

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água



Dissertação

**Relações Intensidade-Duração-Frequência de precipitação utilizando dados de
satélite**

Letícia Burkert Mélo

Pelotas, 2019

Letícia Burkert Mélo

Relações Intensidade-Duração-Frequência de precipitação utilizando dados de satélite

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências (área do conhecimento: Manejo e Conservação do Solo e da Água).

Orientador: Prof.^a Dr.^a Rita de Cássia Fraga Damé

Co-Orientadora: Prof.^a Dr.^a Claudia Fernanda Almeida Teixeira-Gandra

Pelotas, 2019

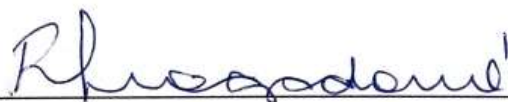
Letícia Burkert Mélo

Relações Intensidade-Duração-Frequência de precipitação utilizando dados de satélite

Dissertação aprovada, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências, Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 21 de fevereiro de 2019

Banca examinadora:



Prof.^a Dr.^a Rita de Cássia Fraga Damé (Orientadora)
Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul



Prof. Dr. Marcelo Peske Hartwig
Doutor em Ciências pelo Programa de Irrigação e Drenagem pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ - USP



Prof.^a Dr.^a Andréa Souza Castro
Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

M111r Mélo, Letícia Burkert

Relações Intensidade-Duração-Frequência de precipitação utilizando dados de satélite / Letícia Burkert Mélo ; Rita de Cássia Fraga Damé, orientadora ; Claudia Fernanda Almeida Teixeira Gandra, coorientadora. — Pelotas, 2019.

89 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2019.

1. Chuvas intensas. 2. IDF's. 3. Sensoriamento remoto. 4. TRMM. I. Damé, Rita de Cássia Fraga, orient. II. Gandra, Claudia Fernanda Almeida Teixeira, coorient. III. Título.

CDD : 551.577

Agradecimentos

Aos meus pais Paulo Ricardo de Ávila Mello e Nádia Betânia Burkert Mello, pela educação que me concederam, pelo amor e apoio incondicional, e a minha irmã Natália Burkert Mello Soares pelo carinho e torcida.

A minha filha amada Luiza Mello, pelo amor, carinho e compreensão do tempo de convívio muitas vezes sacrificado para realização deste trabalho.

Minha eterna gratidão ao meu esposo, companheiro de vida e amigo Fábio Batista Araujo, pelo amor, carinho, incentivo, paciência, apoio e dedicação, sem os quais esse trabalho não teria sido possível.

Às minhas professoras Ritâ de Cássia Fraga Damé e Claudia Fernanda Almeida Teixeira-Gandra orientadora e co-orientadora respectivamente, que ajudaram a despertar meu interesse pela hidrologia, grata pelo incentivo, amizade, orientações e carinho.

Ao professor Rodrigo Rizzi por toda sua sabedoria que generosamente e pacientemente me orientou em todas às vezes solicitado.

Ao PPG em Manejo e Conservação do Solo e da Água e todos seus professores pelo conhecimento que souberam compartilhar.

Aos colegas e amigos do PPG MACSA Rosiane do Couto, Roberta Karsburg, Margareth Tavares, Gabriel Lemos, Edenara Demarco, Milena Moreira e Eliana Cadona com os quais dividi, mais do que dúvidas e muitas horas de estudo, alegrias, conversas, rodas de mate, caronas e uma inestimável convivência.

Aos amigos que a Engenharia Agrícola me proporcionou, em especial à Fabiane Galvão, Luciana Lima, Rodrigo Herrero Macedo e César Moraes, pela acolhida e apoio em momentos bastante difíceis durante essa trajetória, apoio esse fundamental ao meu prosseguimento e realização desse projeto.

À Universidade Federal de Pelotas e seus funcionários pela estrutura.

A todos que direta ou indiretamente, contribuíram para concluir mais essa etapa.

E por último e não menos importante agradeço ao mundo, Deus, Deusa ou qualquer forma de energia superior, por ter me oportunizado fé, saúde, força e ânimo para superar as dificuldades, propiciando-me a fazer o melhor e de conhecer os melhores.

Obrigada!

*“Nem tudo o que pode ser contado conta, e nem tudo o que
conta pode ser contado”.
- Albert Einstein*

Resumo

MÉLLO, Letícia Burkert. **Relações Intensidade-Duração-Frequência de precipitação utilizando dados de satélite**. 2019. 89f. Dissertação (Mestrado) – Programa de pós-graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2019.

A caracterização das chuvas intensas tem grande importância para utilização em projetos de engenharia, principalmente ao dimensionamento das obras hidráulicas. O estudo dessas chuvas é feito por meio da relação entre a intensidade, a duração e a frequência (IDF) das mesmas, para isso é fundamental a existência de séries históricas de precipitações suficientemente longas e representativas, que permitem o ajuste de equações IDF's. Por isso, em áreas extensas ou com baixa densidade de estações meteorológicas, torna-se necessário estimar a precipitação a partir de outros métodos. Assim, o sensoriamento remoto é uma ferramenta que auxilia na aquisição de dados onde esses são escassos. Para esse tipo de estudo temos o produto 3B42V7 do projeto Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), utilizado para mensurar a precipitação na região dos trópicos. No entanto, existem diferenças entre os dados de postos pluviométricos, registros pluviográficos e as estimativas de precipitação por satélite, representando a variabilidade espaço-temporal exibida pela precipitação. Diante disso é importante a validação dos dados, em uma determinada região, antes de sua utilização para determinado fim. Este trabalho é composto por dois artigos. O primeiro com o objetivo de analisar a qualidade das estimativas das precipitações intensas máximas oriundas do TRMM (3B42V7), em que foram extraídas as máximas anuais nas durações de 3, 6, 12 e 24 horas e comparado, mediante o Erro Relativo Médio Quadrático (RMS), com aquelas obtidas pelo pluviógrafo nas mesmas durações. Após, os dados estimados foram desagregados utilizando o Método das Relações CETESB (1986), nas durações de 5 a 1440 min, utilizando a distribuição de probabilidade de Gumbel, estimando as intensidades máximas de chuva para os períodos de retorno de 2 a 100 anos, e comparando, com as séries de intensidades máximas apresentadas por Dorneles (2017), através do teste "t" de Student. Por último, os valores de intensidades máximas obtidos por Dorneles (2017) foi comparada à curva IDF gerada a partir dos dados estimados por satélite. Os resultados dos índices de qualidade utilizados mostram que o TRMM (3B42V7) possui boa habilidade em detectar chuvas intensas, em concordância com observações do pluviógrafo de referência neste estudo. O segundo artigo objetivou analisar a representatividade dos dados de precipitação oriundos do TRMM (3B42V7), comparado aos dados pluviométricos disponibilizados pela Agência Nacional das Águas (ANA) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) na área da bacia da lagoa Mirim/RS. Tal análise se deu por meio de um conjunto de índices de desempenho, como o percentual de detecção de eventos (PC), percentual de acertos (H), percentual de falsos alertas (FAR e F), índice de sucesso crítico (CSI), a razão entre eventos previstos e observados (B), índices de Heidke (HSS) e Peirce (PSS) nas escalas diárias. Além do coeficiente de correlação (r), erro médio (EM), raiz do erro médio quadrático (REM) e o coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe (NS), para as escalas diárias, quinzenais, mensais e anuais. Os resultados indicaram que as estimativas do produto 3B42V7 apresentam qualidade crescente em função do crescimento da escala temporal, séries quinzenais, mensais e anuais, e não adequados na escala diária.

Palavras-chave: chuvas intensas; IDF's; sensoriamento remoto; TRMM

Abstract

MÉLLO, Letícia Burkert. **Intensity-Duration-Frequency Precipitation Frequency Using Satellite Data**. 2019. 89f. Dissertation (Master degree) - Postgraduate Program in Soil and Water Management and Conservation. Federal University of Pelotas, Pelotas, 2019.

The characterization of intense rains has great importance for use in engineering projects, mainly to the sizing of the hydraulic works. The study of these rains is done by means of the relation between the intensity, the duration and the frequency (IDF) of the same ones, for this it is fundamental the existence of historical series of precipitations sufficiently long and representative that allow the adjustment of IDFs equations. Therefore, in extensive areas or with low density of meteorological stations, it becomes necessary to estimate the precipitation to remote sensing is a tool that assists in the acquisition of data where these are scarce. For this type of study, we have the product 3B42V7 of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) project, used to measure precipitation in the tropics. However, there are differences between pluviometric data, rainfall records and satellite precipitation estimates, representing the spatiotemporal variability exhibited by precipitation. Given this, it is important to validate the data, in a given region, before its use for a particular purpose. That work consists of two articles. The first one, with the objective of analyzing the quality of the maximum intense rainfall estimates from TRMM (3B42V7), in which the annual maximums were extracted for the durations of 3.6, 12 and 24 hours and compared with the Mean Square Relative Error (RMS), with those obtained by the pluviograph in the same durations. After that, the estimated data were disaggregated using the CETESB (1986) method, in the durations of 5 to 1440 min, using the probability distribution of Gumbel, estimating the maximum rain intensities for the return periods of 2 to 100 years, and comparing with the series of maximum intensities presented by Dorneles (2017), through Student's "T" test. Finally, the values of maximum intensities obtained by Dorneles (2017) were compared to the IDF curve generated from the estimated satellite data. The results of the quality indexes were provided by the TRMM (3B42V7), with good skills to detect intense rains, in agreement with the observations of the reference pluviograph in this study. The second article analyzed the rainfall data of the TRMM (3B42V7), in relation to the rainfall data provided by the National Water Agency (ANA) and the National Institute of Meteorology (INMET) in Lagoa Mirim / RS area. This analysis was based on a set of performance indexes, such as percentage of event detection (PC), percentage of hits (H), percentage of false alerts (FAR and F), critical success rate (CSI), the ratio between predicted and observed events (B), Heidke index (HSS) and Peirce index (PSS) in the daily scales. Besides to the correlation coefficient (r), mean error (MS), root mean square error (RMQ) and the efficiency coefficient NAsch-Sutcliffe (NS), for the daily, biweekly, monthly and annual scales. The results indicated that the estimates of the product 3B42V7 present increasing quality as a function of the growth of the time scale, biweekly, monthly and annual series, and not adequate in the daily scale.

Keywords: heavy rains; IDF's; remote sensing; TRMM

Lista de Abreviaturas e Siglas

ANA	Agência Nacional das Águas
B (BIAS)	Razão entre eventos previstos e observados
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CSI	Índice de sucesso crítico
DMSP	Defense Meteorological Satellite Program
EM	Erro Médio
F	Percentual de falsos alertas
FAR	Percentual de falsos alertas
GOES	Geostationary Operational Environmental Satellites
GPM	Global Precipitation Measurement
H	Percentual de acertos
HSS	Índice de Heidke
IDF	Intensidade-Duração-Frequência
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IR	Infravermelho
JAXA	Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial
LIS	Sensor para o imageamento de relâmpagos
MW	Micro-ondas
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NS	Coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe
PC	Deteção de eventos
PMM	Precipitation Measurement Missions
PSS	Índice de Peirce
r	Coeficiente de correlação
r^2	Coeficientes de determinação
REM	Radiações Eletromagnéticas
REMQ	Raiz do erro médio quadrático
SR	Sensoriamento Remoto
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission
VIS	Visível

Sumário

1	Introdução Geral.....	12
1.1	Justificativa.....	14
1.2	Objetivos	15
1.2.1	Objetivo Geral.....	15
1.2.2	Objetivos específicos.....	15
1.3	Hipótese	16
2	Revisão Bibliográfica	17
2.1	Chuvas Intensas	17
2.2	Relações Intensidade-Duração-Frequência (IDF)	17
2.2.1	Relações Intensidade-Duração-Frequência a partir de registros pluviográficos	18
2.2.2	Relações Intensidade-Duração-Frequência a partir de dados pluviométricos	20
2.2.2.1	Método de Bell (1969).....	20
2.2.2.2	Método das relações entre durações	22
2.2.2.3	Metodologia adaptada por Silveira (2000)	23
3.2	Estimativas da precipitação por satélite	23
3.3.1	Satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM).....	27
3.3.2	Relações Intensidade-Duração-Frequência a partir de dados do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)	31
3.4	Área de estudo.....	33
3.4.1	A bacia da lagoa Mirim/RS.....	33
3	Projeto de Pesquisa	36
4	Artigo 1 - Relações Intensidade-Duração-Frequência das precipitações estimadas pelo satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) na localidade de Pelotas/RS.....	47
	Introdução.....	49
	Material e Métodos	51
	Resultados e Discussão	53
	Conclusão	58
	Referências	59

5	Artigo 2 - Precipitação pluvial estimada pelo Satélite Tropical Rainfall	
	Measuring Mission (TRMM) na bacia da lagoa Mirim/RS	63
	Introdução	65
	Material e Métodos	66
	Resultados e Discussão	71
	Conclusões	76
	Referências	76
6	Considerações Finais	79
	Referências	81

1 Introdução Geral

Entre os recursos naturais disponíveis, a água tem fundamental importância, para a manutenção da vida no planeta, para a sobrevivência da espécie humana, indispensável para o desenvolvimento social e econômico de uma região ou bacia hidrográfica, sendo que para possibilitar o desenvolvimento sustentável é necessária à correta e eficiente estimativa da disponibilidade e demanda hídrica.

A utilização cada vez maior dos recursos hídricos tem resultado em problemas e até conflitos, assim o monitoramento e quantificação da chuva, principal entrada de água, são fundamentais à gestão desse recurso. Segundo Araújo et al. (2008), é relevante monitorar o quanto uma bacia contribui em termos de quantidade de água para uma determinada região, considerando importante o estudo da precipitação.

No que tange ao estudo das chuvas intensas, sua importância está ligada também a redução de riscos e perdas que estas geram, visto que são essas que em um pequeno tempo de duração apresenta grande volume precipitado, o que por sua vez são as principais causadoras dos alagamentos.

O conhecimento das chuvas intensas de uma dada região associada aos períodos de retorno, juntamente com modelos hidrológicos, que fazem a transformação chuva-vazão, permitem o conhecimento do valor da vazão de projeto a ser utilizado no dimensionamento de obras hidráulicas, tais como vertedouros de barragens, drenagem agrícola, urbana e rodoviária e para controle de erosão hídrica, garantindo assim projetos seguros (DAMÉ et al., 2007).

Para a análise de chuvas intensas de uma determinada localidade é necessário conhecer a distribuição temporal da chuva, obtida a partir de registros pluviográficos, dados de radar meteorológicos e/ou a partir da chuva diária acumulada obtida de pluviômetros, considerando que nesse último, que há necessidade de desagregar a chuva diária acumulada, em durações horárias e sub-horárias. A partir dessas, informações é possível ajustar os parâmetros das equações Intensidade-Duração-Frequência da precipitação (IDF) (DAMÉ, 2001; MELO NETO, 2012).

No Brasil, a rede de estações de monitoramento climatológico da chuva, a partir de registros pluviográficos, dados de radar, pluviômetros, apresentam falhas e/ou não são suficientemente longas e representativas, o que por vezes, inviabiliza a sua utilização em modelos hidrológicos que possibilitam a obtenção da vazão de projeto (WANDERLEY et al., 2012).

Além disso, considerando a variabilidade espacial e temporal exibida pela precipitação e o distanciamento dos postos de observações, muitos eventos de precipitações isoladas podem não ser registradas, e podem influenciar na obtenção das relações IDF's, o que gera incerteza nos dimensionamentos de obras hidráulicas (BATISTA et al., 2016).

Para os autores Bernardi, (2016); Franchito et al. (2009) e Li et al. (2012), a utilização de sensores remotos representa uma alternativa importante e viável para a carência dos dados de chuva, auxiliando na obtenção de dados com densidade espacial suficiente. Os autores consideram, portanto, vantajoso em localidades que há pouca ou nenhuma informação pluviográfica.

Neste sentido, em 1997 houve o lançamento do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM). Este é um projeto em parceria entre a NASA (National Aeronautics and Space Administration) e a JAXA (Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial) cujo objetivo específico é o monitoramento e estudo das precipitações, com resolução temporal de 3 h (SILVA-FUZZO; ROCHA, 2016).

Embora o TRMM esteja desativado desde 2015, seus produtos continuam sendo disponibilizados gratuitamente pela rede internacional de satélites Global Precipitation Measurement (GPM), lançado em 2014 pela mesma parceria entre NASA e JAXA, juntamente com um grupo de agências espaciais. O novo projeto tem o objetivo de proporcionar uma nova geração de observações globais de chuva e neve, com sensores mais avançados e sensíveis do que o TRMM, ampliando a cobertura além dos trópicos (HOU et al., 2014).

Esses produtos exigem a validação destas estimativas, visto que são medidas indiretas, fundamentadas na medição de radiação eletromagnética refletida ou emitida pelas nuvens e pela chuva, as quais passam pelos processos de avaliação quantitativa e posteriormente por correções, podendo se tornar informações complementares às coletadas em solo e/ou até mesmo suprir a carência de dados observados de precipitação (BERNARDI, 2016; JIMÉNEZ; COLLISCHONN, 2015).

1.1 Justificativa

O Rio Grande do Sul tem um histórico de ocorrência de estiagens e inundações que por vezes causaram perdas significativas na sua economia, além de problemas sociais.

No que tange a drenagem de áreas urbanas podemos destacar a falta de planejamento do uso do solo e conseqüentemente a impermeabilização deste como principal elemento contribuinte para o aumento de volumes escoados superficialmente, o que potencializa as ocorrências de inundações e alagamentos. Estes por sua vez, resultando em grandes prejuízos materiais, além de disseminar doenças decorrentes do contato direto da população com água contaminada, tais como leptospirose, a febre tifoide, hepatite, dentre outros, e por vezes perdas de vidas direta ou indiretamente (CANHOLI, 2005; DOZSA et al., 2016).

Diante disso, é imprescindível identificar e observar padrões de ocorrência das chuvas, visto que a chuva é, sem dúvida, o componente de entrada mais importante do ciclo hidrológico e o conhecimento de sua distribuição espaço-temporal traz subsídios importantes para o planejamento e operação de diversos setores da sociedade.

Porém, o processo tradicional de quantificação depende de postos pluviográficos e pluviométricos, e como o processo é baseado em pontos, estes por sua vez, cobrem pequenas áreas apenas, assim, a representação espacial quantitativa da precipitação sobre grandes áreas tem deficiências principalmente quando se trata de regiões remotas, em desenvolvimento (caso do Brasil) e áreas oceânicas (HUFFMAN et al., 2007).

Além disso, assim como muitas áreas do Brasil, no Rio Grande do Sul, a qualidade dos dados é por vezes pobre, com um grande número de falhas nos dados disponíveis. Assim, é evidente a necessidade de estudar a distribuição espacial e temporal da chuva através da utilização de metodologias alternativas, como o uso de dados de precipitações de satélite em áreas sem dados meteorológicos disponíveis.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Em primeiro momento, comparar os valores históricos (registros pluviográficos) de intensidades máximas anuais de precipitação do município de Pelotas/RS, nas durações de 3, 6, 12 e 24 h e períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, com os obtidos a partir do produto 3B42V7 do satélite TRMM. Ainda, comparar esses registros pluviográficos de intensidades máximas, aos dados estimados do satélite, porém, desagregados para as durações inferiores a 3 h. Assim, validando a metodologia para enfim obter relações Intensidade-Duração-Frequência a partir dos valores de precipitação estimadas do produto 3B42V7.

Posteriormente, analisar a representatividade dos dados de precipitação oriundos do TRMM (3B42V7), comparando aos dados pluviométricos na área da bacia da lagoa Mirim/RS.

1.2.2 Objetivos específicos

- I. Constituir as séries de máximas precipitações anuais para as durações de 3, 6, 12 e 24 horas a partir dos dados estimados do TRMM (3B42V7), ajustar a distribuição de probabilidade e comparar as séries de máximas precipitações anuais oriundas do registro pluviográfico na localidade de Pelotas/RS;
- II. Desagregar os valores de precipitações máximas anuais oriundas dos dados estimados do TRMM (3B42V7) nas durações: 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120, 360, 720 e 1440 min, transformar os valores de lâmina de chuva (mm) para intensidade de chuva (mm h^{-1}), ajustar a distribuição de probabilidade e comprar às séries de intensidades máximas anuais obtidas por Dorneles (2017), através de registros pluviográficos para as mesmas durações e distribuição de probabilidade na localidade de Pelotas/RS;
- III. Obter a relação intensidade-duração-frequência para a localidade de Pelotas/RS a partir dos dados estimados do TRMM (3B42V7);
- IV. Constituir as séries diárias, quinzenais, mensais e anuais a partir dos dados pluviográficos observados e da mesma forma a partir das estimativas de precipitação do TRMM (3B42V7) nos pixels sobrepostos às áreas das estações pluviográficas existentes na área da lagoa Mirim/RS;

- V. Validar o método proposto, através da avaliação do comportamento das séries diárias, quinzenais, mensais e anuais oriundas do TRMM (3B42V7) em relação aos dados pluviométricos existentes na bacia da lagoa Mirim/RS;

1.3 Hipótese

Diante do cenário apresentado, esse trabalho fundamenta-se na hipótese de que as intensidades máximas de precipitação obtidas pelas relações Intensidade-Duração-Frequência, cujos valores de precipitação são oriundos do TRMM (3B42V7) e desagregados, mediante o método de CETESB (1986), não tenham diferenças significativas, comparativamente às intensidades obtidas via registros pluviográficos.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Chuvas Intensas

As chuvas intensas possuem distribuição irregular, tanto temporalmente quanto espacialmente, e possuem um grande volume em um curto intervalo de tempo. Esses tipos de eventos causam grandes prejuízos, como: erosão no solo, inundações, perdas agrícolas, além de problemas em reservatórios (ARAÚJO et al., 2008; QAMAR et al., 2017).

Segundo Park & Jung (2002), além de ser fundamental no dimensionamento das obras hidráulicas, a análise de chuvas intensas pode trazer muitos benefícios, como por exemplo, minimizar custos na agricultura, pois o entendimento das modificações do clima e do tempo é essencial para tomadas de decisão.

Para Tucci (2002), a precipitação máxima é entendida como a ocorrência extrema, com determinada duração, distribuição temporal e espacial, para uma área ou bacia hidrográfica. Araí et al. (2012), descrevem a dificuldade em definir um valor absoluto mínimo, para que um evento seja considerado chuva intensa, visto que o impacto das chuvas intensas sobre uma bacia hidrográfica é desigual, dependendo do tipo, uso e manejo do solo. Uma dada lâmina precipitada pode não causar inundação em áreas rurais, já em áreas urbanas pode ser extremamente impactante.

Damé (2001) descreve a importância do estudo das chuvas intensas, as quais são caracterizadas por relações de intensidade, duração e frequência de ocorrência, visto que a partir desses dados de chuvas intensas que é possível obter os valores de vazão máxima em uma bacia, gerando um hietograma de projeto, o qual é uma forma gráfica que mostra a intensidade da chuva ao longo de sua duração, utilizada como entrada em modelos de simulação chuva-vazão, consistindo em uma metodologia de representação simplificada muito aplicada na hidrologia.

2.2 Relações Intensidade-Duração-Frequência (IDF)

Segundo Oliveira et al. (2008), a relação Intensidade-Duração-Frequência (IDF) da precipitação é uma metodologia importante para a elaboração de projetos de obras hidráulicas, para obtenção desta relação são necessários dados históricos

de chuvas, utilizando-se usualmente registros pluviográficos, este considerado a forma mais confiável ou ainda, mediante a utilização de dados pluviométricos, em casos de inexistência de registros pluviográficos.

Santos et al. (2009), ressalta a importância da utilização de séries longas e com alto grau de confiabilidade dos dados observados, visto que dependendo do objetivo do estudo a análise das séries pode seguir duas perspectivas: uso de séries anuais ou de durações parciais. A primeira, utilizando séries anuais é baseada na seleção das maiores precipitações anual para uma determinada duração, onde geralmente utilizam-se as seguintes durações: 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120, 180, 360, 720 e 1440 min; a segunda é baseada em séries que dispões de um pequeno período disponível (menor que 12 anos) e para tempos de retorno inferiores a 5 anos (WILKEN, 1978).

A obtenção dos parâmetros da equação que represente analiticamente a relação IDF está descrita na (Equação 1).

$$I = \frac{K \cdot Tr^a}{(t + b)^c} \quad (1)$$

em que:

I = intensidade máxima média de precipitação, em mm h^{-1} ;

Tr = período de retorno ou de recorrência, em ano;

t = duração da precipitação, em min; e

K, a, b, c = parâmetros ajustados para cada localidade.

