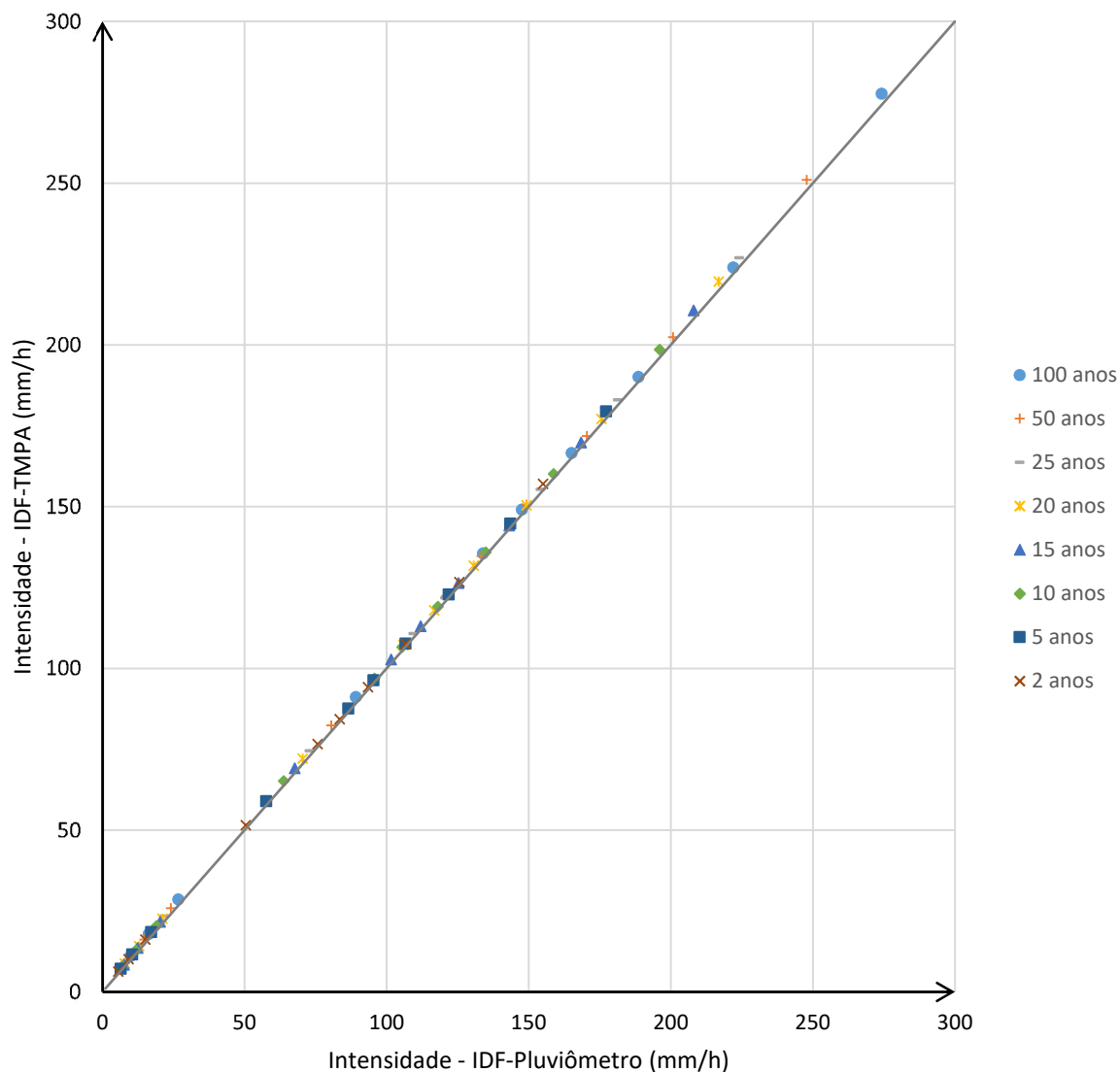


Figura 15 - Gráfico de dispersão entre a IDF-TMPA e a IDF-Pluviômetro
A legenda se refere aos períodos de retorno

A métrica do RMSE sistemático, pode ser aplicada nos resultados do TMPA v7 com intuito de adequar-se os valores a IDF atualizada de forma mais precisa. A Tabela 6 contém os valores dos RMSE aleatório e sistemático obtidos.

