
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E
TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO

VALIDAÇÃO DAS ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÃO
OBSERVADAS PELO TROPICAL RAINFALL MEASURING
MISSION PARA O BRASIL

NICOLAS ALEXANDRE GAMA

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Mikosz Gonçalves

Dissertação de Mestrado

Recife, 2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E
TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO

Nicolas Alexandre Gama

VALIDAÇÃO DAS ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÃO
OBSERVADASPELO TROPICAL RAINFALL MEASURING MISSION PARA
O BRASIL

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, área de concentração Geodésia defendida e aprovada em 11 de março de 2016.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Mikosz Gonçalves

Recife
2016

Catálogo na fonte

Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

G184v Gama, Nicolas Alexandre.

Validação das estimativas de precipitação observadas pelo Tropical Rainfall Measuring Mission para o Brasil/ Nicolas Alexandre Gama. - Recife: O Autor, 2016.

156 folhas, il.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Mikosz Gonçalves.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2016.

Inclui Referências.

1. Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. 2. Geodésia ambiental. 3. Sensoriamento remoto. 4. TRMM. 5. Precipitação. I. Gonçalves, Rodrigo Mikosz (Orientador). II. III. Título.

526.1 CDD (22. ed.)

UFPE/BCTG/2016-172

NICOLAS ALEXANDRE GAMA

**VALIDAÇÃO DAS ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÃO OBSERVADAS
PELO TROPICAL RAINFALL MEASURING MISSION PARA O BRASIL.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal
de Pernambuco como parte dos requisitos para
obtenção do título de mestre em Ciências
Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Aprovado em: 11 / 03 / 2016

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rodrigo Mikosz Gonçalves(Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Haroldo Antonio Marques (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Vagner Gonçalves Ferreira (Examinador Externo)
Hohai University - China

À minha amada filha,
Que com sua pureza,
Vem me ensinando a viver e
A perceber o verdadeiro sentido ser.

AGRADECIMENTOS

Ao término do Curso de Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, percebi que em todo este tempo em minha vida sempre encontrei mãos que me puxassem para cima, assim, venho agradecer:

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação - PPGCGTG pela oportunidade e estrutura necessária à realização desta.

A CAPES, pela bolsa de estudos que possibilitou a conclusão desse mestrado.

Há muitos professores, não somente pelo que me ensinaram, mas também pela dedicação em ensinar e passar conhecimentos para minha formação profissional, com destaque a Professora Dr^a Ana Lúcia e Professor Dr. José Luís Portugal.

Ao Professor Dr. Rodrigo Mikosz Gonçalves pela sua orientação, conselhos e confiança que possibilitaram a conclusão deste trabalho.

Aos Professores Dr. Haroldo Antônio Marques, Dr. Vagner Gonçalves Ferreira e Dr. Francisco Jaime Bezerra Mendonça, pelas orientações e correções nas etapas de qualificação e andamento desta.

Aos meus pais, Simone e Flávio, pela formação do meu caráter, da personalidade da pessoa que sou hoje, e por terem me feito entender que o futuro se faz do presente.

À minha família, pela compreensão da minha ausência, dedicada aos estudos para conclusão desse curso e elaboração dessa pesquisa, que sempre me incentivou, fazendo-me entender que o futuro se faz da dedicação no presente, especialmente à mãe e avós da minha princesa Isabela, Letícia, Carlos e Joselina por cuidarem e educarem tão bem do nosso precioso tesouro, me dando tranquilidade para galgar degraus ainda mais altos durante essa jornada.

Aos meus estimados padrastos, Germana e Jorge, por se preocuparem tanto com o andamento da minha pesquisa e por todo apoio oferecido.

À minha querida avó Josete, por todo o carinho e brilho nos olhos que sempre me fazem lembrar que esta vitória não é só minha.

Aos meus irmãos, Flávio e Caio, por todo o companheirismo. E Vitória e Pedro por despertar em mim a responsabilidade de ser para eles, um espelho no futuro.

À Professora Dr^a Rochana Campos, por todo o conhecimento e confiança transmitidos a mim durante toda a minha graduação e incentivo para iniciar esse mestrado.