2.2.1 Relações Intensidade-Duração-Frequência a partir de registros pluviográficos

Um dos métodos de análise de chuvas intensas é a determinação das curvas IDF, obtida a partir de registros pluviográficos. Os pluviogramas (Figura 1) representam a distribuição temporal da precipitação, cuja extensão corresponde a 24 horas de registro contínuo e a altura corresponde a 10 mm de precipitação (TUCCI, 2002).

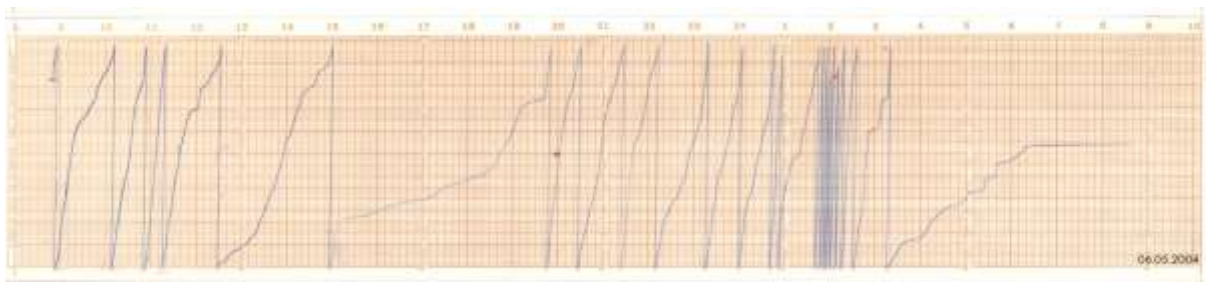


Figura 1 - Exemplo de pluviograma disponibilizado pela Estação Agrometeorológica de responsabilidade da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) em conjunto com a Universidade Federal de Pelotas (UFPel).

A análise dos pluviogramas permite o conhecimento da distribuição temporal da precipitação ao longo do evento de precipitação, assim, obtendo-se a relação entre a intensidade e duração, que são inversamente proporcionais, ou seja, em pequenas durações encontram-se as maiores intensidades de precipitação. As durações usuais utilizadas são de 5, 10, 15, 30 e 45 min e 1, 2, 3, 6, 12, 24 horas.

A metodologia consiste nos seguintes passos (TUCCI, 2002):

- a) Leitura dos pluviogramas de cada evento de chuva e cálculo da intensidade máxima de precipitação para cada duração estabelecida;
- b) Formação das séries de intensidades máximas de chuvas e análise de frequência de cada uma dessas séries;
- c) Elaboração de uma tabela, estabelecendo a estimativa da intensidade máxima de chuva, em função de cada duração anteriormente definida e de períodos de retorno arbitrariamente estabelecidos;
- d) Obtenção dos parâmetros da equação (1), ao qual representa analiticamente a relação IDF.

Para Genovez; Zuffo (2000), uma vantagem da utilização dos dados pluviográficos é que esses são mais indicados por representarem validade regional, essa vantagem, consiste em que os pluviogramas fornecem as informações de intensidades de precipitações, uma vez que permitem a leitura ao longo do tempo, das lâminas líquidas precipitadas.

Por outro lado, Silva et al. (2000), descrevem os obstáculos para a obtenção de registros pluviográficos, da baixa densidade da rede de pluviógrafos e da indisponibilidade de séries longas, para Tucci (2002), isso ocorre devido aos pluviógrafos apresentarem maior complexidade operacional e maior custo, pois são aparelhos completos, onde os princípios fundamentais de funcionamento são: medição, transmissão de sinal, gravação e transmissão de registro.

Outro obstáculo consiste na leitura dos pluviogramas, os quais exige um exaustivo trabalho de tabulação, muitas vezes ainda não digitalizados e disponíveis apenas para consulta presencial no órgão responsável pela guarda de dados (CECÍLIO; PRUSKI, 2003).

2.2.2 Relações Intensidade-Duração-Frequência a partir de dados pluviométricos

O pluviômetro é um equipamento utilizado amplamente como monitoramento de precipitações no Brasil, tem como principais características a simplicidade de instalação e operação, além de baixo custo. Segundo Oliveira et al. (2005), existe uma vasta rede pluviométrica instalada, principalmente para atender ao setor de geração de energia elétrica e devido à escassez de registros pluviográficos descrito no item anterior, o uso de dados pluviométricos surge como uma alternativa para a determinação das relações IDF.

No entanto, os dados pluviométricos são apresentados em totais precipitados, acumulados diariamente, sendo essencial o uso de alguma metodologia de desagregação dos dados em durações inferiores à diária, possibilitando o ajuste dos parâmetros da equação IDF, que representam as chuvas intensas da localidade estudada.

Diante disso, algumas metodologias foram elaboradas para que viabilize a utilização de dados de pluviômetros na obtenção da relação IDF, através da desagregação da chuva acumulada, dentre os diversos métodos podemos citar: o Método de Bell (1969); o Método de Chen (1983); o Método das Isozonas e o Método de Beltrame (1991). Contudo, o método das relações entre durações destaca-se na literatura brasileira, a seguir maiores detalhes do Método de Bell (1969), das relações entre as durações e uma adaptação proposta por Silveira (2000).

2.2.2.1 Método de Bell (1969)

Bell (1969) propôs um modelo (Equações 2 e 3) para estimativa de chuvas intensas a partir da chuva de 60 minutos de duração e período de retorno de dois anos. Assim, para aplicação do modelo, determina-se primeiramente os parâmetros $h_{(60,2)}$ e $h_{(dia,2)}$ a partir de dados pluviográficos.

$$P_t^T = (a \cdot \ln.Tr + a_1) \cdot (a_2 \cdot td^b - a_3) \cdot P_{60}^2 \quad (2)$$

$$P_{60}^{10} = k \cdot h_{(dia, 2)} \quad (3)$$

em que:

P_t^T = chuva de projeto (mm);

Tr = tempo de retorno (anos);

Td = tempo de duração (min);

a, a_1 , a_2 , a_3 e b = parâmetros regionais de calibração do modelo;

P_{60}^{10} = precipitação intensa padrão que corresponde à duração de 60 min. E período de retorno de 2 anos (mm);

$h_{(dia, 2)}$ = altura pluviométrica máxima diária anual correspondente ao tempo de retorno de 2 anos (mm);

k = relação regional entre a precipitação pluvial de 60 minutos e um dia de duração para um período de retorno de dois anos.

Ueahara et al. (1980), propôs uma relação altura-duração-frequência para todo o Brasil a partir da metodologia de Bell (1969). Os autores selecionaram 26 postos, os quais determinaram que deveriam ter no mínimo 25 anos de observação. Obtendo assim, a equação 4 e equação 5 para o Brasil e estado de São Paulo respectivamente.

$$P_t^T = (0,1824 \cdot \ln.Tr + 0,58) \cdot (0,497 \cdot td^{0,27} - 0,50) \cdot P_{60}^{10} \quad (4)$$

$$P_t^T = (0,22 \cdot \ln.Tr + 0,50) \cdot (0,38 \cdot td^{0,31} - 0,39) \cdot P_{60}^{10} \quad (5)$$

em que:

P_{60}^{10} = precipitação com 10 anos de tempo de retorno e duração de 60 min;

Tr = tempo de retorno (anos), onde $2 \text{ anos} \leq Tr \leq 100 \text{ anos}$;

t = duração em min, onde $5 \text{ min} \leq t \leq 120 \text{ min}$.

Basso (2015), avaliou a aplicação da equação de Bell (1969) original, e algumas das modificações propostas na literatura, objetivando sua utilização a partir dos dados pluviométricos existentes no Rio Grande do Sul e concluiu que a metodologia obteve bons ajustes para durações menores que 2 horas, no qual detalhando os resultados de alguns municípios percebe-se que em Alegrete/RS, em Bagé/RS, foi apropriada, quando deseja-se estimar as precipitações com durações de até 2 horas para todos os Tr verificados, em Caxias do Sul/RS, estimou a precipitação máxima com até 2 horas de forma satisfatória, atendendo o objetivo

principal. Contudo deve-se destacar que a equação gera uma considerável subestimativa da chuva para Tr de 2 anos, exceto em Alegrete (Tr de até 5 anos), sendo desaconselhável sua utilização nessas condições.

2.2.2.2 Método das relações entre durações

Como já comentado anteriormente entre toda as metodologias citadas, destaca-se o método das relações, aplicado em diferentes regiões Brasil, utilizado por Oliveira et al. (2005), para o estado de Goiás e Distrito Federal, Reis et al. (2008), para o estado do Ceará e por Campos et al. (2014) para o estado do Piauí. Além de ser aplicado em outros países como por Kothyari; Garde (1992), na Índia, Karahan (2012), na Turquia e Liew et al. (2014), em Singapura.

Esse método permite que sejam conhecidas as alturas de precipitação para durações de até 5 minutos, a partir da chuva diária, utilizando coeficientes de desagregação, obtidos a partir de valores médios brasileiros das relações entre durações, ou seja, considerando as localidades semelhantes meteorologicamente (CETESB, 1979) (Tabela 1).

2.3 Tabela 1 - Coeficientes de desagregação para diferentes durações de chuva.

Relação entre alturas pluviométricas	Coeficiente de desagregação	Relação entre alturas pluviométricas	Coeficiente de desagregação
5 min para 30 min	0,34	2 h para 24 h	0,48
10 min para 30 min	0,54	3 h para 24 h	0,54
15 min para 30 min	0,70	6 h para 24 h	0,72
20 min para 30 min	0,81	8 h para 24 h	0,78
25 min para 30 min	0,91	10 h para 24 h	0,82
30 min para 1h h	0,74	12 h para 24 h	0,85
1 h para 24 h	0,42	24 h para 1 dia	1,14

Fonte: CETESB, 1979.

Os coeficientes propostos pela CETESB (1979) foram gerados a partir de séries parciais e com períodos de tempo de análise relativamente curtos. O uso desses coeficientes tem como princípio de que resultados mais consistentes das séries parciais, em relação a séries anuais, para TR inferiores a 10 anos, e resultados semelhantes para TR superiores a 10 anos (CETESB, 1979).

2.2.2.3 Metodologia adaptada por Silveira (2000)

Silveira (2000), desenvolveu uma metodologia de desagregação que tem como base os coeficientes de desagregação de CETESB (1986), o ajuste foi realizado com coeficientes generalizados para o Brasil, entretanto a expressão matemática ajustou-se, igualmente, bem com dados regionais do Rio Grande do Sul, na qual consiste em uma equação analítica para os coeficientes de desagregação dos totais de chuva, máxima de 24 horas de duração, em totais correspondentes para durações menores. Para facilitar o manuseio dos coeficientes em calculadoras programáveis, planilhas eletrônicas, e códigos de programação utilizados na forma de uma equação, proporcionando maior rapidez e automatização de cálculo de chuvas de projeto para locais que dispõem somente de dados diários equação (6).

$$P_t = 1,1 \cdot \exp \frac{1,5 \cdot \ln(\ln(t \cdot 60))}{7,3} \cdot P_{\text{dia}} \quad (6)$$

em que:

P_t = chuva máxima com t horas de duração;

P_{dia} = chuva máxima com um dia de duração;

A constante 1,1 é a relação P_{24}/P_{dia} .

3.2 Estimativas da precipitação por satélite

Avery; Berlin (1992) e Meneses (2001) conceituam sensoriamento remoto como: “Uma técnica para obter informações sobre objetos, através de dados coletados por instrumentos que não estejam em contato físico com os objetos investigados”.

Assim, pode-se afirmar que o sensoriamento remoto (SR) está fortemente ligado a sistemas de satélites ou outros equipamentos que possuem sensores de captação que consistem em captar ondas eletromagnéticas refletidas a partir da superfície terrestre com o objetivo de observar e estudar as diversas superfícies da terra. O seu contínuo desenvolvimento tem incorporado novas técnicas com potencial de uso em várias aplicações em hidrologia (SCHULTZ; ENGEMAN, 2000).

As ondas eletromagnéticas ou radiações eletromagnéticas (REM), captadas podem variar entre si em relação ao seu comprimento de onda. No contexto da luz visível, existe a variação de aproximadamente 400 a 700 nanômetros (10^{-9} metros) de comprimento. O REM de comprimento menor compreende as radiações,

ultravioleta, raios X e raios gama, já REM de comprimento maior abrange o infravermelho, micro-ondas e as ondas de transmissão de televisão e rádio (Figura 2) (HALLIDAY et al., 2009).

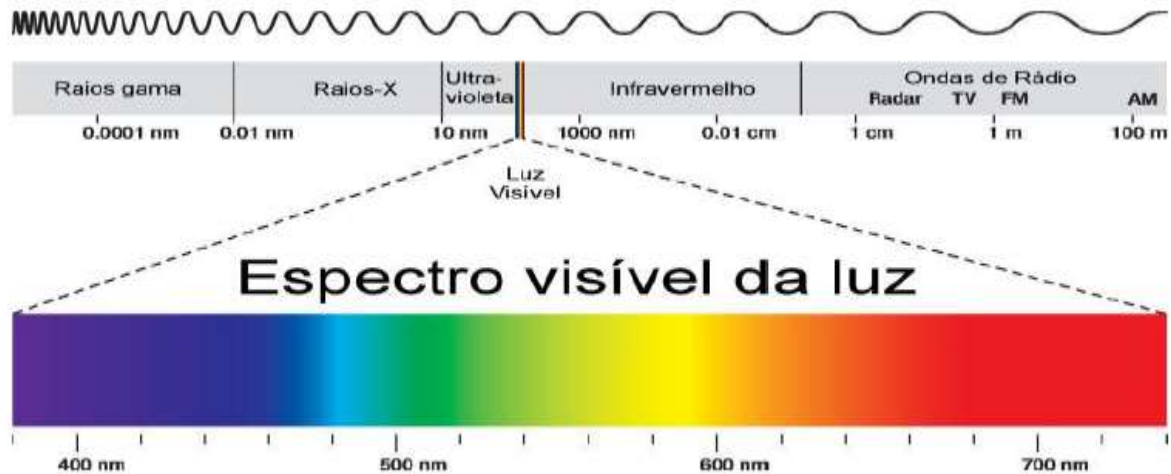


Figura 2 - Espectro das ondas eletromagnéticas segundo seu comprimento
Fonte: Peter Hermes Furian / Shutterstock.com

Segundo Petty (1995) a estimativa da precipitação por satélite está fundamentada na medição de radiação eletromagnética, refletida ou emitida, pelas nuvens e pela chuva, isso se dá pelo fato de que diferentes materiais têm diferentes refletâncias, assim, o brilho da luz do sol refletida pelas nuvens pode ser uma indicação de espessura e possibilitam a estimativa do volume de água no interior da mesma.

Huffman et al. (1995), utilizando a técnica 'satélite-gauge-model' (SGM), o qual é descrita por combinar estimativas de precipitação de dados de satélite de microondas, dados de satélite infravermelho, análises de pluviômetro e modelos numéricos em estimativas aprimoradas de precipitação global, a fim de obter dados mais robustos, concluíram em geral que os erros aleatórios nos dados são pequenos quando comparados com o viés nas estimativas de satélite. Seus resultados sugeriram que, quando cinco ou mais pluviômetros estão disponíveis em uma caixa de grade de latitude/longitude de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$, o erro das médias de área dos indicadores é de aproximadamente 10% ou menos.

Atualmente existem inúmeros satélites capazes de gerar distintos produtos, atendendo diversas demandas, porém de acordo com a finalidade do trabalho ou estudo a ser desenvolvido, devem ser avaliadas as opções de resoluções espaciais, temporais e radiométricas que os produtos de satélites apresentam (MENESES; ALMEIDA, 2012).

A resolução espacial define a área mínima imageada pelo sensor, já a resolução temporal refere-se à frequência que o sensor visita determinado ponto, ambas dependem da altura e do ângulo de visada instantânea do sensor. A resolução radiométrica refere-se à quantidade de níveis de cinza que o sensor é capaz de detectar e é expressa em números de dígitos binários (bits), quanto maior for essa resolução, maior a nitidez da imagem.

Os satélites a bordo do qual se encontram os sensores, podem ser classificados em função da órbita que descrevem em torno do planeta, podendo apresentar órbitas geoestacionárias, polares ou oblíquas conforme (Figura 3).

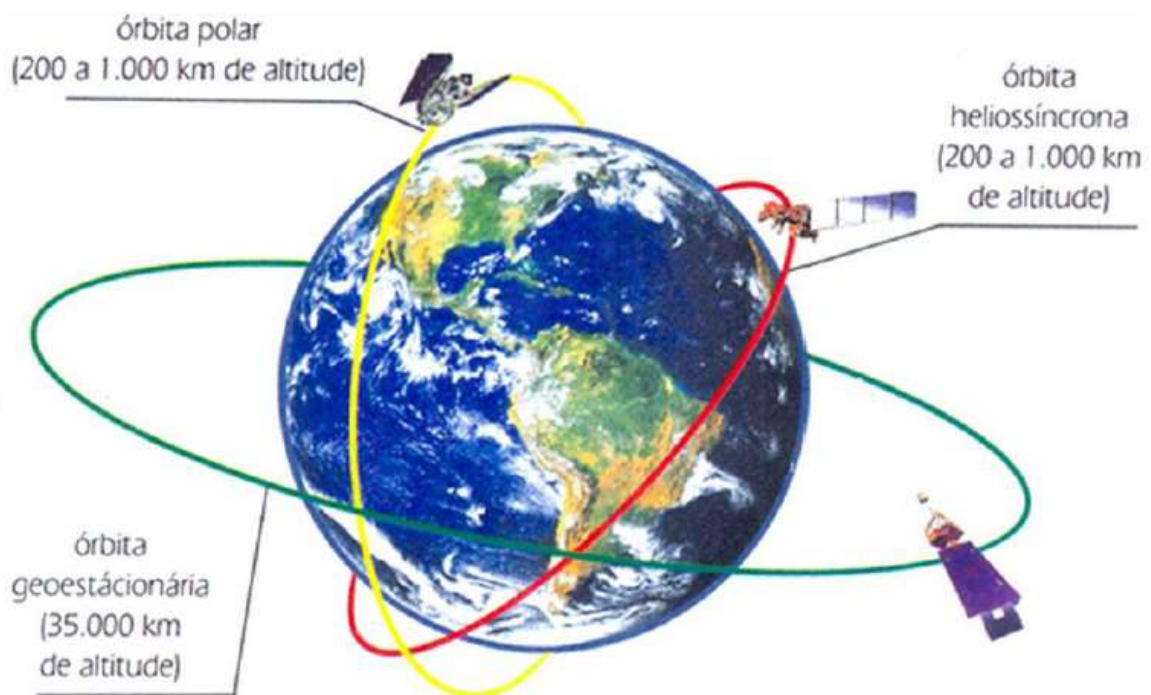


Figura 3 - Tipos de órbita de satélites
Fonte: Florenzano, 2007.

Os satélites geoestacionários orbitam sempre sobre o mesmo ponto do planeta, mantendo uma velocidade angular igual à da terra, exemplificam-se os satélites da série GOES (Geoestationary Operational Environmental Satellites), que produzem 96 imagens diárias por canal. Apresenta como vantagem a obtenção de informações de áreas específicas do globo várias vezes por dia, com alta resolução temporal de imagens, em contraponto, a—desvantagem é que estes satélites localizam-se em grandes altitudes, aproximadamente 36.000 km, conferindo uma menor resolução espacial em cada banda (COLLISCHONN, 2006).

Segundo Petty (1995), essa grande distância entre a órbita de satélites geoestacionários e a terra impossibilita a operação de radiômetros de micro-ondas a bordo, além de produzir imagens distorcidas em latitudes mais elevadas, sendo inadequados para medições nos polos.

Os satélites em órbitas polares ou oblíquas situam-se em menores altitudes, aproximadamente 850 km, como ocorre com os satélites da série NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) e DMSP (Defense Meteorological Satellite Program). O TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) encontra-se a uma altitude ainda menor, cerca de 400 km, conferindo alta resolução espacial mesmo em frequências menores como as de micro-ondas e, além disso, de cobrem todo o planeta. No entanto, tem como desvantagem a baixa frequência de passagem sobre um mesmo ponto, de 1 a 2 dias (COLLISCHONN, 2006).

Os primeiros métodos de estimativa de precipitação por satélite fundamentavam-se em faixas de comprimento de onda correspondente ao infravermelho (IR) e visível (VIS), os quais correspondem a uma medição indireta, dependente da ocorrência de chuva. Em sequência surgiram metodologias que utilizavam imagens de sensores de micro-ondas (MW) que correspondem, fisicamente à presença de água e/ou cristais de gelo dentro da nuvem e não apenas na superfície (LEVIZZANI, 1998).

O uso de imagens de satélite para estimativa de precipitações vem se difundindo nas últimas décadas, devido à melhoria das resoluções espaciais e temporais que vêm ocorrendo ao longo dos anos. Constata-se a necessidade de investimentos consideráveis em novos programas e missões espaciais por parte das agências internacionais.

Na literatura trabalhos sobre estimativa de precipitação com imagens de satélite são encontrados, principalmente em países em desenvolvimento como, por exemplo, Brasil e África, como exemplos, Conti (2002) e Endreny e Imbeah (2009) entre os pioneiros e recentemente, Danelichen et al. (2013), Li et al. (2013), Long et al. (2014), Zulkafli et al. (2014), Bernardi (2016), Prakash et al. (2016) e Fensterseifer et al. (2016). Estes números significativos de trabalhos sobre o assunto em comparação aos países desenvolvidos estão possivelmente associados à esparsa e deficiente rede de dados meteorológicos que os países em desenvolvimento possuem.

O Brasil, mais especificamente o Rio Grande do Sul, Conti (2002), foi um dos pioneiros nesta área de pesquisa, e obteve resultados satisfatórios na estimativa da precipitação por satélite para o estado, mesmo utilizando apenas dados de imagens no visível e infravermelho.

Bernardi (2016), recentemente, analisou a qualidade das estimativas de precipitação obtidas do produto 3B42 do satélite TRMM para as três regiões hidrográficas pertencentes ao Rio Grande do Sul, comparativamente aos dados observados disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA) e pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), dentre os índices utilizados destaca-se a média de 87% de acertos e somente 8% de média de falsos alertas, na comparação entre as estimativas de chuvas e os dados observados para a metodologia (pixel a ponto) a mesma deste trabalho.

3.3.1 Satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)

O satélite TRMM foi lançado em 27 de novembro de 1997, sendo um projeto em parceria entre NASA e a JAXA, com o objetivo específico de estudar e monitorar a precipitação nos trópicos, além de verificar o clima global (SILVA-FUZZO; ROCHA, 2016).

Em 17 de junho de 2015 o satélite TRMM reentrou na atmosfera da Terra, e seus detritos desembarcou no sul do Oceano Índico bem a oeste da Austrália. A fase terminal começou quando o combustível foi esgotado em julho de 2014. Em 7 de outubro de 2014, o satélite desceu a uma altitude que impedia os dados úteis do Radar de Precipitação TRMM, com um breve renascimento como TRMM descendente além da altitude original de 350 km. Enquanto isso, o TRMM Microwave Imager (TMI) continuou a funcionar com características de mudança lenta até que foi encerrado em 8 de abril 2015.

O satélite operava em órbita oblíqua não-heliossíncrona, com inclinação de 35° em relação ao equador, altitude de 350 km e após 2001, passou para 403 km, com período de translação de aproximadamente 91 minutos, circundando o globo em torno de 16 vezes por dia, conferindo alta resolução espacial e temporal.

Entre os instrumentos a bordo do TRMM existiam diferentes sensores, capazes de atuar em diferentes faixas do espectro eletromagnético, são eles: imageador de micro-ondas (TMI – Microwave Imager), radar de precipitação (PR- Precipitation Radar), radiômetro no visível e no infravermelho (VIRS - Visible and

InfraRed Scanner), sensor de energia radiante da superfície terrestre e das nuvens (CERES – Clouds and Earth Radiant Energy System), e sensor para imageamento de relâmpago (LIS – Lightning Imaging Sensor). A Figura 4 ilustra a operação desses sensores.

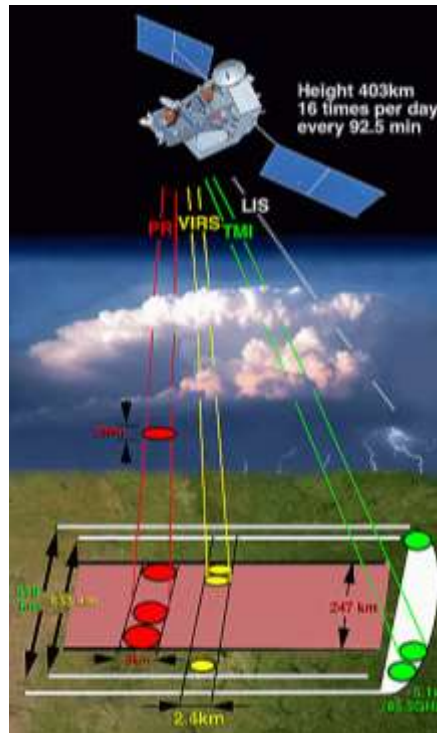


Figura 4 - Sensores a bordo do TRMM
Fonte: NASA-PMM, 2013.

