

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

**RAFAEL FERRAÇO DE CAMPOS**

**COMPARAÇÃO ENTRE DADOS DE PRECIPITAÇÃO  
INTERPOLADOS E DO TRMM (3B43V7)**

**ALEGRE- ES**

**2017**

RAFAEL FERRAÇO DE CAMPOS

**COMPARAÇÃO ENTRE DADOS DE PRECIPITAÇÃO  
INTERPOLADOS E DO TRMM (3B43V7)**

Dissertação de mestrado apresentada ao Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal, na linha de Pesquisa de Recursos Hídricos e Geoprocessamento em Sistemas Agrícolas.

**Orientador:** Prof. Dsc. Alexandre Cândido Xavier

**ALEGRE - ES**

**2017**

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

C198c Campos, Rafael Ferraço de, 1990-  
Comparação entre dados de precipitação interpolados e do TRMM  
(3B43V7) / Rafael Ferraço de Campos. – 2017.  
54 f. : il.

Orientador: Alexandre Cândido Xavier.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Pluviometria. 2. Sensoriamento remoto. 3. Estatística descritiva.  
4. Análise de concordância. I. Xavier, Alexandre Cândido. II.  
Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e  
Engenharias. III. Título.

CDU: 63

---

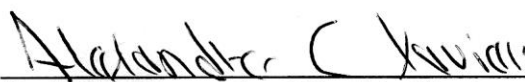
**RAFAEL FERRAÇO DE CAMPOS**

**COMPARAÇÃO ENTRE DADOS DE PRECIPITAÇÃO INTERPOLADOS E DO  
TRMM (3B43V7)**

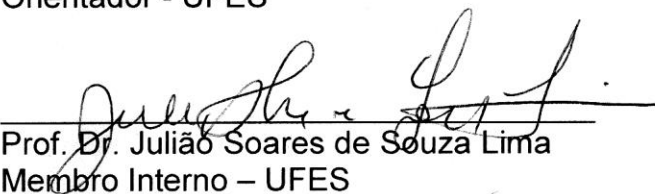
Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal, na linha de pesquisa de Recursos Hídricos e Geoprocessamento em Sistemas Agrícolas.

Aprovada em 20 de fevereiro de 2017

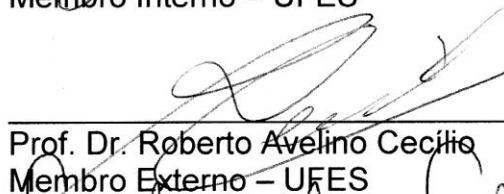
COMISSÃO EXAMINADORA:



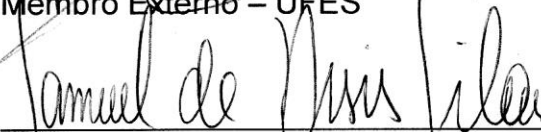
Prof. Dr. Alexandre Cândido Xavier  
Orientador - UFES



Prof. Dr. Julião Soares de Souza Lima  
Membro Interno - UFES



Prof. Dr. Roberto Avelino Cecílio  
Membro Externo - UFES



Prof. Dr. Samuel de Assis Silva  
Membro Externo - UFES

## AGRADECIMENTOS

Sou imensamente grato à minha família, Izabel, Ramão e Letícia, sendo os pilares desta conquista;

Agradeço especialmente ao orientador Alexandre Cândido Xavier, que acreditou no meu potencial para desenvolvimento desta pesquisa além do apoio, confiança e paciência; Assim como o doutorando Davi Diniz, pelas diversas conferências, com esclarecimentos e motivação. E o prof. Samuel de Assis Silva pela ajuda e por compartilhar conhecimentos, dúvidas e respostas;

Aos meus amigos parceiros do doutorado e mestrado pelo aprendizado na convivência diária, Antônio Drummond, Paulo Roberto da Rocha e Victor Capelini;

Ao help do MATLAB, café e a NASA pela disponibilização dos dados de sensoriamento remoto. A todos os professores pelos valiosos conhecimentos transmitidos;

Ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES), pela oportunidade concedida;

A Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo FAPES, pelo apoio e incentivo financeiro na concessão da bolsa de estudos que foi extremamente importante para a realização deste trabalho;

Por fim, ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, pela oportunidade de desenvolver este trabalho e a FAPES pela concessão de bolsas de estudo;

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para este trabalho, o meu muito obrigado!

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> - Faixa sobrevoada pelo satélite TRMM.....	15
<b>Figura 1.2</b> - Visão geral do satélite TRMM e seus instrumentos. ....	16
<b>Figura 1.3</b> - Vista rápida da superfície terrestre feita pelo sensor TMI.....	17
<b>Figura 1.4</b> - Precipitação estimada pelo TRMM sobre o Brasil no mês de janeiro de 1998... 18	
<b>Figura 1.5</b> - Visão geral do fluxo de processamento de dados do satélite TRMM. ....	20
<b>Figura 1.6</b> - Plataforma Giovanni (acesso: <a href="http://giovanni.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni/">http://giovanni.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni/</a> ).....	22
<b>Figura 1.7</b> – Evolução da quantidade de postos pluviométricos utilizados na base DPTI ao longo do período estudado (1998-2013).....	24
<b>Figura 1.8</b> - Divisão regional e precipitação média anual do Brasil no período de 1998-2013 (base DPTI). ....	29
<b>Figura 1.9</b> – Distribuição espacial mensal do BIAS. ....	31
<b>Figura 1.10</b> – Distribuição espacial mensal do RMSE.....	31
<b>Figura 1.11</b> - Distribuição espacial mensal do MAE. ....	32
<b>Figura 1.12</b> – Distribuição espacial mensal do $d_r$ .....	32
<b>Figura 1.13</b> - Distribuição espacial mensal do $P_i$ .....	33
<b>Figura 1.14</b> – Gráficos de dispersão dos dados de precipitação média mensal DPTI e TRMM. ....	36
<b>Figura 2.15</b> – Distribuição espacial da erosividade média anual ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ). a) R1 DPTI; b) R1 TRMM; c) R2 DPTI e d) R2 TRMM. ....	51
<b>Figura 2.16</b> - Distribuição espacial mensal das métricas BIAS (a), RMSE (b), MAE (c) e índice de concordância $d_r$ (d) para R1 DPTI e R1 TRMM.....	52
<b>Figura 2.17</b> - Distribuição espacial mensal das métricas BIAS (a), RMSE (b), MAE (c) e índice de concordância $d_r$ (d) para R2 DPTI e R2 TRMM.....	53

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.1</b> - Definição dos produtos TRMM. ....	18
<b>Tabela 1.2</b> - Valor médio para o Brasil do Bias, Erro Médio Absoluto, Índice Refinado de Acordo $d_r$ , e componentes sistemáticos e não sistemáticos da Raiz do Erro Quadrático Médio. ....	30
<b>Tabela 1.3</b> - Valores médios regionais mensais do Bias, Erro Médio Absoluto, Índice Refinado de Acordo $d_r$ , e componentes sistemáticos e não sistemáticos da Raiz do Erro Quadrático Médio. ....	34
<b>Tabela 1.4</b> – Quantidade de pixels e média de pluviômetros para o período de estudo. ....	35
<b>Tabela 1.5</b> - Valores Sazonais Mensais do Bias, Erro Médio Absoluto, Índice Refinado de Acordo $d_r$ , e componentes sistemáticos e não sistemáticos da Raiz do Erro Quadrático Médio. ....	37
<b>Tabela 2.1</b> - Erosividade média anual ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) da região Norte e as métricas de erros: Bias, Erro Médio Absoluto, Índice Refinado de Acordo $d_r$ entre as entradas de dados. ....	49
<b>Tabela 2.2</b> – Quantidade de pixels e média de pluviômetros para a região Norte. ....	49

CAMPOS, Rafael Ferraço. Universidade Federal do Espírito Santo. Fevereiro de 2017. **Comparação entre dados de precipitação interpolados e do TRMM (3B43V7)**. Orientador: Alexandre Cândido Xavier.

**RESUMO GERAL** - As estimativas de precipitação do satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) podem ser informações valiosas para áreas sem quaisquer tipos de medições da pluviosidade ou regiões com uma rede pluviométrica escassa. O objetivo do estudo foi comparar as estimativas mensais de precipitação do satélite TRMM com dados de precipitação terrestre interpolados produzidos por Xavier et al. (2015) para o Brasil. Para quantificar a concordância e pareceria entre os bancos de dados foi utilizado o índice de concordância refinado de Willmout e o índice de desempenho. Os resultados indicaram que o satélite capturou adequadamente os padrões espaciais de precipitação em todo o Brasil quando comparado com a estimativa interpolada. É importante ressaltar que o satélite TRMM tendeu a superestimar os valores de precipitação, entretanto em média o acordo entre as estimativas TRMM e os dados DPTI é alto ( $d_r \geq 0,8$  e  $P_i \geq 0,7$ ), mas observa-se maior viés em épocas chuvosas. Com base nestes resultados, a região Norte apresentou resultados mais discordantes para o Brasil. Esta região foi escolhida para o cálculo do índice de erosividade com o objetivo de visualizar a diferença da entrada dos dados interpolados com os dados do satélite TRMM no cálculo da erosividade. Os dados do satélite TRMM apresentaram menor índice de erosividade para região Norte. Isto significa que a erosividade com dados interpolados pode superestimar o real valor da erosividade nesta região, devido a limitações, como a escassa rede pluviométrica, inerentes ao banco de dados de estações interpoladas para esta região.

**Palavras-chave:** Sensoriamento Remoto, Estatística Descritiva, Análise de concordância.



CAMPOS, Rafael Ferração. Universidade Federal do Espírito Santo. February 2017. **Comparison between interpolated precipitation data and TRMM (3B43V7)**. Advisor: Alexandre Cândido Xavier.

**ABSTRACT** - The estimates of precipitation from the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) satellite can be valuable for areas without rainfall measurements or regions with a sparse rainfall network. The objective of this study was to compare the monthly precipitation estimates of TRMM satellite with interpolated terrestrial precipitation data produced by Xavier et al. (2015) for Brazil. The refined concordance index of Willmout and the index of performance were used to quantify the similarities and resemblance between the databases. The results indicated that the satellite adequately captured the spatial patterns of precipitation throughout Brazil when compared to the interpolated estimate. It is important to emphasize that the TRMM satellite tended to overestimate the precipitation values, meanwhile the agreement between the TRMM estimates and the DPTI data is high ( $dr \geq 0.8$  and  $Pi \geq 0.7$ ), but there was larger bias for the rainy season. Based on these results, the Northern region presented more discordant results for Brazil. This region was chosen to calculate the erosivity index to visualize the difference when inputting interpolated data with the TRMM satellite data in the erosivity calculation. The TRMM satellite data showed a lower erosivity index for the Northern region. This means that erosion with interpolated data may overestimate the real value of erosivity in this region, due to limitations such as the scarce rainfall network inherent to the interpolated station database for this region.

**Keywords:** Remote sensing, Descriptive statistics, Index of agreement

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO GERAL.....	11
2.	OBJETIVOS.....	12
3.	REFERÊNCIAS.....	13
<b>CAPÍTULO 1 - COMPARAÇÃO ENTRE DADOS DE PRECIPITAÇÃO INTERPOLADOS E DO SATÉLITE TRMM (3B43V7) PARA O BRASIL.....</b>		
1	INTRODUÇÃO.....	14
2	SATÉLITE TRMM, SEUS COMPONENTES E PRODUTOS.....	15
2.1	PESQUISAS COM USO DOS PRODUTOS TRMM.....	21
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1	Bases de dados.....	22
3.2	Análise estatística.....	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
4.1	Análise espacial.....	29
4.2	Análise regional e sazonal.....	33
5	CONCLUSÕES.....	37
6	REFERÊNCIAS.....	38
<b>CAPÍTULO 2 - COMPARAÇÃO ENTRE AS ESTIMATIVAS DE EROSIVIDADE UTILIZANDO DADOS DE PRECIPITAÇÃO INTERPOLADOS E DO TRMM (3B43V7).....</b>		
1.	INTRODUÇÃO.....	43
2.	EROSIVIDADE DA CHUVA.....	44
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	46
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
4.1	Variabilidade espacial da erosividade.....	48
5	CONCLUSÕES.....	54
6	REFERÊNCIAS.....	54

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A precipitação pluviométrica é uma das variáveis mais importantes no ciclo hidrológico, sendo uma informação primordial para agricultura, marinha e diversas áreas do conhecimento (FRANCHITO et al., 2009). A compreensão da variabilidade espacial da precipitação é essencial, uma vez que seu padrão interanual e sazonal tem um grande impacto sobre a produtividade agrícola e diversos outros setores da economia. Esta informação também é crucial para inúmeras aplicações em hidrologia, gestão dos recursos hídricos, meteorologia e climatologia (PEREIRA et al., 2013; PRAKASH et al., 2015).

Em algumas regiões do Brasil os dados pluviométricos são escassos e esparsos, por motivos técnicos e administrativos, nestes casos as estimativas de precipitação estão sujeitas a uma incerteza considerável devido ao pequeno número de pluviômetros ou locais de observação não representativos. Além disto, os dispositivos de gravação, operadores e a transmissão de dados são suscetíveis a erros e falhas, por diversas razões (KNEIS; CHATTERJEE; SINGH, 2014).

As redes de estações meteorológicas ainda são insuficientes e não contemplam diversas áreas no mundo, principalmente aquelas mais remotas. Estimativas da pluviosidade a partir de sensores espaciais apresentam uma oportunidade para complementar a rede existente e permitir o desenvolvimento de aplicações em tempo real. No entanto, os benefícios dessas estimativas só podem ser utilizados se as estimativas forem devidamente validadas e a precisão descrita (MANTAS et al., 2014).

Nesse contexto, as metodologias baseadas em Sensoriamento Remoto (SR), associadas ao desenvolvimento tecnológico podem ser uma das ferramentas de grande importância uma vez que fornecem diversas informações, como estimativas da precipitação, em alta densidade espacial e temporal. (FRANCHITO et al., 2009; OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2014; ALMEIDA et al., 2015).

Um avanço na área SR é o satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), que é fruto da parceria entre a NASA (Administração Nacional do Espaço e da Aeronáutica) e a Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA). O satélite TRMM foi lançado em 27 de novembro de 1997 com o objetivo de monitorar e estudar a precipitação nos trópicos, além de fornecer estimativas diárias e mensais de precipitação. Esta missão fornece

estimativas diárias a cada três horas (produto 3B42V7) e mensais (produto 3B43V7) com uma resolução de  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$  (TRMM, 2016).

Xavier et al. (2015) avaliaram seis diferentes métodos de interpolação, por meio da validação cruzada para diversas variáveis meteorológicas, incluindo a precipitação. Os autores determinaram que o Inverso da Distância Ponderada ou a Distância Angular Ponderada foram os melhores métodos de interpolação e geraram dados em grade diários e mensais para todas as variáveis.

A precipitação é um fator que influencia a erosão do solo, especialmente nos trópicos por causa das suas características, sobretudo relacionadas ao grande volume precipitado e à sua distribuição temporal e espacial. A perda de solo se dá em função e interligação de vários fatores, e está intimamente ligada às propriedades da precipitação, atribuindo à erosividade da chuva a capacidade potencial intrínseca desta em causar erosão do solo (MACHADO et al., 2013; SILVA et al., 2010).

O conhecimento da erosividade da chuva é essencial para a compreensão dos processos erosivos, estimação das taxas de erosão do solo e definições de práticas de conservação do solo. A erosão da chuva e seus efeitos diferem entre as regiões climáticas, pois a mesma quantidade de chuva tem impactos muito diferentes na quantidade de erosão dependendo da sua intensidade e das condições da superfície do solo e o manejo adotado (BLANCO-CANQUI; LAL, 2010).