Tabela 6 – Valores dos RMSE sistemático e aleatório para a IDF-TMPA

Período de Retorno	<i>RMSE</i>_{sistemático}	<i>RMSE</i>_{aleatório}
2	1,32	0,39
5	1,38	0,36
10	1,42	0,37
15	1,45	0,38
20	1,47	0,40
25	1,48	0,41
50	1,54	0,48
100	1,60	0,58
Total	1,46	0,43

Fonte: Autoria Própria

A incidência de erros sistemáticos é maior do que erros aleatórios, indicando tendência nos resultados. Portanto os dados do TMPA v7 são passíveis de tratamento para melhor adequação as IDFs obtidas com dados de solo.

Na Figura 16 apresenta-se o gráfico de dispersão entre os dados IDF-TMPA após a consideração do erros sistemáticos e a IDF-Pluviômetro. Percebe-se melhor adequação dos pontos a reta bissetriz em relação a Figura 15, devido a correção dos erros sistemáticos.

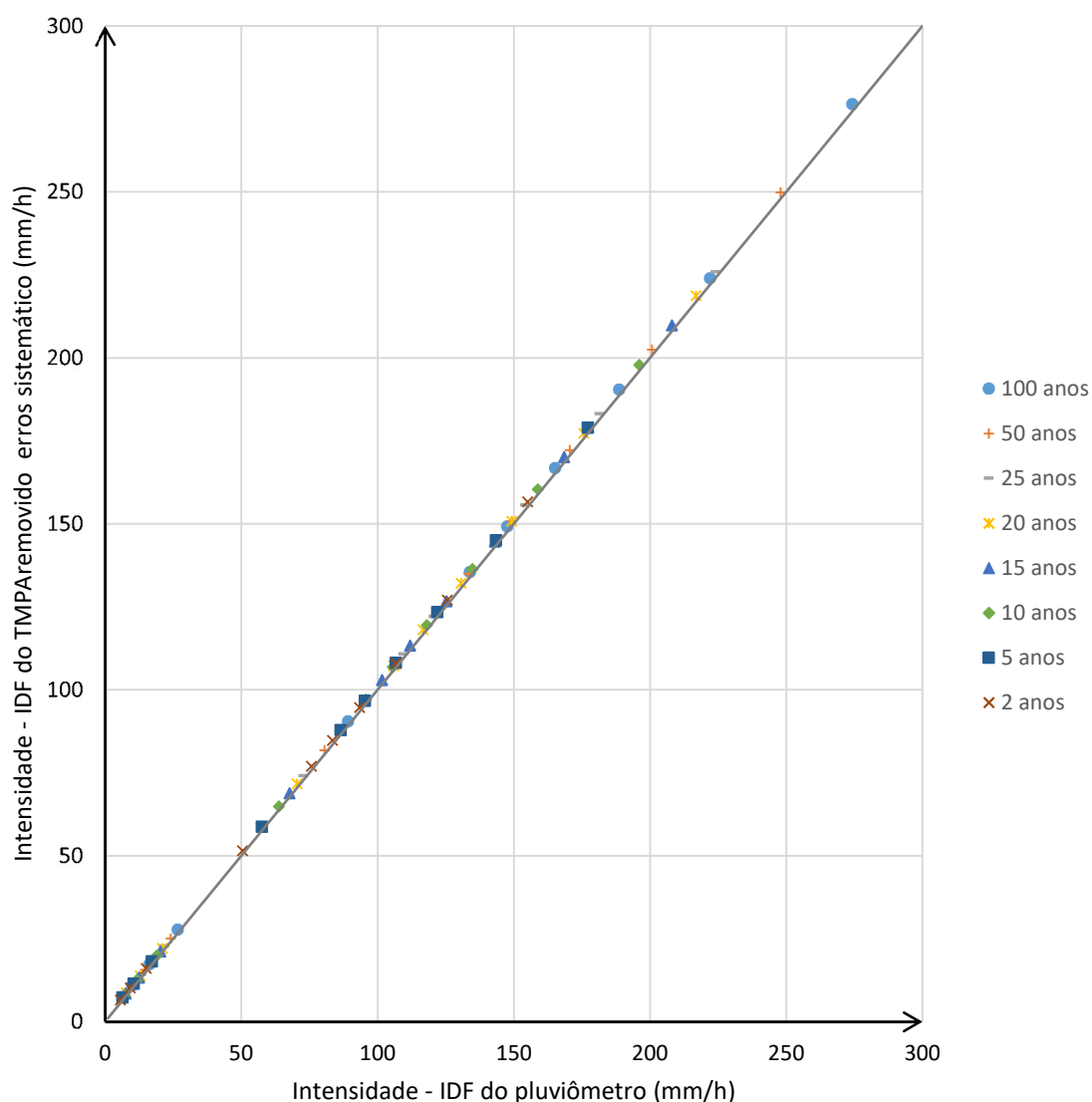


Figura 16 - Dispersão - TMPA ao se subtrair os erros sistemáticos

Com base nos pequenos valores de RMSE e EMPR encontrados e possibilidade de correção dos erros, percebe-se que o TMPA v7 é uma boa fonte de dados para construção de equações IDF's na proximidades de Pato Branco – PR, retornando intensidades com um suave superestimativa dos valores.

Esta fonte de dados (TMPA) pode ser utilizada como preferencial em regiões com poucos ou nenhum dado de pluviometria e em detrimento de séries muito antigas ou com grande número de falhas, visto que, nestes casos, as equações IDF construídas apresentam acentuada divergência com o regime hidrológico real (SALGUEIRO, 2005).

5 CONCLUSÕES

Os dados de precipitação do TMPA v7 fornecem bons resultado quando utilizados para a construção de equações IDF na região considerada, apresentando pequena superestimativa das intensidades. Sugere-se seu uso como preferencial em relação a séries pluviométricas pequenas, antigas ou com grande número de falhas.

Foi construída uma nova equação IDF para Pato Branco – Paraná (Equação 26), compreendendo o período de 1977 – 2015, totalizando 39 anos de série de dados observados sobre a região urbana, que para todas as durações e período de retorno estima valores superiores a proposta por Fendrich (1991).