Ao meu companheiro de PIBIC, amigo e irmão, Anderson, por todo o apoio e logística em praticamente toda a minha vida acadêmica.

Aos meus amigos de graduação, mestrado e apartamento, Henrique Lacet e Alexandre Normande, ao meu amigo de CEFET/AL, Felipe Alencar, que agregou ainda mais a minha estadia em Recife e por inúmeras vezes contribuiu com sua experiência em programação, seja em exercícios extraclasse como também em minha dissertação, além de ser uma extensão da minha família.

Aos meus colegas de mestrado, os quais compartilharam momentos de extrema valia, aprendizagem e companheirismo. Em especial: Elaine, Túllio, Raul, Talita, Ariely e André.

Aos colegas de LocarTop Engenharia, vulgo Passadores de Bola, os quais me transmitiram valores que carregarei comigo por toda a vida e por todas as confraternizações e reuniões no China Bar, ficarão guardados comigo, especialmente a Fábio, Eduardo, Thomás e Renan.

À Elaine Chagas, por me contagiar tanto com sua paz de espírito, me dando mais tranquilidade na reta final desta dissertação, por ter estendido a mão e me ajudado a suportar todo o peso e sofrimento vivido. Por sua presença e participação na conclusão desta dissertação.

Enfim, a todos que de forma direta e indireta auxiliaram-me a chegar até aqui e prosseguir que não foram citados.

Muito obrigado a todos!

RESUMO

GAMA, Nicolas Alexandre. **Validação das estimativas de precipitação pelo tropical rainfall measuring mission para o Brasil**. Recife, 2016, 156 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) - Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.

A precipitação é considerada um elemento fundamental e de grande importância no ciclo hidrológico, pois é através dela que é feita a recarga hídrica nas bacias hidrográficas e nas reservas subterrâneas. O monitoramento meteorológico é de grande importância para as nações, este monitoramento pode ser feito através de diversos métodos e instrumentos, sejam eles terrestres ou orbitais. No Brasil problemas relacionados à seca tornam-se preocupantes e estão presentes na sociedade moderna. O estudo e entendimento de comportamentos de padrões espaciais de informações sobre precipitações é uma ferramenta importante para a tomada de decisão. Observações obtidas por sensores a bordo de satélites artificiais na órbita da Terra auxiliam na medição do volume de chuva em uma dada região. Para esta dissertação foram utilizados como materiais um conjunto de dados gratuitos de precipitação do TRMM (TROPICAL RAINFALL MEASURING MISSION) através de um dos seus produtos disponíveis chamado de Rainfall Product (3B43). Atualmente estes recursos vêm sendo utilizado em diversas pesquisas onde entre suas vantagens encontram-se: a periodicidade de amostragem (resolução temporal) e abrangência superior às estações meteorológicas. Porém, as observações dos sensores orbitais apresentam algumas desvantagens como, por exemplo, a resolução espacial da informação da precipitação, sendo recomendado estabelecer critérios para as análises e validação das estimativas. Sendo assim, além de dados orbitais, informações sobre séries históricas de precipitação obtidas por estações meteorológicas que são operados por diversos órgãos públicos foram utilizadas. Desta forma, foram delineados objetivos para essa pesquisa sendo eles: (i) avaliar os dados do TRMM, a fim de validá-los como um instrumento de monitoramento de precipitação para o Brasil; (ii) comparar as informações históricas do TRMM as respectivas estações de campo em amostras no território brasileiro e assim determinar a correlação entre estes produtos; (iii) Avaliar os dados TRMM de precipitação com base no período de 2000 até 2014 aplicando um teste de normalidade a fim de verificar regiões onde existe maior igualdade estatística entre os produtos. Para a avaliação e validação dos dados do produto TRMM 3B43 em relação às séries históricas das estações meteorológicas, foram feitas análises estatísticas como

a correlação entre os dados e o teste de Kolmogorov-Smirnov entre as duas Grades de informações. Espera-se através desta pesquisa contribuir com o uso e divulgação de informações temporais do TRMM para o monitoramento de precipitação no território brasileiro. Através da análise estatística entre os dois conjuntos de dados, percebeu-se que há sim a possibilidade de utilização dos dados do satélite TRMM para verificar o comportamento das curvas de precipitação, contribuindo ainda mais em regiões onde há escassez de dados *in situ* como o caso da região Amazônica.