As grandezas primárias medidas pelos instrumentos TMI, PR e VIRS são respectivamente, temperatura, potência e radiância. O VIRS é um radiômetro que mede o brilho da cena em cinco diferentes bandas espectrais, variando entre o visível e o infravermelho, conferindo a capacidade de identificar nuvens com alta probabilidade de precipitação, atuando em uma zona de cobertura de aproximadamente 247 km e com feixe de 2,4 km. O LIS é um instrumento que registra a localização, intensidade e tempo que um relâmpago ocorre (HUFFMAN et al., 2007).

Os produtos são gerados de acordo com a combinação de instrumentos usado no algoritmo de cálculo, dentre os produtos cita-se o 3B42, até o momento, o algoritmo TMPA passou por três avanços, relativas aos produtos V5, V6 e V7 lançados em 2005, 2009 e 2012, respectivamente.

Devido à importância do projeto TRMM e seu relativo sucesso, evidente nos resultados obtidos por vários autores em suas pesquisas destacando entre eles, Conti (2002), Danelichen et al. (2013) Fensterseifer et al. (2016) e Huffman et al. (1995; 2007), a NASA lançou em 2014 a rede internacional de satélites o Integrated Multisatellite Retrievals for GPM (IMERG). Com o objetivo de substituir o TRMM, o IMERG possui um pacote de sensores que inclui um radar de precipitação de dupla frequência e um equipamento micro-ondas multicanal, disponibilizando dados com melhor resolução, proporcionando uma nova geração de observações globais de chuva e neve.

Com dados a partir de 12 de março de 2014, o IMERG disponibiliza estimativas de precipitação com resolução temporal de 30 minutos e espacial de $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ e embora não seja uma série de estimativa de precipitação longa, já demonstra bons resultados ao ser comparados ao TRMM como no trabalho de Chen e Li (2016).

Concomitantemente, o produto 3B42V7 continua ativo, e segue sendo utilizado em muitas pesquisas. Segundo Huffman & Bolvin (2015), o produto 3B42V7 é recomendável para qualquer trabalho de pesquisa não especificamente orientado para aplicações em tempo real.

A precipitação estimada através do produto 3B42V7 é obtida a partir da técnica de multi-satélites, tem uma escala temporal de três em três horas e escala espacial de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ de latitude e longitude e seus dados estão disponíveis com acesso gratuito (Tabela 2).

Tabela 2 - Especificações Técnicas do produto TRMM 3B42V7

TRMM 3B42V7 grid diário	
Resolução Espacial	$0,25^\circ \times 0,25^\circ \cong 25 \text{ km} \times 25 \text{ km}$
Resolução Temporal	3 horas
Cobertura Geográfica	$\pm 180^\circ$ Leste/Oeste e $\pm 50^\circ$ Norte/Sul
Formato dos arquivos	Binário
Dimensão do arquivo	400 x 1.400 pixel

Fonte: Kempler (2013)

Segundo NASA-PMM (2018), o 3B42 será executado em paralelo com o IMERG até meados de 2019, no momento todos os conjuntos de dados TMPA continuam sendo chamados de TRMM Versão 7 apesar das mudanças apresentadas. Dada a alteração nos algoritmos de TRMM para GPM, o plano atual é

usar o processamento retrospectivo para IMERG ao invés de um reprocessamento final (TRMM Versão 8) TMPA / TMPA-RT.

Conforme mencionado, o produto 3B42V7 do TRMM fornece dados de estimativas de precipitação de 3 em 3 horas, a partir da plataforma <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>.

No que tange ao formato dos arquivos, além de png, geotif, kmz, os dados que integram *terabytes* de volume de dados, também são disponibilizados em formatos binários: *Hierarchical Data Format* (HDF), *Network Common Data Form* (NetCDF) e a extensão *Comma Separated Values* (CSV). Considera-se esse último o mais adequado para o tipo de trabalho aqui proposto, visto que se trata de um formato de arquivo que armazena dados tabelados, separados por um delimitador, geralmente vírgulas, e a quebra de linha para separar os registros, podendo facilmente ser criado e editado no excel.

Assim, cada dia de dados, oito arquivos 3B42 é acumulado e o resultado é escalado para que as unidades resultantes sejam mm dia^{-1} . Para cada dia de dados, o primeiro dos oito arquivos 3B42 acumulados de 3 horas tem o horário de início 22:30:00 (hh: mm: seg) UTC no dia anterior, e o último arquivo 3B42 tem o horário de término 22:29: 59 UTC no dia dos dados (Figura 5).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	Title: Time Series, Area-Averaged of Precipitation 3-hourly 0.25 deg. (TRMM TRMM_3B42 v7) {}																		
2	User Start Date: 1998-01-01T00:00:00Z																		
3	User End Date: 2017-12-31T23:59:59Z																		
4	User Bounding Box: "-52.5,-32,-52.25,-31.75"																		
5	Data Bounding Box: "-52.375,-31.875,-52.375,-31.875"																		
6	URL to Reproduce Results: "https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/#service=AvAvTs&starttime=1998-01-01T00:00:00Z&endtime=2017-12-31T23:59:59Z&bbox=-52.5,-32,-52.25,-31.75&data=TRMM_3B42"																		
7	Fill Value (mean_TRMM_3B42_7_precipitation): -9999.9																		
8	=time, mean_TRMM_3B42_7_precipitation																		
10	31/12/1997	22:30:00	0																
11	01/01/1998	01:30:00	0																
12	01/01/1998	04:30:00	0																
13	01/01/1998	07:30:00	1,314304																
14	01/01/1998	10:30:00	1,310947																
15	01/01/1998	13:30:00	3,784039																
16	01/01/1998	16:30:00	0																
17	01/01/1998	19:30:00	0																
18	01/01/1998	22:30:00	0																
19	02/01/1998	01:30:00	0																
20	02/01/1998	04:30:00	0																
21	02/01/1998	07:30:00	0																

Figura 5 - Ilustração do formato da planilha obtida na plataforma <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni> referente ao pixel sobreposto a estação Agroclimatológica UFPel/INMET na localidade de Pelotas/RS

3.3.2 Relações Intensidade-Duração-Frequência a partir de dados do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)

Diferente das medições em terra citadas nos itens anteriores, a medição do TRMM não é pontual e sim uma média de uma área de aproximadamente 25 km por 25 km, onde para a região do equador aproxima-se a 27 km por 27 km, considerado substancialmente confiável até a latitude de $\pm 50^\circ$ (NASA-PMM, 2018).

Como exemplo, a Figura 6, que mostra a precipitação registrada em alguns pixels do TRMM no dia 07 de maio de 2004 na área da bacia da lagoa Mirim/RS, os valores registrados são mostrados em uma escala de cores, de forma que cores mais quentes correspondem a precipitações mais intensas.

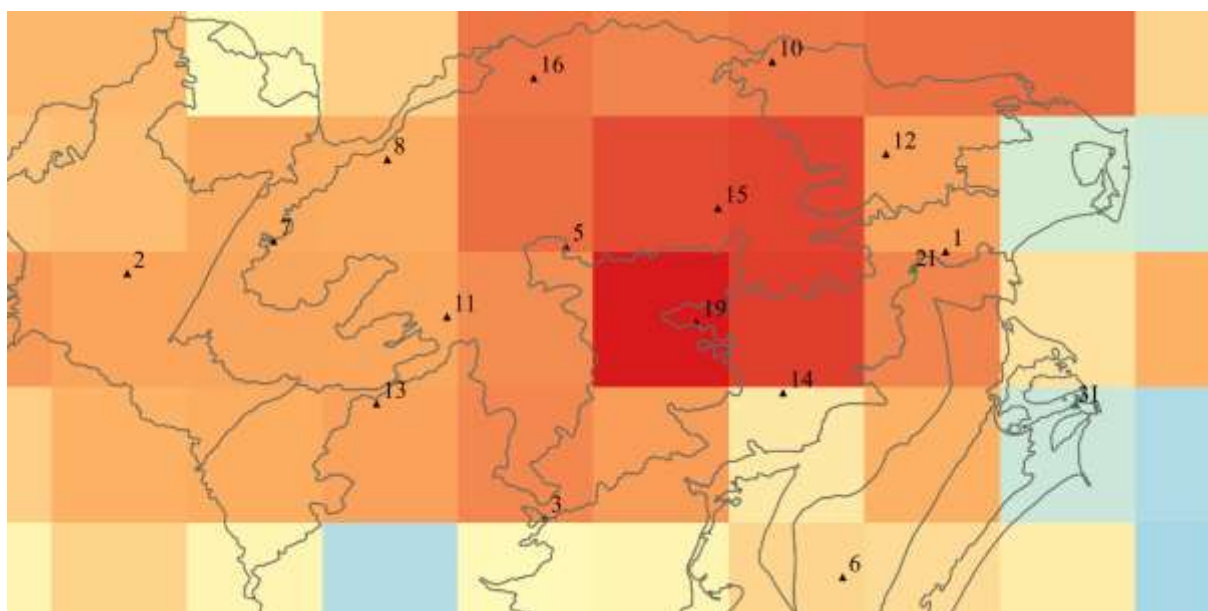


Figura 6 - Precipitação estimada pelo TRMM correspondente ao acumulado do dia 07/05/2004.

Na data supracitada ocorreu uma das maiores precipitações intensas já registradas na região, ocasionando transtornos à população. Na estação de número 1 (Figura 6), cadastrada com o código 3152014 (ANA), obteve-se a medição de 147,2 mm e a estação 21 código 83985 (INMET) ambas na região de Pelotas, registrou uma precipitação de 216,5 mm enquanto que o registro do satélite, para o pixel sobreposto a estação, forneceu a estimativa de 54,18 mm. Na estação de número 19 (Figura 6) cadastrada com o código 3152013 (ANA) em Pedro Osório, obteve-se a medição de 107,5 mm e o satélite fornecer a medição de 94,74 mm.

Cabe salientar que para a obtenção desses dados foi realizado a busca pelo acumulado do dia, visto que o objetivo foi fazer uma demonstração comparativa entre o produto 3B42V7 do satélite e as estações pluviométricas.

Porém tendo em vista sua resolução temporal de 3 horas, é possível inferir que no evento supracitado, por exemplo, houve precipitações que não foram captadas pelos sensores, isso é facilmente percebido quando comparado com registros pluviográficos do mesmo dia disponível em Damé et al. (2005).

Segundo a leitura do pluviograma da estação 83985 (INMET) do dia 07 de maio de 2004, o período de maior intensidade foi da 01:45 às 02:30 quando chegou em $78,4 \text{ mm h}^{-1}$, enquanto as leituras do produto do satélite foram em mm h^{-1} de 0 (07:30 h), 0 (10:30 h), 0 (13:30 h), 1,77 (16:30 h), 2,55 (19:30 h), 5,16 (22:30 h), 3,75 (01:30 h) e 4,83 (04:30 h), ou seja, esse evento extremo não foi captado pelos sensores, visto que ocorreu entre a leitura da 01:30 e das 04:30 h

Assim, no que concerne às séries de precipitações máximas para obtenção de relações IDF, é fato que os resultados mais confiáveis são os oriundos dos registros pluviográficos, no entanto o uso de dados pluviométricos é bastante utilizado, já o produto 3B42V7 é bastante utilizado para estimativas de precipitações, principalmente em lugares onde não há registros pluviográficos e/ou pluviométricos, mas talvez devido seus resultados não satisfatórios na escala diária, como nos apresentados pelos autores Bharti; Singh (2015), Fensterseifer et al. (2016) e Zad et al. (2018), poucos trabalhos no Brasil utilizaram seus dados para obter séries de precipitações máximas.

Entretanto, quando utilizado dados de estimativas de precipitação do TRMM para obter as relações IDF, Endreny e Imbeah (2009) motivados pela carência de dados em Gana/África, geraram curvas IDF com uma série de duração parcial (9 anos) e, embora tenham conferido diferenças entre os dados pluviométricos disponíveis e os de satélite, demonstraram entusiasmo, principalmente, para quando houver disponibilidade de séries de comprimentos mais longas.

Gonçalves (2011) estimou relações IDF para todas as sedes municipais brasileiras a partir de estimativas de precipitação do satélite TRMM, a autora observou que em geral as estimativas do TRMM tendem a uma leve superestimação em comparação as precipitações geradas por IDF existentes, citando o exemplo da cidade de Florianópolis/SC, quando realizado simulações precipitação-vazão para os tempos de retorno de 5 e 10 anos, verificou que a metodologia baseada no TRMM

superestimou em 4% enquanto que a de pluviômetro subestimou 4%, notando-se assim que considerando os valores em módulo, ambas metodologias tiveram a mesma qualidade de precisão, a autora concluiu a partir deste e outros resultados, que embora as IDF's geradas a partir das estimativas do satélite possuam incertezas é uma alternativa tão eficiente quanto à utilização de dados pluviométricos desagregados.

Portanto torna-se importante o estudo referente à análise de chuvas intensas a partir de estimativas por métodos alternativos, nesse caso do TRMM (3B42V7), haja vista as diferenças regionais das características de precipitação, escassez de dados confiáveis, contínuos e extensos e ainda a demanda por tais informações.

3.4 Área de estudo

3.4.1 A bacia da lagoa Mirim/RS

O estado do Rio Grande do Sul é dividido em 497 municípios distribuídos em uma área de 281.730,223 km² com uma população estimada de 10.693.929 habitantes (IBGE, 2010).

O território do estado do Rio Grande do Sul é banhado por três grandes bacias hidrográficas: a do Rio Uruguai, a do Guaíba e a Litorânea (DRH/SEMA, 2018) (Figura 7).

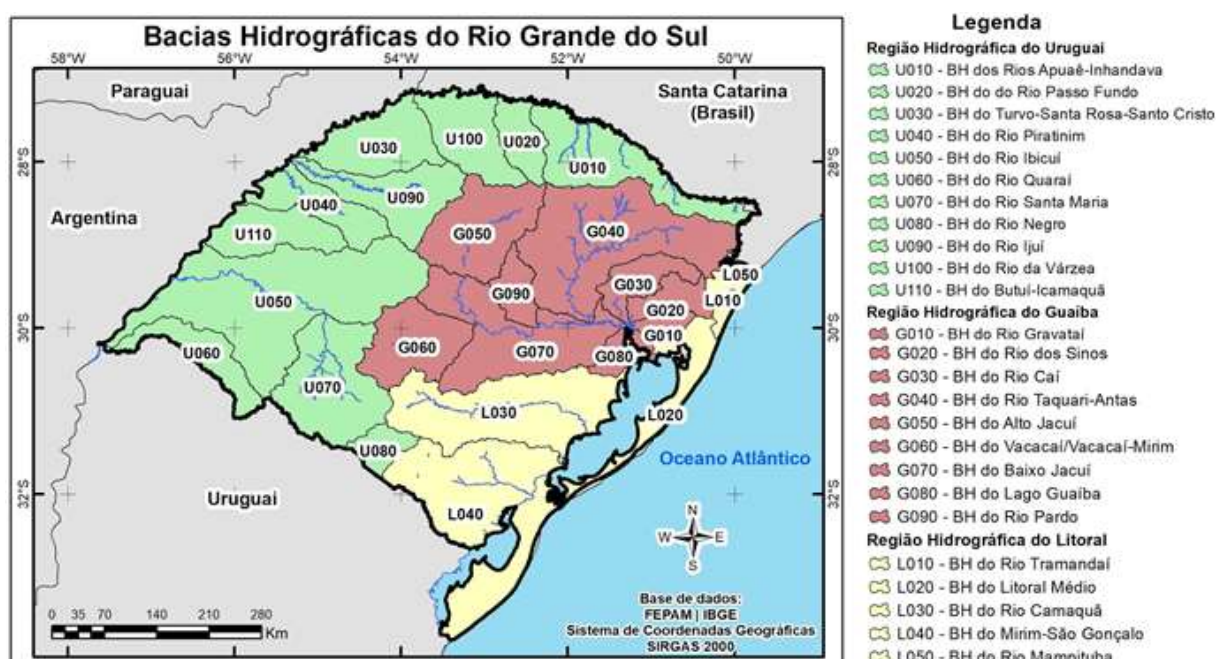


Figura 7 - Bacias e sub-bacias hidrográficas do estado do Rio Grande do Sul
Fonte: Fepam, 2018.

A Região Hidrográfica do Litoral ou das Bacias Litorâneas está localizada na porção leste e sul do território rio-grandense e ocupa uma superfície de aproximadamente 53.356,41 Km². População estimada em 1.231.293 habitantes, correspondendo a 12,09% da população do estado, distribuídos em 80 municípios.

Formada pelas bacias do Leste e do extremo sul do Estado. Nesta se individualizam dois corpos de água de expressão: a Laguna dos Patos e a Lagoa Mirim; algumas bacias desta região drenam diretamente para o Oceano Atlântico.

A lagoa Mirim e o complexo de áreas úmidas ao seu entorno, formam uma das principais bacias hidrográficas transfronteiriças da América do Sul, possui uma área total de aproximadamente 62.350 km², onde 53% estão localizados em território uruguaio e 47% em território brasileiro. Na porção sudeste do Estado do Rio Grande do Sul, localiza-se entre as coordenadas geográficas de 31° 30' a 34° 35' de latitude Sul e 53° 31' a 55° 15' de longitude Oeste, com uma área próxima de 29.304 Km², abrange as províncias geomorfológicas da Planície Costeira e Escudo Sul-Rio-Grandense fazendo parte da Região Hidrográfica das Bacias Litorâneas (DRH/SEMA, 2018).

A bacia da lagoa Mirim está ligada à laguna dos Patos formando o maior sistema lagunar da América do Sul, possuindo papel fundamental no desenvolvimento econômico da região Sul do Estado, pois tem ligação direta com os principais usos e com potenciais conflitos da água, ou seja, irrigação, abastecimento humano e dessedentação animal. A conexão entre os dois sistemas ocorre através do Canal São Gonçalo, um canal natural de 76 km de comprimento controlado por uma barragem eclusa (VIEIRA; RANGEL, 1988).

A Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim-Canal São Gonçalo abrange total ou parcialmente 21 municípios, de acordo com a tabela 3.

Tabela 3 - Municípios pertencentes à bacia hidrográfica Lagoa Mirim-São Gonçalo

	Município	Área na bacia (%)	Área total (km ²)
1	Aceguá	55,76	1.549,52
2	Arroio do Padre	53,10	124,32
3	Arroio Grande	100	2.518,48
4	Bagé	0,85	4.095,53
5	Candiota	99,81	933,84
6	Canguçu	27,13	3.525,07
7	Capão do Leão	100	785,37
8	Cerrito	100	451,89
9	Chuí	100	203,20
10	Herval	100	1.758,41
11	Hulha Negra	49,29	822,94
12	Jaguarão	100	2.054,39
13	Morro Redondo	100	244,64
14	Pedras Altas	100	1.376,69
15	Pedro Osório	100	603,91
16	Pelotas	90,63	1.608,77
17	Pinheiro Machado	42,35	2.227,90
18	Piratini	55,80	3.561,48
19	Rio Grande	100	2.813,91
20	Santa Vitória do Palmar	100	5.244,18
21	Turuçu	56,79	254,93

Fonte: DRH/SEMA, 2013.

3 Projeto de Pesquisa

PRPPG – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação

Modelo Estruturado

Relações Intensidade-Duração-Frequência com base em estimativas de precipitação por satélite para a bacia da lagoa Mirim/RS

Equipe:

Mestranda Letícia Burkert Mélo;

Prof. ^a Dr. ^a Rita de Cássia Fraga Damé;

Prof. ^a Dr. ^a Claudia Fernanda Almeida Teixeira-Gandra;

Prof. Dr. Rodrigo Rizzi;

Doutorando Gabriel da Silva Lemos;

Mestrando Patrick Moraes Veber

Graduanda Maria Clotilde Carre Chagas Neta

Letícia Burkert Mélo

Pelotas, 15 de outubro de 2017

1. Caracterização do Problema

Entre os recursos naturais disponíveis, a água é de fato o mais importante, é indispensável para o desenvolvimento social e econômico de uma região ou bacia hidrográfica, sendo que para possibilitar o desenvolvimento sustentável é necessária a correta e eficiente estimativa da disponibilidade e demanda hídrica. A utilização cada vez maior dos recursos hídricos tem resultado em problemas e até conflitos, assim o monitoramento e quantificação da chuva, principal entrada de água, são fundamentais à gestão desse recurso.

Segundo Araújo et al. (2008), é relevante monitorar o quanto uma bacia contribui em termos de quantidade de água para uma determinada região, e o quanto cada sub-bacia faz parte dessas contribuições, assim a estudo da precipitação é extremamente importante, principalmente em relação à chuva intensa, pois nesta, estão contidas todas as informações fundamentais para o dimensionamento de estruturas hidráulicas, garantindo assim projetos seguros.

O conhecimento das chuvas intensas de uma dada região associada aos períodos de retorno, juntamente com modelos hidrológicos, que fazem a transformação chuva-vazão, permitem o conhecimento do valor da vazão de projeto a ser utilizado em obras hidráulicas (DAMÉ et al., 2007).

Para a análise de chuvas intensas de uma determinada localidade é necessário conhecer a distribuição temporal da chuva, obtida a partir de registros pluviográficos, dados de radar meteorológicos ou pluviômetros, a partir dessas informações é possível obter os parâmetros das equações Intensidade-Duração-Frequência (IDF) da precipitação (DAMÉ, 2001; MELO NETO, 2012).

Além disso, assim como a maioria dos países em desenvolvimento, o Brasil possui uma esparsa rede de postos de observações climatológicos. Considerando a grande variação espacial e temporal da chuva, muitos eventos de precipitações isoladas podem não ser registrados o que dificulta a obtenção de dados de precipitação fundamentais à obtenção das relações IDFs gerando incerteza aos dimensionamentos de obras hidráulicas (BATISTA et al., 2016).

O Rio Grande do Sul tem um histórico de ocorrência de estiagens e inundações que por vezes causaram perdas significativas na sua economia, além de problemas sociais. Segundo FARSUL (2012), a produção de grãos nas safras de 2005 e 2012 teve redução devido a fortes estiagens, estima-se que em 2005 a perda foi de aproximadamente 5,9 milhões de toneladas comparada à safra anterior e em 2012 quase 10 milhões.

Além disso, assim como muitas áreas do Brasil, no Rio Grande do Sul existem grandes áreas sem quaisquer pluviômetros e/ou estações meteorológicas e ainda, a qualidade dos dados é, por vezes, pobre com um grande número de dados em falta, ou seja, com muitas falhas. Assim, justifica-se a necessidade de estudar a distribuição espacial e temporal da chuva no Rio Grande do Sul, mais especificamente na bacia Lagoa Mirim/RS.

Dessa forma, a utilização de sensores remotos representa uma alternativa importante e viável a fim de suprir essa carência, auxiliando na obtenção de dados confiáveis e com suficiente densidade espacial, assim sendo especialmente vantajoso em localidades que há pouca ou nenhuma informação pluviográfica (FRANCHITO et al., 2009; LI et al., 2012; BERNARDI, 2016;).

Contudo, existe a necessidade de validação destas estimativas, visto que são medidas indiretas, baseadas na medição de radiação eletromagnética refletida ou emitida pelas nuvens e pela chuva, as quais passam pelos processos de avaliação quantitativa e posteriormente por correções. No entanto, se forem representativas da precipitação, podem se tornar informações complementares às coletadas em solo e até mesmo suprir a carência de dados observados de precipitação (JIMÉNEZ; COLLISCHONN, 2015; BERNARDI, 2016).

Neste sentido, esse projeto está embasado na hipótese de que não há diferenças significativas entre os coeficientes das equações IDF's geradas a partir de estimativas de precipitação pluvial por satélite e as IDF's existentes geradas a partir de dados históricos observados da área em estudo.

2. Objetivos e Metas

O objetivo geral desta pesquisa é verificar estatisticamente a aplicabilidade de estimativas de precipitação por satélite na determinação das relações IDF's na bacia da Lagoa Mirim/RS.

Para isso seguiremos os seguintes passos:

- I construir as séries de precipitações máximas anuais a partir das estimativas de precipitação por satélite;
- II Comparar as séries de precipitações máximas anuais a partir das estimativas de precipitação por satélite ao redor de Pelotas/RS com as obtidas a partir de dados observados disponibilizados pela estação Agroclimatológica UFPel/INMET;
- III aplicar a função de autocorrelação amostral para verificar a ausência ou presença de correlação serial (independência) das séries de precipitações máximas;
- IV aplicar o teste de Mann-Kendall para verificar a ausência ou presença de tendência monotônica (estacionaridade) das séries de precipitações máximas;
- V ajustar as séries de precipitações máximas à distribuição teóricas de probabilidade;
- VI Desagregar os valores de precipitações máximas diárias nas seguintes durações: 5, 10, 15, 20, 30, 60 e 120 min.
- VII estabelecer as relações Intensidade-Duração-Frequência a partir de estimativas de precipitação pluvial por satélite;
- VIII desenvolver uma malha de equações IDF's com escala espacial de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ de latitude e longitude, geradas a partir das estimativas de precipitação pluvial por satélite.