Percebeu-se como entrave ao desenvolvimento de trabalhos relacionados a precipitação, a inexistência de estudos com relações de desagregação específicos a mesorregião sudoeste e a todo o estado do Paraná. Sugere-se o desenvolvimento destes estudo, propondo desagregadores de precipitação confiáveis, não somente com relação a precipitação de 1 dia e 24 horas, mas também com relações independentes a precipitação de 3 horas e a precipitação de meia-hora, tendo em vista o potencial de uso dos dados da missão TRMM e o futuro grande potencial do sistema GPM.

Admite-se que as discussões e conclusões aqui apresentadas limitam-se as proximidades do pluviômetro considerado. Não existindo nenhum outro trabalho validando equações IDF construídas com dados do TMPA v7 no estado e na mesorregião sudoeste do estado do Paraná, impossibilitando a comparação regional do presente estudo. Sugere-se a realização destes trabalhos, em outras regiões próximas, a fim de confirmar os resultados encontrados e ampliar sua validade espacial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, R. C. F. et al. **Avaliação do desempenho de dois métodos de espacialização da precipitação pluviual para o Estado de Alagoas**-DOI: 10.4025/Acta Scientiarum Technology. v. 30, n. 01, p. 87-91, 2008.

ANA, Agência Nacional das Águas. **Inventário das Estações Pluviométricas**. 2ª edição, SGH editora. Brasília – DF. 2009.

BACK, A. J. **Seleção de distribuição de probabilidade para chuvas diárias extremas do estado de Santa Catarina**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 16, n. 2, p. 211-222, 2001.

BACK, Á. J.; OLIVEIRA, J. L. R; HENN, A. Relações entre precipitações intensas de diferentes durações para desagregação da chuva diária em Santa Catarina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 4, p. 391-398, 2012.

BACK, Á. J.; OLIVEIRA, J. L. R; HENN, A.. **Relações entre precipitações intensas de diferentes durações para desagregação da chuva diária em Santa Catarina**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 16, n. 4, p. 391-398, 2012.

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O. **Aspectos institucionais e de financiamento dos sistemas de drenagem urbana**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol. 7, n.1. Porto Alegre. 2002.

BARRETO, H. B. F. et al. **Avaliação de Funções de Probabilidade d Relação- Intensidade-Duração-Frequência dara Precipitação Extrema dm Nepomuceno-MG**. Global Science and Technology, v. 8, n. 2, 2015.

BELL, F. G. **Generalized rainfall - duration - frequency relationships**. Journal of the Hydraulics Division - ASCE, v. 95, n. HY1, p. 311-27. 1969.