Palavras-chave: geodésia ambiental, sensoriamento remoto, TRMM, precipitação.

ABSTRACT

GAMA, Nicolas Alexandre. **Validation of precipitation estimates by tropical rainfall measuring mission for Brazil**. Recife, 2016, 156 p. Dissertation (Master Degree in Geodetic Science and Geoinformation Technologies) - Center of Technology and Geosciences, Federal University of Pernambuco, Brazil.

Meteorological monitoring is considered very important to the nations, and this can be done through various methods and instruments, among them are the terrestrial and orbital. In Brazil drought-related problems become worrisome and are present in modern society. The study and understanding of behaviors of spatial patterns about precipitations is an important tool for decision making. Observations obtained by remote sensing using artificial satellites can give support for measuring rainfall in a given region. The materials used in this work was a set of free rainfall data from TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) considering Rainfall Product (3B43). Nowadays these resources have been used in several researches presenting some advantages and between these are: sampling frequency (temporal resolution) and higher coverage compared to the *in situ* stations. However, there are some disadvantages, for e.g., the rainfall spatial resolution and the requirement to establish some criteria for analysis and data validation. Therefore, in addition to orbital data, information on historical precipitation series obtained by *in situ* stations that are operated by public organizations has been used. Thus, goals have been set for this research which are: (i) evaluate the TRMM data in order to validate it as a rainfall monitoring instrument for Brazil; (ii) obtain satellite TRMM historic information and *in situ* rainfall stations over Brazil and determine the correlation between these products; (iii) evaluate TRMM records of precipitation based during 2000 until 2014 period, and applying on them a normality test to verify regions where there is more statistical equality between the products. For the evaluation and validation of TRMM 3B43 product data in relation to historical series from *in situ* stations, statistical analyzes were made as the correlation between the observations using the Kolmogorov-Smirnov test between the two Grids information. It is expected through this research to contribute to the use and disclosure of TRMM temporal information for rainfall monitoring in Brazil. Through statistical analysis of the two sets of data, it was realized that there is the possibility of using the TRMM satellite data to verify the behavior of precipitation curves, further contributing in areas where there are few data *in situ* as the case of the Amazon region.

Key-words: environmental geodesy, remote sensing, TRMM, rainfall.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Constelação GPM.....	26
Figura 2 - Regiões Hidrográficas do Brasil	33
Figura 3 - Fluxograma da metodologia de trabalho pesquisa	37
Figura 4 - Distribuição das estações pluviométricas.....	38
Figura 5 - Correlações Lineares positivas e negativas.	40
Figura 6 - Exemplos de Coeficiente de Correlação.....	41
Figura 7 - Distância das funções de distribuição.	42
Figura 8 - Distribuição linear da precipitação medida e estimada.	45
Figura 9 - Mapa de correlação entre a grade das observações e a grade das estimativas de precipitação (TRMM).	45
Figura 10 - Teste de Kolmogorov-Smirnov.....	46
Figura 11 - Valor-p gerado pelo ks-test.	47
Figura 12 - Áreas que mantiveram valores-p abaixo do nível de significância.	47
Figura 13 - Variação da precipitação no intervalo de 2000-2014 nas estações Manaus, Rio Branco, Macapá e Boa Vista.	53
Figura 14 - Validação cruzada nas estações da R.H. Amazônica.	55
Figura 15 - Precipitação média mensal de 2000-2014, R.H. Amazônica.	56
Figura 16 - Média mensal dos pontos amostrais da R.H. Amazônica.	57
Figura 17 - Distribuição normal da precipitação na R.H. Amazônica.....	58
Figura 18 - Resultados da validação cruzada, da raiz do erro médio quadrático - RMSE, do coeficiente de determinação (r^2) e do coeficiente de correlação de Pearson (r), R.H. Amazônica.	59
Figura 19 - Variação da precipitação no intervalo de 2000 - 2014 nas estações de Belém, Palmas, Goiás e Imperatriz.	69
Figura 20 - Validação cruzada para as estações da R.H. do Tocantins- Araguaia.....	71
Figura 21 - Precipitação média mensal de 2000-2014, R.H. do Tocantins- Araguaia.....	72