3. Metodologia

A Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim localiza-se entre as coordenadas geográficas 31°30' a 34°35' de latitude Sul e 53°31'a 55°15' de longitude Oeste. Por tratar-se de uma bacia transfronteiriça, prevalece em seu território o regime de águas compartilhadas, ditado pelo Tratado de Limites de 1909 e pelo Tratado da Lagoa Mirim de 1977 (IPH, 1998). Em seu território encontram-se parcial ou integralmente inseridos 20 municípios: Aceguá, Arroio Grande, Arroio do Padre, Bagé, Candiota, Canguçu, Capão do Leão, Cerrito, Chuí, Herval, Hulha Negra, Jaguarão, Morro Redondo, Pedras Altas, Pedro Osório, Pelotas, Pinheiro Machado, Piratini, Rio Grande e Santa Vitória do Palmar.

Serão obtidos dados de estimativa de precipitação do satélite TRMM, através do produto 3B42 com resolução espacial de 0,25° X 0,25° as quais estão disponíveis gratuitamente para download em formatos NETCDF, HDF, TXT e CSV na seguinte página eletrônica: <https://giovanni.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni/Métodos>.

Serão utilizados dados de estimativas correspondentes a um período de 16 anos de observações diárias, de 1º de janeiro de 1998 até 31 de dezembro de 2013, os dados estão disponíveis em acumulados de três em três horas, em horas UTC (Coordinated Universal Time ou Hora de Greenwich), o que possibilita oito estimativas por dia, neste trabalho serão utilizados esses dados em arquivos no formato *.csv , sendo que cada arquivo corresponde a um centroide do grid TRMM3B42, denominado estação virtual, que contém os dados de precipitação diárias do produto TRMM 3B42 para a bacia da Lagoa Mirim/RS.

Para comparação, serão utilizados os registros da Estação Agroclimatológica de Pelotas (EMBRAPA/UFPel/INMET) com o mesmo período das estimativas de precipitação por satélite, ou seja, de 1º janeiro de 1998 até 31 de dezembro de 2013.

A partir desse momento será utilizada planilha eletrônica para manipulação e testes das séries, em que para os dados de satélite serão identificadas as precipitações máximas anuais de 3, 6, 9, 12 e 24h e subsequentemente serão constituídas as séries máximas anuais, selecionando o maior valor de precipitação dentro de cada ano da série.

Para comparação, serão utilizados os registros da Estação Agroclimatológica de Pelotas (EMBRAPA/UFPeI/INMET) com o mesmo período das estimativas de precipitação por satélite, ou seja, de 1º janeiro de 1998 até 31 de dezembro de 2013.

Para a comparação entre a série de dados observados da estação Agroclimatológica de Pelotas (EMBRAPA/UFPeI/INMET) e as séries obtidas a partir de dados de satélite ao seu redor, será utilizado o test “t” de *Student*, em que será testado a hipótese de nulidade (H_0), sendo esta, não há evidências de diferenças significativas entre os valores de precipitações máximas (mm) estimada pelo satélite e os encontrados por Dorneles (2017). Assim, se aceita H_0 quando a estatística calculada do teste for menor do que o valor crítico de t para um nível de probabilidade $(1-\alpha/2)$, sendo $\alpha = 5\%$.

Após a comparação entre as precipitações máximas obtidas a partir de dados observados com as precipitações máximas a partir de estimativas de precipitação por satélite, ou seja, e caso verificando que não há evidências de diferenças significativas entre os valores de precipitações máximas (mm) a partir de dados observados e as estimadas pelo satélite, esses, serão ajustados à distribuição de probabilidade.

Nesse caso utilizaremos a distribuição de Gumbel, visto que vários estudos que têm evidenciado que a distribuição de Gumbel é a que melhor se ajusta aos fenômenos hidrológicos extremos, por isso têm sido bastante utilizados para modelagem probabilística de precipitações diárias máximas anuais (BACK et al., 2011; HARTMANN et al., 2011; TEIXEIRA et al., 2011; SOUZA et al., 2012).

Após a aplicação da distribuição teórica de probabilidade, obtemos a série de precipitações máximas para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, será realizada a desagregação, transformando os valores das precipitações máximas de um dia em outras durações menores, nesse estudo as precipitações máximas será desagregada em 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 120 e 180 min., utilizando o método das relações, mediante a equação apresentada em Silveira (2000).

E por fim obtêm-se as equações IDF's conforme equação 1, onde a obtenção dos parâmetros K, a, b e c das equações IDF's, serão minimizadas à função objetivo (FO), conforme Damé (2001) (Equação 1), utilizando a ferramenta SOLVER, da planilha eletrônica do EXCEL da Microsoft. Essa ferramenta utiliza o código de otimização não-linear, denominado “Gradiente Reduzido Generalizado” (Martínez et al., 2012).

$$I = \frac{K \cdot Tr^a}{(t + b)^c} \quad (1)$$

em que: I = intensidade máxima média de precipitação, em mm h⁻¹; Tr = período de retorno ou de recorrência, em ano; t = duração da precipitação, em min; e K, a, b, c = parâmetros ajustados para cada localidade.

4. Resultados e Impactos esperados

O presente projeto de pesquisa tem por resultados esperados a avaliação positiva em relação a qualidade das estimativas de chuva baseada em estimativas de satélite na região Sul do Rio Grande do Sul e dependendo dessa qualidade, o impacto esperado é a auxiliar diversas outras pesquisas na região em que se almeje o entendimento do comportamento hidrológico em bacias com baixa densidade de dados pluviográficos e pluviométricos.

5. Cronograma do Projeto

O cronograma das atividades que serão realizadas está descrito na Tabela 1.

Tabela 4 - Cronograma de atividades a serem realizadas durante o projeto de pesquisa.

Atividades	Ano/Semestre			
	2017/1	2017/2	2018/1	2018/2
Disciplinas	X	X	X	
Revisão bibliográfica	X	X	X	X
Obtenção dos dados de satélite		X	X	
Obtenção das séries de intensidades máximas		X	X	
Obtenção das relações IDFs			X	
Análise dos dados			X	X
Elaboração da dissertação			X	X
Elaboração de artigos científicos		X	X	X
Defesa da Dissertação				X

6. Referências Bibliográficas

ARAÚJO, L. E. de.; SOUSA, F. A. de. S.; RIBEIRO, M. A. F. de. M.; SANTOS, A. S. dos.; MEDEIROS, P. C. da. Análise estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do rio Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.2, 162-169, 2008.

BACK, A. J.; HENN, A.; OLIVEIRA, J. L. R. Heavy rainfall equations for Santa Catarina, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.2127-2134, 2011.

BATISTA, Karmem Julya Miron; SOUZA, Erica Gomes Flôr; NEVES, Marllus Gustavo Ferreira Passos das; PEREIRA, Thiago Alberto Silva da. Envolvdoc: Comparação entre curvas IDF obtidas a partir de Pluviógrafos e dados de satélite: estudo de caso em Maceió – AL. In: XIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 10., 2016, Aracajú. **Anais eletrônicos**...Aracajú: SRHNE, 2016. Disponível em: <www.evolvedoc.com.br/srhne/download-2016-UEFQMDIXNTMyLnBkZg.pdf> Acesso em: 04 mai.2017.

BERNARDI, Ewerthon Cezar Schiavo. **Qualidade das estimativas de precipitação do satélite TRMM no estado do Rio Grande do Sul**. 2016. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2016.

COLLISCHONN, W.; BRAVO, J. M.; SILVA, B. C.; RODRIGUEZ, D. A.; 2015. Impactos nas Afluências das principais Bacias In: Efeitos das Mudanças Climáticas na Geração de Energia Elétrica. 1 ed. São Paulo : AES Tietê, 2015, v.1, p. 245-346.

DAMÉ, Rita de Cassia Fraga. **Desagregação de precipitação diária para estimativa de curvas intensidade-duração-frequência**. 2001. 131 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

DORNELES, Viviane Rodrigues. **Análise de Chuvas Intensas com Abordagem de Dados Pluviográficos e Pluviométricos**. 2017. 61 f. Dissertação (Mestrado em Manejo e Conservação do Solo e da Água) – Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas. Pelotas. 2017.

FARSUL (Federação da Agricultura do estado do Rio Grande do Sul). Relatório econômico 2012 e perspectivas para 2013. Acessoria Econômica. Porto Alegre, RS. Dezembro de 2012.

FRANCHITO, S. H.; RAO, V. B.; VASQUES, A. C.; SANTO, C. M. E.; CONFORTE, J. C. Validation of TRMM precipitation radar monthly rainfall estimates over Brazil. **Journal of Geophysical Research**, v. 114, n. D2, p. 1-9, 2009.

HARTMANN, M.; MOALA, F. A.; MENDONÇA, M. A. Estudo das precipitações máximas anuais em Presidente Prudente. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, p.561-568, 2011.

IPH, 1998. Estudo para Avaliação e Gerenciamento da Disponibilidade Hídrica da Bacia da Lagoa Mirim. Relatório de Convênio. Volumes 1, 2 e 3. Porto Alegre, IPH-UFRGS, 3 volumes.

JIMÉNEZ, K. Q.; COLLISCHONN, W. Método de combinação de dados de precipitação estimados por satélite e medidos em pluviômetros para a modelagem hidrológica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, RBRH v. 20 n.1, p. 202 – 217, Porto Alegre jan./mar., 2015.

LI, X. H.; ZHANG, Q.; XU, C. Y. Suitability of the TRMM satellite rainfalls in driving a distributed hydrological model for water balance computations in Xinjiang catchment, Poyang lake basin. **Journal of Hydrology**, v. 426-427, p. 28-38, 2012.

MELO NETO, José de Oliveira. **Análise de Sensibilidade Escalar do Modelo Hidrológico SWAT**. 2012. 149 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

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

SOUZA, R. O. R. DE M., SCARAMUSSA, P. H. M., AMARAL, M. A. C. M., PEREIRA NETO J. A., PANTOJA, A. V. & SADECK, L. W. R. Equações de chuvas intensas para o Estado do Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.16, n.9, p.999–1005, 2012.

TEIXEIRA, C. F. A., DAMÉ, R. DE C. F. ROSSKOFF J. L. C. Intensity-Duration-Frequency ratios obtained from annual records and partial duration records in the locality of Pelotas RS, Brazil. Engenharia Agrícola, **Jaboticabal**, v.31, n.4, p.687-694, jul./ago. 2011.

**4 Artigo 1 - Relações Intensidade-Duração-Frequência das precipitações
estimadas pelo satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) na
localidade de Pelotas/RS**

(Segundo norma da Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental)

Relações Intensidade-Duração-Frequência das precipitações estimadas pelo satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) na localidade de Pelotas/RS

Resumo: Objetivou-se comparar os valores históricos de intensidades máximas anuais de precipitação do município de Pelotas/RS, nas durações de 3, 6, 12 e 24 h e períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, com aqueles obtidos a partir do produto 3B42V7 do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), bem como os valores observados (registros pluviográficos) e os de intensidades máximas, também obtidos do satélite, contudo, desagregados para as durações inferiores a 3 h, (5, 10, 15, 20, 30, 60 e 120 min), utilizando o Método das Relações CETESB (1986). Para estas análises, os valores de intensidades máximas nas durações e períodos de retorno já citados, foram obtidos mediante o ajuste dos parâmetros da distribuição de Gumbel, pelo método da máxima verossimilhança. Para aceitar a hipótese de que não há diferença significativa entre os valores de intensidades máximas de precipitação, observados e os obtidos por satélite, e ainda estes desagregados, foi utilizado o teste “t” de student. Os resultados mostraram que não houve diferença significativa num nível $\alpha = 0,05$, entre os dados históricos e aqueles obtidos pelo satélite, mesmo quando os mesmos foram desagregados. A partir dos resultados obtidos, é possível concluir que há ganho de informação em termos de curva IDF quando se utiliza dados de intensidades máximas de chuva obtidos por satélite, permitindo inferir que para localidades que não se dispõe de registros pluviográficos e dados pluviométricos, é possível utilizar como alternativa os dados de satélite na análise de chuvas intensas.

Palavras-chave: chuvas intensas, sensoriamento remoto, 3B42V7, desagregação, distribuição teórica de probabilidade

Abstract: The objective of this study was to compare the historical values of maximum annual precipitation intensities of the municipality of Pelotas / RS, with durations of 3, 6, 12 and 24 h and return periods of 2, 5, 10, 20, 50 and 100 years with those obtained from product 3B42V7 of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) satellite, as well as the observed values (rainfall records) and those of maximum intensities, also obtained from the satellite, however, disaggregated for durations of less than 3 h (5, 10, 15, 20, 30, 60 and 120 min) using the CETESB Relations Method (1986). For these analyzes, the values of maximum intensities in the durations and return periods already

mentioned were obtained by adjusting the Gumbel distribution parameters by the maximum likelihood method. In order to accept the hypothesis that there was no significant difference between the values of maximum precipitation intensities, observed and those obtained by satellite, and even these disaggregated, the student's t-test was used. The results showed that there was no significant difference at a level $\alpha = 0.05$, between the historical data and those obtained by the satellite, even when they were disaggregated. From the obtained results, it is possible to conclude that there is information gain in terms of IDF curve when using data of maximum intensities of rain obtained by satellite, allowing to infer that for locations that do not have pluviometric records and pluviometric data, it is possible to use satellite data as an alternative in the analysis of heavy rains.

Keywords: intense rainfall, remote sensing, 3B42V7, disaggregation, theoretical probability distribution

INTRODUÇÃO

A compreensão da distribuição espacial da precipitação pluvial é importante na avaliação do comportamento da mesma, em relação ao desenvolvimento e planejamento ambiental e gestão dos recursos hídricos (Filho et al., 2013), ao estudo de eventos extremos como enchentes e estiagem (Keenan et al., 2014), à modelagem hidrológica de bacias hidrográficas (Pereira et al., 2014), estimativa de perdas de solo (Palácio et al., 2016) além de estimar a disponibilidade hídrica para cultivos (Santos et al., 2014).

As precipitações intensas são aquelas que ocorrem em um pequeno intervalo de tempo e com um grande volume de água, portanto são as principais causadoras de enchentes e inundações. Segundo Damé et al. (2008), é importante a quantificação dessas chuvas, as quais pode ser realizada por meio do emprego de curvas intensidade-duração-frequência (IDF), que relacionam a duração, intensidade e frequência de ocorrência de um evento em determinado período de retorno.

Na engenharia, as equações IDF são utilizadas no dimensionamento de obras hidráulicas, em locais sem dados de vazão observados, ainda auxiliam na tomada de decisão nos empreendimentos de forma a se evitar riscos humanos e/ou materiais (Araí et al., 2012).

Os parâmetros das curvas IDF são ajustados por meio de modelos matemáticos gerados a partir de uma série de dados pluviográficos ou pluviométricos obtidos para

70 cada localidade. Porém, no Brasil existem localidades com pouco ou nenhum dado
71 pluvial (Aragão et al., 2013).

72 Assim, considerando a variabilidade espacial e temporal das precipitações, a má
73 distribuição e baixa densidade de postos de observações existentes e os pequenos
74 períodos de observações disponíveis, muitos eventos de precipitações isoladas podem
75 não ser registradas. Devido a estas questões é possível que não se obtenha
76 representatividade fidedigna das chuvas intensas na bacia hidrográfica, ocasionando
77 incerteza nos dimensionamentos de obras hidráulicas.

78 Para suprir essa carência, a utilização de sensores remotos representa uma alternativa
79 importante e viável, disponibilizando dados contínuos, a priori confiáveis – salvo
80 melhor juízo -, e com suficiente densidade espacial, assim sendo especialmente
81 vantajoso em localidades que há pouca ou nenhuma informação
82 pluviográficas/pluviométrica (Franchito et al., 2009; Li et al., 2012; Bernardi, 2016).

83 Dentre as alternativas disponíveis para obtenção de estimativas de chuva
84 remotamente, tem-se o satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission),
85 considerado o mais adequado para esse tipo de estudo, devido sua capacidade de medir
86 a estrutura vertical das nuvens nos trópicos. Desde seu lançamento em 1997 pela NASA
87 (National Aeronautics and Space Agency) e JAXA (National Space Development
88 Agency of Japan), o TRMM passou por atualizações contínuas para melhoria do
89 algoritmo.

90 Após sua desativação em 2014, foi lançada a nova rede internacional de satélites
91 Global Precipitation Measurement (GPM), com o objetivo de proporcionar observações
92 globais de chuva e neve com melhores resoluções espacial e temporal, disponibilizando
93 paralelamente as estimativas dos produtos da era TRMM. O último de seus produtos foi
94 reprocessado em 2012 e atualmente está em sua sétima versão, o 3B42V7, o qual
95 continua sendo amplamente estudado e aplicado em simulações e previsões hidrológicas
96 (Li et al., 2013, Long et al., 2014, Zulkafli et al., 2014 e Prakash et al., 2016).

97 Contudo, existe a necessidade de validação destas estimativas, visto que são medidas
98 indiretas e variam de local para local. Diante disso, esse trabalho tem como objetivo
99 comparar os valores históricos de intensidades máximas anuais de precipitação do
100 município de Pelotas/RS, nas durações de 3, 6, 12 e 24 h e períodos de retorno de 2, 5,
101 10, 20, 50 e 100 anos, com aqueles obtidos a partir do produto 3B42V7 do satélite
102 Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), bem como os valores observados

(registros pluviográficos) e os de intensidades máximas, também obtidos do satélite, contudo, desagregados para as durações inferiores a 3 h.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudos deste trabalho compreende a localidade de Pelotas/RS, localizada no estado do Rio Grande do Sul, na latitude $31^{\circ}52' S$, longitude $52^{\circ}21'' O$ e com altitude de 13,2 m acima do nível do mar (Teixeira et al., 2011).

Foram utilizados dados de estimativa de precipitação provenientes do produto 3B42V7 do TRMM, disponível gratuitamente em <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>, com resolução espacial de $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$, aproximadamente 25 km, para latitudes $50^{\circ}N$ e $50^{\circ}S$ e longitudes $180^{\circ} O$ e $180^{\circ} E$ e com resolução temporal de 3 horas.

A confecção cartográfica foi realizada no software QGIS, versão 3.6, o sistema de referência de coordenadas utilizado foi o Universal Transversa de Mercator/UTM, e a base de referência SIRGAS 2000 (Figura 1).

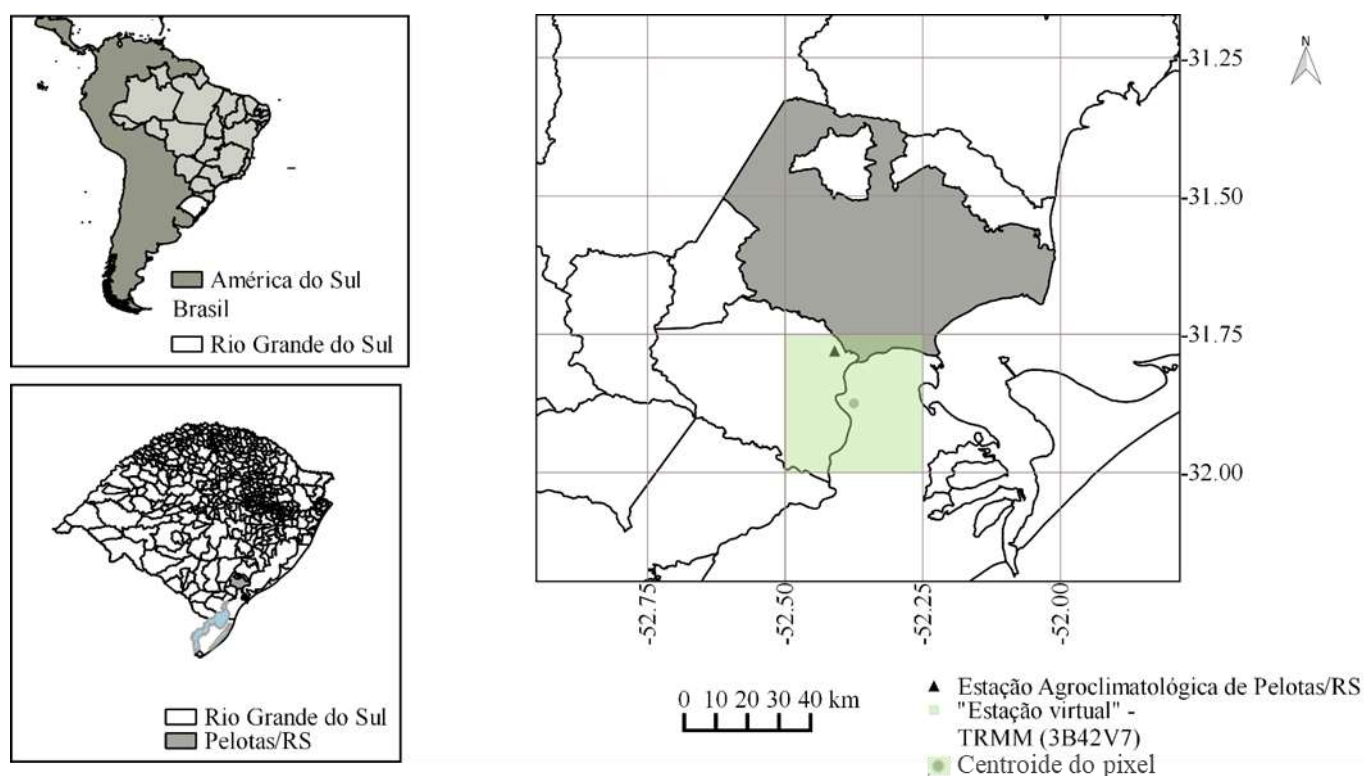


Figura 1. Localização da América do Sul, Brasil, estado Rio Grande do Sul, município de Pelotas/RS, da Estação Agroclimatológica de Pelotas/RS e do pixel referente a área de abrangência da “Estação virtual” TRMM (3B42V7)

Foi selecionada a estação virtual mais próxima à estação real, àquela localizada no pixel sobreposto à Estação Agroclimatológica de Pelotas - Convênio EMBRAPA/UFPel, INMET, a estação mantida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e pela Universidade Federal de Pelotas (UFPel), foi selecionada por possuir uma IDF atualizada obtida por Dorneles (2017), através de registros pluviográficos, com dados de 1982 a 2015, já os dados do TRMM (3B42V7) utilizado foi selecionado de acordo com o período disponível do produto e coincidente com o utilizado por Dorneles, ou seja, de 1998 a 2015.

Para analisar a qualidade das estimativas da estação virtual em relação à estação real foram identificados os máximos anuais de 3, 6, 12 e 24 horas, utilizando a distribuição de probabilidade de Gumbel, onde seus parâmetros foram estimados através do método da máxima verossimilhança (MMV), seguindo a metodologia descrita por Dorneles (2017), para a mesma estação, assim, obtendo-se os valores de intensidades máximas anuais associados aos períodos de retorno (Tr) de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos.

Essa primeira comparação foi realizada a partir da medida estatística conhecida como Erro Relativo Médio Quadrático (RMS) Eq. 1, também utilizada em outros estudos sobre chuva intensa (Goulart et al., 1992; Damé et al., 2008; Teodoro et al., 2014), foi adotada nesta pesquisa.

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{I_{virtual} - I_{real}}{I_{real}} \right)^2}{n}} \quad (1)$$

Em que para as Eq. 1, 2 e 3:

I_{real} – Intensidade Máxima anual ($mm\ h^{-1}$) observada na estação real.

$I_{virtual}$ – Intensidade Máxima anual ($mm\ h^{-1}$) estimada na estação virtual.

Em sequência, os valores de precipitações máximas, obtidos a partir do satélite foram desagregados para as durações 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120 min utilizando o método das relações (CETESB, 1986) e estes transformados em intensidades máximas de precipitação, mediante a relação entre a lâmina precipitada (mm) e duração (h).

Após, foi obtida os parâmetros da relação IDF para a série de precipitação estimada da estação virtual, onde a intensidade é obtida conforme Eq. 2 (Damé, 2001; Cardoso et al., 2014, Campos et al., 2017).

$$I = \frac{KTr^a}{(t+b)^c} \quad (2)$$

Em que:

I - Intensidade de chuva (mm h^{-1});

Tr - período de retorno (anos);

t - duração de chuva (min);

K, a, b, c - parâmetros de ajuste da equação.