## **2. OBJETIVOS**

O objetivo do estudo foi empregar estatísticas para comparar as estimativas mensais de precipitação do satélite TRMM com dados em grade produzidos por Xavier et al. (2015) para o Brasil. Com base nestes resultados, realizar posteriormente o cálculo da erosividade na região Norte para ambas as bases de dados. Neste sentido, a pesquisa foi dividida em dois capítulos, onde o primeiro capítulo trata da avaliação entre as estimativas de precipitação, e o segundo capítulo aborda a erosividade na região Norte, devido à pequena rede pluviométrica desta região.

### Objetivos específicos

- Análise Regional - analisar regionalmente se, para as regiões do Brasil, existe uma variação espacial da estimativa do satélite em relação aos dados interpolados;
- Análise Sazonal – para as estações do ano nas regiões brasileiras, comparar a estimativa do satélite em relação aos dados interpolados verificando semelhança ou disparidade entre os dados dentro das estações do ano;
- Calcular o índice de erosividade utilizando dados interpolados e dados TRMM, tendo em vista a comparação entre as estimativas de erosividade para cada entrada de dado nas equações de erosividade.

### 3. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, C. T. DE et al. Avaliação das Estimativas de Precipitação do Produto 3B43-TRMM do Estado do Amazonas. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 3, p. 279–286, 2015.
- BLANCO-CANQUI, H.; LAL, R. **Principles of Soil Conservation and Management**. [s.l: s.n.].
- FRANCHITO, S. H. et al. Validation of TRMM precipitation radar monthly rainfall estimates over Brazil. **Journal of Geophysical Research**, v. 114, n. D2, p. D02105, 2009.
- KNEIS, D.; CHATTERJEE, C.; SINGH, R. Evaluation of TRMM rainfall estimates over a large Indian river basin (Mahanadi). **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 18, n. 7, p. 2493–2502, 2014.
- MACHADO, R. L. et al. Erosividade das chuvas associada a períodos de retorno e probabilidade de ocorrência no Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 37, n. 2, p. 529–547, 2013.
- MANTAS, V. M. et al. Validation of TRMM multi-satellite precipitation analysis ( TMPA ) products in the Peruvian Andes. **Atmospheric Research**, v. 163, p. 132–145, 2014.
- OLIVEIRA JÚNIOR, J. F. et al. Análise da Precipitação e sua Relação com Sistemas Meteorológicos em Seropédica, Rio de Janeiro. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 2, p. 140–149, 2014.
- PEREIRA, G. et al. 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,

2013.

PRAKASH, S. et al. Error characterization of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA-3B42) products over India for different seasons. **Journal of Hydrology**, 2015.

SILVA, S. A. et al. Variabilidade espacial do potencial erosivo das chuvas para o estado do Espírito Santo, Brasil. **Irriga**, v. 15, n. 3, p. 312–323, 2010.

TRMM. **The Tropical Rainfall Measuring Mission**. Disponível em: <<http://trmm.gsfc.nasa.gov/>>. Acesso em: 9 mar. 2016.

XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013). **International Journal of Climatology**, out. 2015.

## **CAPÍTULO 1 - COMPARAÇÃO ENTRE DADOS DE PRECIPITAÇÃO INTERPOLADOS E DO SATÉLITE TRMM (3B43V7) PARA O BRASIL**

### **1 INTRODUÇÃO**

O Brasil apresenta diferentes regimes de precipitação, devido à sua grande extensão territorial e complexidade topográfica. Deste modo, a distribuição desigual da atual rede pluviométrica e a relativa falta de medições sobre terras não povoadas (áreas montanhosas, oceanos, florestas densas) aliada à eventualidade de erros aleatórios, sistemáticos ou grosseiros, têm limitado a utilização dos dados de precipitação (CAVALCANTI et al., 2009; NAGHETTINI; PINTO, 2007; TUCCI, 2007).

Dentre os métodos de estimativa da precipitação, a introdução de satélites meteorológicos na década de **70**, possibilitou realizar observações hemisféricas de nebulosidade. A princípio a estimativa de precipitação por satélite foi desenvolvida a partir de técnicas que usam o infravermelho (IR) e visível (VIS), apresentando um grau relativamente baixo de precisão. Deste modo, a precipitação é estimada pela radiação que chega do topo ou da lateral da nuvem, sendo a premissa física que o brilho da luz do sol refletido pelas nuvens é uma indicação razoável da espessura e conseqüentemente do volume de água em seu interior (LEVIZZANI, 1999; LEVIZZANI; AMORATI; MENEGUZZO, 2002; PETTY, 1995).

Com o desenvolvimento tecnológico, surgiram metodologias empregando o uso de sensores de micro-ondas (MW), um marco na estimativa de precipitação por satélite, pois a interação com a precipitação e a radiação do MW é significativamente melhor que a detecção por IR/VIS. Isto é fundamentado pelo fato que os sensores MW respondem de forma

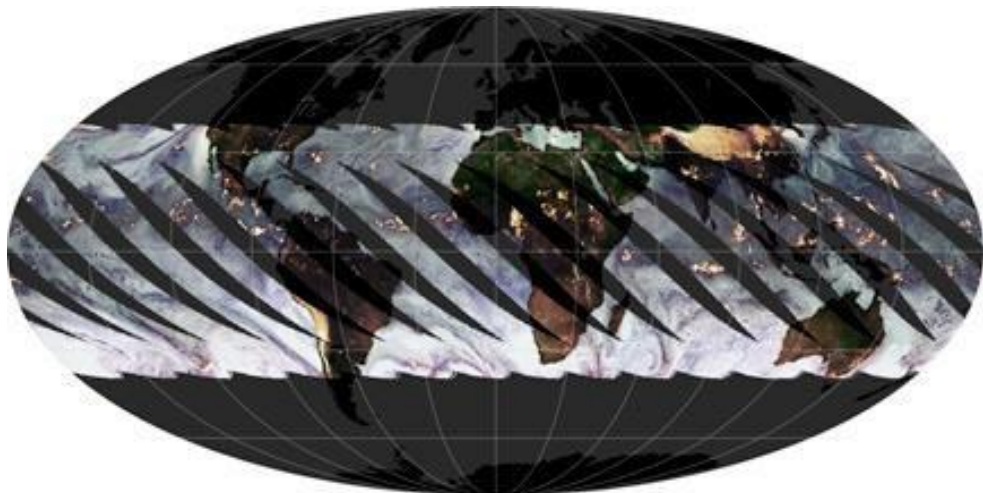
satisfatória à presença de água e cristais de gelo na estrutura interna das nuvens, e não apenas em sua superfície (KIDD; LEVIZZANI, 2011; LEVIZZANI, 1999; LEVIZZANI; AMORATI; MENEGUZZO, 2002).

Embora os conjuntos de dados de satélite ofereçam oportunidades para o monitoramento global da precipitação, as incertezas em relação à sua estimativa da precipitação limitam seu uso. Devido a isto, diversos procedimentos relativos às validações de seus dados estão sendo realizados internacionalmente (MEHRAN; AGHAKOUCHAK, 2014).

Objetivou-se, neste estudo a comparação da estimativa de precipitação 3B43V7 do satélite TRMM em relação a dados interpolados de estações e pluviômetros criados por Xavier et al. (2015).

## 2 SATÉLITE TRMM, SEUS COMPONENTES E PRODUTOS

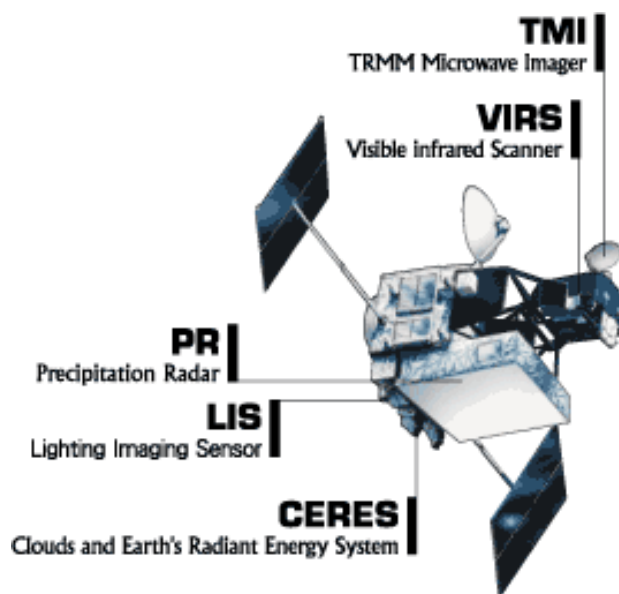
A missão TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) é um projeto resultante da parceria entre a National Aeronautics and Space Administration (NASA) e a Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA). O satélite foi lançado no dia 27 de novembro de 1997, sendo construído para estimar a precipitação na faixa tropical, visualizado na Figura 1.1. O custo de implantação da missão foi de US\$ 600 milhões e os gastos operacionais anuais são em cerca de US \$ 16 milhões por ano. Trafegando a uma baixa altitude orbital de 400 km a coleta de dados da precipitação tropical deste satélite ajuda a melhorar a compreensão sobre o clima e o tempo (LAWLER, 2004; COUNCIL, 2006; TRMM, 2016).



FONTE: (PMM, 2016)

**Figura 1.1** - Faixa sobrevoada pelo satélite TRMM.

Os instrumentos a bordo do satélite TRMM utilizados para realizar estimativas de precipitação são: TMI - TRMM Microwave Imager (Imageador de Microondas); VIRS – Visible Infrared Scanner (Radiômetro no Visível e no Infravermelho); PR - Precipitation Radar (Radar de Precipitação); LIS - Lighting Imaging Sensor (Sensor para Imageamento de Relâmpagos) e CERES – Clouds and Earth’s Radiant Energy System (Sensor de Energia Radiante da Superfície Terrestre e das Nuvens), conforme Figura 1.2.



FONTE: (TRMM,2015)

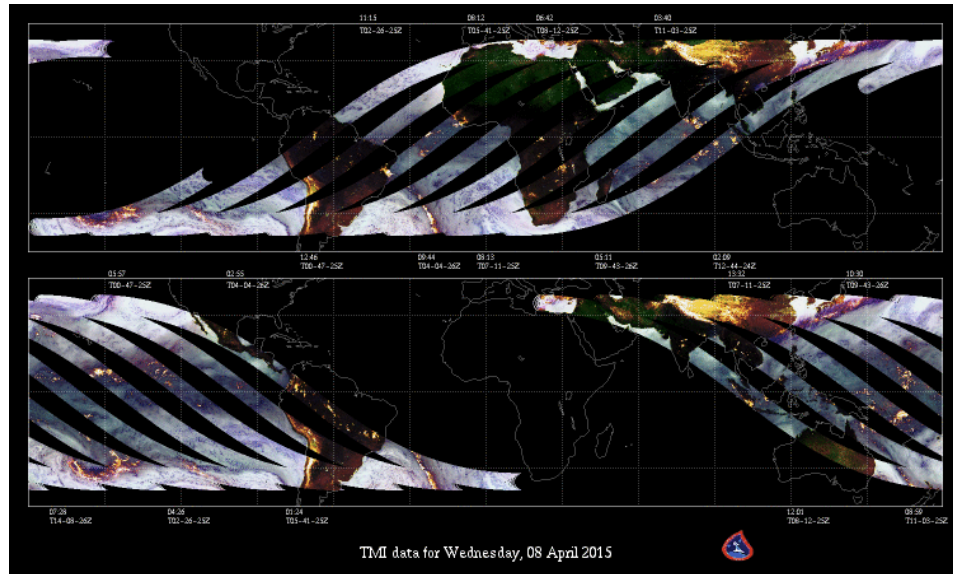
**Figura 1.2** - Visão geral do satélite TRMM e seus instrumentos.

O PR foi projetado para fornecer mapas tridimensionais da estrutura das chuvas. Este sensor tem uma resolução horizontal no terreno de cerca de 5 km e uma largura de faixa de 247 km e fornece informações sobre intensidade, distribuição, tipo e profundidade da precipitação. Para seu funcionamento são utilizados 224 watts de potência, a mesma energia elétrica utilizada por apenas algumas lâmpadas domésticas (KUMMEROW et al., 2000).

O TMI é um sensor de micro-ondas passivo projetado para fornecer informações quantitativas da precipitação. Medindo a intensidade da radiação de micro-ondas emitida pela Terra e sua atmosfera, o TMI é capaz de quantificar o vapor de água e a intensidade de chuva na atmosfera. Este sensor utiliza cinco frequências: 10,7, 19,4, 21,3, 37, 85,5 GHz e fornece uma visão geral da superfície da Terra (Figura 1.3), onde cada cor se refere a um tipo



de superfície (KUMMEROW et al., 1998; PMM, 2016).



FONTE: (PMM, 2016)

**Figura 1.3** - Vista rápida da superfície terrestre feita pelo sensor TMI.

O VIRS detecta a radiação vinda da terra em cinco regiões do espectro, variando de visível ao infravermelho. A intensidade da radiação nas várias regiões espectrais pode ser usada para determinar o brilho e a temperatura da fonte. Este instrumento usa um espelho rotativo para fazer a varredura em toda a faixa de observações do TRMM, varrendo, assim, uma região de 833 km de largura, à medida que o satélite prossegue ao longo de sua órbita (NASDA, 2001).

O LIS é um sensor que detecta e localiza raios sobre a região tropical do globo. A partir da combinação compacta de elementos ópticos e eletrônicos, o sensor é capaz de localizar e detectar raios dentro de tempestades individuais. Além disso, fornece informações sobre as características de nuvem, dinâmica da tempestade, assim como a variabilidade anual e sazonal de tempestades de raios (COUNCIL, 2006).

O último sensor a bordo do satélite TRMM é o CERES, que mensura a energia na parte superior da atmosfera e estima os níveis de energia dentro da atmosfera e da superfície da Terra. Este sensor determina propriedades como quantidade, altitude, espessura e tamanho das partículas da nuvem. Mensurar essas propriedades é importante para o avanço da compreensão do sistema climático da Terra (KUMMEROW et al., 2000; NASDA, 2001).

Os dados obtidos pelo satélite são processados pela NASA e NASDA (National Space Development Space of Japan), e as definições dos diferentes produtos do TRMM são exibidas na Tabela 1.1. Para refinar as estimativas, há um programa de validação em campo

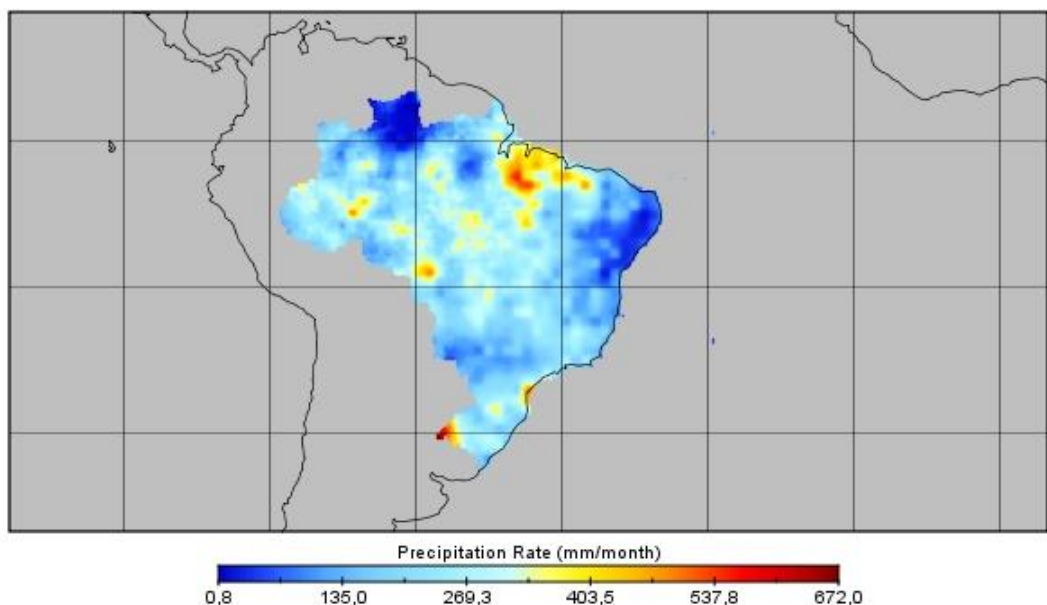
(Ground Validation), contando com radares meteorológicos ao longo da faixa intertropical. (COLLISCHONN; ALLASIA, 2007).