Figura 22 - Média mensal dos pontos amostrais da R.H. do Tocantins-Araguaia.....	73
Figura 23 - Distribuição normal da precipitação, R.H. do Tocantins-Araguaia.	74
Figura 24 - Resultados da validação cruzada, da raiz do erro médio quadrático - RMSE, do coeficiente de determinação (r^2) e do coeficiente de correlação de Pearson (r), R.H. do Tocantins-Araguaia.....	75
Figura 25 - Variação da precipitação no intervalo de 2000-2014 nas estações de Cáceres, Cuiabá, Rondonópolis e Corumbá.....	77
Figura 26 - Validação cruzada para as estações da R.H. do Paraguai.....	79
Figura 27 - Precipitação média mensal de 2000-2014, R.H. do Paraguai.	80
Figura 28 - Média Mensal dos pontos amostrais, R.H. do Paraguai.....	81
Figura 29 - Distribuição normal de precipitação, R.H. do Paraguai.	82
Figura 30 - Resultados da validação cruzada, da raiz do erro médio quadrático - RMSE, do coeficiente de determinação (r^2) e do coeficiente de correlação de Pearson (r), R.H. do Paraguai.	83
Figura 31 - Variação da precipitação no intervalo de 2000-2014 nas estações de Bacabal, Caxias, São Luís e Tracuateua.	85
Figura 32 - Validação Cruzada, R.H. do Atlântico NE Ocidental.....	87
Figura 33 - Precipitação média mensal de 2000-2014, R.H. do Atlântico NE Ocidental.....	88
Figura 34 - Média mensal dos pontos amostrais, R.H. do Atlântico NE Ocidental.....	89
Figura 35 - Distribuição normal de precipitação, R.H. do Atlântico NE Ocidental.....	90
Figura 36 - Resultados da validação cruzada, da raiz do erro médio quadrático - RMSE, do coeficiente de determinação (r^2) e do coeficiente de correlação de Pearson (r), R.H. do Atlântico NE Ocidental.	91
Figura 37 - Variação da precipitação no intervalo de 2000 - 2014 nas estações de Alto Parnaíba, Crateús, Paulistana e Teresina.	93
Figura 38 - Validação cruzada para as estações da R.H. do Parnaíba.....	95
Figura 39 - Precipitação média mensal de 2000-2014, R.H. do Parnaíba.	96

Figura 40 - Média mensal dos pontos amostrais, R.H. do Parnaíba.....	97
Figura 41 - Distribuição normal de precipitação, R.H. do Parnaíba.....	98
Figura 42 - Resultados da validação cruzada, da raiz do erro médio quadrático - RMSE, do coeficiente de determinação (r^2) e do coeficiente de correlação de Pearson (r), R.H. do Parnaíba.	99
Figura 43 - Variação da precipitação no intervalo de 2000 – 2014, nas estações de Fortaleza, Maceió, Natal e Recife.....	101
Figura 44 - Validação cruzada para as estações da R.H. do Atlântico NE Oriental.....	103
Figura 45 - Precipitação média mensal de 2000-2014, R.H. do Atlântico NE Oriental.....	104
Figura 46 - Média mensal dos pontos amostrais, R.H. do Atlântico NE Oriental.	105
Figura 47 - Distribuição normal de precipitação, R.H. do Atlântico NE Oriental.	106
Figura 48 - Resultados da validação cruzada, da raiz do erro médio quadrático - RMSE, do coeficiente de determinação (r^2) e do coeficiente de correlação de Pearson (r), R.H. do Atlântico NE Oriental.	107
Figura 49 - Variação da precipitação no intervalo de 2000 - 2014 nas estações de Paulo Afonso, Petrolina, Formoso e Montes Claros.	109
Figura 50 - Validação cruzada nas estações, R.H. do São Francisco.....	111
Figura 51 - Precipitação média mensal de 2000 - 2014, R.H. do São Francisco.	112
Figura 52 - Média mensal dos pontos amostrais, R.H. do São Francisco.	113
Figura 53 - Distribuição normal de precipitação, R.H. do São Francisco.	114
Figura 54 - Resultados da validação cruzada, da raiz do erro médio quadrático - RMSE, do coeficiente de determinação (r^2) e do coeficiente de correlação de Pearson (r), R.H. do São Francisco.....	115
Figura 55 - Variação da precipitação no intervalo de 2000 – 2014, nas estações de Aracajú, Feira de Santana, Lençóis e Itabaianinha.	117
Figura 56 - Validação cruzada, R.H. do Atlântico Leste.....	119