CALDEIRA, T. L. et al. **Daily rainfall disaggregation: an analysis for the Rio Grande do Sul State**. Scientia Agraria, v. 16, n. 3, p. 1-21, 2015.

CETESB. **Companhia de tecnologia de saneamento ambiental. Drenagem urbana: manual de projeto.** São Paulo, 1979. 476 p.

CHEVALLIER, P. **Aquisição e processamento de dados.** In: TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** Porto Alegre: UFRGS, p. 485-525. 2000.

CHRISTENSEN, J. H. et al. **Climate phenomena and their relevance for future regional climate change.** 2014.

COLLISCHONN, B. et al. **Desempenho do satélite TRMM na estimativa de precipitação sobre a bacia do Paraguai superior.** Revista Brasileira de Cartografia, v. 59, n. 1, p. 93-99, 2007.

COLLISCHONN, B. **Uso de precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo hidrológico distribuído.** 2006. 193 p. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS.

CONTI, G. N. **Estimativa da Precipitação através de Técnicas de Sensoriamento Remoto: Estudo de caso para o estado do Rio Grande do Sul.** 2002. 205 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS.

DAMÉ, R. C. F. et al. **Comparação entre curvas intensidade-duração-frequência de ocorrência de precipitação obtidas a partir de dados pluviográficos com aquelas estimadas por técnicas de desagregação de chuva diária.** Revista Brasileira de Agrociência, v. 12, n. 4, p. 505-509, 2006.

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

GERVÁSIO, E. S. et al. **Construção de um Pluviógrafo Automático.** Revista Brasileira de Agrocomputação, v. 2, n. 2, p. 13-18, dec. 2007.

GOMIDE, R. **Monitoramento para manejo da irrigação: instrumentação, automação e métodos.** In: FARIA, M.A.; SILVA, E.L.; VILELA, L.A.A.; SILVA, A.M. da. **Manejo de irrigação.** Poços de Caldas: SBEA/UFLA/DEG, p.133-238,1998.

GONÇALVES, L. S. **Relações intensidade-duração-frequência com base em estimativas de precipitação por satélite**. 2011. 135 p. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS.

HABERLANDT, U. **Geostatistical interpolation of hourly precipitation from rain gauges and radar for a large-scale extreme rainfall event**. Journal of Hydrology, v. 332, n. 1, p. 144-157, 2007.

KUCHLER, O. A. et al. **Sistema para aquisição de dados pluviométricos**. Encontro Nacional de Engenharia de Produção, v. 30, São Carlos – SP, out. 2010.

KUMMEROW, C. et al. **The status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after two years in orbit**. Journal of Applied Meteorology, v. 39, n. 12, p. 1965-1982, 2000.

KUREK, R. K. M. et al. **Aplicabilidade da Precipitação Estimada pelo Satélite TRMM na Modelagem Chuva-Vazão: Uma análise na sub-bacia do Rio Guaporé – RS**. XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Brasília – DF. Nov. 2015.

LEIVAS, J. F. et al. **Análise comparativa entre os dados de precipitação estimados via satélite TRMM e dados observados de superfície em Manaus**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, v. 25, n. 30, p. 1611-1616, 2009.

LEOPOLDO, P. R.; SANSIGOLO, C. A.; MARTINS, D. **Análise estatística das intensidade e precipitações máximas de Botucatu**. Irrigação e Tecnologia Moderna, Brasília, v. 16, p. 11-14, mar. 1984.

MÉLLO, L. B. et al. **Métodos de desagregação de chuva diária aplicados em séries de precipitações máximas diárias anuais do município de Pelotas/RS**. XIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Aracajú, Sergipe, 2016.

MELO, D. de C.D. et al. **Performance evaluation of rainfall estimates by TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis 3B42V6 and V7 over Brazil**. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, v. 120, n. 18, p. 9426-9436, 2015.

MOL, J. M. D.; CAMPANA, Néstor Aldo. **Reconhecimento de nuvens precipitáveis** por meio de sensoriamento remoto. 2004. Disponível em: <<http://www.cbmet.com/cbm-files/14-1aa66c525ed7074e9d48a9ca048c1b5a.pdf>>.

NÓBREGA, R. S.; DE SOUZA, Ênio Pereira; GALVÍNCIO, Josiclêda Domiciano. **Análise da estimativa de precipitação do TRMM em uma sub-bacia da Amazônia Ocidental**. Revista de Geografia (Recife), v. 25, n. 1, p. 06-20, 2010.