**Tabela 1.1** - Definição dos produtos TRMM.

Nível	Definição
0	Dados dos instrumentos do satélite não processados, tempo ordenado, qualidade verificada, sem redundância.
1	Dados auxiliares e dados georreferenciados ligados ao nível 0, e processados em sensores dependentes de unidades físicas
2	Parâmetros meteorológicos derivados dos dados do nível 1 ao qual passaram por vários algoritmos, onde serão utilizados para produzir mapas da chuva
3	Resultados do mapeamento do nível 2 em uma grade uniforme de espaço e tempo

Fonte: (adaptado de: NASDA, 2001).

A Figura 1.4 mostra a estimativa do produto 3B43 em janeiro de 1998, sobre o Brasil. A escala de cores representa a lâmina média mensal precipitada em cada pixel.

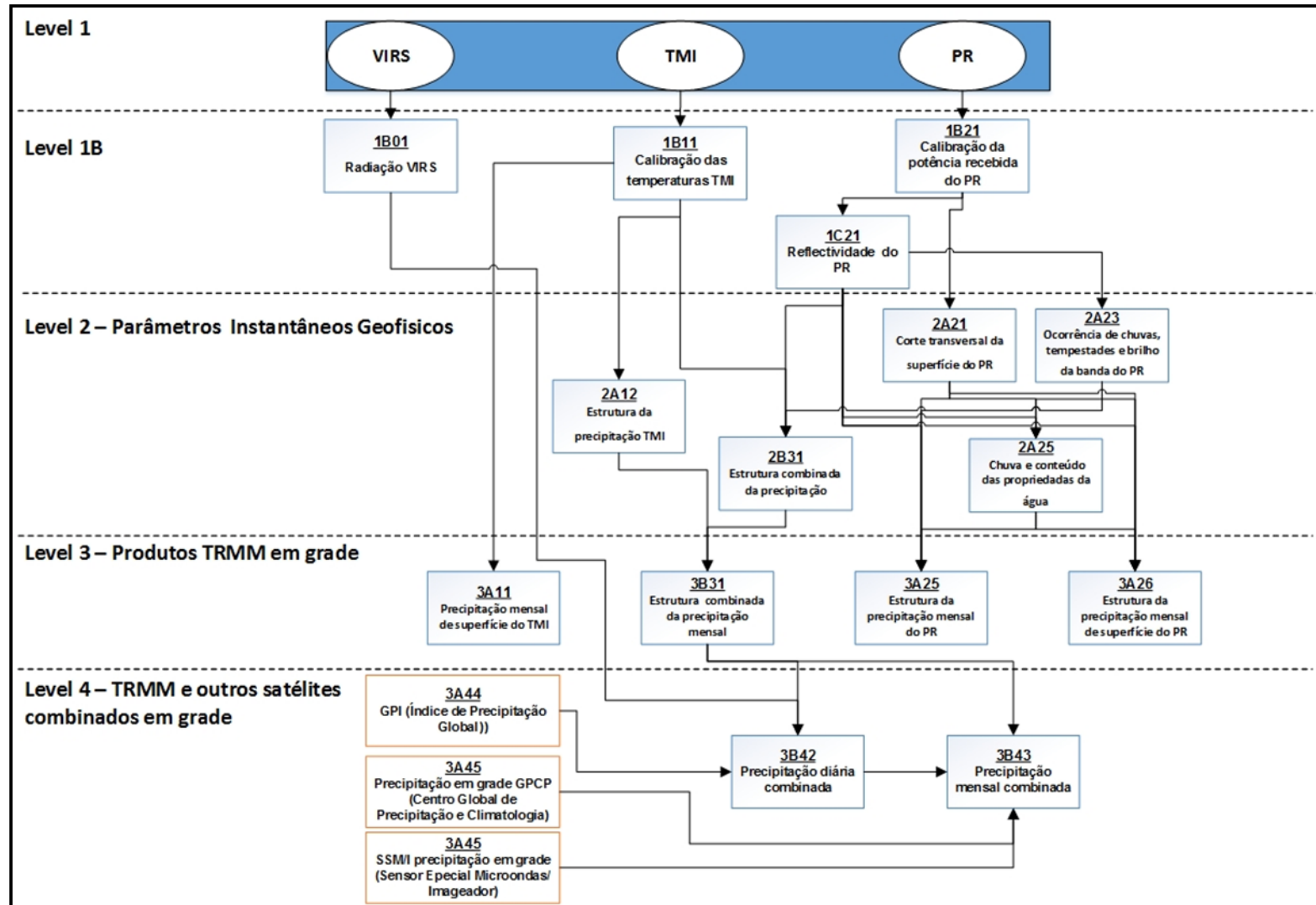


FONTE:(PMM, 2016)

**Figura 1.4** - Precipitação estimada pelo TRMM sobre o Brasil no mês de janeiro de 1998.

Embora seja possível estimar a precipitação exclusivamente a partir de um tipo de sensor, a NASA combina os diferentes sensores com outros satélites e dados de superfície,

por meio de diferentes algoritmos, obtendo variados produtos com objetivo de melhorar a estimativa da precipitação, sendo assim, o usuário não acessa as informações diretas dos sensores, mas sim produtos derivados de diferentes combinações dos sensores e processamentos. (CHIU; SHIN; KWIATKOWSKI, 2006). Uma visão geral do fluxo de processos realizados é apresentada na Figura 1.5.



Fonte: (adaptado de: NASDA, 2001; CHIU; SHIN; KWIATKOWSKI, 2006).

**Figura 1.5** - Visão geral do fluxo de processamento de dados do satélite TRMM.

## 2.1 PESQUISAS COM USO DOS PRODUTOS TRMM

No Brasil destaca-se a pesquisa de MELO et al. (2015), a qual verificou a qualidade da precipitação dos produtos TRMM 3B42-V6 e 3B42-V7 em uma base diária e mensal para uma série temporal de 14 anos, comparando com dados em grade de precipitação de aproximadamente 3625 pluviômetros e 735 estações meteorológicas, distribuídos por todo o Brasil. Os resultados mostram que as estimativas diárias são imprecisas para as duas versões. Em geral, ambas as versões apresentaram um bom desempenho em base mensal, mas não foi identificada uma melhora significativa entre as versões 6 e 7 com a exceção de algumas áreas locais.

Em relação ao uso do produto 3B43 no Brasil, alguns pesquisadores se dedicaram recentemente à avaliação dessa estimativa de precipitação em regiões específicas como: estado do Amazonas (ALMEIDA et al., 2015), bacia do Paraná (CURTARELLI; RENNÓ; ALCÂNTARA, 2014), nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás e Distrito Federal (DANELICHEN et al., 2013) e também uma análise feita em todo o território (PEREIRA et al., 2013). Entretanto, nestes estudos citados o número de estações utilizadas é pequeno e as áreas estudadas são extensas.

No estudo de PEREIRA et al. (2013), os autores utilizaram interpolação pelo método de krigagem de 183 estações meteorológicas para avaliar a estimativa da precipitação do TRMM sobre todo o território brasileiro. ALMEIDA et al. (2015) no estado do Amazonas utilizaram sete estações meteorológicas convencionais para uma análise pontual, comparando a precipitação do pixel do TRMM (área de ~760 km<sup>2</sup>) com o ponto mensurado das estações. Procedimentos semelhantes foram realizados na pesquisa de DANELICHEN et al. (2013), onde foram utilizadas 5 estações meteorológicas para análise pontual e os autores inferiram sobre toda a região centro-oeste do Brasil.

Em diversas partes do mundo, diferentes pesquisas estão utilizando os dados de precipitação provenientes do produto 3B43 seja para a avaliação do produto (NASTOS; KAPSOMENAKIS; PHILANDRAS, 2016), (KARASEVA; PRAKASH; GAIROLA, 2012), no ajuste desta estimativa (CONDOM; RAU; ESPINOZA, 2011), melhora da resolução dos pixels do satélite (CHEN et al., 2015, 2014; DUAN; BASTIAANSEN, 2013).

## 3 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 Bases de dados

Um arquivo netCDF (network Common Data Form) é um arranjo multidimensional onde diversas matrizes representam a distribuição espacial em grade de uma variável ou conjunto de diferentes variáveis. O objetivo da interface netCDF é permitir criar, acessar e compartilhar dados orientando a matriz de uma forma que é autodescritiva e portátil (UNIDATA, 2016). Para este trabalho foram utilizadas duas bases de dados de precipitação acumulada mensal em netCDF, ambas de livre acesso para toda a comunidade científica.

O primeiro banco de dados é proveniente do TRMM, sendo o produto 3B43-V7. Esta base foi adquirida pela plataforma Giovanni (Figura 1.6), que é um ambiente on-line da NASA para acesso a diversos tipos de dados das ciências da Terra, como precipitação, dinâmica e composição atmosférica, além de diferentes dados de sensoriamento remoto. Estes dados são facilmente acessados e distribuídos em grade regular, em netcdf. Foram baixados os dados para o período de janeiro de 1998 a dezembro de 2013, na resolução espacial de 0.25° x 0.25°.

The screenshot shows the Giovanni web interface. At the top, it says "GIOVANNI The Bridge Between Data and Science v 4.20.6". Below that, there are navigation links: "2016 Final IMERG and TMPA replaced...", "Release Notes", "Browser Compatibility", and "Known Issues".

The main interface has several sections:

- Select Plot:** Includes options for "Maps: Time Averaged Map", "Comparisons", "Time Series", "Vertical", and "Miscellaneous".
- Select Date Range (UTC):** Fields for "YYYY-MM" and "HH:mm" with a "Valid Range: 1998-01-01 to 2016-07-31" note.
- Select Region (Bounding Box or Shapefile):** A text input field with "Format: West, South, East, North" and "Valid Range: -180, -50, 180, 50".
- Select Variables:** A sidebar with categories: "Disciplines", "Measurements" (checked), "Platform / Instrument", "Spatial Resolutions", "Temporal Resolutions", and "Portal".
- Search Results:** A table with columns: Variable, Source, Temp. Res., Spat. Res., Begin Date, End Date, Units. The table shows 5 matching variables, with "Precipitation Rate (TRMM\_3B43\_v7)" selected.

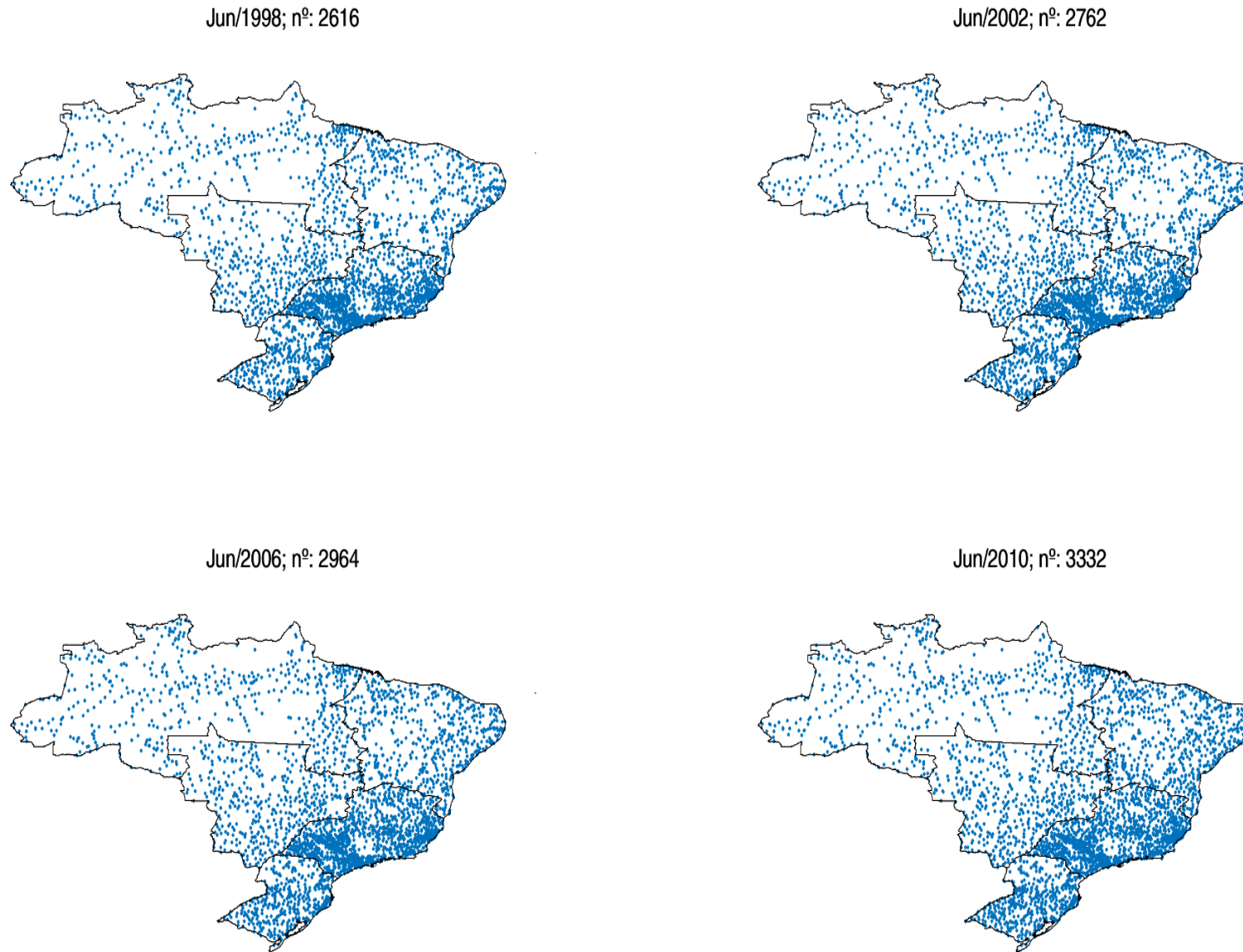
At the bottom, there is a footer with the NASA logo, "Responsible NASA Official: Long Pham", "Web Curator: M. Hegde", and buttons for "Help", "Reset", "Feedback", and "Plot Data".

Figura 1.6 - Plataforma Giovanni (acesso: <http://giovanni.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni/>).

O segundo banco de dados utilizado foi elaborado por Xavier; King; Scanlon (2015) para o Brasil. Os dados foram obtidos a partir de 3625 pluviômetros e 735 estações meteorológicas para o período de 1980 a 2013. Os dados pluviométricos foram fornecidos

pela Agência Nacional de Águas (ANA), pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAAE), e está disponível online em: <https://utexas.app.box.com/v/xavier-et-al-ijoc-data>. Sendo referidos a partir de agora como dados de precipitação terrestre interpolados (DPTI).