Para a obtenção dos parâmetros K, a, b e c, foram testadas as cinco funções objetivo testada por Dorneles (2017), utilizando a ferramenta Solver, da planilha eletrônica do Excel®. Um dos métodos utilizados pelo Solver é o código de otimização não linear, denominado “Gradiente Reduzido Generalizado”. A função objetivo selecionada foi aquela que apresentou o menor valor da Raiz do Erro Quadrático Médio entre as IDFs.

Após, calculados os valores de intensidades máximas, obtidos como descrito acima, foi utilizado o teste t de *student*, para concluir sobre a hipótese de nulidade (H_0), sendo esta, (a) não há evidências de diferenças significativas entre os valores de intensidades máximas (mm h^{-1}) geradas a partir do conjunto de dados do satélite e os obtidos por pluviógrafo e (b) não há evidências de diferenças significativas entre os valores de intensidades máximas (mm h^{-1}) geradas a partir do conjunto de dados do satélite e os encontrados por Dorneles (2017). Assim, aceita-se H_0 quando a estatística calculada do teste for menor do que o valor crítico de “t” para um nível de probabilidade $(1-\alpha/2)$, sendo $\alpha = 5\%$.

O teste t de *student* avaliou o nível de significância do coeficiente angular (β_1). Os coeficientes β_0 e β_1 do modelo linear são apresentados na Eq. (3), sendo X os valores de intensidades máximas históricas nas diversas durações e períodos de retorno e Y os valores obtidos mediante a estimativa do satélite.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X \quad (3)$$

Em que $\beta_0 + \beta_1$ são coeficientes do modelo linear e angular respectivamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, encontram-se os valores de intensidades máximas (mm h^{-1}) obtidos a partir dos registros pluviográficos da localidade de Pelotas/RS e os obtidos mediante

187 estimativas de precipitação do TRMM (3B42V7), nas durações de 180, 360, 720 e 1440
188 minutos para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos.

189 Tabela 1. Valores de intensidades máximas (mm h^{-1}) obtidos a partir dos registros
190 pluviográficos da localidade de Pelotas/RS e pelo produto 3B42V7 do TRMM, para as
191 diferentes durações (D) e períodos de retorno (Tr).

Método de obtenção da IDF	Tr (Anos)	D (min)			
		180	360	720	1440
I (mm h ⁻¹)					
Pluviógrafo Estação Agroclimatológica de Pelotas/RS	2	18,6	9,1	5,4	0,8
	5	24,5	11,8	6,9	1,6
	10	28,4	13,7	8,0	2,1
	20	32,1	15,4	8,9	2,6
	50	37,0	17,7	10,2	3,3
EMBRAPA/UFPeI/INMET	100	40,6	19,4	11,2	3,7
	2	23,4	14,0	8,1	4,3
	5	28,2	17,1	10,1	5,4
	10	31,3	19,0	11,4	6,1
	20	34,4	21,0	12,6	6,8
TRMM (3B42V7)	50	38,3	23,4	14,3	7,7
	100	41,2	25,3	15,5	8,4

192
193 Na Tabela 2, encontram-se os resultados do ajuste linear e do teste t de Student
194 aplicado ao coeficiente angular, referente aos valores de intensidades máximas, obtidos
195 do registro pluviográfico histórico de Pelotas/RS e os obtidos através das estimativas de
196 precipitação do TRMM (3B42V7) bem como os resultados do Erro Relativo Médio
197 Quadrático (RMS).

198
199 Tabela 2. Ajuste linear ($Y = \beta_0 + \beta_1 X$) entre as intensidades máximas (mm h^{-1}) obtidas
200 do registro pluviográfico histórico de Pelotas/RS e as oriundas das estimativas de
201 precipitação do TRMM (3B42V7), para as durações de 180, 360, 720 e 1440 min.

Duração (min)	β_0	β_1	$t(\beta_1)$	Significância (p) (β_1)	Interpretação Teste t	RMS
180	8,4942	0,8053	-0,1792	0,8665	Aceita H_0	0,26
360	4,1546	1,0904	0,0657	0,9508	Aceita H_0	0,97
720	1,3025	1,2651	0,1868	0,8609	Aceita H_0	1,05
1440	3,1298	1,4096	0,1503	0,8878	Aceita H_0	5,16

202 β_0 e β_1 : coeficientes linear e angular do ajuste linear; t_{tab} (5 %) = 2,5706; Probabilidade: 5%.
203 RMS: Erro Relativo Médio Quadrático.

204
205 Os resultados do teste t de Student, aplicado entre os valores de intensidades
206 máximas (mm h^{-1}), obtidos do registro pluviográfico histórico de Pelotas/RS e os
207 obtidos através das estimativas de precipitação do TRMM (3B42V7) aceitou H_0 , ou
208 seja, não há evidências de diferenças significativas entre os valores de intensidades

máximas, visto que a estatística calculada é inferior ao $t_{\text{crítico}}$, para um nível α de probabilidade de 5%.

Tomando como referência os valores do RMS, pode-se verificar que ocorre um crescimento do mesmo, conforme a duração aumenta, assim ocorrendo o maior erro na duração de 1440 min, corroborando com os resultados obtidos por Caldeira et al. (2015), que avaliaram a influência de três conjuntos de constantes de desagregação na estimativa de intensidades de chuva usando curvas IDF ajustadas a partir de séries de chuva diária no estado do Rio Grande do Sul, nas durações de 30, 60 e 360 min. e períodos de retorno de 10, 50 e 100 anos, onde o melhor ajuste apresentou o RMS variando de 0,01 a 0,24.

Essa constatação era esperada e pode ser atribuída ao fato de que a estimativa do TRMM (3B42V7) em escala diária não é considerada satisfatória, concordando com o apresentado em Fensterseifer et al. (2016), em trabalho realizado na bacia hidrográfica do rio Jacuí, RS e Zad et al. (2018), em trabalho realizado na Malásia.

Entretanto, segundo Damé et al. (2005) e Ben-Zvi (2009), é sabido que as maiores intensidades ocorrem nas pequenas durações (5 a 10 minutos) portanto os resultados apresentados até o momento podem indicar boa correlação entre as intensidades máximas anuais obtidas pelas precipitações estimadas do TRMM (3B42V7) às precipitações máximas anuais obtidas a partir dos registros pluviográficos definidas por meio da aplicação da distribuição de probabilidade de Gumbel na localidade de Pelotas/RS.

Optou-se pela distribuição assintótica dos extremos, nesse caso a de Gumbel visto que Damé et al. (1996) e Dorneles (2017), ajustaram os valores de intensidades máximas anuais para a mesma localidade e obtiveram bons resultados com a mesma distribuição. Assim, utilizando a técnica de desagregação de chuvas para durações inferiores a 180 minutos, obtendo os valores de intensidades máximas anuais, para as durações de 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120, 360, 720 e 1440 min associados aos períodos de retorno (T_r) de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos, como apresentado na Tabela 3.

237 Tabela 3 - Valores de intensidade máximas (mm h^{-1}) de precipitação para um período de
 238 retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, obtida pelo ajuste da distribuição de
 239 probabilidade Gumbel às séries do TRMM (3B42V7), para a localidade de Pelotas/RS

Estação virtual TRMM (3B42V7)						
Duração (min)	Período de Retorno (anos)					
	2	5	10	20	50	100
5	141,1	176,7	200,3	222,9	252,2	274,2
10	120,8	151,2	171,4	190,8	215,9	234,6
15	102,7	128,6	145,8	162,2	183,6	199,5
20	89,6	112,2	127,2	141,5	160,1	174,1
30	72,3	90,5	102,6	114,2	129,2	140,4
60	47,7	59,8	67,7	75,4	85,3	92,7
120	30,2	37,8	42,8	47,7	53,9	58,6
360	13,7	17,2	19,5	21,7	24,5	26,7
720	8,1	10,1	11,5	12,8	14,5	15,7
1440	4,7	5,9	6,7	7,4	8,4	9,2

240

241 Para a mesma localidade em estudo, Dorneles (2017), atualizou a relação IDF
 242 mediante o uso de registros pluviográficos e dados pluviométricos através do método de
 243 desagregação para o período de 1982 a 2015, para as mesmas durações e períodos de
 244 retorno deste trabalho.

245 Diante disso, as relações IDF, apresentada por Dorneles (2017), obtida mediante o
 246 uso de registros pluviográficos e as estimativas do TRMM (3B42V7) foram
 247 comparadas, primeiramente verificou-se que para todos os tempos de retorno e durações
 248 considerados, houve superestimação das precipitações estimadas com dados do TRMM
 249 (3B42V7), neste caso, em média os valores foram superestimados em 24%, variando de
 250 10,1% na média da duração de 120 min a 53,3% na média da duração de 1440 min.

251 Gonçalves (2011), ao determinar as relações IDF a partir das estimativas do TRMM
 252 para a as principais sedes municipais brasileiras, observou que na região Sul, por
 253 exemplo, as estimativas de precipitação do TRMM tendem a superestimar a
 254 precipitação gerada pelas IDF existentes, a saber, o caso de Porto Alegre/RS
 255 superestimou em todas as durações (3, 6, 9, 12 e 24 h) e tempos de retorno (2, 5, 10, 20,
 256 50 e 100 anos), superestimando em média 56,5%. Já quando plotado às máximas anuais
 257 oriundos dos dados pluviométricos desagregados e comparando-os com a IDF existente
 258 para a mesma localidade, a autora verificou uma tendência à diminuição, expressa no
 259 coeficiente angular negativo da reta ajustada, embora não tenha expressado em quanto
 260 os dados pluviométricos tenham subestimado.

261 Gonçalves (2011), verificou ainda que em Florianópolis/SC, quando realizado
 262 simulações precipitação-vazão para os tempos de retorno de 5 e 10 anos, verificou que a

metodologia baseada no TRMM superestimou em 4% enquanto que a de pluviômetro subestimou 4%, notando-se assim que considerando os valores em módulo, ambas metodologias tiveram a mesma qualidade de precisão, concluindo a partir deste e outros resultados, que as curvas geradas a partir do TRMM possuem incertezas tanto quanto as IDF's geradas por desagregação dos dados pluviométricos. Esses resultados corroboram com o verificado por Collischonn (2006), que relaciona as maiores incertezas das estimativas de precipitação por satélite às regiões de maiores latitudes, caso deste estudo, região Sul do Rio Grande do Sul.

Após, foi utilizado o ajuste linear a partir do teste t de Student, a um nível de significância de 5%. Os coeficientes linear e angular, bem como a interpretação do teste “t” aplicados ao coeficiente angular, e o respectivo nível de significância aplicado aos valores de intensidades máximas, obtidos da curva IDF histórica de Pelotas/RS, disponível em Dorneles (2017) e os obtidos através das estimativas de precipitação do TRMM (3B42V7) são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Ajuste linear ($Y = \beta_0 + \beta_1 X$) entre as intensidades máximas (mm h^{-1}) obtidas da curva IDF histórica da cidade de Pelotas/RS e das estimativas de precipitação do TRMM (3B42V7), para os períodos de retorno (T_r) de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos.

Imáx IDF TRMM (3B42V7) versus Imáx IDF Convencional Pluviográfica					
T_r (anos)	β_0	β_1	$t(\beta_1)$	Significância (p) (β_1)	Interpretação Teste t
2	0,2397	1,2626	0,2072	0,8410	Aceita H_0
5	-1,7014	1,2688	0,2164	0,8341	Aceita H_0
10	-2,806	1,2700	0,2192	0,8320	Aceita H_0
20	-3,8401	1,2304	0,1944	0,8507	Aceita H_0
50	-5,1228	1,2720	0,2235	0,8287	Aceita H_0
100	-5,4739	1,2687	0,2212	0,8305	Aceita H_0

β_0 e β_1 : coeficientes linear e angular do ajuste linear; $t_{\text{tab}} (5 \%) = 2,2622$; Probabilidade: 5%.

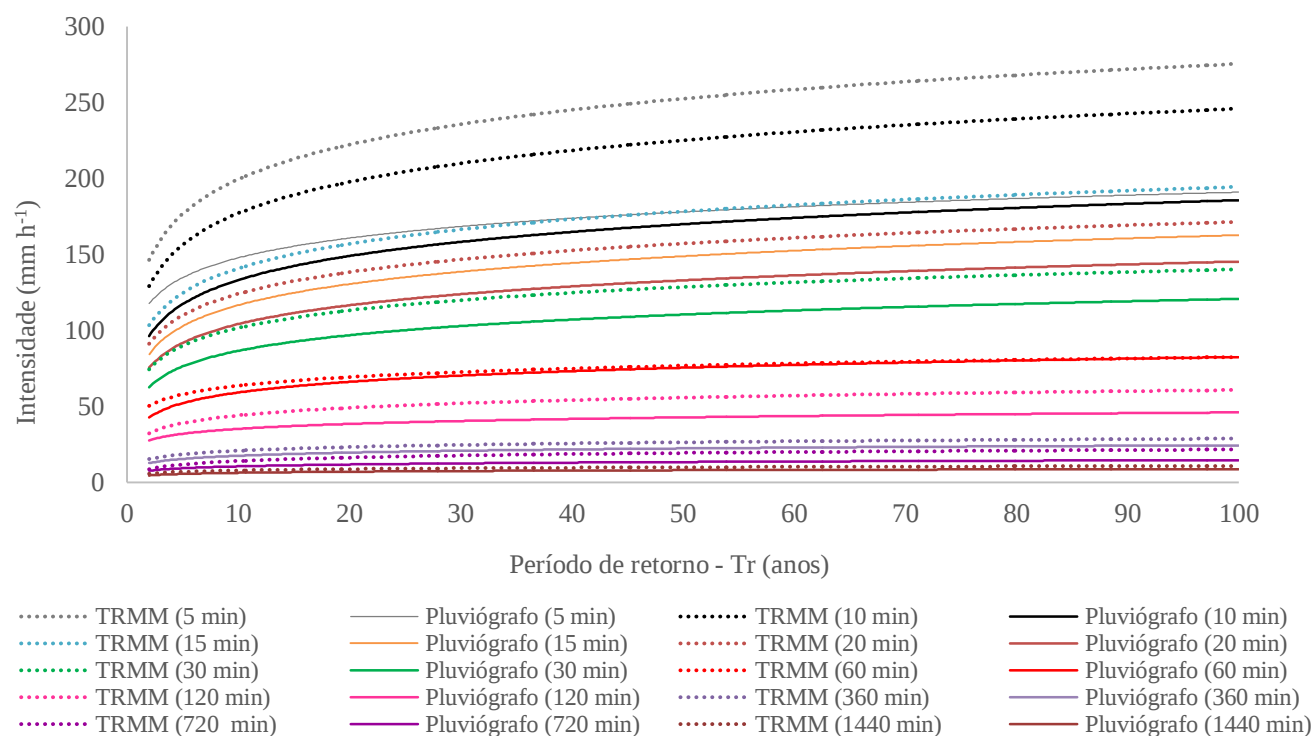
Diante dos resultados, foi possível apresentar na Tabela 5 a equação IDF com seus respectivos parâmetros K, a, b e c, referente aos valores de intensidades máximas, estimados pelo TRMM (3B42V7) e a IDF obtida por Dorneles (2017), em que os parâmetros foram obtidos mediante a minimização da Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM) como função objetivo, assim como esse trabalho. E na Figura 2 a comparação entre as curvas IDF's obtida mediante registros pluviográficos e as curvas IDF's obtidas

289 mediante estimativas de precipitações do TRMM (3B42V7) para a localidade de
290 Pelotas/RS.

291
292 Tabela 5. Equações de intensidade-duração-frequência (IDF) obtidas a partir do ajuste
293 dos valores das séries pluviográfica observada, obtida por Dorneles (2017) e estimada
294 do TRMM (3B42V7) para a localidade de Pelotas/RS

Série	Equação IDF
DORNELES (2017)	$I = \frac{(1100 * Tr)^{0,163}}{(t+16,47)^{0,766}}$
TRMM (3B42V7)	$I = \frac{(1010 * Tr)^{0,157}}{(t+11,12)^{0,721}}$

295



297 Figura 2. Ilustração gráfica da comparação entre as curvas IDF's obtidas mediante
298 registros pluviográficos e as curvas IDF's obtidas a partir das estimativas de
299 precipitações do TRMM (3B42V7) para a localidade de Pelotas/RS

300

301

CONCLUSÃO

302

303 Os resultados mostram que o TRMM (3B42V7) possui boa habilidade em detectar
304 chuvas intensas, em concordância com observações do pluviógrafo de referência neste
305 estudo, no entanto, tende a superestimar a frequência das chuvas intensas para durações
306 maiores, porém essa diferença tende a ser dissolvida nas menores durações.

REFERÊNCIAS

- Aragão, R.; Santana, G. R.; Costa, C. E. F. F.; Cruz, M. A. S.; Figueiredo, E. E. e Srinivasan, V. S. Chuvas intensas para o estado de Sergipe com base em dados desagregados de chuva diária, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.17, n.3, p.243–252, 2013.
- Arai, F. K.; Pereira, S. B.; Gonçalves, G. G. G. Characterization of water availability in a hydrographic basin, *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.32, n.3, p.591-601 maio/jun, 2012.
- Ben-Zvi, A. Rainfall intensity–duration–frequency relationships derived from large partial duration series. *Journal of Hydrology*, Rome, v.367, n.1-4, p.104-114, 2009.
- Bernardi, Ewerthon Cezar Schiavo. Qualidade das estimativas de precipitação do satélite TRMM no estado do Rio Grande do Sul. 2016. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2016.
- Caldeira, T. L.; Beskow, S.; Mello, C. R. de.; Vargas, M. M.; Guedes, H. A. S.; Faria, L. C. Daily rainfall disaggregation: an analysis for the Rio Grande do Sul state. *Scientia Agraria*, v. 16, n.3, pp. 1-21, 2015.
- Campos, A. R.; Silva, J. B. L.; Santos, G. G.; Ratke, R. F.; Aquino, I. O. Estimate of intense rainfall equation parameters for rainfall stations of the Paraíba State, Brazil. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.47, n.1, p.15-21, 2017.
- Cardoso, C. O.; Bertol, I.; Soccol, O. J.; Sampaio, C. A. P. Generation of intensity duration frequency curves and intensity temporal variability pattern of intense rainfall for Lages/SC. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v.57, n.2, p.274-283. 2014.
- CETESB. Drenagem Urbana – Manual de Projeto. São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1986.
- Collischon, Bruno. Uso de precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo hidrológico distribuído. 2006. 174f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre, RS. 2006.

- 339 Damé, R. C. F.; Teixeira, C. F. A.; Terra, V. S. S. Comparação de diferentes
340 metodologias para estimativa de curvas intensidade-duração-frequência para Pelotas –
341 RS, Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.28, n.2, p.245-255, 2008.
- 342 Damé, R. C. F.; Teixeira, C. F. A.; Moura, C.; Machado, R.; Beskow, S. Análise do
343 impacto de um evento de precipitação ocorrido na cidade de Pelotas/RS. Revista de
344 Ciências Agro-Ambientais, Alta Floresta, v.3, p.15-25, 2005.
- 345 Damé, R. C. F.; Teixeira, C. F. A.; Souto, M. V.; Moreira, N. M. Análise de
346 frequência hidrológica dos dados de precipitação pluvial de algumas estações
347 agroclimatológicas da região Sul do Rio Grande do Sul. Ciência Rural. Santa Maria,
348 v.26, n.3, p. 351-355, 1996.
- 349 Damé, Rita de Cassia Fraga. Desagregação de precipitação diária para estimativa de
350 curvas intensidade-duração-frequência, 2001. 131 f. Tese (Doutorado em Engenharia de
351 Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de 23 Pesquisas Hidráulicas,
352 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- 353 Dorneles, Viviane Rodrigues. Análise de Chuvas Intensas com Abordagem de Dados
354 Pluviográficos e Pluviométricos, 2017, 61f. Dissertação (Mestrado em Manejo e
355 Conservação do Solo e da Água) – Programa de Pós-Graduação em Manejo e
356 Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade
357 Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.
- 358 Filho, H. C. C.; Stainke, T. E.; Stainke, V. A. Análise espacial da precipitação
359 pluviométrica na bacia do lago Paranoá: comparação de métodos de interpolação,
360 Revista Geonorte, v. 1, n. 5, p. 336-345, 2013.
- 361 Franchito, S. H.; Rao, V. B.; Vasques, A. C.; Santo, C. M. E.; Conforte. J. C.
362 Validation of TRMM precipitation radar monthly rainfall estimates over Brazil. Journal
363 of Geophysical Research, v. 114, n. D2, p. 1-9, 2009.
- 364 Gonçalves, Lidianie Souza. Relações Intensidade-Duração-Frequência com base em
365 estimativas de precipitação por satélite, 2011, 135 f. Dissertação (Mestrado em
366 Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em
367 Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do
368 Sul, Porto Alegre, 2011.
- 369 Goulart, J. P.; Maestrini, A. P.; Nebel, A. L. Relação intensidade-duração-frequência
370 de chuvas em Pelotas, RS. Revista Brasileira de Meteorologia, São José dos Campos, v.
371 7, n. 1, p. 543-552, 1992.

- 372 Keenan, R. J. Climate change impacts and adaptation in forest management: a
373 review, *Annals of Forest Science*, v. 72, n. 2, p. 145-167, 2014.
- 374 Li, X. H.; Zhang, Q.; Xu, C. Y. Suitability of the TRMM satellite rainfalls in driving
375 a distributed hydrological model for water balance computations in Xinjiang catchment,
376 Poyang lake basin. *Journal of Hydrology*, v. 426-427, p. 28-38, 2012.
- 377 Li, X.; Zhang, Q.; Ye, X. Dry/Wet Conditions Monitoring Based on TRMM Rainfall
378 Data and Its Reliability Validation over Poyang Lake Basin, China. *Water*, n. 5, p.
379 1848-1864, 2013.
- 380 Long, D., L. Longuevergne, and B. R. Scanlon. Uncertainty in evapotranspiration from
381 land surface modeling, remote sensing, and GRACE satellites, *Water Resour. Res.*,
382 50, 1131–1151, 2014.
- 383 Palácio, H. A. de Q.; Ribeiro Filho, J. C.; Santos, J. C. N. dos.; Andrade, E. M. de.;
384 Brasil, J. B. Effective precipitation, soil loss and plant cover systems in the Caatinga
385 Biome, Brazil. *Rev. Caatinga. Mossoró*. v. 29, n. 4, p. 956 –965, out. – dez. 2016.
- 386 Pereira, D. dos R.; Martinez, M. A. de.; Almeida, A. Q.; Pruski, F. F. da.; Silva, D.
387 D.; Zonta, J. H. Simulação hidrológica utilizando o modelo SWAT em bacia de
388 cabeceira no Sudeste do Brasil. *Engenharia Agrícola Jaboticabal*, 2014; v.34, n.4, p.789-
389 799.
- 390 Prakash, S.; Mitra, A. K.; AghaKouchak, A.; Liu, Z.; Norouzi, H.; Pai, D. S. A
391 preliminary assessment of GPM-based multi-satellite precipitation estimates over a
392 monsoon dominated region. *Journal of Hydrology*, v. 556, p.865-876, 2016.
- 393 Santos, E. L. dos.; Cattelan, A. J.; Prete, C. E. C.; Neumaier, N. Oliveira, M. C. N.
394 de.; Farias, J. R. B.; Nepomuceno, A. L. Níveis de disponibilidade hídrica sobre
395 componentes de produção e rendimento de cultivares de soja. *Gl, Sci Technol, Rio*
396 *Verde*, v. 07, n. 03, p.1 – 11, set/dez, 2014.
- 397 Teixeira, C. F. A., Damé, R. de C. F. Roskoff, J. L. C. Intensity-Duration-Frequency
398 ratios obtained from annual records and partial duration records in the locality of
399 Pelotas RS, Brazil. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, v.31, n.4, p.687-694, jul./ago.
400 2011.
- 401 Teodoro, P. E.; Neivock, M. P.; Marques, J. R. F.; Flores, A. M. F.; Rodrigues, C. C.
402 B. Influência de diferentes coeficientes de desagregação na determinação de equações
403 IDF para Aquidauna/MS. *Revista Eletrônica de Engenharia Civil, Goiânia*, v. 9, n. 2, p.
404 1-9, 2014.

405 Zad, S. N. M.; Zulkafli, Z.; Muharram, F. M. Satellite Rainfall (TRMM 3B42-V7)
406 Performance Assessment and Adjustment over Pahang River Basin, Malaysia.
407 Remote Sens. v.10, n.388, 2018.

408 Zulkafli, Z., W. Buytaert, C. Onof, B. Manz, E. Tarnavsky, W. Lavado, and J.-L.
409 Guyot. A comparative performance analysis of TRMM 3B42 (TMPA) versions 6 and 7
410 for hydrological applications over Andean–Amazon River basins. J. Hydrometeor., 15,
411 581–592, 2014.