OCHOA, A. et al. **Evaluation of TRMM 3B42 precipitation estimates and WRF retrospective precipitation simulation over the Pacific–Andean region of Ecuador and Peru**. Hydrology and Earth System Sciences. 2014.

PMM. **Precipitation Measurement Missions**. National Aeronautics and Space Administration – Nasa. Disponível em: <<https://pmm.nasa.gov>>. Acesso: fev. 2017.

R Core Team (2017). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>.

SALGUEIRO, J. H. P. de B.. **Avaliação de rede pluviométrica e análise de variabilidade espacial da precipitação: estudo de caso na Bacia do Rio Ipojuca em Pernambuco**. 2005. Dissertação de Mestrado. 139 p. Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE.

SAMPAIO, M. V. **Determinação e Espacialização das Equações de Chuva Intensas em Bacias Hidrográficas do Rio Grande do Sul**. 2011. Tese de Doutorado. 146 p. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS.

SANTOS, G. G. et al. **Intensidade-duração-frequência de chuvas para o Estado de Mato Grosso do Sul**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 13, (Suplemento), p. 899-905, 2009.

SANTOS, R. A.; LUCENA, P. G.; SILVA CARVALHO, R.. **Cálculo da chuva intensa pelo método das Isozonas para cidades do estado da Paraíba**. Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology (REGET), v. 19, n. 2, p. 1334-1343, 2015.

SHEPHERD, J. M.; PIERCE, H.; NEGRI, A. J. **Rainfall modification by major urban areas: Observations from spaceborne rain radar on the TRMM satellite**. Journal of Applied Meteorology, v. 41, n. 7, p. 689-701, 2002.

SILVEIRA, A. L. L. **Equação para os coeficientes de desagregação de chuva**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 5, n. 4, p. 143-147, 2000.

SOUZA, J. C. B. **A Influência do método de escolha do parâmetro “C” na determinação de equações de chuvas intensas**. 2014. 233 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE.

TORRICO, J. J. T. **Práticas hidrológicas**. Rio de Janeiro, TRANSCON, 120p. 1974.

TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre, RS: UFRGS - Faculdade de Agronomia, (Coleção ABRH de recursos hídricos; v. 4). 943 p. 2009.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: Editora McGraw-Hill do Brasil Ltda., 245 p. 1975.

WANDERLEY, H. S. et al. **Variabilidade espacial e preenchimento de falhas de dados pluviométricos para o estado de Alagoas**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 27, n. 3, p. 347-354, 2012.

ZAHED FILHO, K. et al. Coleção Águas Urbanas – Fascículo 5: **Medidas de armazenamento artificial e facilitadores de infiltração para controle de inundações urbanas**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2012.

ZULKAFI, Z. et al. **A comparative performance analysis of TRMM 3B42 (TMPA) versions 6 and 7 for hydrological applications over Andean–Amazon river basins**. Journal of Hydrometeorology, v. 15, n. 2, p. 581-592, 2014.

APÊNDICE 1 – PROCEDIMENTOS REALIZADOS NA PLATAFORMA GIOVANNI – NASA, PARA A OBTENÇÃO DOS DADOS DO PRODUTO 3B42V7

Os dados do TMPA v7 utilizados neste trabalho foram adquiridos através da plataforma on-line Giovanni, pertencente a NASA e acessível em: <<https://giovanni.gsfc.nasa.gov>>.

Esta plataforma permite a obtenção e manipulações on-line dos dados de sensoriamento remoto e produtos obtidos destes, para diversas missões e sensores da NASA. Sendo possível o posterior download das manipulações realizadas e dos dados de entrada selecionados.

Para a obtenção dos dados do TMPA v7, utilizou-se o produto 3B42 v7, que fornece dados de intensidade de precipitação para uma malha contínua de 0,25°x0,25° e possui resolução temporal de 3 horas.

Na plataforma em questão, encontrou-se a série temporal para um área específica, através da opção Time Series: Area-Averaged (Figura 17). Inserindo-se, em seguida, a região de interesse e o período para os quais se deseja os dados, no caso, todo o ano de 2007 (Figura 18).