Os autores criaram a base DPTI testando seis diferentes métodos de interpolação a partir da validação cruzada, escolhendo o melhor método de interpolação para a precipitação diária e mensal e seis outras variáveis climáticas. A base de dados foi gerada no formato netcdf e possui resolução espacial semelhante ao TRMM ( $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ ). A quantidade de distribuição das estações meteorológicas e dos postos pluviométricos utilizados no período estudado (1998-2013) varia de acordo com o tempo e espaço, sendo a progressão desta quantidade representada pela Figura 1.7.



**Figura 1.7** – Evolução da quantidade de postos pluviométricos utilizados na base DPTI ao longo do período estudado (1998-2013).



### 3.2 Análise estatística

Para avaliar os dois bancos de dados, foram utilizados: erro médio absoluto (**MAE**), que é a média dos erros absolutos realizados pela estimativa em que se tem o mesmo peso para os erros entre os valores estimados frente aos valores observados, sendo adequado para descrever erros uniformemente distribuídos (CHAI; DRAXLER, 2014), equação 1.

$$\text{MAE} = N^{-1} \sum_{i=1}^N |O_i - S_i|$$

(Eq.1)

Em que:

$O_i$  = precipitações mensais observadas da base DPTI;

$S_i$  = estimativas de precipitação do satélite TRMM;

$N$  = tamanho da amostra.

O índice de concordância refinado ( $d_r$ ) quantifica os erros de predição da estimativa em relação aos desvios sobre a média observada. Este índice tem como vantagem produzir valores substancialmente diferentes mesmo quando há pequenas diferenças entre os conjuntos de dados observados e as estimativas do modelo. Quando  $d_r = 0$ , isso significa que a soma dos valores absolutos das diferenças entre os valores observados e preditos é igual a soma dos valores absolutos dos desvios do modelo. De modo geral,  $d_r$  próximo a 1 indica boa concordância e  $d_r$  próximo ou menor a 0 uma discordância entre os valores observados e preditos (WILLMOTT; ROBESON; MATSUURA, 2012), equação 2.

$$d_r = \begin{cases} 1 - \frac{\sum_{i=1}^N |S_i - O_i|}{2 \sum_{i=1}^N |O_i - \bar{O}|}, & \text{se } \sum_{i=1}^N |S_i - O_i| \leq 2 \sum_{i=1}^N |O_i - \bar{O}| \\ \frac{2 \sum_{i=1}^N |O_i - \bar{O}|}{\sum_{i=1}^N |S_i - O_i|} - 1, & \text{se } \sum_{i=1}^N |S_i - O_i| > 2 \sum_{i=1}^N |O_i - \bar{O}| \end{cases}$$

(Eq. 2)

Em que:

$O_i$  = precipitações mensais observadas da base DPTI;

$S_i$  = estimativas de precipitação do satélite TRMM;

$N$  = tamanho da amostra;

$\bar{O}_i$  = média mensal observada;

$\bar{S}_i$  = média mensal estimada;

$\hat{S}_i$  = estimador da precipitação a partir da regressão de mínimos quadrados.

Erro quadrático médio (MSE) é definido como a soma dos quadrados dos desvios entre os valores observados e estimados dividido pelo número de observações, o valor obtido é necessariamente positivo (0 a infinito). Esta métrica penaliza erros com valores absolutos maiores, pois elevando ao quadrado números grandes tem-se maior peso do que ao elevar números menores (GUPTA et al., 2009), equação 3.

$$MSE = N^{-1} \sum_{i=1}^N (S_i - O_i)^2$$

(Eq. 3)

Em que:

$O_i$  = precipitações mensais observadas da base DPTI;

$S_i$  = estimativas de precipitação do satélite TRMM;

$N$  = tamanho da amostra.

O MSE pode ser decomposto em componentes sistemáticos (equação 4) e não sistemáticos (equação 5), a partir da regressão de mínimos quadrados entre dados observados e estimados, com declividade  $a$  e intercepto  $b$ ,  $\hat{S}_i = a P_i + b$ . Esta separação é útil para saber quanto do erro sistemático ou não sistemático (erro aleatório). O conhecimento sobre as magnitudes destes erros pode aumentar ainda mais a compreensão da capacidade de previsão de um modelo (WILLMOTT, 1981; WILLMOTT et al., 1985).

$$MSE_s = N^{-1} \sum_{i=1}^N (\hat{S}_i - O_i)^2$$

(Eq. 4)

$$MSE_u = N^{-1} \sum_{i=1}^N (S_i - \hat{S}_i)^2$$

(Eq. 5)

Em que:

**MSEs** = Erro quadrático médio sistemático;

**MSEu** = Erro quadrático médio não sistemático;

$O_i$  = precipitações mensais observadas da base DPTI;

$S_i$  = estimativas de precipitação do satélite TRMM;

$\hat{S}_i$  = estimador da precipitação a partir da regressão de mínimos quadrados;

**N** = tamanho da amostra.

Ainda de acordo com Willmott, (1981a), a soma do **MSEs** com **MSEu** equivale ao MSE (**MSE = MSEs + MSEu**). Para fazer a comparação relativa do erro quadrático médio e suas porções sistemática e não sistemática é feito a razão entre os componentes, (**MSEu/MSE**) e (**MSEs/MSE**) para conhecer qual a maior porção do erro sistemático ou não sistemático representa o MSE.

A Raiz do erro quadrático médio (RMSE), assim como o MSE, calcula a média dos quadrados dos desvios entre os valores observados e estimados, sendo sensível a erros com valores absolutos maiores. No entanto, fornece maiores ponderações aos pesos quanto aos erros espaciais quando confrontado com o MAE. (CHAI; DRAXLER, 2014) , equação 6.

$$RMSE = \sqrt{MSE}$$

(Eq. 6)

Índice de desempenho ( $P_i$ ) é o produto entre o coeficiente de correlação que indica o grau de dispersão dos dados obtidos em relação à média com o índice de concordância, que é a exatidão dos valores estimados (ALVARES et al., 2013). A interpretação deste índice de acordo com os mesmos autores é: 0,85-0,75 Ótimo; 0,75- 0,60 Muito Bom; 0,60-0,45 Bom; 0,45-0,30 Tolerável; 0,30-0,15 Pobre; 0,15-0,00 Mau; < 0,00 Péssimo.

$$P_i = r \cdot d_r$$

(Eq. 7)

Em que:

$P_i$  = Índice de desempenho;

$r$  = coeficiente de correlação;

$d_r$  = índice de concordância refinado.

E por último, BIAS indica a parecnça dos dados estimados com os dados observados mostrando se a estimativa tende a uma superestimacão ou subestimacão (viés igual a zero significa que o valor estimado é igual ao valor observado) (XAVIER; KING; SCANLON, 2015), equacão 8.

$$\text{BIAS} = \bar{S}_i - \bar{O}_i$$

(Eq. 8)

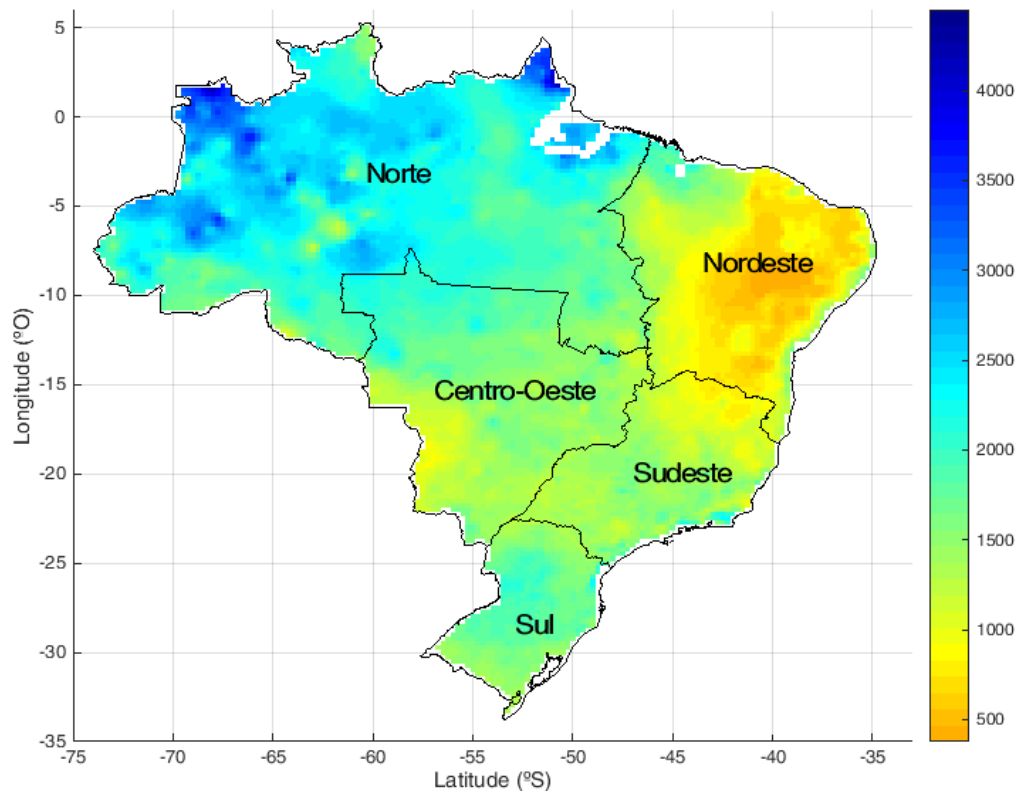
Em que:

$\bar{O}_i$  = precipitacão média mensal observada;

$\bar{S}_i$  = precipitacão média mensal estimada.

A análise foi realizada em uma base de pixel a pixel (MELO et al., 2015; PRAKASH et al., 2015) para o período de janeiro de 1990 a dezembro de 2013. Este período se deve pelo início das estimativas do satélite (janeiro de 1990) e a data final da base DPTI (dezembro de 2013). Foi selecionado um total de 11.237 pixels para comparacão entre os bancos de dados.

Seguindo a abordagem adotada por Franchito et al. (2009) e Melo et al. (2015), o território brasileiro foi dividido em cinco regiões, Norte (N), Nordeste (NE), Centro-Oeste (CO), Sudeste (SE) e Sul (S) (Figura 1.8) e calculado as métricas de erro para todas as regiões do Brasil (análise regional) e para cada uma das quatro estações do ano (análise sazonal), definida como DJF (dezembro, janeiro e fevereiro), o MAM (março, abril e maio), JJA (junho, julho e agosto) e SON (setembro, outubro e novembro).



**Figura 1.8** - Divisão regional e precipitação média anual do Brasil no período de 1998-2013 (base DPTI).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análise espacial

A comparação pixel a pixel dos dados mensais de precipitação (DPTI) com os dados TRMM revela que o desempenho das métricas analisadas seguiu o mesmo padrão de variação na maior parte do país. Verifica-se na análise dos mapas das métricas (Figuras 1.9 a 1.13) e de acordo com a Tabela 1.2, que o valor médio de BIAS para todas as regiões foi de 7,71 mm.

As métricas RMSE e MAE (Figuras 1.10 e 1.11) exibem a variabilidade dos erros encontrados, onde valores mais próximos de 0 expressam menor diferença entre as estimativas. De forma geral o RMSE variou de 20-180 e o MAE 20-120 mm, todavia na maior parte das regiões do Brasil (NE, CO, SE e S) as métricas apresentaram valores  $\geq 35$  mm para RMSE e  $\geq 20$  mm para MAE.

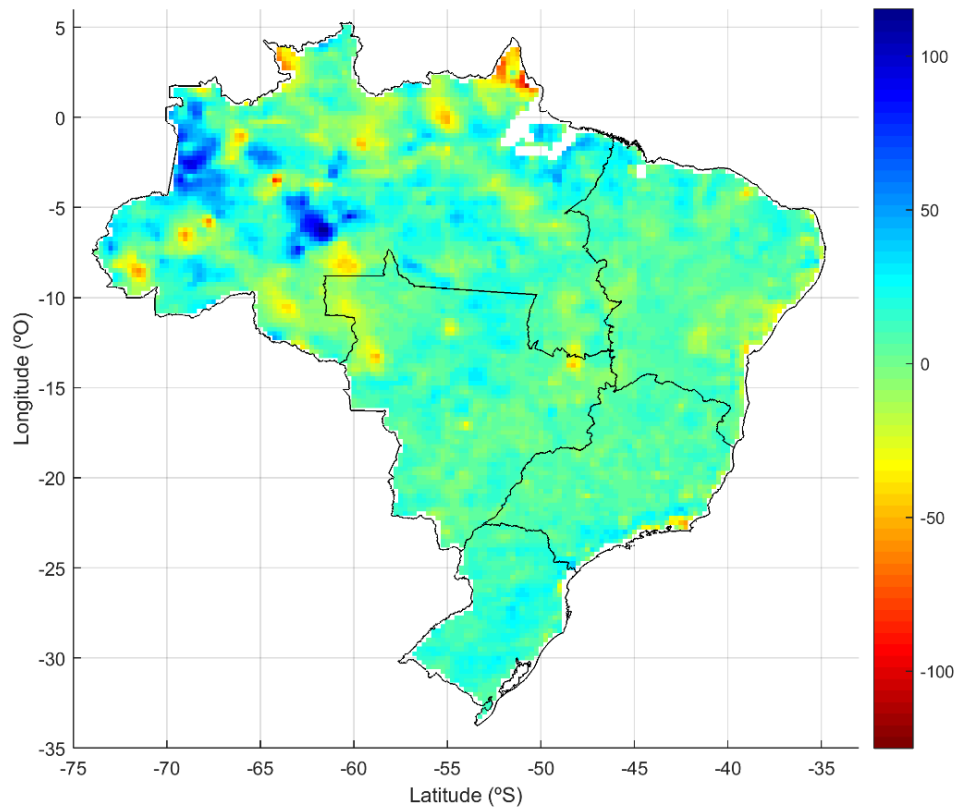
A estimativa de precipitação do satélite TRMM é baseada na combinação de diversos

sensores, sendo o mais importante o TMI. Por conta de seu comprimento de onda mais longos (em relação ao infravermelho), as ondas deste sensor são capazes de penetrar nas nuvens e interagir fortemente com as gotas presentes. Em regiões como semiárido nordeste do Brasil, onde a radiação solar global média é alta ( $5.9 \text{ kWh.m}^{-2}$ ) e a cobertura de nuvem é baixa durante todo o ano, o menor índice de pluviosidade nesta região justifica o bom desempenho do satélite (KELKAR, 2007; MELO et al., 2015; PEREIRA et al., 2006; REBOITA et al., 2010).