5 Artigo 2 - Precipitação pluvial estimada pelo Satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) na bacia da lagoa Mirim/RS

(Segundo norma da Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental)

Precipitação pluvial estimada pelo Satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) na bacia da lagoa Mirim/RS

Resumo: Objetivou-se validar os dados de precipitação, em termos de qualidade, nas escalas diária, quinzenal, mensal e anual, oriundos do satélite TRMM 3B42V7. Para tanto, estas séries foram comparadas aos valores históricos dessas variáveis, obtidos pela Agência Nacional de Águas (ANA) e pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), no âmbito da bacia da lagoa Mirim (lado brasileiro). A hipótese consiste em que existe ganho de informação em termos de disponibilidade de dados de precipitação, para àquelas localidades que não possuem estações em terra ou há, mas são escassos. A comparação entre os valores de precipitação obtidos por dados de satélite e os das estações em terra foram realizadas por meio índices de desempenho (skill scores) para as séries em escala diária e em escalas diárias, quinzenais, mensais e anuais através dos seguintes coeficientes: de correlação (r), erro médio (EM), raiz do erro quadrático médio (REQM) e o de eficiência de Nash-Sutcliffe (NS). Os resultados mostraram que os dados de chuva diária não apresentou um desempenho tão satisfatório, quanto os das demais escalas analisadas. Concluí-se que para estudos hidrológicos que utilizam escalas quinzenais, mensais e anuais, os dados de precipitação oriundos do satélite TRMM 3B42V7, representa um ganho de informação para as localidades em que não se dispõe de estações pluviográficas e/ou pluviométricas.

Palavras-chave: chuva, sensoriamento remoto, 3B42V7.

Representativeness of the precipitation data estimated by the trmm satellite in comparison to the data observed in the Mirim/RS lagoon basin

Abstract: The aim of the study was to validate precipitation data, in terms of quality, in the daily, biweekly, monthly and annual scales, from the TRMM 3B42V7 satellite. In order to do so, these series were compared to the historical values of scales mentioned, obtained from National Water Agency (ANA) and from National Institute of Meteorology (INMET), in scope of the watershed of the Mirim Lagoon (Brazilian side). The hypothesis consists that there is information gain in terms of availability of precipitation data, for those places that do or do not have stations on land, but they are scarce. The comparison between the precipitation information obtained by satellite and those obtained from ground stations were performed by means of skills scores for daily, biweekly, monthly and annual scales using the following

coefficients: correlation (r), mean error (EM), root mean square error (REQM) and the Nash-Sutcliffe model efficiency coefficient (NSE). The results showed the daily event was not satisfactory as the other scales analyzed. It was concluded that for hydrological studies that use biweekly, monthly and annual scales, the precipitation data obtained by TRMM 3B42V7 satellite represents an information gain for the locations where there are no pluviometric and/or rainfall stations.

Keywords: rainfall, remote sensing, 3B42V7

INTRODUÇÃO

A lagoa Mirim possui uma grande importância ecológica e econômica para o Estado do Rio Grande do Sul e para o Uruguai, o principal uso das águas desta lagoa consiste na irrigação das lavouras de arroz e soja. A análise nos padrões espaço-tempo das precipitações pluviais é fundamental visto que permite fazer previsões, reduzir danos e ainda contribuem para o desenvolvimento socioeconômico adequado e sustentável.

Para o monitoramento detalhado das precipitações sobre extensas áreas é necessária uma densa rede de estações de observações. No entanto, de acordo com as informações da Agência Nacional de Águas (ANA) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a bacia da lagoa Mirim/RS conta com uma (1) estação pluviométrica para cada 237,8 km². Ressalta-se que na bacia existem 123 estações cadastradas sob responsabilidade da ANA, distribuídas de forma desuniforme em 29.250 km² da bacia em território brasileiro.

Porém, destas 123 estações pluviométricas, 62 apresentam erro em seus arquivos, ou seja, inacessíveis, 42 estão sem registros há mais de 25 anos, restando somente 22 estações dentro dos limites da bacia (19 da ANA e 3 INMET). Observa-se que há uma restrita densidade de estações pluviométricas, aproximadamente uma para 1.329,55 km².

Em vista desta realidade, o sensoriamento remoto é uma ferramenta importante para obtenção de dados de precipitação, sendo amplamente utilizados na estimativa da precipitação essencial aos estudos hidrológicos e de gestão de recursos hídricos. Dentre os dados de precipitações remotos disponíveis, estão os dos produtos do TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission), projeto este de parceria entre a NASA (National Aeronautics and Space Administration) e a JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency) lançado em 1998, cujo objetivo específico foi estudar e monitorar a precipitação nas áreas tropicais.

Diversas pesquisas foram realizadas nas últimas duas décadas com os dados do satélite TRMM, no Rio Grande do Sul destacam-se: Conti (2002), entre os pioneiros e recentemente, Bernardi (2016) e Fensterseifer et al. (2016).

Entre seus produtos está o 3B42, o qual tem sido amplamente estudado e aplicado em simulações e previsões hidrológicas (Danelichen et al. (2013), Li et al., 2013, Long et al., 2014, Prakash et al., 2016 e Zulkafli et al., 2014).

Desde seu lançamento, o TRMM passou por atualizações contínuas para melhoria do algoritmo, em cada atualização todo banco de dados é reprocessado, da última atualização surgiu a versão 7, denominada 3B42V7. Embora o TRMM tenha sido desativado em 2015, seus produtos continuam atualizados e disponibilizados paralelamente com os dados do GPM (Global Precipitation Measurement).

Huffman & Bolvin (2015), recomendam o produto 3B42V7 para trabalhos de pesquisas que não sejam focados para aplicações em tempo real, visto que os dados estimados de precipitação diária passam por um processamento que visa maximizar a qualidade das estimativas, assim os dados do produto é disponibilizado aproximadamente três meses após a observação.

Uma forma rápida de avaliar os dados de estimativas de precipitação do produto 3B42V7 é através da metodologia pixel a ponto, pois segundo Camparotto et al. (2013) e Chen et al. (2013), este tipo de verificação procura reproduzir o caso em que faltando alguma informação em algum local, um técnico pode completar a informação obtendo os dados diretamente da internet como se o pixel estimado fosse um posto virtual.

Apesar dos avanços que vêm ocorrendo em relação a utilização de dado de precipitação, oriundos de satélites, é necessário uma verificação contínua dos mesmos, visando a sua qualidade para o uso na área de recursos hídricos.

Diante disso, os objetivos deste estudo foi avaliar a qualidade dos dados de precipitação oriunda do produto 3B42V7 considerando toda a área da bacia da lagoa Mirim em território brasileiro.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo abrange a área da bacia da lagoa Mirim (lado brasileiro), localizado no extremo sul do Rio Grande do Sul, sua extensão territorial, cujas coordenadas geográficas são 31°30' a 34°35' de latitude Sul e 53°31' a 55°15', com uma área de aproximadamente de 62.350 km², dos quais 47% em território brasileiro e 53% em território uruguaio.

A área da bacia foi dividida em *grid* de 25° x 25°, conforme a resolução espacial do TRMM, a confecção cartográfica foi realizada no software QGIS, versão 3.6, o sistema de referência de coordenadas utilizado foi o Universal Transversa de Mercator/UTM, e a base de referência SIRGAS 2000. Na Figura 1 encontra-se a distribuição das estações pluviométricas (estações reais) na bacia hidrográfica, bem como a grade de pontos oriundos do TRMM, denominados neste trabalho como estações virtuais.

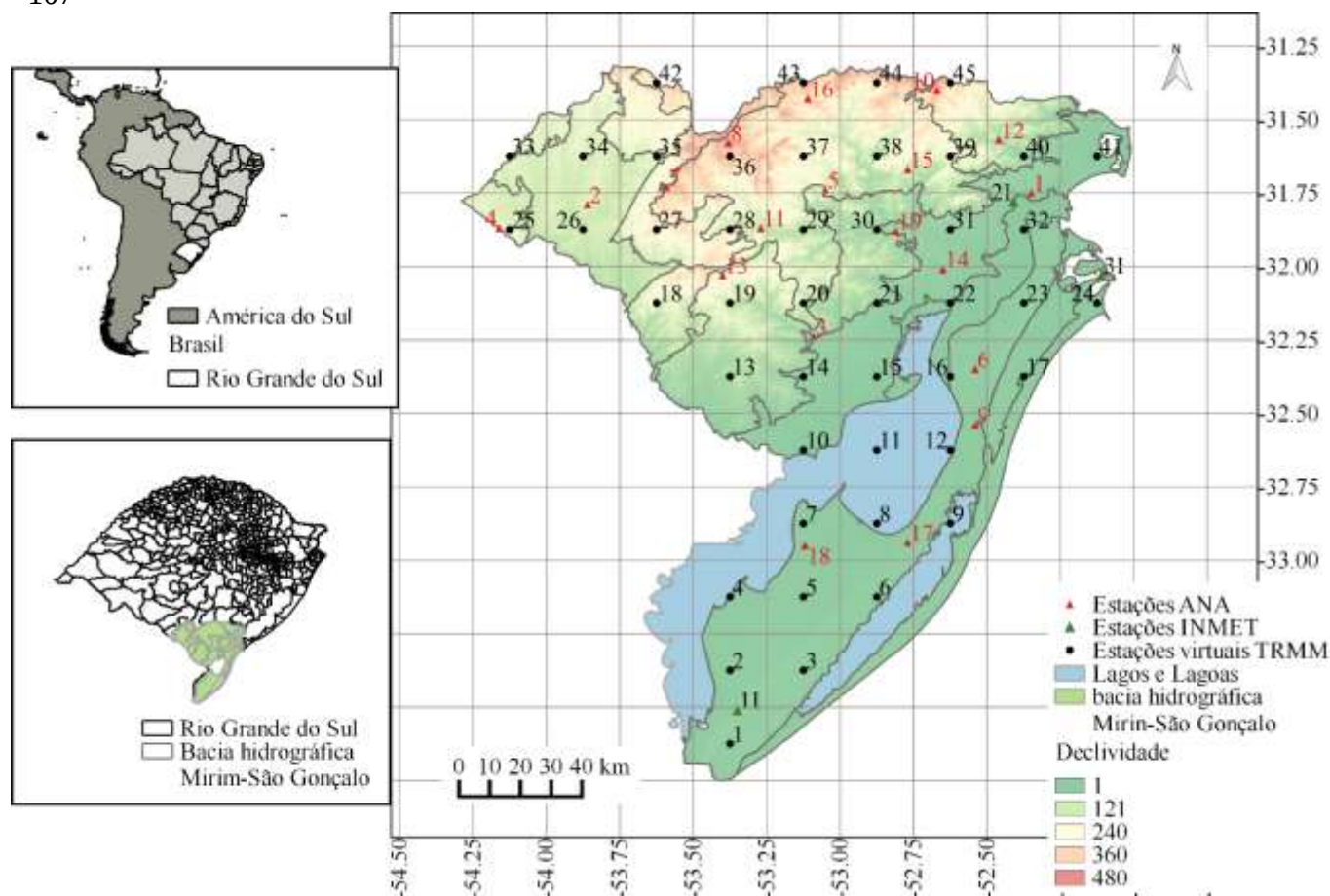


Figura 1. Localização da bacia da Lagoa Mirim, estações pluviométricas ANA, INMET e estações virtuais do TRMM, no estado Rio Grande do Sul, Brasil

No total foram 19 estações com dados observados da ANA e 3 do INMET, totalizando 22 estações reais e suas respectivas estações virtuais do TRMM, estes provenientes do produto 3B42V7, correspondente ao pixel sobreposto a estação real, com resolução espacial de 0,25° x 0,25°, aproximadamente 25 km, para latitudes 50°N e 50°S e longitudes 180°O e 180°E e com resolução temporal de 3 horas (01:30, 04:30, 07:30, 10:30, 13:30, 16:30, 19:30 e 22:30).

A comparação foi realizada entre os valores de precipitação oriundos da série observada e a estimada do pixel em que a estação se encontra. Para tanto, foi identificado o centro do pixel

mais próximo ao ponto geográfico da estação pluviométrica, considerando assim, que o valor de precipitação oriunda do satélite, refere-se à área do pixel.

A Tabela 1 apresenta informações a respeito das estações pluviométricas reais e estações virtuais utilizadas para comparações, todos os dados foram obtidos gratuitamente através do banco de dados observados Hidroweb - ANA (hidroweb.ana.gov.br/), BDMEP-INMET (www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/) e TRMM - NASA (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>).

Tabela 1. Localização das estações reais (ANA e INMET) e virtuais no mapa (Figura 1), nome da estação real, coordenadas geográficas (longitude e latitude) das estações reais, precipitações médias anuais (mm) e período disponível no período comparável às estações virtuais e altitude (m) e a distância entre as estações reais e estações virtuais na área da bacia da Lagoa Mirim/RS

Dados das estações reais							Dados das estações virtuais				
Código no mapa	Código estação	Nome Estação	P (mm) média anual	Alt. (m)	Long.	Lat.	Período disponível comparável		Estação virtual TRMM próxima	P (mm) média anual	Distância entre real e virtual (km)
Agencia Nacional das Águas - ANA											
1	3152014	Pelotas	1455	5	-52.35	-31.75	jan/98	dez/15	40	1573	13,12
2	3153030	Madrugada	1442	161	-53.86	-31.79	abr/13	dez/17	26	1683	10,17
3	3253001	Arroio Grande	1293	20	-53.09	-32.24	jan/98	dez/17	20	1435	12,29
4	3154007	Aceguá	1411	267	-54.16	-31.87	jun/00	dez/17	25	1507	3,45
5	3153004	Ferraria	1576	194	-53.05	-31.74	jan/98	dez/17	37	1522	13,74
6	3252006	Granja Cerrito	1406	12	-52.54	-32.35	jan/98	dez/17	16	1348	8,86
7	3153007	Pedras Altas	1315	368	-53.59	-31.73	jan/98	dez/17	35	1577	11,00
8	3153008	Pinheiro Machado	1441	437	-53.38	-31.58	jan/98	dez/17	36	1558	5,90
9	3252008	Granja Santa Maria	1199	7	-52.54	-32.54	jan/98	dez/17	12	1366	13,11
10	3152003	Canguçu	1710	383	-52.67	-31.4	jan/98	dez/17	45	1595	4,68
11	3153022	Cerro Chato	1332	107	-53.27	-31.87	abr/00	dez/17	28	1475	10,25
12	3152016	Ponte Cordeiro de Farias	1453	44	-52.46	-31.57	jan/98	dez/17	40	1446	11,11
13	3253004	Herval	1573	297	-53.40	-32.03	jan/98	dez/17	19	1421	11,77
14	3252005	Granja Coronel P. Osório	1310	24	-52.65	-32.01	jan/98	dez/17	31	1436	13,52
15	3152005	Vila Freire	1418	180	-52.77	-31.67	jan/98	dez/17	38	1514	10,48
16	3153021	Estação Exp. Piratini	1406	301	-53.11	-31.43	jan/98	dez/17	43	1612	5,28
17	3252025	Curral Alto	1167	13	-52.77	-32.94	abr/00	dez/17	8	1367	11,86
18	3253003	Granja Osório	1202	7	-53.12	-32.95	jan/98	dez/17	7	1369	6,84
19	3152013	Pedro Osório	1374	53	-52.81	-31.88	jan/98	dez/17	30	1427	6,31
Instituto Nacional de Meteorologia - INMET											
1I	83997	Santa Vitória do Palmar	1177	25	-53.35	-33.51	jan/98	dez/15	1	1347	11,13
2I	83985	Pelotas	1327	2	-52.41	-31.78	abr/13	dez/17	32	1444	11,50
3I	83995	Rio Grande	1289	3	-52.11	-32.03	jan/98	dez/17	24	1363	11,50

As estações com os dados observados foram selecionadas de acordo com a disponibilidade de informações, objetivando coincidir os períodos entre as estações da ANA e INMET com as estações virtuais do TRMM.

No que diz respeito às estimativas de precipitações, do TRMM, as mesmas estão disponíveis para download em formatos NETCDF, HDF e TXT. Neste caso, os downloads

foram realizados em formatos TXT através de arquivos *Comma-Separated Values* (*.csv). Neste formato, a chuva estimada pelo TRMM corresponde à chuva média num determinado pixel, no caso específico do produto 3B42 são médias das precipitações ocorridas em cada pixel, ou seja, cada arquivo corresponde a um centróide do grid TRMM 3B42, que contém os dados de precipitação em mm h^{-1} , através da metodologia pixel a ponto.

Após isso, com a finalidade de executar buscas temporais com maior facilidade foi realizado o tratamento e armazenamento dos dados em planilha eletrônica, em que a precipitação na duração de 3 horas oriunda do produto 3B42V7 foi acumulada nas escalas de tempo diária, quinzenal, mensal e anual.

Para que houvesse compatibilidade, em termos temporais entre os dados oriundos das estações virtuais e os dados observados, as séries diárias das estações virtuais foram constituídas tomando como referências os dados da ANA, os quais correspondem ao acumulado das 7 horas até as 7 horas do dia seguinte, optou-se pelo somatório das 7:30 horas até as 7:30 horas do dia seguinte e, quando levado em conta os dados de referência INMET, os quais são referentes ao acumulado das 9 horas até as 9 horas do dia seguinte, optou-se pelo somatório das 10:30 horas até 10:30 horas do dia seguinte.

A representatividade do produto de precipitação 3B42V7 foi avaliada através de índices de desempenho (skill scores) conforme descrito em (Wilks, 2006 e Kuligowski, 2002). Comparando as séries de dados observadas diárias (estação real – ANA ou INMET) e estimadas (estação virtual - TRMM), essa comparação se deu através de uma das quatro situações para o mesmo evento: (a) Acertos de chuva, quando ambas estações, real e virtual detectam “Sim”; (b) Falso alarme, quando a estação real detecta “Não” e a estação virtual detecta “Sim”; (c) Evento (de chuva) não detectado, quando a estação real detecta “Sim” e a estação virtual detecta “Não” e (d) Acerto em dia seco, quando ambas estações, real e virtual for “Não”.

E assim, foram realizados os somatórios de a, b, c e d possibilitando então o cálculo dos índices Tabela 2.

165 Tabela 2. Índices de desempenho utilizados para comparar as séries de precipitações pluviais
 166 diárias oriundas das estações reais (ANA/INMET) às estações virtuais (TRMM)

Índice	Formulação	Significado	Valor Referência
PC – Percentual de detecção de eventos	$PC = \frac{a+d}{n}$ onde $n = a+b+c+d$	Percentual de acertos geral, sem distinção entre acertos da ocorrência do evento.	
H – Percentual de acertos	$H = \frac{a+c}{n}$	Divisão entre a quantidade de acertos em eventos de chuva e o número de observações de eventos	Varia de 0 a 1; Quanto maior o valor, melhor a estimativa
FAR - Falsos alertas (para estimativas “sim”)	$FAR = \frac{b}{a+b}$	Computa os eventos estimados nas estações virtuais e não observado nas estações reais	
F - Falsos alertas (para observadas “não”)	$F = \frac{b}{b+d}$	Difere do FAR por considerar apenas as não ocorrências e não estimativas (também com orientação negativa).	Varia de 0 a 1; quanto menor o valor, melhor a estimativa.
CSI - Índice de sucesso crítico	$CSI = \frac{a}{a+b+c}$	Razão entre as previsões corretas e o número de vezes que os eventos foram previstos e/ou observados	Varia de 0 a 1; Quanto maior o valor, melhor a estimativa
B (BIAS) – Taxa de tendência	$B = \frac{a+b}{a+c}$	comparação entre a média estimada e observada pela divisão do número de “sim” estimado pela quantidade de “sim” observado	Assume qualquer valor >0; Quanto mais próximo de 1 melhor a estimativa; se > 1 indica superestimava da ocorrência do evento; se < 1 indica subestimativa
HSS - Desempenho de Heidke (Heidke Skill Score)	$HSS = \frac{2(ad - bc)}{(a+c)(c+d) + (a+b)(b+d)}$	Precisão de estimativa ao acaso	Se HSS = 1, perfeitas estimativas; se HSS = 0, estimativas equivalentes à de referência e se HSS < 0, estimativas piores que a de referência.
PSS - Desempenho de Peirce (Peirce Skill Score)	$PSS = \frac{ad - bc}{(a+c)(b+d)}$	Capacidade de separação dos acertos e falsos alertas	Se PSS = 1, melhor desempenho e se PSS = 0, estimativas ao acaso

167

168 Ainda, com o objetivo de obter uma menor incerteza, foram empregados: o coeficiente de
 169 correlação de Pearson (r), o erro Médio (EM), a Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM) e o
 170 coeficiente de eficiência Nash-Sutcliffe (NS) nas séries diárias quinzenais, mensais e anuais.

171 em que para todos os testes Eq. 1; Eq. 2; Eq. 3 e Eq. 4:

172 P_{ANA} – Precipitação observada na estação real no momento

173 $\bar{P}_{ANA}$ – Precipitação média da série observada na estação real

174 P_{TRMM} – Precipitação estimada na estação virtual no momento

175 $\bar{P}_{TRMM}$ – Precipitação média da série estimada na estação virtual

176 O coeficiente de correlação de Pearson (r) Eq. 1. mede o grau da correlação e a direção
 177 dessa correlação, assumindo valores entre -1 e 1.

178

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (P_{ANA} - \bar{P}_{ANA}) \sum_{i=1}^n (P_{TRMM} - \bar{P}_{TRMM})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (P_{ANA} - \bar{P}_{ANA})^2 \sum_{i=1}^n (P_{TRMM} - \bar{P}_{TRMM})^2}} \quad (1)$$

O Erro Médio (EM) Eq. 2. indica o quanto o modelo está sendo subestimado (valor negativo) ou superestimado (valor positivo). O ideal é valor de EM tendendo a zero.

$$EM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_{ANA} - P_{TRMM}) \quad (2)$$

O Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM) Eq 3. é a medida da magnitude média dos erros estimados entre as séries observada das estações reais e das estações virtuais.

$$REQM = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_{ANA} - P_{TRMM})^2} \quad (3)$$

O REQM tem valor sempre positivo e quanto mais próximo de zero melhor a qualidade dos valores estimados das estações virtuais.

O coeficiente de eficiência Nash-Sutcliffe (NS) Eq. 4. foi inicialmente utilizado para avaliar o desempenho de modelos hidrológicos (NASH; SUTCLIFFE, 1970), reflete a fração da variância de dados que é concordante com as estimativas, podendo variar de $-\infty$ a 1, onde NS = 1 significa ajuste perfeito dos estimados, NS > 0,75 indica estimativa adequada e boa; $0,36 < NS < 0,75$ a estimativa é considerada satisfatório e NS < 0,36 não satisfatório.

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_{TRMM} - P_{ANA})^2}{\sum_{i=1}^n (P_{ANA} - \bar{P}_{ANA})^2} \quad (4)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando os dados de precipitação e a escala de tempo diária, os índices de desempenho demonstram uma boa correlação para quase todas as estações pluviométricas, os resultados dos índices de desempenho encontram-se na Figura 2.