Quanto a região de interesse, existe a possibilidade de escolha por região pré-determinada, como por exemplo, todo o Brasil. Ou, como foi utilizado neste trabalho, a seleção de uma área determinada por um retângulo sobre a localização geográfica do pluviômetro de referência. A escolha das coordenadas deste retângulo podem ser realizada por demarcação em um mapa geográfico ou por indicação diretas das coordenadas. Acrescenta-se que a demarcação desta área deve ser tão precisa quanto possível, com intuito não demarcar-se dados de mais de um pixel do TRMM, o que dificultaria a obtenção dos dados.

A Figura 19 demonstra a seleção dos parâmetros que permitem a visualização da opção TRMM_3B42_v7, objeto de estudo deste trabalho. Deve-se atentar a diferença do produto TRMM_3B42_v7 ao produto TRMM_3B42_Daily_v7, que fornece os dados acumulados para precipitação de 1 dia e não a cada 3 horas. Outra diferença a ser notada é ao produto TRMM_3B42RT_v7, que a princípio é semelhante ao TRMM_3B42_v7, mas apresenta maior índice de erros, devido ser fornecido quase em tempo real, ao contrário do produto convencional, que é fornecido com dois meses de latência, tempo necessário a calibração.

Escolhido o produto TRMM_3B42_v7 como na Figura 20, seleciona-se a opção *Plot Data*. A página é então atualizada e o sistema Giovanni passa a processar os dados requeridos, sendo necessário aguardar este processamento. Após processados os dados, a página da web assume visualização e opções semelhantes a da Figura 20, onde pode-se baixar os dados em diferentes formatos. No presente trabalho opta-se pelo formato ASCII CSV, compatível com diversas planilhas eletrônicas.

<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/#service=ArAvTs&starttime=&endtime=>

EARTH DATA | Data Discovery | DAACs | Community | Science Disciplines

GIOVANNI The Bridge Between Data and Science v 4.22 *Release Notes* *Browser Compatibility* *Known Issues*

Giovanni transition to https... [1 of 3 messages] [Read More](#)

Select Plot

Maps: Select... | Comparisons: Select... | Vertical: Select... | Time Series: Area-Averaged | Miscellaneous: Select...

Select Date Range (UTC) HH:mm
 YYYY-MM-DD | 00 : 00 | to | 23 : 59

Valid Range: 1948-01-01 to 2017-05-25
 Please specify a start date.

Select Variables

Disciplines
 Aerosols (173)
 Atmospheric Chemistry (53)
 Atmospheric Dynamics (319)
 Cryosphere (15)
 Hydrology (1022)
 Ocean Biology (44)
 Oceanography (48)
 Water and Energy Cycle (1066)

Measurements
 Aerosol Index (3)
 Aerosol Optical Depth (78)
 Air Pressure Anomaly (1)
 Air Pressure (48)
 Air Temperature (71)
 Albedo (16)
 Altitude (4)

Select Region Format: West, So
 Vertical: Select...

Time Series Choices

- Area-Averaged**
 Time series of area averages of differences between two variables at each spatial grid point
[Details...](#)
- Area-Averaged Differences**
 Time series of area averages of differences between two variables at each spatial grid point
[Details...](#)
- Hovmoller, Longitude-Averaged**
 Longitude-averaged Hovmoller, plotted over the selected time and longitude ranges
[Details...](#)
- Hovmoller, Latitude-Averaged**
 Latitude-averaged Hovmoller, plotted over the selected time and longitude ranges
[Details...](#)
- Seasonal**
 Seasonal (inter annual) time series
[Details...](#)

Number of matching Variables: 0 of 1651
 Please select at least 1 variable
 Keyword:

Help | Reset | Feedback | Plot Data

Figura 17 - Plataforma Giovanni - Primeiro passo
 Fonte: Adaptado de Giovanni (2017)

← → ↻ Seguro | <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/#service=ArAvTs&starttime=2007-01-01T00:00:00Z&endtime=2007-12-31T23:59:59Z&bbox=-52.6835,-26.2335,-52.6831,-26.2331>

EARTHDATA Data Discovery ▾ DAACs ▾ Community ▾ Science Disciplines ▾

GIOVANNI
The Bridge Between Data and Science v 4.22 [Release Notes](#) [Browser Compatibility](#) [Known Issues](#)

[Giovanni transition to https...](#) [1 of 3 messages] [Read More](#)

Select Plot

Maps: Select... ▾
 Comparisons: Select... ▾
 Vertical: Select... ▾
 Time Series: Area-Averaged ▾
 Miscellaneous: Select... ▾