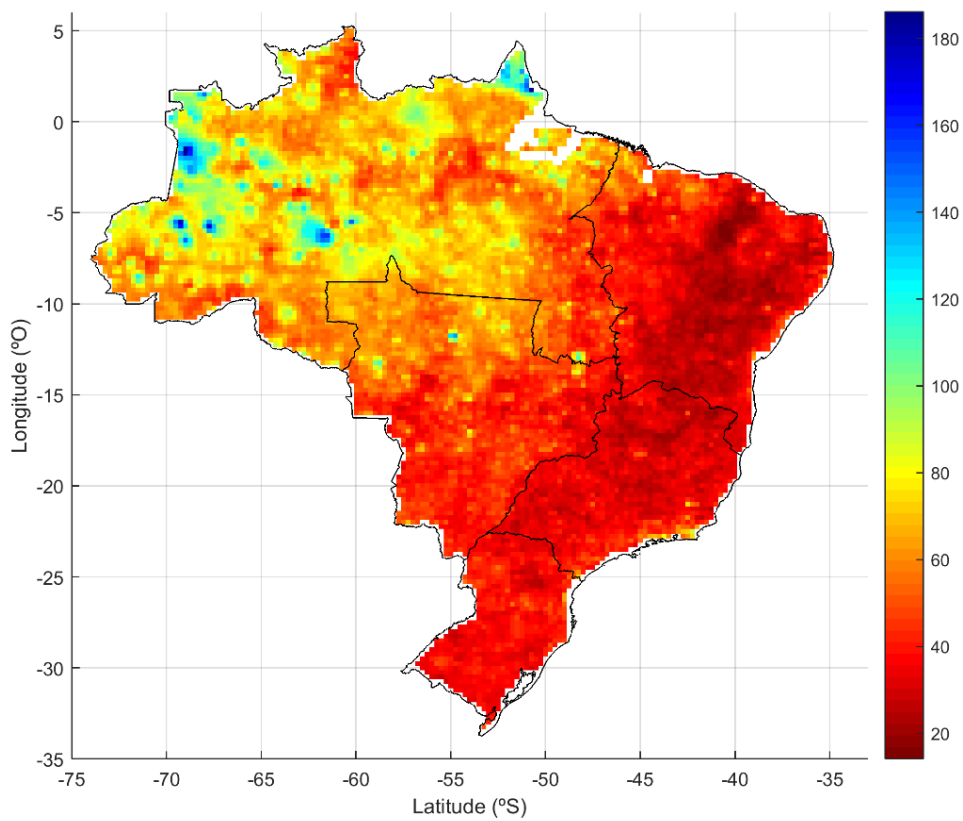
Os resultados médios das métricas para todos os dados, conforme a Tabela 1.2 mostram que o  $d_r$  dos dados TRMM concordam satisfatoriamente com dados DPTI ( $d_r \geq 0,81$ ) e apresentam um desempenho muito bom ( $P_i \geq 0,70$ ), sugerindo confiabilidade nas estimativas relativas aos dados DPTI, pois para estas métricas quanto mais próximo de 1, significa concordância perfeita entre os dados ou seja o desempenho do dado estimado é muito próximo ao dado (considerado) observado.

**Tabela 1.2** - Valor médio para o Brasil do Bias, Erro Médio Absoluto, Índice Refinado de Acordo  $d_r$ , e componentes sistemáticos e não sistemáticos da Raiz do Erro Quadrático Médio.

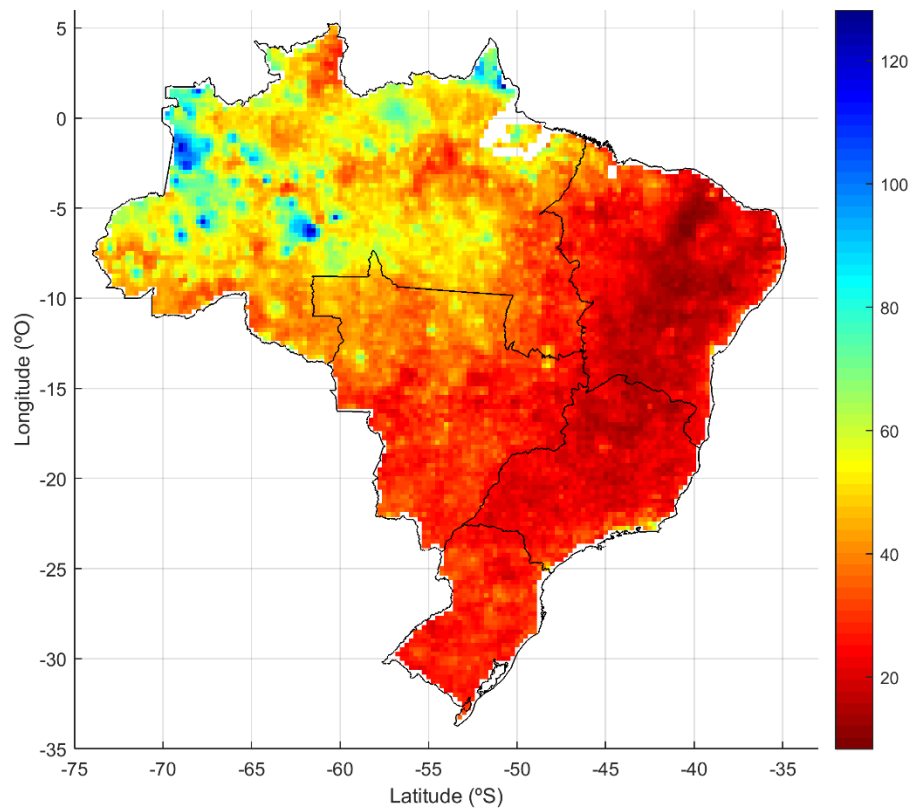
Brasil	BIAS	MAE	$d_r$	$P_i$	RMSEu (MSEu/MSE)	RMSEs (MSEs/MSE)
	7,71	37,46	0,81	0,70	56,62	11,31
					0,96	0,04



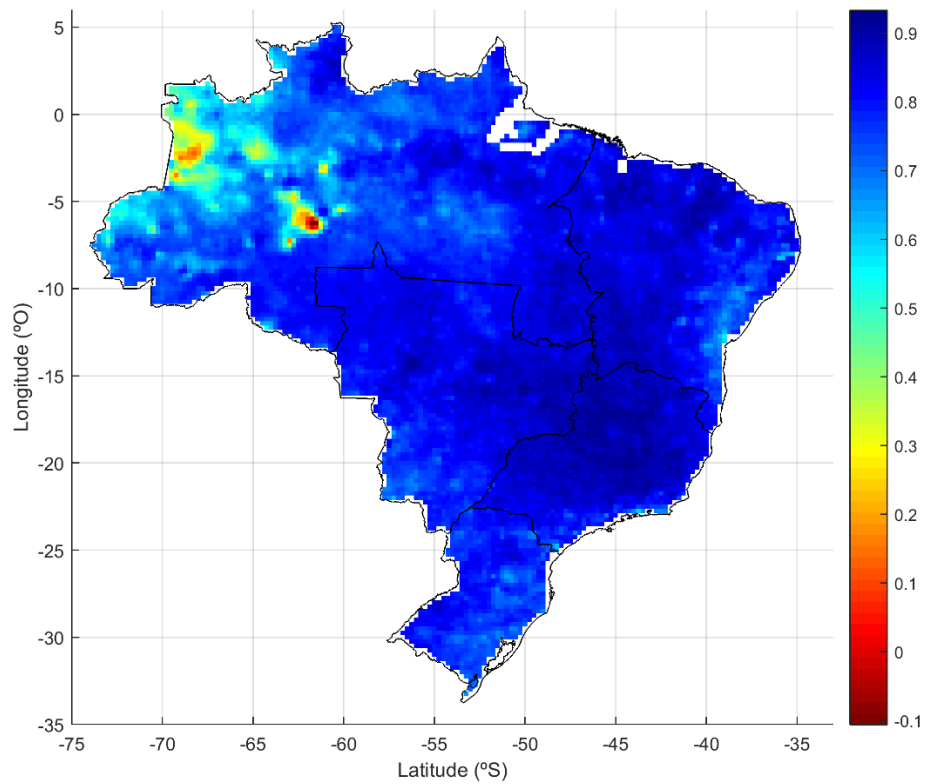
**Figura 1.9** – Distribuição espacial mensal do BIAS.



**Figura 1.10** – Distribuição espacial mensal do RMSE.

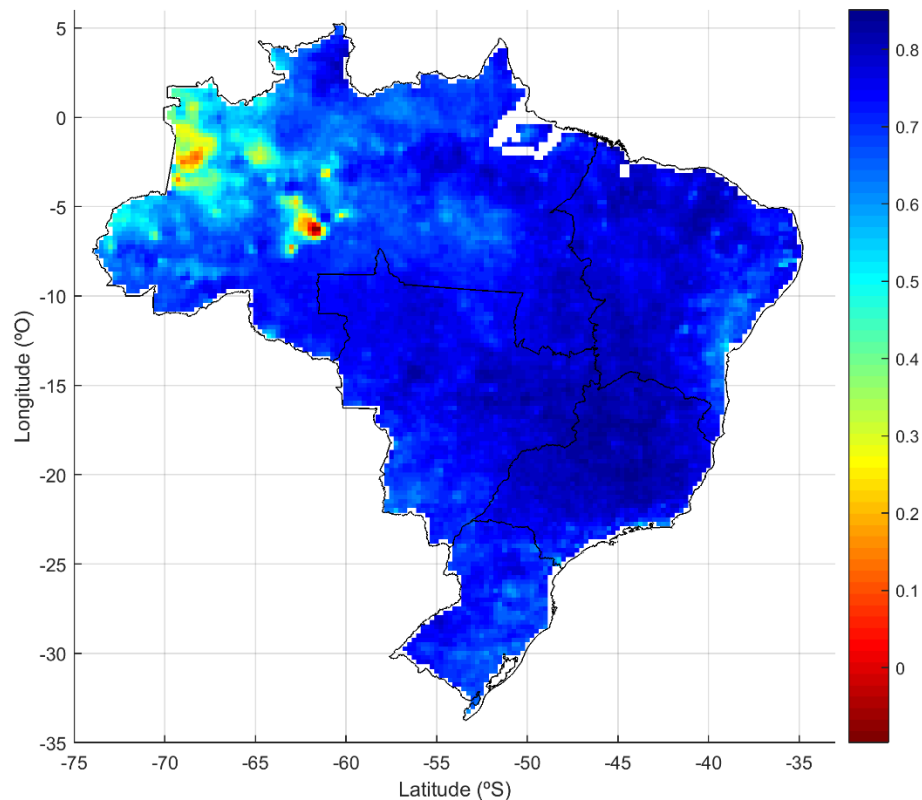


**Figura 1.11** - Distribuição espacial mensal do MAE.



**Figura 1.12** – Distribuição espacial mensal do  $d_r$ .





**Figura 1.13** - Distribuição espacial mensal do  $P_i$ .

#### 4.2 Análise regional e sazonal

A região Norte apresentou uma amplitude elevada nos valores das métricas analisadas, expondo maior incerteza (imprecisão) dos dados nesta região, em comparação com as demais regiões. De acordo com os gráficos de dispersão (Figura 1.14), para esta região, são visíveis pontos discrepantes abaixo da linha 1:1, estes pontos correspondem a valores extremamente elevados de precipitação mensal no conjunto de dados DPTI. Entretanto, há um bom acordo entre as bases de dados em grande parte desta região, pois o  $d_r \cong 0,75$  e o  $P_i \cong 0,64$  (Tabela 1.3 e Figuras 1.12 e 1.13).

As estimativas TRMM em média superestimam a precipitação em todas as regiões relativas à base DPTI, pois o BIAS é positivo em todas as regiões (Tabela 1.3). Os gráficos de dispersão (Figura 1.14) exibem maior dispersão dos dados na base DPTI do que na base TRMM. As regiões S, CO e SE apresentaram maior densidade de pontos próximo à linha 1:1, indicando redução no viés (bias).

Os maiores erros analisados pelas métricas são encontrados na região Norte do Brasil, provavelmente devido à grande área desta região aliada à baixa densidade de

pluviômetros na produção da base DPTI (Tabela 1.4 e Figura 1.7). Significativa heterogeneidade espacial, extensa área, grande volume pluviométrico e singularidade climática desta região limitam a confiança do valor da estimativa DPTI, a qual deveria refletir a ocorrência espacial da pluviosidade real.

De acordo com os resultados na Tabela 1.5, o padrão que pode ser destacado é que as maiores diferenças entre as estimativas TRMM e DPTI ocorrem durante os meses de dezembro a fevereiro, período normalmente de maior pluviosidade na maioria das regiões. Porém, há diferenças climáticas nas regiões, por exemplo como a região Norte, que apresenta pluviosidade elevada ao longo do ano.

Uma diminuição significativa no MAE é encontrada para os meses de inverno, junho julho e agosto (JJA), principalmente para as regiões N, CO e SE onde são encontrados menores índices pluviométricos. Os menores valores de  $d_r$  são encontrados para dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) para as regiões N e CO. Os menores valores de RMSE foram encontrados durante a estação seca (JJA) nas regiões SE, CO e NE. No Sudeste, onde  $RMSE_u = 13,52$  mm e  $RMSE_s = 3,15$  mm, verifica-se que 95% do MSE é não sistemático. Esse padrão ( $MSE_u > MSE_s$ ) é repetido para todas as regiões e estações do ano sugerindo uma variação aleatória e não previsível no erro inerente às estimativas TRMM.

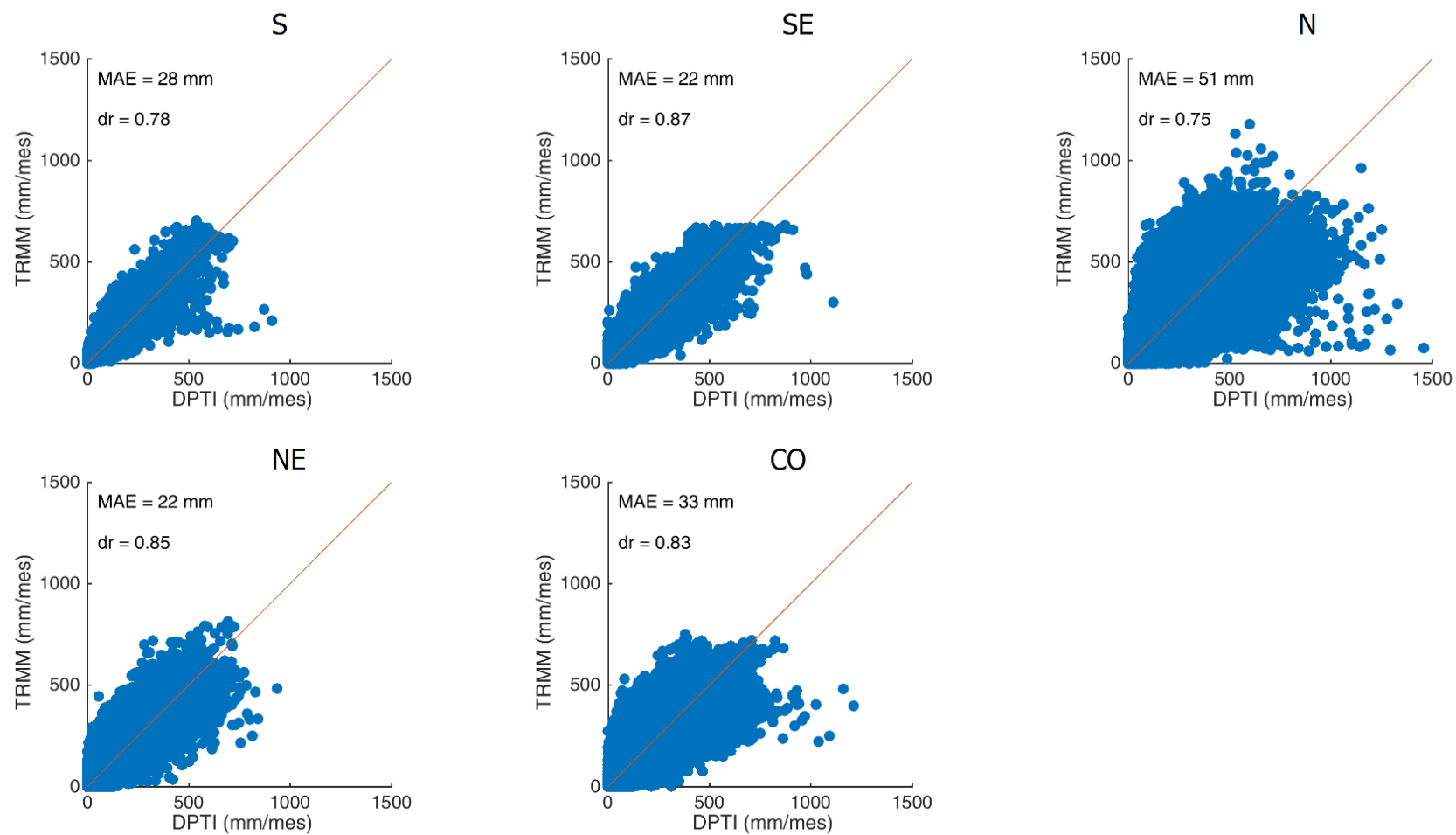
Melo et al. (2015) avaliaram a qualidade dos produtos TRMM 3B42V6 e 3B42V7 em uma base diária e mensal (através do somatório dos dados diários), para todo o Brasil. Em geral, ambas as versões apresentaram um bom desempenho em base mensal onde os valores de  $d_r > 0,70$ ). Em comparação com a versão 3B43V7 deste estudo, em média o  $d_r$  teve uma maior concordância ( $d_r > 0,81$ ). Estes autores encontraram que nas áreas litorâneas da região NE o MAE é menor do que no interior desta região, e a maior ocorrência de precipitação pode ter aumentado o erro. Mas, nesta pesquisa a versão 3B43V7 nas áreas litorâneas do NE não apresentou esta diferença.