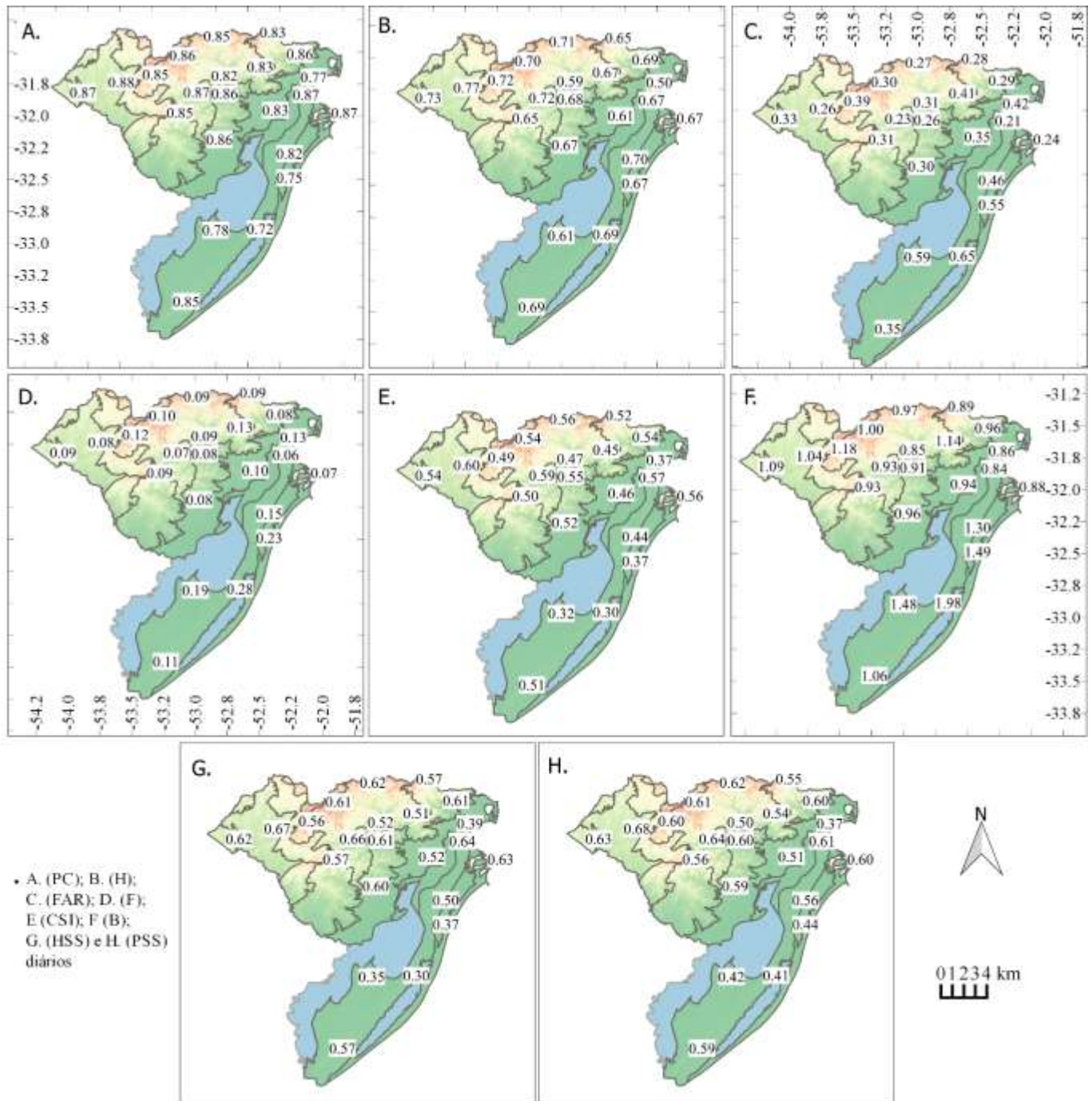


Figura 2. Variação espacial dos índices de desempenho PC, H, FAR, F, CSI, B, HSS e PSS das análises entre as séries de precipitações diárias das estações pluviométricas reais (ANA e INMET) e as estações virtuais TRMM na área da bacia da Lagoa Mirim/RS

O PC, índice que indica o percentual de detecção da ocorrência e não ocorrência de chuva pelas estimativas obteve uma média de 83%, indicando assim, uma alta detecção de precipitações em relação a eventos observados, onde o melhor desempenho foi observado na

210 área da estação Madrugada, seguido por Aceguá e Cerro Chato ambos com 87% e o pior
211 desempenho na área da estação Curral Alto e Pelotas 77% sob responsabilidade ANA.

212 Já o índice de desempenho H indica o percentual de acertos de ocorrência de chuva e
213 obteve uma média de 67% com o melhor desempenho também na área da estação Madrugada,
214 seguido por Aceguá 73% e Pedras Altas 72% e menor desempenho na área da estação de
215 Pelotas sob responsabilidade da ANA.

216 Esse alto desempenho de PC e H estão de acordo com o encontrado por Bharti; Singh
217 (2015) os quais para avaliarem o erro das estimativas de precipitação do produto 3B42V7 na
218 região do Himalaia dividiram a região de estudo em faixas de elevação e concluíram que para
219 faixas <1000m ocorreram os melhores percentuais de detecção de precipitação.

220 O valor máximo de FAR foi de 65%, na área da estação Curral Alto, indicando que em
221 65% dos casos em que a precipitação é estimada, não é observada. Nas demais localidades o
222 FAR obteve média de 34%. Já para F o valor máximo foi de 28% também na área da estação
223 de Curral Alto, indicando que o satélite estima chuva em 28% dos dias em que a precipitação
224 não é observada, nas demais áreas a média foi de 11%. Observa-se que em geral os menores
225 desempenhos de FAR e F ocorrem nas regiões com menores totais anuais precipitados,
226 tendência similar ocorreu no trabalho de Guo et al. (2015).

227 Os valores CSI, que indicam a razão entre as previsões corretas de o evento acontecer e o
228 número de vezes que os eventos foram previstos e/ou observados, variaram de 30% na área da
229 estação de Curral Alto a 60% na área da estação Madrugada, com média de 49%, ou seja, em
230 média, 49% dos dias com chuva são estimados corretamente, valores similares foram
231 encontrados por Bernardi (2016) para regiões próximas a esse estudo.

232 O índice Bias que permite analisar quantas vezes mais ou quantas menos os eventos
233 observados foram estimados, no presente trabalho os valores variaram de 0,84, na área da
234 estação Pelotas (INMET) a 1,98, na área da estação Curral Alto e média de 1,08, todos os
235 valores de Bias foram positivos, o que indica um viés superestimado, da mesma maneira
236 encontrado por Bharti; Singh (2015) para altitudes <1000 m.

237 Em geral os melhores resultados de PC, H, CSI, HSS e PSS ocorreram na área da estação
238 Madrugada, esse resultado pode estar associado ao pequeno período de observações dessa
239 estação.

240 Embora a área da bacia não apresente grandes variações altimétricas evidencia-se uma
241 menor média de precipitações anuais nas altitudes mais baixas. Observa-se ainda que em
242 todos os índices haja uma tendência de superestimativa na ocorrência de chuva na porção

243 leste da bacia o que conduz a maiores taxas de alarmes falsos da mesma maneira encontrados
244 por Paz e Collischonn (2011).

245 Na Tabela 2 são apresentados os resultados das análises estatísticas da comparação entre os
246 dados de precipitações pluviiais oriundas das estações reais e virtuais, podendo ser observados
247 os valores do coeficiente de correlação (r), o erro médio (EM), a raiz do erro quadrático
248 médio (REQM) e Nash-Sutcliffe (NS) para as séries diárias, quinzenais, mensais e anuais.

249
250 Tabela 2. Análises estatísticas referentes às comparações entre os dados de precipitações
251 pluviiais diárias, quinzenais, mensais e anuais das estações reais (ANA e INMET) e estações
252 virtuais (TRMM)

Real	Virtual	Diário				Quinzenal				Mensal				Anual			
		r	EM	REQM	NS	r	EM	REQM	NS	r	EM	REQM	NS	r	EM	REQM	NS
ANA																	
Pelotas	40	0.55	0.33	11.86	-0.15	0,75	4,98	38,30	0,45	0,80	9,95	46,90	0,60	0,93	119,50	172,24	0,74
Madrugada	26	0.75	0.70	9.44	0.39	0,76	10,57	41,70	0,38	0,72	21,14	64,78	0,30	0,83	240,95	312,93	0,20
Arroio Grande	20	0.61	0.39	10.63	0.06	0,77	5,88	35,56	0,43	0,79	11,65	44,96	0,46	0,98	142,10	169,79	0,78
Aceguá	25	0.71	0.28	10.02	0.41	0,88	4,31	30,30	0,76	0,92	8,61	36,46	0,83	0,97	96,82	160,49	0,89
Ferraria	37	0.59	-0.15	11.47	0.08	0,70	-2,35	42,98	0,37	0,74	-4,69	57,16	0,46	0,87	-53,66	276,72	0,75
Granja Cerrito	16	0.58	-0.17	11.46	0.19	0,75	-2,56	38,26	0,52	0,81	-5,10	45,40	0,64	0,90	-58,62	159,89	0,75
Pedras Altas	35	0.65	0.76	10.65	0.17	0,81	11,54	37,37	0,49	0,85	23,17	50,41	0,57	0,93	262,59	318,14	0,58
Pinheiro Machado	36	0.68	0.34	10.07	0.26	0,83	5,15	33,05	0,60	0,85	10,21	41,87	0,70	0,97	116,86	168,36	0,88
Granja Sta Maria	12	0.56	0.49	10.77	0.02	0,74	7,29	37,17	0,40	0,82	14,64	43,13	0,57	0,92	166,86	223,39	0,61
Canguçu	45	0.64	-0.33	11.32	0.22	0,79	-5,05	38,92	0,58	0,83	-10,09	48,27	0,67	0,86	-115,23	262,64	0,67
Cerro Chato	28	0.74	0.42	8.98	0.35	0,82	6,45	33,03	0,55	0,86	12,91	39,92	0,66	0,99	142,72	162,75	0,86
Cordeiro de Farias	40	0.60	-0.02	12.39	0.24	0,71	-0,30	44,86	0,47	0,72	-0,72	58,74	0,51	0,91	-6,87	184,47	0,74
Herval	19	0.63	-0.45	11.08	0.25	0,77	-7,01	39,00	0,56	0,81	-14,06	51,51	0,63	0,89	-152,34	289,61	0,68
Grj. Cel. P. Osório	31	0.52	0.37	11.80	-0.13	0,69	5,61	41,88	0,28	0,74	11,20	52,71	0,41	0,92	126,84	198,82	0,71
Vila Freire	38	0.58	0.29	11.89	0.10	0,77	4,28	37,95	0,51	0,83	8,96	45,42	0,64	0,95	96,24	181,81	0,84
Est. Exp. Piratini	43	0.67	0.61	10.51	0.15	0,80	9,20	36,32	0,51	0,83	18,40	46,32	0,60	0,96	206,04	242,69	0,71
Curral Alto	8	0.53	0.60	11.36	0.04	0,75	9,12	37,65	0,48	0,77	18,49	50,61	0,49	0,88	199,22	248,79	0,19
Grj. Osório	7	0.46	0.49	12.90	-0.12	0,77	7,44	37,29	0,46	0,82	14,82	45,00	0,57	0,87	171,95	241,70	0,45
Pedro Osório	30	0.66	0.16	10.19	0.25	0,79	2,56	35,02	0,57	0,84	4,88	41,89	0,69	0,94	53,46	157,12	0,86
INMET																	
Sta. V. do Palmar	1	0.75	0.42	8.87	0.32	0,86	7,31	33,45	0,55	0,93	14,74	37,12	0,74	0,91	169,96	229,65	0,49
Pelotas	32	0.68	0.35	9.79	0.21	0,72	5,24	39,91	0,40	0,79	10,52	47,98	0,59	0,91	116,55	221,86	0,74
Rio Grande	24	0.69	0.20	9.61	0.24	0,76	3.10	36,53	0,45	0,85	6.27	40.17	0.70	0,94	73.57	153.05	0.85

253
254 Para as séries diárias encontrou-se uma precisão média de 63%, que o r máximo foi 75%,
255 para as áreas das estações Madrugada e Santa Vitória do Palmar. A precisão mínima 46%
256 ocorreu na estação Granja Osório. Ocorrendo uma variação de 69% a 88% para os valores
257 acumulados quinzenais, 72% para 93% para dados mensais, enquanto que para os anuais de
258 83% a 99%. Porém assim como nos índices, esse resultado na área da estação Madrugada
259 pode estar relacionado ao menor período de observações dessa estação, sem estar relacionado
260 diretamente a outras variáveis.

De acordo com Woldemeskel et al. (2013), mesmo não levando em conta o resultado da área da estação Madrugada, os índices indicam existência de correlação entre dados observados e estimados, visto que segundo os autores, índices de correlação entre 50% e 80% podem ser classificados como bons. Também em concordância com os dados apresentados em As-Syakur et al. (2011), Condom et al. (2011) e Kenawy et al. (2015).

Os valores do EM nas séries diárias variou de -0,45 mm e 0,76 mm, o que são considerados bons se comparados aos resultados de Bernardi (2016), que encontrou valores entre 3,01 mm a 4,36 mm analisando séries do mesmo estado em estudo.

Já nas séries mensais variou de -14,06 mm a 23,17 mm com os melhores resultados de -0,72 mm e de -4,69 mm também nas áreas das estações Cordeiro de Farias e Ferraria respectivamente, seguindo o mesmo comportamento nas séries quinzenais e anuais, Pereira et al. (2013), obtiveram erro de até 53 mm na mesma escala ao comparar os dados estimados pelo TRMM e os valores observados nas estações reais para as regiões centro-oeste e Norte do Brasil para período chuvoso.

Quando calculado o REQM para séries quinzenais, mensais e anuais estas apresentaram comportamentos similares, embora com magnitudes diferentes, onde o melhor resultado às séries mensais foi de 36,46 mm na área da estação de Aceguá, seguido por Cerro Chato 39,92 mm, e o pior na área da estação Madrugada com 64,78 mm, seguido por Ferraria 57,16 mm e Pedras Altas 50,41 mm, o que podem ser considerados aceitáveis para séries mensais.

Os resultados médios também são similares aos encontrados por Soares et al. (2016), onde obtiveram valores do EM entre 16 e 31 mm para séries mensais e REMQ entre 23 e 43 mm, embora avaliando as estimativas de chuva do satélite TRMM no Estado da Paraíba com índices pluviométricos bastante diferentes da área de estudo deste trabalho, os autores constataram a maior concordância para regiões com menores totais anuais precipitados.

Todos os resultados de NS aplicados em dados diários foram abaixo de 41% e média igual a 16%, concordando com o apresentado em Fensterseifer et al. (2016), em trabalho realizado na bacia hidrográfica do rio Jacuí, RS e Zad et al. (2018) em trabalho similar realizado na Malásia, ambos NS considerados não satisfatórios pela classificação proposta para a escala diária.

Os resultados demonstraram que o nível de confiabilidade do satélite em estimar a precipitação diária é muito baixo para os períodos de análise, não detectando corretamente a precipitação, inferindo que valores em magnitude de precipitação diária.

Podemos observar que em geral os resultados de r, EM, REQM e NS apresentam melhoras na medida em que, foram utilizadas séries quinzenais, mensais e anuais o que corrobora com

os resultados dos índices de desempenho das séries diárias, com exceção das áreas das estações Madrugada (em virtude do pequeno período analisado) e Curral Alto, que apresentaram NS não satisfatórios conforme maior acumulação das séries.

Observa-se que a área da estação Curral Alto foi comparada com estação virtual 8, ao qual localiza-se em uma área (pixel) fortemente influenciada pelas águas da Lagoa Mirim, essa constatação corrobora com resultados com pesquisas da região como Bernardi (2016).

Observou-se também que as séries são subestimadas em áreas em que há maior índice pluviométrico (1400 – 1710), que é o caso das áreas das estações Cordeiro de Farias, Ferraria, Granja Cerrito, Canguçu e Herval e superestimada nas áreas de menor índice pluviométrico (1167 – 1400), caso das áreas de Curral Alto, Estação Experimental de Piratini, Granja Osório, Santa Vitória do Palmar, Granja Santa Maria, Cerro Chato e Pedras Altas, em concordância com os trabalhos de Oliveira et al. (2014) e de Soares et al. (2016).

CONCLUSÕES

Conclui-se que, quanto maior o período acumulado de dados estimados de precipitação, maior é a chance de que o produto 3B42V7 gere valores próximos do observado, visto que um maior período permite que os erros temporais existentes nas estimativas se compensem.

Recomenda-se uma análise mais avançada, sobre os tipos de chuvas em cada região da bacia da Lagoa Mirim, visto que uma melhor compreensão da variação espaço temporal destas podem oferecer melhores informações sobre as capacidades e limitações do TRMM 3B42V7 na medição de chuvas.

REFERÊNCIAS

- As-Syakur, A. R.; Tanaka, T.; Prasetia, R.; Swardika, I. K. e Kasa, I.W. Comparison of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) products and daily- monthly gauge data over Bali Island. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 31, n. 24. 2011, 8969-8982.
- Bernardi, Ewerthon Cezar Schiavo. Qualidade das estimativas de precipitação do satélite TRMM no estado do Rio Grande do Sul, 2016. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2016.

- Bharti, V.; and C. Singh. Evaluation of error in TRMM 3B42V7precipitation estimates over the Himalayan region, *J. Geophys. Res.Atmos.* v.120, n.12, p.458-473, 2015.
- Camparotto, L. B.; Blain, G. C.; Giarolla, A.; Adami, M.; Camargo, M. B. P. Validação de dados termopluviométricos obtidos via sensoriamento remoto para o Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.* v.17, n.6 p.665-671, 2013.
- Chen, S.; Hong, Y.; Gourley, J. J.; Huffman, G. J.; Tian, Y.; Cao, Q.; Yong, B.; Kirstetter, P.; Hu, J.; Hardy, J.; Li, Z.; Khan, S.; Xue, X. Evaluation of the successive V6 and V7 TRMM multisatellite precipitation analisys over the Continental United States. *Water Resources Research*, v. 49, p. 8174-8186, 2013.
- Condom, T.; Rau, P.; Espinoza, J. C.; Correction of TRMM 3B43 monthly precipitation data over the mountainous areas of Peru during the period 1998–2007. *Hydrological processes*, v. 25, p. 1924-1933, 2011.
- Conti, Guilherme Nobel. Estimativa da precipitação através de técnicas de sensoriamento remoto: Estudo de caso para o estado do Rio Grande do Sul. 2002. 204 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2002.
- Danelichen, V. H. de M.; Machado, N. G.; Souza, M. C.; Biudes, M. S. TRMM satellite performance in estimating rainfall over the midwest region of Brazil. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 12, n. 9, p. 22-32. Jan/Jul, 2013.
- Fensterseifer, C.; Allasia, D. G., Paz, A. R. Assessment of the TRMM 3B42 precipitation product in southern Brazil. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, v.52, n.2, p.367-375, 2016.
- Guo, H.; Chen, S.; Bao, A.; Hu, J.; Gebregiorgis, A. S.; Xue, X.; Zhang, X. Inter-Comparison of High-Resolution Satellite Precipitation Products over Central Asia. *Remote Sens.* v.7, n.6, p.7181-7211, 2015.
- HUFFMAN, G. J., & BOLVIN, D. T. TRMM and other data precipitation data set documentation, *Global Change Master Directory*, NASA, p 44, 2015.
- Kenawy, A. M.; Lopez-Moreno, J. I.; McCabe, M. F.; Vicente-Serrano, S. M. Evaluation of the TMPA-3B42 precipitation product using a high-density rain gauge network over complex terrain in northeastern Iberia. *Global and Planetary Change*, v. 133, p. 188- 200, 2015.
- Kuligowski, R. A self-calibrating real-time GOES rainfall algorithm for short-term rainfall estimates. *Journal of Hydrometeorology*, n. 3, p. 112-130, 2002.

- Li, X.; Zhang, Q.; Ye, X. Dry/Wet Conditions Monitoring Based on TRMM Rainfall Data and Its Reliability Validation over Poyang Lake Basin, China. *Water*, n. 5, p. 1848-1864, 2013.
- Long, D., L. Longuevergne, and B. R. Scanlon. Uncertainty in evapotranspiration from land surface modeling, remote sensing, and GRACE satellites, *Water Resour. Res.*, 50, 1131–1151, 2014.
- Nash, J. E.; Sutcliffe, J. V. River flow forecasting through conceptual models: a discussion of principles. *Journal of Hydrology*, v. 10, p. 282-290, 1970.
- Oliveira, P. T. S.; Nearing, M. A.; Moran, M. S.; Goodrich, D. C.; Wendland, E.; Gupta, H. V. Trends in water balance components across the Brazilian Cerrado. *Water Resour. Res.*, v. 50, n. 9, p. 7100-7114, Sept; 2014.
- Paz, A. R.; Collischonn, W. Avaliação de transporte de dados para modelagem hidrológica distribuída. *Revista Brasileira de Meteorologia*. v.26, n.1, 109 - 120, 2011.
- Pereira, G.; Silva, M. E. S.; Moraes, E. C.; Cardozo, F. S. Avaliação dos Dados de Precipitação Estimados pelo Satélite TRMM para o Brasil. *RBRH –Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 18, n. 3, p.139-148, set. 2013.
- Prakash, S.; Mitra, A. K.; AghaKouchak, A.; Liu, Z.; Norouzi, H.; Pai, D. S. A preliminary assessment of GPM-based multi-satellite precipitation estimates over a monsoon dominated region. *Journal of Hydrology*, v. 556, p.865-876, 2016.
- Soares, A. S. D.; Paz, A. R.; Piccilli, D. G. A. Avaliação das estimativas de chuva do satélite TRMM no Estado da Paraíba. *Rev. Bras. de Recursos Hídricos*, v.21, n.2, p.288-299, 2016.
- Wilks, D. S. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. 2. ed. Department of Earth and Atmospheric Sciences. Cornell University. New York, 2006, 627 p.
- Woldemeskel FM, Sivakumar B e Sharma A. Merging gauge and satellite rainfall with specification of associated uncertainty across Australia. *Journal of Hydrology*. *Journal of Hydrology*. v.499, p.167-176, 2013.
- Zad, S. N. M.; Zulkafli, Z.; Muharram, F. M. Satellite Rainfall (TRMM 3B42-V7) Performance Assessment and Adjustment over Pahang River Basin, Malaysia. *Remote Sens.* v.10, n.388, 2018.
- Zulkafli, Z., W. Buytaert, C. Onof, B. Manz, E. Tarnavsky, W. Lavado, and J.-L. Guyot. A comparative performance analysis of TRMM 3B42 (TMPA) versions 6 and 7 for hydrological applications over Andean–Amazon River basins. *J. Hydrometeor.*, 15, 581–592, 2014.

6 Considerações Finais

A fim de facilitar novas pesquisas, os dados das estimativas de precipitação do TRMM (3B42V7) utilizados nesse trabalho bem como para todos os 45 pixels que abrangem a área da bacia da lagoa Mirim/RS, estão disponibilizados no seguinte [Banco de dados](#).

As Intensidades pluviais máximas anuais obtidas pelas precipitações estimadas do TRMM (3B42V7) definidas por meio da aplicação da distribuição de probabilidade de Gumbel apresentaram-se equivalentes àquelas estimadas a partir dos registros pluviográficos da localidade de Pelotas/RS para pequenas durações, mostrando melhor relação nas durações menores.

É fato que existem limitações nas estimativas de precipitação por satélite, particularmente na escala diária, o que é esperado tendo em vista que quanto menor o espaço de tempo de acumulação da chuva maior variabilidade da chuva e, assim, maior dificuldade em estimar corretamente tal variabilidade. Porém estas estimativas são uma potencial e importante fonte de dados de precipitação, principalmente no que tange as escalas quinzenais, mensais e anuais, visto que existe uma grande extensão territorial que não possuem registros pluviográficos e ainda a baixa densidade de dados pluviométricos, que se dá basicamente pela ausência de pluviômetros ou pela inconsistência de seus dados, muitas vezes falhos e/ou desatualizados.

Podendo assim, ser utilizados, por exemplo, como em Botari e Prado (2018), os quais analisaram séries históricas de chuva para dimensionar um reservatório para aproveitamento da água da chuva para irrigação simulando o volume do reservatório com séries históricas mensal, quinzenal e decendial para obterem os tempos de retorno.

Outra importante aplicação se dá no monitoramento e estimativa de produtividade agrícola, tendo em vista que a calibração dos modelos agronômicos para esses fins utiliza-se de dados com resolução temporal quinzenal, como em Mota (2015), o qual comparou e analisou dados de precipitação pluvial em escala quinzenal a partir de dados estimados pelo TRMM e observados pelas estações INMET no estado do Rio Grande do Sul em seis safras (2006/07 a 2011/12) para

acompanhar a produtividade da soja ao longo de seus estádios de crescimento e desenvolvimento e concluiu que os dados do TRMM podem ser utilizados.

Com o objetivo de potencializar a aplicação de tais estimativas de chuva e consequentemente aumentar a confiabilidade do uso de estimativas oriunda de metodologias remotas, são consideradas as seguintes recomendações para trabalhos futuros:

- Utilizar dados do Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM (IMERG), embora ainda considerados curtos, pois foi lançado em 2015, já existe trabalhos como o de Prakash et al. (2016b) com resultados que mostram uma melhor modelagem para chuvas intensas, devido ao fato de sua melhor resolução temporal (0,5 h), a tendência para o futuro é que esses dados sejam ainda mais consistentes devido as atualizações dos algoritmos bem como pelo alongamento das séries. Esses dados poderão fornecer, por exemplo, estimativas substanciais para a constituição de séries precipitações máximas de duração parcial, conforme descrita por Wilken (1978).
- Analisar séries das estimativas do TRMM (3B42V7) sazonalmente, visto que trabalhos como de Pereira et al. (2013) e Soares et al. (2016) mostraram maior concordância entre os dados estimados em relação aos observados em períodos mais chuvosos do ano, reduzindo erros e ampliando a confiabilidade.