Select Date Range (UTC) YYYY-MM-DD HH:mm **Ano - Mês - Dia - Hora - Minuto**

Valid Range: 1948-01-01 to 2017-05-25

Select Region (Bounding Box or Shape) **Seleção de Região**

Format: West, South, East, North

Select Variables

Number of matching Variables: 0 of 1651 Total Variable(s) included in Plot: 0
 Please select at least 1 variable

Keyword:

Disciplines

- Aerosols (173)
- Atmospheric Chemistry (53)
- Atmospheric Dynamics (319)
- Cryosphere (15)
- Hydrology (1022)
- Ocean Biology (44)
- Oceanography (48)
- Water and Energy Cycle (1066)

Measurements

- Aerosol Index (3)
- Aerosol Optical Depth (78)
- Air Pressure Anomaly (1)
- Air Pressure (48)
- Air Temperature (71)
- Albedo (16)
- Altitude (4)

Figura 18 – Plataforma Giovanni - Segundo passo
Fonte: Adaptado de Giovanni (2017)

← → ↻ Seguro | <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/#service=AvrTs&starttime=2007-01-01T00:00:00Z&endtime=2007-12-31T23:59:59Z&bbox=-52.6835,-26.2335,-52.6831,-26.2331&> ☆

2007 -01 -01 00 : 00 to 2007 -12 -31 23 : 59 -52.6835, -26.2335, -52.6831, -26.2331

Valid Range: 1997-12-31 to 2017-02-28

Select Variables

- ▼ Disciplines
 - Hydrology (11) **Hidrologia**
 - Water and Energy Cycle (2)
- ▼ Measurements
 - Cloud Properties (2)
 - Latent Heat (1)
 - Precipitation (11) **Precipitação**
- ▼ Platform / Instrument
 - FLDAS Model (18)
 - GLDAS Model (16)
 - GPM (20)
 - MERRA-2 Model (4)
 - NCA-LDAS (3)
 - NLDAS Model (32)
 - TRMM (11) **TRMM**

Number of matching Variables: 11 of 1651 Total Variable(s) included in Plot: 1

Keyword : Search Clear

Variable	Source	Temp. Res.	Spat. Res.	Begin Date	End Date	Units	Vert. Slice
<input type="checkbox"/> Near-Real-Time Precipitation Rate (IRMMM_3B42RT.vZ)	TRMM	3-hourly	0.25 °	2003-03-01	2017-05-24	mm/hr	-
<input type="checkbox"/> Surface Convective Precipitation Rate (TRMMM_3A12.vZ)	TRMM	Monthly	0.5 °	1997-12-01	2015-06-01	mm/hr	-
<input type="checkbox"/> Graupel (TRMMM_3A12.vZ)	TRMM	Monthly	0.5 °	1997-12-01	2015-06-01	g/m ³	0.5 km
<input type="checkbox"/> Precipitation (Rain) (TRMMM_3A12.vZ)	TRMM	Monthly	0.5 °	1997-12-01	2015-06-01	g/m ³	0.5 km
<input type="checkbox"/> Precipitation (Snow) (TRMMM_3A12.vZ)	TRMM	Monthly	0.5 °	1997-12-01	2015-06-01	g/m ³	0.5 km
<input type="checkbox"/> Precipitation Rate (TRMMM_3A12.vZ)	TRMM	Monthly	0.5 °	1997-12-01	2015-06-01	mm/hr	-
<input type="checkbox"/> Rain Rate (TRMMM_3A12.vZ)	TRMM	Monthly	0.5 °	1997-12-01	2015-06-01	mm/hr	-
<input checked="" type="checkbox"/> Precipitation (IRMMM_3B42.vZ)	TRMM	3-hourly	0.25 °	1997-12-31	2017-02-28	mm/hr	-
<input type="checkbox"/> Precipitation Rate (TRMMM_3B43.vZ)	TRMM	Monthly	0.25 °	1998-01-01	2017-02-28	mm/hr	-
<input type="checkbox"/> Precipitation Rate (TRMMM_3B42_Daily.vZ)	TRMM	Daily	0.25 °	1998-01-01	2017-02-28	mm/day	-
<input type="checkbox"/> Near-Real-Time Precipitation Rate (IRMMM_3B42RT_Daily.vZ)	TRMM	Daily	0.25 °	2000-03-01	2017-05-24	mm/day	-