**Tabela 1.3** - Valores médios regionais mensais do Bias, Erro Médio Absoluto, Índice Refinado de Acordo  $d_r$ , e componentes sistemáticos e não sistemáticos da Raiz do Erro Quadrático Médio.

	BIAS	MAE	$d_r$	$P_i$	RMSE <sub>u</sub> (MSE <sub>u</sub> /MSE)	RMSE <sub>s</sub> (MSE <sub>s</sub> /MSE)
Norte	8,59	50,87	0,75	0,64	70,90	0,95
Centro-Oeste	6,24	33,36	0,83	0,76	50,70	0,96
Nordeste	4,90	22,26	0,85	0,79	35,73	0,98
Sudeste	7,20	22,16	0,87	0,83	33,75	0,95
Sul	14,04	28,17	0,78	0,71	35,68	0,86

**Tabela 1.4** – Quantidade de pixels e média de pluviômetros para o período de estudo.

<b>Regiões</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Precipitação média anual DPTI (mm)</b>	<b>Precipitação média anual TRMM (mm)</b>	<b>Pixels TRMM</b>	<b>Média de pluviômetros disponíveis (1990-2013)</b>	<b>Densidade de Pluviômetros por área (km<sup>2</sup>)</b>
Norte	3.869.637	2158,6	2231,7	5092	442	0,000114
Centro-Oeste	1.612.077	1627,3	1627,3	2121	370	0,000230
Nordeste	1.556.001	1095,3	1159,6	2047	480	0,000308
Sudeste	927.286	1306,6	1404,3	1220	1058	0,001141
Sul	575.316	1600,7	1754	757	371	0,000645



**Figura 1.14** – Gráficos de dispersão dos dados de precipitação média mensal DPTI e TRMM.

**Tabela 1.5** - Valores Sazonais Mensais do Bias, Erro Médio Absoluto, Índice Refinado de Acordo  $d_r$ , e componentes sistemáticos e não sistemáticos da Raiz do Erro Quadrático Médio.

Região	Estação	MAE	$d_r$	$P_i$	RMSEu (MSEu/MSE)	RMSEs (MSEs/MSE)		
Norte	DJF	65,07	0,62	0,45	82,53	0,89	29,08	0,11
	MAM	63,56	0,68	0,52	81,83	0,90	27,93	0,10
	JJA	32,37	0,79	0,70	49,38	0,98	7,65	0,02
	SON	43,62	0,65	0,48	58,92	0,91	18,06	0,09
Centro-Oeste	DJF	56,49	0,65	0,49	69,37	0,86	28,04	0,14
	MAM	34,51	0,79	0,70	48,68	0,94	12,46	0,06
	JJA	7,79	0,77	0,67	14,57	0,97	2,77	0,03
	SON	35,36	0,74	0,62	47,81	0,93	12,73	0,07
Nordeste	DJF	31,01	0,80	0,73	43,04	0,95	9,96	0,05
	MAM	31,16	0,82	0,76	45,29	0,97	8,59	0,03
	JJA	12,76	0,83	0,75	22,30	0,83	10,05	0,17
	SON	14,49	0,84	0,78	23,92	0,97	4,49	0,03
Sudeste	DJF	37,64	0,79	0,72	46,34	0,85	19,69	0,15
	MAM	21,41	0,83	0,77	30,62	0,93	8,42	0,07
	JJA	7,44	0,83	0,76	13,52	0,95	3,15	0,05
	SON	22,34	0,84	0,78	31,98	0,95	7,01	0,05
Sul	DJF	33,52	0,73	0,63	39,85	0,81	19,50	0,19
	MAM	28,35	0,76	0,69	34,54	0,82	15,91	0,18
	JJA	21,12	0,81	0,76	27,89	0,91	8,89	0,09
	SON	29,85	0,78	0,72	37,85	0,85	15,78	0,15

## 5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, ao assumir os valores da base DPTI como valores observados pode-se concluir que há uma variação na qualidade da estimativa TRMM em função das regiões geográficas confrontado com a sazonalidade do clima. As estimativas de precipitação do satélite TRMM capturaram adequadamente os padrões espaciais de precipitação em todo o Brasil em cada estação do ano. Entretanto, o produto 3B43 do satélite TRMM tendeu a superestimar os valores de precipitação, os principais resultados das análises estão resumidos a seguir:

- Na região Norte, devido à menor quantidade de medições na composição da base DPTI, constatou-se um comportamento discrepante em relação aos dados TRMM;
- Os maiores desvios entre os dados TRMM e a base DPTI foram encontrados na estação chuvosa (DJF) quando o índice de concordância e o de desempenho são menores ( $\sim 0,7$

e ~ 0,6 respectivamente) assim como nas estações de menor precipitação, o índice de concordância e o de desempenho foram maiores (~ 0,8 e ~ 0,75, respectivamente);

- As discrepâncias entre TRMM e DPTI, dadas pelo RMSE são ocasionadas em sua maior parte por erros aleatórios.

Fundamentado pelos resultados, o uso das estimativas TRMM é válido, principalmente para as regiões extensas com pouca quantidade de postos pluviométricos, como as regiões N e NE, em que os dados do satélite fornecem informações valiosas acerca da precipitação. No entanto, ainda existem algumas limitações inerentes nas estimativas mensais do satélite TRMM, que estão relacionadas a erros não sistemáticos nas estimativas. É importante ressaltar que o acordo entre as estimativas TRMM e os dados DPTI é alto, mas observa-se menor acordo em épocas de maior precipitação, uma observação importante para a avaliação dos recursos hídricos.

## 6 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, C. T. DE et al. Avaliação das Estimativas de Precipitação do Produto 3B43-TRMM do Estado do Amazonas. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 3, p. 279–286, 2015.
- ALVARES, C. A. et al. Modeling monthly mean air temperature for Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 113, n. 3–4, p. 407–427, 2013.
- CAVALCANTI, I. F. A. et al. **Tempo e Clima no Brasil**. 1ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- CHAI, T.; DRAXLER, R. R. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? -Arguments against avoiding RMSE in the literature. **Geoscientific Model Development**, v. 7, n. 3, p. 1247–1250, 2014.
- CHEN, C. et al. An Improved Spatial Downscaling Procedure for TRMM 3B43 Precipitation Product Using Geographically Weighted Regression. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 8, n. 9, p. 4592–4604, set. 2015.
- CHEN, F. et al. Spatial downscaling of TRMM 3B43 precipitation considering spatial heterogeneity. **International Journal of Remote Sensing**, v. 35, n. July 2015, p. 3074–3093, 2014.
- CHIU, L.; SHIN, D.; KWIATKOWSKI, J. Surface rain rates from tropical rainfall measuring mission satellite algorithms. **Earth Science Satellite Remote Sensing**, 2006.

- COLLISCHONN, B.; ALLASIA, D. Desempenho do satélite TRMM na estimativa de precipitação sobre a bacia do Paraguai superior. **Revista Brasileira de ...**, v. 59, n. 1, p. 93–99, 2007.
- 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, n. 12, p. 1924–1933, 2011.
- COUNCIL, N. R. **Assessment of the Benefits of Extending the Tropical Rainfall Measuring Mission: A Perspective from the Research and Operations Communities, Interim Report**. Washington, DC: The National Academies Press, 2006.
- CURTARELLI, M. P.; RENNO, C. D.; ALCANTARA, E. H. Evaluation of the Tropical Rainfall Measuring Mission 3B43 product over an inland area in Brazil and the effects of satellite boost on rainfall estimates. **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 8, n. 1, p. 83589, 18 jul. 2014.
- DANELICHEN, V. H. DE M. et al. **TRMM satellite performance in estimated rainfall over the midwest region of Brazil**. **Revista Brasileira de Climatologia**, 9 dez. 2013.
- DUAN, Z.; BASTIAANSEN, W. G. M. First results from Version 7 TRMM 3B43 precipitation product in combination with a new downscaling-calibration procedure. **Remote Sensing of Environment**, v. 131, p. 1–13, 2013.
- FRANCHITO, S. H. et al. Validation of TRMM precipitation radar monthly rainfall estimates over Brazil. **Journal of Geophysical Research**, v. 114, n. D2, p. D02105, 2009.
- GUPTA, H. V. et al. Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. **Journal of Hydrology**, v. 377, n. 1–2, p. 80–91, 2009.
- KARASEVA, M. O.; PRAKASH, S.; GAIROLA, R. M. Validation of high-resolution TRMM-3B43 precipitation product using rain gauge measurements over Kyrgyzstan. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 108, n. 1–2, p. 147–157, 2012.
- KELKAR, R. R. **Satellite Meteorology**. [s.l.] BS Publications, 2007.
- KIDD, C.; LEVIZZANI, V. Status of satellite precipitation retrievals. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 15, n. 4, p. 1109–1116, 2011.
- KUMMEROW, C. et al. The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Sensor Package. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 15, n. 3, p. 9, 1998.
- KUMMEROW, C. et al. The Status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after Two Years in Orbit. **Journal of Applied Meteorology**, v. 39, n. 12, p. 1965–1982, 2000.

- LAWLER, A. NASA Climate Satellite Wins Reprieve. v. 305, p. 927, 2004.
- LEVIZZANI, V. Intense rainfall monitoring from geostationary satellites. **Conference on Satellite Meteorology and Oceanography, 9 th, Paris, France**, n. April, p. 327–330, 1999.
- LEVIZZANI, V.; AMORATI, R.; MENEGUZZO, F. A review of satellite-based rainfall estimation methods. **European Commission Project MUSIC Report (EVK1-CT-2000-00058)**, v. 66, 2002.
- MEHRAN, A.; AGHAKOUCHAK, A. Capabilities of satellite precipitation datasets to estimate heavy precipitation rates at different temporal accumulations. **Hydrological Processes**, v. 28, n. 4, p. 2262–2270, 2014.
- MELO, D. D. C. D. et al. Performance evaluation of rainfall estimates by TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis 3B42V6 and V7 over Brazil. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 120, n. 18, p. 9426–9436, 27 set. 2015.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. DE A. **Hidrologia Estatística**. [s.l.] CPRM, 2007.
- NASDA. **TRMM Data Users Handbook**. [s.l.] National Space Development Agency of Japan, 2001.
- NASTOS, P. T.; KAPSOMENAKIS, J.; PHILANDRAS, K. M. Evaluation of the TRMM 3B43 gridded precipitation estimates over Greece. **Atmospheric Research**, v. 169, p. 497–514, mar. 2016.
- PEREIRA, E. B. et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. [s.l.] INPE, 2006. v. 1
- PEREIRA, G. et al. 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, 2013.
- PETTY, G. W. The status of satellite-based rainfall estimation over land. **Remote Sensing of Environment**, v. 51, n. 1, p. 125–137, 1995.
- PMM. **Precipitation Measurement Missions**. Disponível em: <<http://pmm.nasa.gov/>>. Acesso em: 13 mar. 2016.
- PRAKASH, S. et al. Error characterization of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA-3B42) products over India for different seasons. **Journal of Hydrology**, 2015.
- REBOITA, M. S. et al. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185–204, 2010.
- TRMM. **The Tropical Rainfall Measuring Mission**. Disponível em: <<http://trmm.gsfc.nasa.gov/>>. Acesso em: 9 mar. 2016.
- TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. [s.l.] Editora da UFRGS, 2007.
- UNIDATA. **Unidata: Network Common Data Form (netCDF) version 4.4.0**. Disponível



em: <<http://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/>>. Acesso em: 8 maio. 2016.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, v. 2, n. 2, p. 184–194, 1981.

WILLMOTT, C. J. et al. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 90, n. C5, p. 8995–9005, 1985.

WILLMOTT, C. J.; ROBESON, S. M.; MATSUURA, K. A refined index of model performance. **International Journal of Climatology**, v. 32, n. 13, p. 2088–2094, 2012.

XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013). **International Journal of Climatology**, out. 2015.

## **CAPÍTULO 2 - COMPARAÇÃO ENTRE AS ESTIMATIVAS DE EROSIVIDADE UTILIZANDO DADOS DE PRECIPITAÇÃO INTERPOLADOS E DO TRMM (3B43V7)**

**RESUMO:** Em função da esparsa rede pluviométrica da região Norte, estimar a erosividade da chuva para esta região é uma tarefa difícil, sendo fundamental o estudo de alternativas como produtos de precipitação derivados de satélite. Nestas circunstâncias, o objetivo deste trabalho foi calcular para a região Norte o índice de erosividade com dados interpolados e dados do satélite TRMM utilizando equações propostas por Oliveira Junior, (1996). Após organizar os dados em ambiente MATLAB foi realizado o cálculo da erosividade. Os resultados mostram que o valor médio de erosividade para esta região foi em torno de 14.000 e 12.000 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para as equações em estudo. Apesar de próximos, o cálculo da erosividade com dados do satélite TRMM resultou em valores menores de erosividade. Isto significa que a utilização de dados interpolados pode superestimar o valor real da erosividade nesta região, devido a limitações inerentes ao banco de dados interpolado.

**Palavras-chave:** Erosão do Solo, Região Amazônica, Estatística Descritiva.

### **EVALUATING THE PERFORMANCE OF EROSIIVITY ESTIMATES USING DATA FROM TRMM SATELLITE IN THE AMAZON REGION OF BRAZIL**

**ABSTRACT:** The small and scattered pluviometric network of the North region hinders the estimation of the rainfall erosivity for this region. Therefore, it is fundamental to research alternatives such as satellite-derived precipitation products. Thus, the aim of this study was to calculate the erosivity index for the North region using interpolated data and data from the TRMM satellite using the equations proposed by Oliveira Junior, (1996). After organizing the data in MATLAB environment, the erosivity calculation was performed. The results show that the mean value of erosivity for this region was around 14,000 and 12,000 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> for the studied equations. Even though the results were close, the calculation of erosivity index using data from TRMM satellite resulted in lower values of the index. **So**, the erosivity index calculated from interpolated data can overestimate the real value of erosivity in this region due to limitations of the interpolated database.

**Keywords:** Soil Erosion, Amazon Region, Descriptive Statistics.

## 1. INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural não renovável formado lentamente ao longo do tempo. Este recurso é um dos responsáveis por manter a qualidade do ar e da água, sendo um dos principais componentes do ecossistema. Mediado pela erosão hídrica o manejo inadequado deste recurso pode levar a sua degradação trazendo uma série de efeitos prejudiciais, como a diminuição da produtividade agrícola, diferentes impactos sobre os recursos hídricos e o meio ambiente (OLIVEIRA et al., 2011; ROQUE; CARVALHO; PRADO, 2001).