Referências

- ARAGÃO, R.; SANTANA, G. R.; COSTA, C. E. F. F.; CRUZ, M. A. S.; FIGUEIREDO, E. E. E SRINIVASAN, V. S. Chuvas intensas para o estado de Sergipe com base em dados desagregados de chuva diária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.3, p.243–252, 2013.
- ARAÍ, F. K.; PEREIRA, S. B.; GONÇALVES, G. G. G. Characterization of water availability in a hydrographic basin. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v.32, n.3, p.591-601, maio/jun. 2012.
- ARAÚJO, L. E. de.; SOUSA, F. A. de. S.; RIBEIRO, M. A. F. de. M.; SANTOS, A. S. dos.; MEDEIROS, P. C. da. Análise estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do rio Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.2, 162-169, 2008.
- AS-SYAKUR, A. R.; TANAKA, T.; PRASETIA, R.; SWARDIKA, I. K. E KASA, I. W. Comparison of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) products and daily-monthly gauge data over Bali Island. **International Journal of Remote Sensing**, v.31, n.24, p. 8969-8982, 2011.
- AVERY, T. E.; BERLIN, G. L. **Fundamentals of Remote Sensing and Airphoto Interpretation**. 5 ed. New Jersey: Prentice Hall. 1992.
- BACK, A. J.; HENN, A.; OLIVEIRA, J. L. R. Heavy rainfall equations for Santa Catarina, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.2127-2134, 2011.
- BASSO, Raviel Eurico. **Estimativa de chuvas intensas no Rio Grande do Sul a partir das relações genéricas de Bell e Chen**. 2015. 276 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2015.
- BATISTA, Karmem Julya Miron; SOUZA, Erica Gomes Flôr; NEVES, Marllus Gustavo Ferreira Passos das; PEREIRA, Thiago Alberto Silva da. Envolvedoc: Comparação entre curvas IDF obtidas a partir de Pluviógrafos e dados de satélite: estudo de caso em Maceió – AL. In: XIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 10., 2016, Aracaju. **Anais eletrônicos**...Aracaju: SRHNE, 2016. Disponível em: <www.evolvedoc.com.br/srhne/download-2016-UEFQMDIxNTMyLnBkZg.pdf> Acesso em: 04 mai.2017.
- BELL, F.C. Generalized rainfall-duration-frequency relationships. **Journal of the Hydraulics Division**, v. 95, n.1, p. 311-327, 1969.
- BELTRAME, L., LANNA, A. L.E., LOUZADA, J. A .S. 1991. **Chuvas Intensas**. Porto Alegre : Instituto de Pesquisa Hidráulica da UFRGS.
- BEN-ZVI, A. Rainfall intensity–duration–frequency relationships derived from large partial duration series. **Journal of Hydrology**, Rome, v.367, n.1-4, p.104-114, 2009.

BERNARDI, Ewerthon Cezar Schiavo. **Qualidade das estimativas de precipitação do satélite TRMM no estado do Rio Grande do Sul**. 2016. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2016.

BHARTI, V.; AND C. SINGH. Evaluation of error in TRMM 3B42V7 precipitation estimates over the Himalayan region, **J. Geophys. Res. Atmos.** v.120, n.12, p.458-473, 2015.

BOTARI, J. C.; PRADO, do. GIULIANI. Aproveitamento da água de chuva para irrigação de espaços públicos urbanos abertos: o caso da praça Santos Dumont no município de Umuarama – PR. **Irriga, Botucatu**, v.23, n.1, p.96-107, janeiro-março, 2018.

CALDEIRA, T. L.; BESKOW, S.; MELLO, C. R. DE.; VARGAS, M. M.; GUEDES, H. A. S.; FARIA, L. C. Daily rainfall disaggregation: an analysis for the Rio Grande do Sul state. **Scientia Agraria**, v. 16, n.3, pp. 1-21, 2015.

CAMPAROTTO, L. B.; BLAIN, G. C.; GIAROLLA, A.; ADAMI, M.; CAMARGO, M. B. P. Validação de dados termopluviométricos obtidos via sensoriamento remoto para o Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.17, n.6 p.665-671, 2013.

CAMPOS, A. R.; SANTOS, G. G.; SILVA, S. B. C.; FILHO, J. I.; LOURA. D. S. Equações de intensidade-duração-frequência de chuva para o estado do Piauí. **Revista Ciência e Agronomia**, v. 45, n.3, p. 488-498, 2014.

CAMPOS, A. R.; SILVA, J. B. L.; SANTOS, G. G.; RATKE, R. F.; AQUINO, I. O. Estimate of intense rainfall equation parameters for rainfall stations of the Paraíba State, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.47, n.1, p.15-21, 2017.

CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 302 p.

CARDOSO, C. O.; BERTOL, I.; SOCCOL, O. J.; SAMPAIO, C. A. P. Generation of intensity duration frequency curves and intensity temporal variability pattern of intense rainfall for Lages/SC. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.57, n.2, p.274-283. 2014.

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

CETESB. Drenagem Urbana – **Manual de Projeto**. São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1986.

CHEN, C. Rainfall Intensity – duration – frequency formulas. **Journal of Hydraulic Engineering** – ASCE, v. 109, n. 12 p. 21, 1983.

CHEN, F.; LI, X. Avaliação de Precipitação Mensal IMERG e TRMM 3B43 sobre a China Continental. **Remote Sensing**. v.8, n.6, p. 472, 2016.

CHEN, S.; HONG, Y.; GOURLEY, J. J.; HUFFMAN, G. J.; TIAN, Y.; CAO, Q.; YONG, B.; KIRSTETTER, P.; HU, J.; HARDY, J.; LI, Z.; KHAN, S.; XUE, X. Evaluation of the successive V6 and V7 TRMM multisatellite precipitation analisys over the Continental United States. **Water Resources Research**, v. 49, p. 8174-8186, 2013.

COLLISCHONN, Bruno. **Uso de precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo hidrológico distribuído**. 2006. 174 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2006.

COLLISCHONN, W.; BRAVO, J. M.; SILVA, B. C.; RODRIGUEZ, D. A.; 2015. Impactos nas Afluências das principais Bacias In: **Efeitos das Mudanças Climáticas na Geração de Energia Elétrica**. 1 ed. São Paulo : AES Tietê, 2015, v.1, p. 245-346.

CONDOM, T.; RAU, P.; ESPINOZA, J. C.; Correction of TRMM 3B43 monthly precipitation data over the mountainous areas of Peru during the period 1998–2007. **Hydrological processes**, v. 25, p. 1924-1933, 2011.

CONTI, Guilherme Nobel. **Estimativa da precipitação através de técnicas de sensoriamento remoto: Estudo de caso para o estado do Rio Grande do Sul**. 2002. 204 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2002.

Damé, R. C. F.; Teixeira, C. F. A.; Terra, V. S. S. Comparação de diferentes metodologias para estimativa de curvas intensidade-duração-frequência para Pelotas – RS, **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.2, p.245-255, 2008.

DAMÉ, R. C. F.; TEIXEIRA, C. F. A.; LORENSI, R. P. Simulação de precipitação com duração horária mediante o uso do modelo Bartlett-Lewis do pulso retangular modificado. **Revista Brasileira Agrociência**, Pelotas, v.13, n.1, p.13-18, jan-mar, 2007.

DAMÉ, R. C. F.; TEIXEIRA, C. F. A.; MOURA, C.; MACHADO, R.; BESKOW, S. Análise do impacto de um evento de precipitação ocorrido na cidade de Pelotas/RS. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta, v.3, p.15-25, 2005.

DAMÉ, R. C. F.; TEIXEIRA, C. F. A.; SOUTO, M. V.; MOREIRA, N. M. Análise de frequência hidrológica dos dados de precipitação pluvial de algumas estações agroclimatológicas da região Sul do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.26, n.3, p. 351-355, 1996.

DAMÉ, Rita de Cassia Fraga. **Desagregação de precipitação diária para estimativa de curvas intensidade-duração-frequência**. 2001. 131 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

DANELICHEN, V. H. DE M.; MACHADO, N. G.; SOUZA, M. C.; BIUDES, M. S. TRMM satellite performance in estimating rainfall over the midwest region of Brazil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 12, n. 9, p. 22-32. Jan/Jul, 2013.

DORNELES, Viviane Rodrigues. **Análise de Chuvas Intensas com Abordagem de Dados Pluviográficos e Pluviométricos**. 2017. 61 f. Dissertação (Mestrado em Manejo e Conservação do Solo e da Água) – Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas. Pelotas. 2017.

DOZSA, B.; MONEGO, M. L. C. D.; KUMMER, L. Modelagem geoestatística da ocorrência de casos de Leptospirose e alagamentos no município de Curitiba/PR, no ano de 2014. **HOLOS**, Ano 32, Vol. 1. 2016.

EMATER. **Informativo conjuntural**. 2018. Disponível em: <www.emater.tche.br/site/arquivos_pdf/conjuntural/conj_08032018.pdf>. Acesso em: 17 mai. 2018.

ENDRENY, T. A.; IMBEAH, N.; Generating robust rainfall intensity-duration-frequency estimates with short-record satellite data. **Journal of Hydrology**, v. 371, n.1, June 2009.

FARSUL (Federação da Agricultura do estado do Rio Grande do Sul). **Relatório econômico 2012 e perspectivas para 2013**. Acessoria Econômica. Porto Alegre, RS. Dezembro de 2012.

FENSTERSEIFER, C.; ALLASIA, D. G., PAZ, A. R. Assessment of the TRMM 3B42 precipitation product in southern Brazil. **Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)**, v.52, n.2, p.367-375, 2016.

FILHO, H. C. C.; STAINKE, T. E.; STAINKE, V. A. Análise espacial da precipitação pluviométrica na bacia do lago Paranoá: comparação de métodos de interpolação, **Revista Geonorte**, v. 1, n. 5, p. 336-3455, 2013.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento Remoto**. 2. Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. p. 101.

FRANCHITO, S. H.; RAO, V. B.; VASQUES, A. C.; SANTO, C. M. E.; CONFORTE, J. C. Validation of TRMM precipitation radar monthly rainfall estimates over Brazil. **Journal of Geophysical Research**, v. 114, n. D2, p. 1-9, 2009.

FURIAN, Peter Hermes. Espectro Eletromagnético. Disponível em <<http://www.infoescola.com/física/espectro-eletromagnético/>>. Acesso em: 10 ago. 2017.

GENOVEZ, A. M.; ZUFFO, A. C. Chuvas intensas no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v .5, n. 3, p. 45-58, 2000.

GONÇALVES, Lidiane Souza. **Relações Intensidade-Duração-Frequência com base em estimativas de precipitação por satélite**, 2011, 135 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

- GOULART, J. P.; MAESTRINI, A. P.; NEBEL, A. L. Relação intensidade-duração-frequência de chuvas em Pelotas, RS. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 7, n. 1, p. 543-552, 1992.
- GUO, H.; CHEN, S.; BAO, A.; HU, J.; GEBREGIORGIS, A. S.; XUE, X.; ZHANG, X. Inter-Comparison of High-Resolution Satellite Precipitation Products over Central Asia. **Remote Sens.** v.7, n.6, p.7181-7211, 2015.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**. Rio de Janeiro: LC, 2009. vol. 4.
- HARTMANN, M.; MOALA, F. A.; MENDONÇA, M. A. Estudo das precipitações máximas anuais em Presidente Prudente. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, p.561-568, 2011.
- HOU, A. Y.; KAKAR, R. K.; NEECK, S.; AZARBARZIN, A. A.; KUMERROW, C. D.; KOJIMA, M.; OKI, R.; NAKAMURA, K.; IGUCHI, T. **The Global Precipitation Measurement Mission**. American Meteorological Society, p. 701-722, 2014.
- HUFFMAN, G. J. **The Transition in Multi-Satellite Products from TRMM to GPM (TMPA to IMERG)**, TMPA-to-IMERG Transition. Ago. 2018. Disponível em: <https://pmm.nasa.gov/sites/default/files/document_files/TMPA-to-IMERG_transition_180827.pdf>. Acesso em: 10 de nov. 2018.
- HUFFMAN, G. J., & BOLVIN, D. T. **TRMM and other data precipitation data set documentation**, Global Change Master Directory, NASA, p 44, 2015. Disponível em: <https://pmm.nasa.gov/sites/default/files/document_files/3B42_3B43_doc_V7.pdf>. Acesso em: 05 Jul. 2018.
- HUFFMAN, G. J.; ADLER, R. F.; MORRISSEY, M.; BOLVIN, D. T.; CURTIS, S.; JOYCE, R.; MCGAVOCK, B.; SUSSKIND, J. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. **Journal Hydrometeorology**, v. 8, p. 38-55, 2007.
- HUFFMAN, G. J.; ADLER, R. F.; RUDOLF, B.; SCHNEIDER, U.; KEEHN, P. R. Global Precipitation Estimates Based on a Technique for Combining Satellite-Based Estimates, Rain Gauge Analysis, and NWP Model Precipitation Information. **Journal of Climate**, v.8, n.5, p.1284–1295, 1995.
- HUFFMAN, G.; ADLER, R. F.; RUDOLF, B.; SCHNEIDER, U.; KEEHN, P. IPH, 1998. **Estudo para Avaliação e Gerenciamento da Disponibilidade Hídrica da Bacia da Lagoa Mirim**. Relatório de Convênio. Volumes 1, 2 e 3. Porto Alegre, IPH- UFRGS, 3 volumes.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estados: Rio Grande do Sul [Internet]. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; [2010] [citado 2013 jan 27]. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/panorama>>. Acesso em: 05 Fev. 2019.
- IPH, 1998. Estudo para Avaliação e Gerenciamento da Disponibilidade Hídrica da Bacia da Lagoa Mirim. Relatório de Convênio. Volumes 1, 2 e 3. Porto Alegre, IPH- UFRGS, 3 volumes.

- JIMÉNEZ, K. Q.; COLLISCHONN, W. Método de combinação de dados de precipitação estimados por satélite e medidos em pluviômetros para a modelagem hidrológica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, RBRH v. 20 n.1, p. 202 – 217, Porto Alegre jan./mar., 2015.
- KARAHAN, H. Determining Rainfall-Intensity-Duration-Frequency Relationship Using Particle Swarm Optimization. **Journal of Civil Engineering**, p. 667-675, 2012.
- KEENAN, R. J. Climate change impacts and adaptation in forest management: a review, **Annals of Forest Science**, v. 72, n. 2, p. 145-167, 2014.
- KEMPLER, S. **Readme for TRMM Product 3B42**. The NASA Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC), 2013.
- KENAWY, A. M.; LOPEZ-MORENO, J. I.; MCCABE, M. F.; VICENTE-SERRANO, S. M. Evaluation of the TMPA-3B42 precipitation product using a high-density rain gauge network over complex terrain in northeastern Iberia. **Global and Planetary Change**, v.133, p.188- 200, 2015.
- KOTHYARI, U. C.; GARDE, R. J. Rainfall intensity-duration-frequency formula for India. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 118, n. 2, p. 323-336, 1992.
- KULIGOWSKI, R. A self-calibrating real-time GOES rainfall algorithm for short-term rainfall estimates. **Journal of Hydrometeorology**, n. 3, p. 112-130, 2002.
- LEVIZZANI, V. 1998. Intense rainfall monitoring from geostationary satellites. 9^a Conf. Satellite Meteorology and Oceanography, MAS, 327-330.
- LI, X. H.; ZHANG, Q.; XU, C. Y. Suitability of the TRMM satellite rainfalls in driving a distributed hydrological model for water balance computations in Xinjiang catchment, Poyang lake basin. **Journal of Hydrology**, v. 426-427, p. 28-38, 2012.
- LI, X.; ZHANG, Q.; YE, X. Dry/Wet Conditions Monitoring Based on TRMM Rainfall Data and Its Reliability Validation over Poyang Lake Basin, China. **Water**, n. 5, p. 1848-1864, 2013.
- LIEW, S. C.; RAGHAVAN, S. V.; LIONG, S. Y. How to construct future IDF curves, under changing climate, for sites with scarce rainfall records? **Hydrological Processes**, p. 3276-3287, 2014.
- LONG, D.; LONGUEVERGNE, L.; and SCANLON, D. B. R. Uncertainty in evapotranspiration from land surface modeling, remote sensing, and GRACE satellites, **Water Resour. Res.**, v.50, p.1131–1151, 2014.
- MELO NETO, José de Oliveira. **Análise de Sensibilidade Escalar do Modelo Hidrológico SWAT**. 2012. 149 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

- MENESES, P. R. Fundamentos de Radiometria Óptica Espectral. In: MENESES, P. R.; NETTO, J. S. M. **Sensoriamento Remoto: Reflectância dos alvos naturais**. Brasília, DF: UnB; Planaltina: Embrapa Cerrados. 2001.
- MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. 1. ed. Brasília: CNPq, v. 1. 2012. p. 256.
- MOTA, Marcelo Crestani. **Comparação entre dados meteorológicos estimados e observados para utilização em modelos de estimativa da produtividade agrícola**. 2015. 101 f. Dissertação (Mestrado em manejo e Conservação do Solo e da Água) – Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas. Pelotas. 2015.
- NASA, National Aeronautics and Space Administration - Precipitation Measurement Missions (PMM). Disponível em: < <https://pmm.nasa.gov/trmm>>. Acesso em: 25 nov. 2018.
- NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. River flow forecasting through conceptual models: a discussion of principles. **Journal of Hydrology**, v.10, p. 282-290, 1970.
- OLIVEIRA, L. F. C.; ANTONINI, J. C. A., GRIEBELER, N. P. Estimativas de chuvas intensas para o estado de Goiás. **Revista de Engenharia Agrícola.**, Jaboticabal, v.28, n.1, p.22-33, jan./mar. 2008.
- OLIVEIRA, L. F. C.; CORTÊS, F. C., WEHR, T. R. Intensidade–Duração-Frequência de chuvas intensas para localidades no estado de Goiás e Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 35, n.1, p.13-18, 2005.
- OLIVEIRA, P. T. S.; NEARING, M. A.; MORAN, M. S.; GOODRICH, D. C.; WENDLAND, E.; GUPTA, H. V. Trends in water balance components across the Brazilian Cerrado. **Water Resour. Res.**, v. 50, n. 9, p. 7100-7114, Sept; 2014.
- PALÁCIO, H. A. DE Q.; RIBEIRO FILHO, J. C.; SANTOS, J. C. N. DOS.; ANDRADE, E. M. DE.; BRASIL, J. B. Effective precipitation, soil loss and plant cover systems in the Caatinga Biome, Brazil. **Rev. Caatinga**. Mossoró. v. 29, n. 4, p. 956 –965, out. – dez. 2016.
- PARK, J. S.; JUNG, H. S. Modeling Korean extreme rainfall using a Kappa distribution and maximum likelihood estimate. **Theoretical and Applied Climatology**. v.72, p. 55-64. 2002.
- PAZ, A. R.; COLLISCHONN, W. Avaliação de transporte de dados para modelagem hidrológica distribuída. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v.26, n.1, 109 - 120, 2011.
- PEREIRA, D. dos R.; MARTINEZ, M. A. DE.; ALMEIDA, A. Q.; PRUSKI, F. F. DA.; SILVA, D. D.; ZONTA, J. H. Simulação hidrológica utilizando o modelo SWAT em bacia de cabeceira no Sudeste do Brasil. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, 2014; v.34, n.4, p.789-799.

PEREIRA, G.; SILVA, M. E. S.; MORAES, E. C.; CARDOZO, F. S. Avaliação dos Dados de Precipitação Estimados pelo Satélite TRMM para o Brasil. RBRH – **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 3, p.139-148, set. 2013.

PETTY, G. W. 1995. The Status os Satellite-Based Rainfall Estimation over Land. **Remote Sensing os Environment** 51, p. 125-137.

PRAKASH, S.; MITRA, A. K.; AGHAKOUCHAK, A.; LIU, Z.; NOROUZI, H.; PAI, D. S. A preliminary assessment of GPM-based multi-satellite precipitation estimates over a monsoon dominated region. **Journal of Hydrology**, v. 556, p.865-876, 2016.

PRAKASH, S.; MITRA, A. K.; PAI, D.S.; AGHAKOUCHAK, A. From TRMM to GPM: How well can heavy rainfall be detected from space? **Advances in Water Resources**, v.88, p.1-7, 2016.

QAMAR, M. U.; AZMAT, M.; SHAHID, M. A.; GANORA, D.; AHMAD, S.; CHEEMA, M. J. M.; FAIZ, M. A.; SARWAR, A.; SHAFEEQUE, M.; KHAN, M.I. Rainfall Extremes: a Novel Modeling Approach for Regionalization, **Water Resources Management**, v.31, n.6, p.1975-1994, 2017.

REIS, J. A. T.; GUIMARAES, M. A.; BARRETO NETO, A. A.; BRINGHENTI, J. R. Indicadores regionais aplicáveis à avaliação de vazão dos cursos d'água da bacia hidrográfica do Rio Itabapoana. **Geociências (UNESP)**, v. 27, p. 509-516, 2008.

SANTOS, E. L. DOS.; CATTELAN, A. J.; PRETE, C. E. C.; NEUMAIER, N. OLIVEIRA, M. C. N. DE.; FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L. Níveis de disponibilidade hídrica sobre componentes de produção e rendimento de cultivares de soja. Gl, **Sci Technol**, Rio Verde, v. 07, n. 03, p.1 – 11, set/dez, 2014.

SANTOS, G. G.; FIGUEIREDO, C. C.; OLIVEIRA, L. F. C. Intensidade-duração-frequência de chuvas para o Estado de Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 1, p.899-905, 2009.

SCHULTZ, G. A.; ENGEMAN, E. T. (2000): **Remote Sensing in Hidrology and Water Management**. Springer, p. 483.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO SUL (SEMA-RS). Bacias Hidrográficas. Porto Alegre, 2018. Disponível em: <<http://www.sema.rs.gov.br/bacias-hidrograficas>>. Acesso em 29 de jul. de 2018.

SILVA, D. D.; FILHO, R. R. G.; PRUSKI, F .F.; PEREIRA, S. B.; NOVAES, L. F. Chuvas intensas no estado da Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.2, p.362-367, 2000.

SILVA-FUZZO, D. F.; ROCHA, J. V. Validação dos dados de Precipitação estimados pelo TRMM, para o estado do Paraná, e sua contribuição ao monitoramento agrometeorológico. **Revista Formação (ONLINE)** Vol. 3; n. 23, mai-ago/2016. p. 301-316. ISSN: 2178-7298. ISSN-L: 1517-543X.

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

SOARES, A. S. D.; PAZ, A. R.; PICCILLI, D. G. A. Avaliação das estimativas de chuva do satélite TRMM no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.21, n.2, p.288-299, 2016.

SOUZA, R. O. R. DE M., SCARAMUSSA, P. H. M., AMARAL, M. A. C. M., PEREIRA NETO J. A., PANTOJA, A. V. & SADECK, L. W. R. Equações de chuvas intensas para o Estado do Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.16, n.9, p.999-1005, 2012.

TEIXEIRA, C. F. A., DAMÉ, R. DE C. F. ROSSKOFF J. L. C. Intensity-Duration-Frequency ratios obtained from annual records and partial duration records in the locality of Pelotas RS, Brazil. *Engenharia Agrícola*, **Jaboticabal**, v.31, n.4, p.687-694, jul./ago. 2011.

TEODORO, P. E.; NEIVOCK, M. P.; MARQUES, J. R. F.; FLORES, A. M. F.; RODRIGUES, C. C. B. Influência de diferentes coeficientes de desagregação na determinação de equações IDF para Aquidaua/MS. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Goiânia, v. 9, n. 2, p. 1-9, 2014.

TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3º ed. Porto alegre: editora da UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos, p 177-231. 2002.

UEHARA, K.; ZAHED FILHO, K.; SILVEIRA, L. N. L.; PALERMO, M. A. Pequenas bacias hidrográficas do Estado de São Paul: Estudo de vazões médias e máximas, **São Paulo, FDTE/Escola politécnica da USP**, v. 2, p.780, 1980.

VIEIRA, E. F.; RANGEL, S. R. S. **Planície Costeira do Rio Grande do Sul: geografia física, vegetação e dinâmica sócio-demográfica**. Porto Alegre: Sagra, 1988.

WANDERLEY, H. S.; AMORIM, R. F. C.; CARVALHO, F. O. Variabilidade Espacial e Preenchimento de Falhas de Dados Pluviométricos para o Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 3, p.347-353, maio 2012.

WILKEN, P. S. **Engenharia de Drenagem Superficial**. São Paulo: CETESB, 477p. 1978.

WILKS, D. S. **Statistical Methods in the Atmospheric Schiences**. 2. ed. Department of Earth and Atmospheric Sciences. Cornell University. New York, 2006, 627 p.

WOLDEMESKEL, F. M.; SIVAKUMAR, B.; and SHARMA, A. Merging gauge and satellite rainfall with specification of associated uncertainty across Australia. **Journal of Hydrology**. v.499, p.167-176, 2013.

ZAD, S. N. M.; ZULKAFI, Z.; MUHARRAM, F. M. Satellite Rainfall (TRMM 3B42-V7) Performance Assessment and Adjustment over Pahang River Basin, Malaysia. **Remote Sens.** v.10, n.388, 2018.

ZULKAFI, Z.; BUYTAERT, W.; ONOF, C.; MANZ, B.; TARNAVSKY, E.; LAVADO, W. and GUYOT, J.-L. A comparative performance analysis of TRMM 3B42 (TMPA) versions 6 and 7 for hydrological applications over Andean–Amazon River basins. **J. Hydrometeor.**, 15, 581–592, 2014.