Powered By:

Responsible NASA Official: Long Pham
Web Curator: M. Hegde
Privacy Policy and Important Notices

Help Reset Feedback **Plot Data**

Figura 19 – Plataforma Giovanni - Terceiro passo
Fonte: Adaptado de Giovanni (2017)

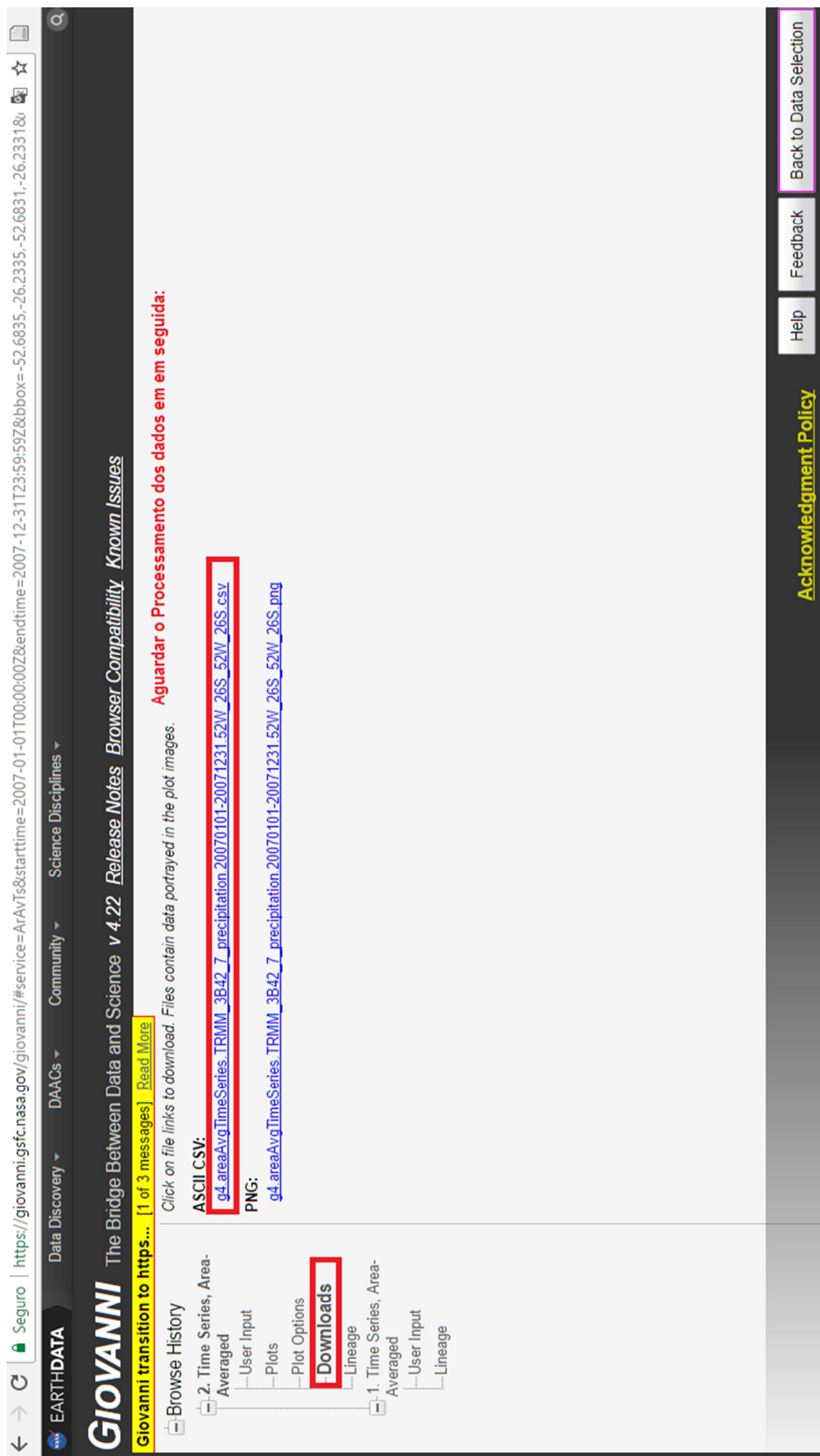


Figura 20 – Plataforma Giovanni - Quarto passo
Fonte: Adaptado de Giovanni (2017)