A erosão do solo é um processo físico que requer energia, sendo dependente de vários fatores como: cobertura e erodibilidade do solo, topografia (declividade do terreno), velocidade do vento e em destaque a erosividade da chuva, pois a chuva fornece grande parte da energia requerida através da queda das gotas (MORGAN, 2009). A enorme magnitude da energia cinética de precipitação é rapidamente fornecida a partir de cálculos do poder erosivo da chuva. O peso morto da água que cai em 30 min. de uma tempestade comum pode muito bem ultrapassar 100 toneladas em cada acre (WISCHMEIER; SMITH, 1958).

A medição direta da erosividade da chuva é onerosa, pois necessita de elevado capital e recursos humanos e para calcular a estimativa da erosividade são necessárias longas séries históricas de precipitação e isto é um obstáculo para países tropicais em que a rede pluviométrica existente geralmente é insuficiente e esparsa. Para monitorar a energia cinética das chuvas e posterior cálculo da erosividade, existem alternativas, como os produtos de precipitação derivados de satélites, estes produtos estão disponíveis com diferentes resoluções temporais e para áreas quase globais, tendo como exemplo os produtos da estimativa da precipitação do satélite TRMM (FORCING; REGION, 2014; VRIELING; STERK; DE JONG, 2010).

Para determinação da estimativa da erosividade da chuva diversas pesquisam se baseiam na interpolação de dados pluviométricos. No Brasil, se destacam o mapeamento da erosividade para todo o país com krigagem feito por Oliveira et al. (2013) e com modelos multivariados de Mello et al. (2013). Todavia, nas regiões pobres em dados pluviométricos, isso não é uma opção, e afim de obter melhor acurácia na estimativa da erosividade pesquisadores têm utilizado estimativas de precipitação do satélite TRMM (VRIELING; STERK; DE JONG, 2010; ZHU et al., 2011) para posterior cálculo da perda de solo pela equação universal de perda de solo revisada (DUTTA et al., 2015).

Visando facilitar a determinação do índice de erosividade em outras localidades com tipo climático e precipitações semelhantes, análises de regressão são efetuadas correlacionando o índice de erosividade com os valores de precipitação, gerando equações específicas que podem ser aplicadas para outras regiões. Essas equações são amplamente utilizadas para obter os valores locais de erosividade a partir de dados pluviométricos (MEUSBURGER et al., 2012; OLIVEIRA JUNIOR, 1996).

Na elaboração das equações de erosividade é proposto que as séries de dados tenham preferencialmente 20 anos, período mínimo considerado adequado. Mas, vale lembrar que no Brasil, de modo geral, são poucas localidades que apresentam séries históricas com este período (OLIVEIRA et al., 2011). Tendo em conta estas limitações, pesquisadores geraram equações para diferentes localidades da região Norte com série de dados menores que 20 anos. Após testes preliminares com as equações encontradas na literatura, selecionou-se as que continham maior série de dados na sua elaboração e apresentaram valores coerentes de erosividade em testes preliminares.

Em função da carência de dados de precipitação na região Norte, torna-se fundamental o ajuste de regressões que permitam estimar a erosividade da chuva a partir de dados de precipitação. O uso de estimativas de precipitação por sensoriamento remoto pode contornar a carência de estações e pluviômetros, possibilitando obtenção de dados de erosividade mais representativos (FORCING; REGION, 2014; OLIVEIRA JUNIOR, 1996).

A região Norte do Brasil dispõe de uma pequena e esparsa rede pluviométrica para uma extensa área (~3,8 milhões de km<sup>2</sup>), aliada a singularidade climática e grande volume de precipitação como pode ser observado no capítulo 1 (Figura 1.7 e Tabela 1.4). Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi calcular o índice de erosividade com dados interpolados e dados de satélite, tendo em vista a avaliação e comparação entre as estimativas de erosividade para visualizar a diferença entre as entradas de dados nas equações de erosividade.

## **2. EROSIVIDADE DA CHUVA**

De acordo com Bertoni & Lombardi Neto (2012), o índice de erosividade é uma avaliação numérica que prediz a capacidade que a chuva terá de erodir o solo. Ou seja, expressa a capacidade da chuva em dada localidade, de causar erosão em uma área sem proteção do solo. Renard et al. (1997) definiram que a expressão que melhor representa o

potencial da chuva em causar erosão é a energia cinética em sua intensidade máxima em 30 minutos.

Segundo Wischmeier (1959), para determinar a equação de erosividade para uma região é necessário classificar a chuva em erosiva ou não, com uma série histórica longa, preferencialmente 20 anos de dados com mensurações de meia em meia hora. No Brasil, os períodos de precipitação considerados para serem isolados e não erosivos, estão separados por períodos de precipitação entre 0 mm (sem chuva) e 1 mm por pelo menos 6 horas. E considerados como erosivos quando ocorre 6 mm de precipitação em 15 min. ou 10 mm ao longo de um período de tempo maior (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012; WISCHMEIER, 1959).

A precipitação quando classificada como erosiva é analisada em segmentos de mesma intensidade, a fim de realizar o cálculo da energia cinética de todos os segmentos com precipitação uniforme pela Eq. (1). A energia cinética total de chuva é obtida pela soma da energia cinética de todos os segmentos uniformes de precipitação (WISCHMEIER et al., 1978).

$$E_c = 0,119 + 0,0873 \log i$$

(Eq. 1)

Em que:

$E_c$  = energia cinética em MJ ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>;

$i$  = intensidade da chuva em mm h<sup>-1</sup>.

Posteriormente, a energia cinética total da chuva ( $E_{ct}$ ) é obtida adicionando a energia cinética de todos os segmentos uniformes de chuva. O produto da  $E_{ct}$  pela intensidade da chuva em 30 min. (eq.2) expressa o índice de erosividade no segmento analisado.

$$EI_{30} = E_{ct} * I_{30}$$

(Eq. 2)

Onde:

$EI_{30}$  = índice de erosividade (MJ ha<sup>-1</sup>);

$E_{ct}$  = energia cinética total da chuva (MJ ha<sup>-1</sup>);

$I_{30}$  = intensidade máxima em 30 min, (mm h<sup>-1</sup>).

O índice de erosividade médio anual é obtido pelo somatório de  $EI_{30}$  dado pela equação 3:

$$R = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{m_j} (EI_{30})_k$$

(Eq. 3)

Em que:

**R** = Erosividade anual média (MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>);

**n** = número de anos de registros;

**m<sub>j</sub>** = número de eventos erosivos em um dado ano **j**;

**EI<sub>30</sub>** = índice de erosividade da chuva de um único evento **k**.

A erosividade é um importante fator na estimativa da perda de solo. Diversas pesquisas utilizam interpolação de dados de precipitação ou estimativas de satélite, para calcular este índice. A interpolação de dados pluviométricos é frequente para estimar a erosividade em pequenas bacias, municípios ou em todo Brasil (MELLO et al., 2013, 2015; OLIVEIRA; WENDLAND; NEARING, 2013); em diferentes localidades do mundo há pesquisas com o uso da estimativa do satélite TRMM para calcular a erosividade, como na Austrália (TENG et al., 2016) , Índia (DUTTA et al., 2015), China (ZHU et al., 2011) e África (VRIELING; STERK; DE JONG, 2010).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O primeiro banco de dados de precipitação são as estimativas provenientes do satélite TRMM, produto 3B43-V7. Esta base foi adquirida pela plataforma Giovanni, que é um ambiente on-line da NASA. O segundo banco de dados foi elaborado por Xavier; King; Scanlon (2015), estes dados foram obtidos a partir de 3625 pluviômetros e 735 estações meteorológicas para o período de 1980 a 2013, em que os autores testaram seis diferentes métodos de interpolação a partir da validação cruzada. Ambas as bases de dados possuem a mesma resolução espacial (0.25° x 0.25°) e os dados foram utilizados para o mesmo período de tempo (janeiro de 1998 a dezembro de 2013).

Para o cálculo do índice de erosividade na região Norte, utilizou-se duas equações propostas por Oliveira Junior, (1996). Ambas as equações foram estabelecidas para a região de Conceição do Araguaia no estado do Pará e possuem série história de 8 anos de dados pluviométricos.

$$EI_{30} = 70,8 + 6,2 * PMensal$$

(Eq. 4)

$$EI_{30} = 321,5 + 36,2 * MFI$$

(Eq. 5)

Onde:

$$MFI = \frac{(PMensal)^2}{PAnual}$$

(Eq. 6)

Em que:

**MFI** = Índice modificado de Fournier;**PMensal** = precipitação média mensal do mês i (mm);**PAnual** = precipitação média anual do ano i (mm).

Os bancos de dados DPTI e TRMM foram organizados em ambiente MATLAB para posterior cálculo da erosividade média anual a partir do uso das duas equações propostas por Oliveira Junior, (1996). Para ambos os bancos de dados, foi realizado o cálculo da erosividade para cada equação e são referidos a partir de agora como: Erosividade Média Anual 1 (R1) quando aplicada a equação 4 e Erosividade Média Anual 2 (R2) quando aplicada a equação 5.

Visando compreender a diferença entre as entradas de dados, DPTI (considerado como valor observado) e TRMM (valor estimado), ambas as erosividades calculadas para cada equação foram avaliadas pelas métricas: erro médio absoluto (**MAE**) equação 7; índice de concordância refinado ( $d_r$ ), equação 8; erro quadrático médio (MSE), equação 9; raiz do erro quadrático médio (RMSE), equação 10; e o viés (BIAS), equação 11.

$$MAE = N^{-1} \sum_{i=1}^N |O_i - S_i|$$

(Eq.7)

$$d_r = \begin{cases} 1 - \frac{\sum_{i=1}^N |S_i - O_i|}{2 \sum_{i=1}^N |O_i - \bar{O}|}, & \text{se } \sum_{i=1}^N |S_i - O_i| \leq 2 \sum_{i=1}^N |O_i - \bar{O}| \\ \frac{2 \sum_{i=1}^N |O_i - \bar{O}|}{\sum_{i=1}^N |S_i - O_i|} - 1, & \text{se } \sum_{i=1}^N |S_i - O_i| > 2 \sum_{i=1}^N |O_i - \bar{O}| \end{cases}$$

(Eq. 8)

$$\text{MSE} = N^{-1} \sum_{i=1}^N (S_i - O_i)^2$$

(Eq. 9)

$$\text{RMSE} = \sqrt{\text{MSE}}$$

(Eq. 10)

$$\text{BIAS} = \bar{S}_i - \bar{O}_i$$

(Eq. 11)

Em que:

$O_i$  = erosividade mensal DPTI;

$S_i$  = erosividade mensal TRMM;

$N$  = tamanho da amostra;

$\bar{O}_i$  = erosividade mensal média DPTI;

$\bar{S}_i$  = erosividade mensal média TRMM.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Variabilidade espacial da erosividade

A variabilidade espacial da erosividade média anual (R) para as equações R1 e R2 e as diferentes entradas de dados são apresentadas na Figura 2.1. O valor médio de R, considerado alto por Dutta et al. (2015), foi em torno de 14.000 para R1 e 12.000 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para R2, assim como as médias das métricas de erro encontram-se na Tabela 2.1. Na região Norte Mello et al. (2013) encontraram valores de erosividade média anual maiores que 16.000 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, e Oliveira et al. (2013) obtiveram valores máximos de 22.452 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

De acordo com a tabela 2.1, os valores de erosividade TRMM e DPTI para as duas equações apresentaram alta concordância ( $d_r \geq 0,85$ ). Os valores médios da erosividade TRMM e DPTI são próximos. Entretanto, devido ao BIAS negativo, a erosividade DPTI apresentou valores maiores de erosividade para ambas as equações (R1 e R2). Isto significa que a utilização de dados interpolados gerou valores maiores de erosividade quando comparados com dados de satélite para esta região.



**Tabela 2.1** - Erosividade média anual ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) da região Norte e as métricas de erros: BIAS, Erro Médio Absoluto, Índice Refinado de Acordo  $d_r$  entre as entradas de dados.

	DPTI	TRMM	BIAS	RMSE	MAE	$d_r$
R1	14.233,00	14.686,00	-37,42	177,03	142,16	0,85
R2	12.571,00	12.778,00	-17,26	177,36	121,65	0,88

As menores diferenças entre os índices de erosividade foram encontradas para R2, em que essa equação utiliza o MFI (índice modificado de Fourier). A diferença entre as erosividades DPTI e TRMM pode ser explicada pela Tabela 2.2, onde a estimativa DPTI foi calculada pela interpolação de 442 pluviômetros em média, para uma área de 3.869.637,9  $\text{km}^2$ , refletindo nas diferenças encontradas para os índices de erosividade DPTI E TRMM.

Fatores que causam a diferença entre os índices de erosividade podem ser elencados como cobertura insuficiente de estações pluviométricas, elevada intensidade da precipitação, influências de fenômenos climáticos como El Niño e La Niña e de forma geral a singularidade climática da região, que limitam a confiança da estimativa DPTI em retratar o padrão real de precipitação nesta região (MELLO et al., 2013, 2015; OLIVEIRA; WENDLAND; NEARING, 2013).

**Tabela 2.2** – Quantidade de pixels e média de pluviômetros para a região Norte.

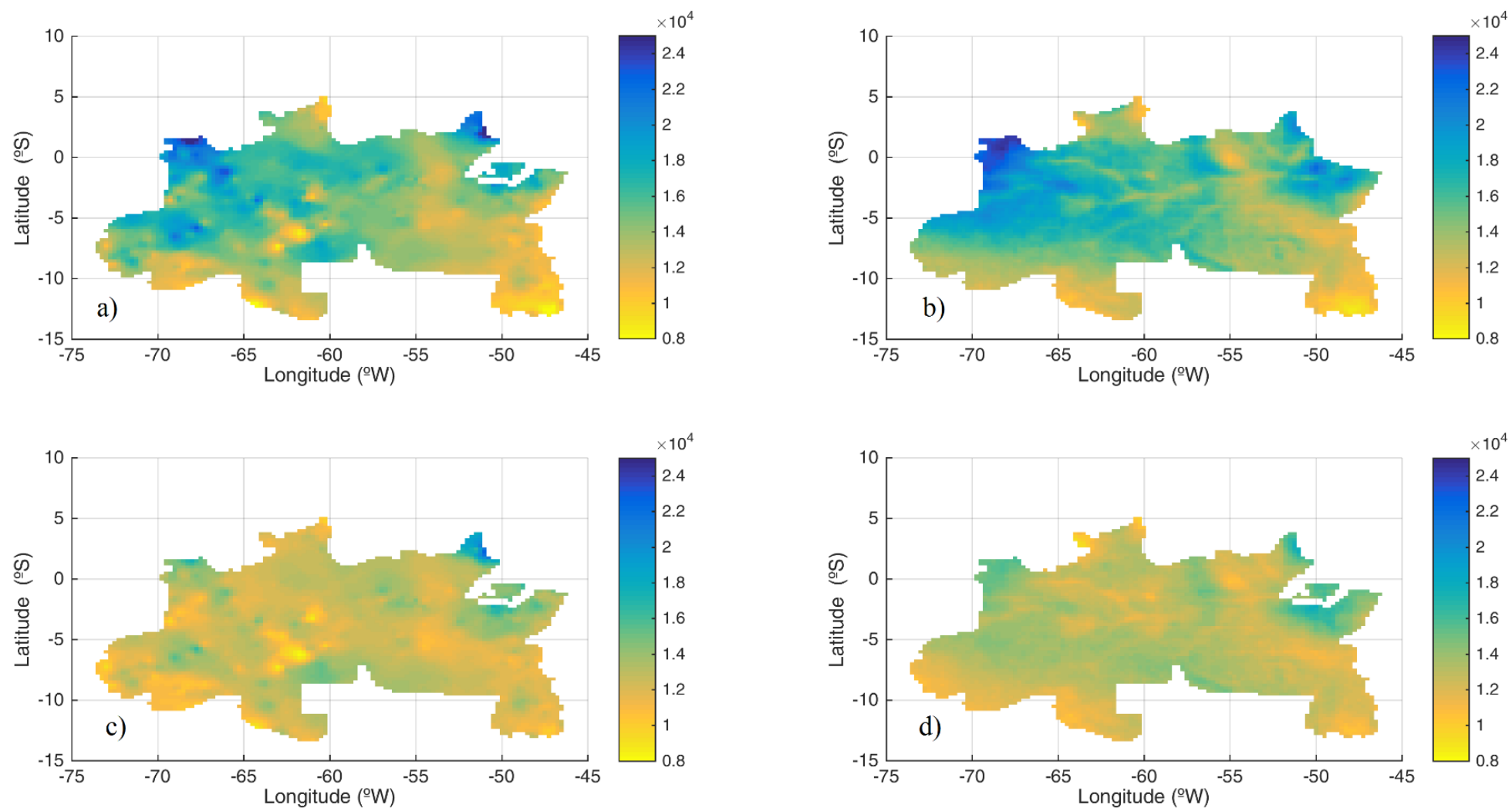
Região	Área ( $\text{km}^2$ )	Precipitação média anual DPTI (mm)	Precipitação média anual TRMM (mm)	Pixels TRMM	Média de pluviômetros disponíveis (1990-2013)	Densidade de Pluviômetros por área ( $\text{km}^2$ )
Norte	3869637,9	2158,6	2231,7	5092	442	0,000114

As Figuras 2.2 e 2.3 mostram a variabilidade espacial do erro (diferença) encontrada entre as bases de dados conforme as equações utilizadas. De acordo com a Tabela 2.1, as maiores diferenças entre as bases de dados DPTI e TRMM são encontradas para R1, equação que utiliza somente o valor da precipitação média mensal para o cálculo da erosividade. É importante ressaltar que na Figura 2.2 algumas regiões apresentaram  $d_r$  negativo, isto significa que os resultados DPTI e TRMM são totalmente discordantes nessas regiões. Ao observar os resultados obtidos com R2, equação que utiliza MFI, as diferenças entre as bases de dados são menores, sem valores negativos do  $d_r$  e BIAS mais próximos de zero.

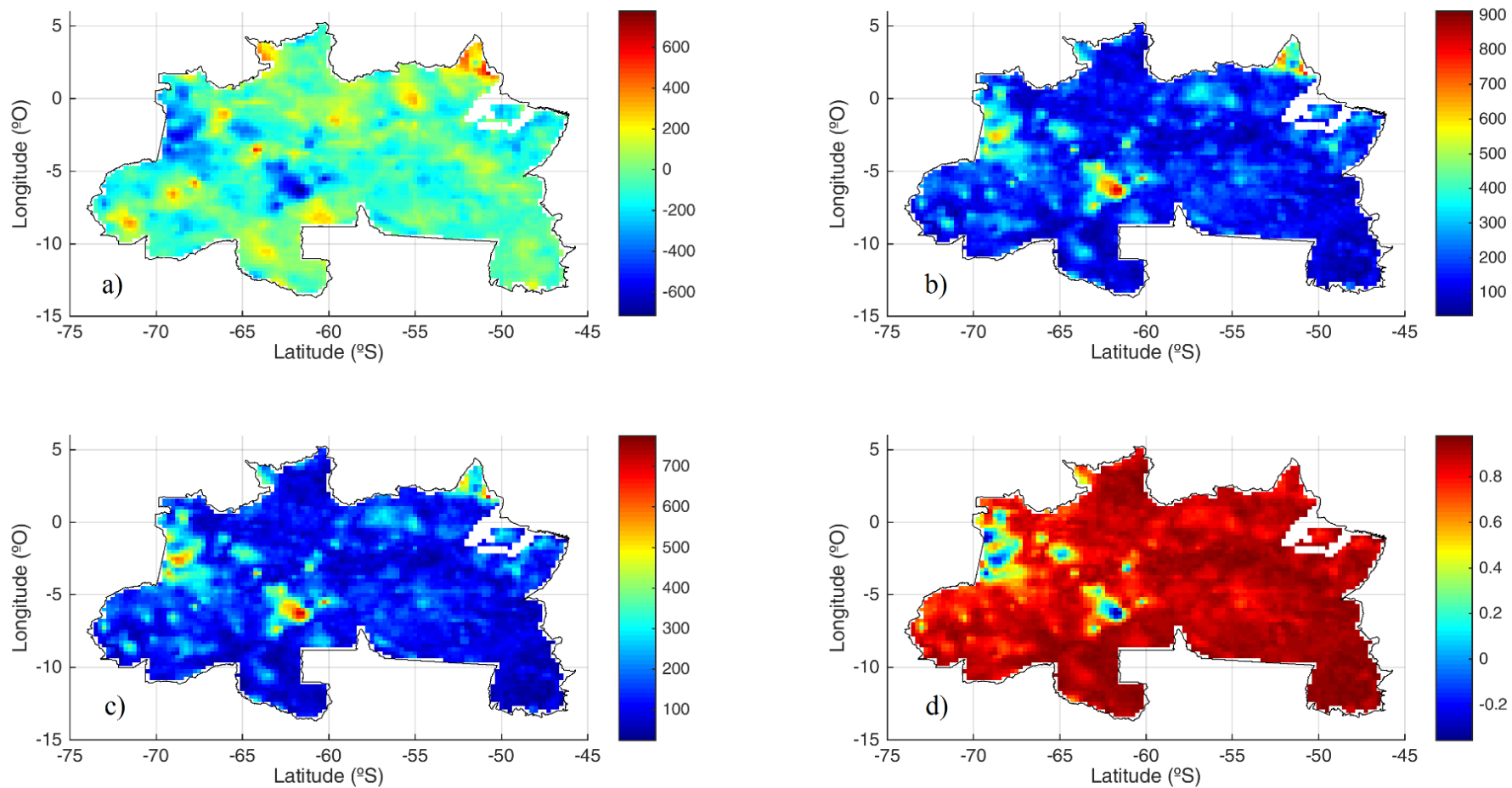
Embora os resultados prevejam satisfatoriamente o fator R para toda região Norte, é importante ressaltar a limitação do estudo em relação ao uso das equações para estimativa da

erosividade. Já que a generalização destas equações para grandes áreas produz erros, entretanto a falta de equações e precária rede pluviométrica da região, deixa a comunidade acadêmica com poucas opções (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

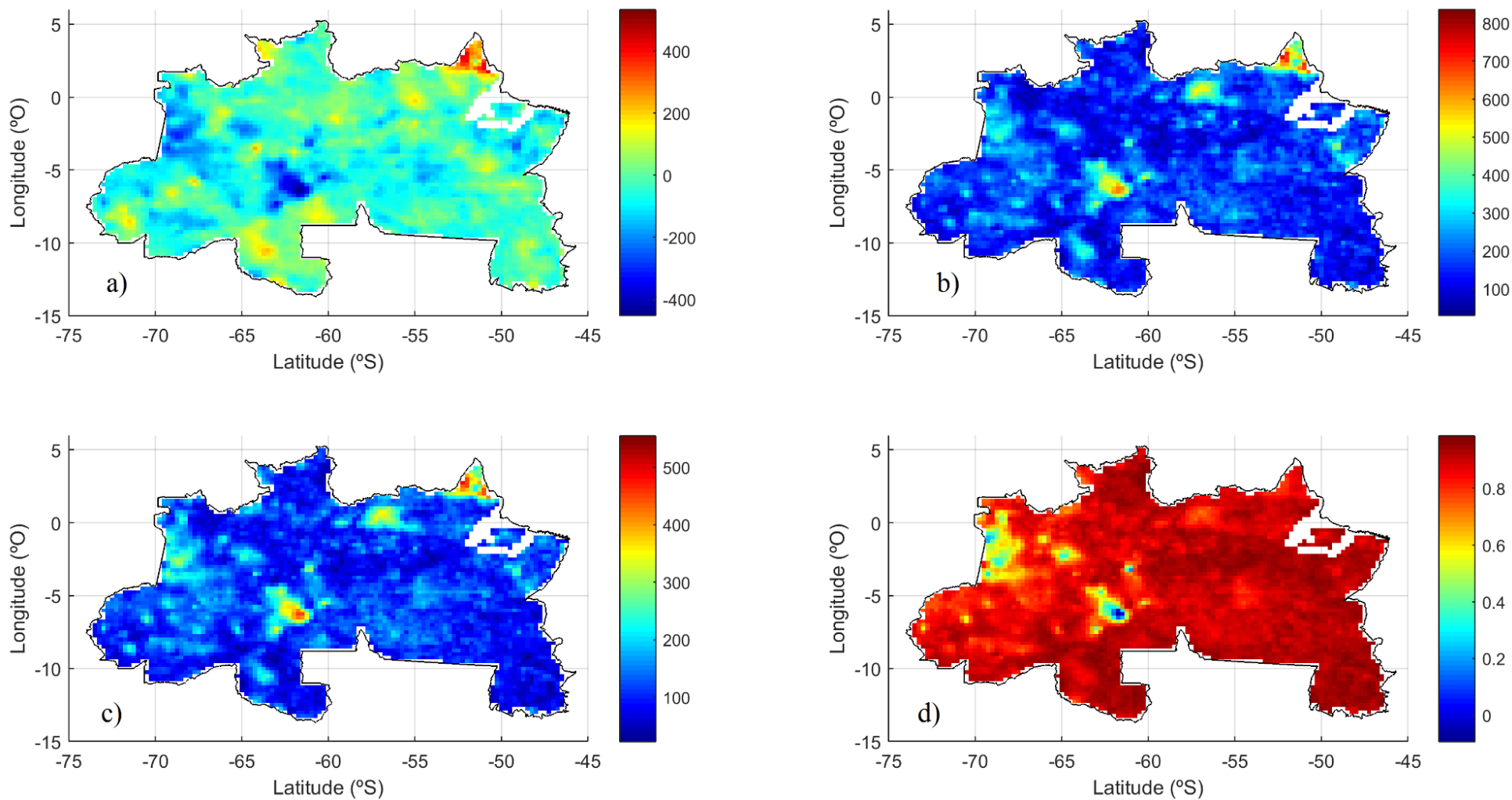
Com a transição da missão TRMM para a Global Precipitation Measurement (GPM), a NASA está disponibilizando estimativas de precipitação de meia em meia hora, com resolução de  $0,1^\circ \times 0,1^\circ$  e cobertura da latitude de 65 graus norte a 65 graus sul. Mesmo esta série de dados ainda sendo pequena, trabalhos com dados TRMM fornecem bases para posterior uso das estimativas GPM e podem trazer resultados promissores no estudo da erosividade da chuva.



**Figura 2.15** – Distribuição espacial da erosividade média anual (MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>). a) R1 DPTI; b) R1 TRMM; c) R2 DPTI e d) R2 TRMM.



**Figura 2.16** - Distribuição espacial mensal das métricas BIAS (a), RMSE (b), MAE (c) e índice de concordância  $d_r$  (d) para R1 DPTI e R1 TRMM.



**Figura 2.17** - Distribuição espacial mensal das métricas BIAS (a), RMSE (b), MAE (c) e índice de concordância  $d_r$  (d) para R2 DPTI e R2 TRMM.

## 5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que o uso das estimativas do satélite TRMM foi eficiente para o cálculo da erosividade na região Norte. A equação R2 apresentou resultados menos discrepantes ao se aplicar os dois conjuntos de dados, devido à utilização do índice modificado de Fourier em sua constituição. Os principais resultados das análises estão resumidos a seguir:

- As entradas de dados DPTI e TRMM resultaram em valores de erosividade em torno de 14.000 para R1 e 12.000 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para R2 para ambas as bases de dados, sendo os menores valores obtidos quando utilizados os dados TRMM;
- O cálculo da erosividade com dados DPTI pode superestimar o valor real da erosividade na região Norte devido a limitações inerentes ao banco de dados interpolados.

Fundamentado pelos resultados, o uso das estimativas TRMM é válido para o cálculo da erosividade, em especial para a região Norte do país, por ser uma área extensa com pouca quantidade de postos pluviométricos, em que os valores de erosividade calculados com dados de satélite foram menores quando comparados com dados de precipitação interpolados.

## 6 REFERÊNCIAS

- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 8ª edição ed. [s.l.] Ícone Editora, 2012.
- DUTTA, D. et al. Soil erosion risk assessment in Sanjal watershed, Jharkhand (India) using geo-informatics, RUSLE model and TRMM data. **Modeling Earth Systems and Environment**, v. 1, n. 4, p. 37, 2015.
- FORCING, C.; REGION, M. **Storminess and Environmental Change**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2014. v. 39
- MELLO, C. R. et al. Multivariate models for annual rainfall erosivity in Brazil. **Geoderma**, v. 202–203, p. 88–102, 2013.
- MELLO, C. R. et al. Interpolation methods for improving the RUSLE R-factor mapping in

- Brazil. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 70, n. 3, p. 182–197, 2015.
- MEUSBURGER, K. et al. Spatial and temporal variability of rainfall erosivity factor for Switzerland. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 16, n. 1, p. 167–177, 2012.
- MORGAN, R. P. C. **Soil Erosion and Conservation**. 3 edition ed. [s.l.] Wiley-Blackwell, 2009.
- OLIVEIRA, P. T. S. et al. Erosion Risk Mapping Applied to Environmental Zoning. **Water Resources Management**, v. 25, n. 3, p. 1021–1036, 16 fev. 2011.
- OLIVEIRA, P. T. S.; WENDLAND, E.; NEARING, M. A. Rainfall erosivity in Brazil: A review. **Catena**, v. 100, p. 139–147, 2013.
- OLIVEIRA JUNIOR, R. C. DE. Índice de erosividade das chuvas na região de Conceição do Araguaia, Pará. **EMBRAPA-CPATU. Boletim de Pesquisa**, p. 20, 1996.
- RENARD, K. G. et al. **Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)**. [s.l.] U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 1997.
- ROQUE, C. G.; CARVALHO, M. P.; PRADO, R. M. Fator erosividade da chuva de Piraju (SP): distribuição, probabilidade de ocorrência, período de retorno e correlação com o coeficiente de chuva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 1, p. 147–156, mar. 2001.
- TENG, H. et al. Assimilating satellite imagery and visible-near infrared spectroscopy to model and map soil loss by water erosion in Australia. **Environmental Modelling and Software**, v. 77, p. 156–167, 2016.
- VRIELING, A.; STERK, G.; DE JONG, S. M. Satellite-based estimation of rainfall erosivity for Africa. **Journal of Hydrology**, v. 395, n. 3–4, p. 235–241, 2010.
- WISCHMEIER, W. H. A Rainfall Erosion Index for a Universal Soil-Loss Equation<sup>1</sup>. **Soil Science Society of America Journal**, v. 23, p. 246–249, 1959.
- WISCHMEIER, W. H. et al. **Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning**. [s.l.] Science and Education Administration, U.S. Department of Agriculture, 1978.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relation to soil loss. **Transactions of the American Geophysical Union**, n. 39, p. 285–291, 1958.
- ZHU, Q. et al. A new procedure to estimate the rainfall erosivity factor based on Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) data. **Science China Technological Sciences**, v. 54, n. 9, p. 2437–2445, 2011.