Figura 57 - Precipitação média mensal de 2000-2014, R.H. do Atlântico Leste.	120
Figura 58 - Média mensal dos pontos amostrais, R.H. Atlântico Leste.	121
Figura 59 - Distribuição normal de precipitação, R.H. Atlântico Leste.	122
Figura 60 - Resultados da validação cruzada, da raiz do erro médio quadrático - RMSE, do coeficiente de determinação (r^2) e do coeficiente de correlação de Pearson (r), R.H. do Atlântico Leste.	123
Figura 61 - Variação da precipitação no intervalo de 2000 – 2014, nas estações de Resende, Taubaté, Viçosa e Vitória.	125
Figura 62 - Validação cruzada, R.H. do Atlântico Sudeste.	127
Figura 63 - Precipitação média mensal de 2000-2014, R.H. do Atlântico Sudeste.	128
Figura 64 - Média mensal dos pontos amostrais, R.H. do Atlântico Sudeste.	129
Figura 65 - Distribuição normal de precipitação, R.H. do Atlântico Sudeste.	130
Figura 66 - Resultados da validação cruzada, da raiz do erro médio quadrático - RMSE, do coeficiente de determinação (r^2) e do coeficiente de correlação de Pearson (r), R.H. do Atlântico Sudeste.	131
Figura 67 - Variação da precipitação no intervalo de 2000 – 2014, nas estações de Indaial, Paranaguá, Porto Alegre e Santa Maria.	133
Figura 68 - Validação cruzada, R.H. Atlântico Sul.	135
Figura 69 - Precipitação média mensal de 2000-2014, R.H. do Atlântico Sul.	136
Figura 70 - Média mensal dos pontos amostrais, R.H. do Atlântico Sul.	137
Figura 71 - Distribuição normal de precipitação, R.H. do Atlântico Sul.	138
Figura 72 - Resultados da validação cruzada, da raiz do erro médio quadrático - RMSE, do coeficiente de determinação (r^2) e do coeficiente de correlação de Pearson (r), R.H. do Atlântico Sul.	139
Figura 73 - Variação da precipitação no intervalo de 2000 – 2014, nas estações de Brasília, Goiânia, São Carlos e Curitiba.	141
Figura 74 - Validação cruzada, R.H. do Paraná.	143
Figura 75 - Precipitação média mensal de 2000 - 2014, R.H. do Paraná.	144
Figura 76 - Média Mensal dos pontos amostrais, R.H. do Paraná.	145
Figura 77 - Distribuição normal de precipitação, R.H. do Paraná.	146

Figura 78 - Resultados da validação cruzada, da raiz do erro médio quadrático - RMSE, do coeficiente de determinação (r^2) e do coeficiente de correlação de Pearson (r), R.H. do Paraná.....	147
Figura 79 - Variação da precipitação no intervalo de 2000 – 2014, nas estações de Chapecó, Passo Fundo, Lages e Uruguaiana.	149
Figura 80 - Validação cruzada, R.H. do Uruguai.....	151
Figura 81 - Precipitação média mensal de 2000 - 2014, R.H. do Uruguai.....	152
Figura 82 - Média Mensal dos pontos amostrais, R.H. do Uruguai.	153
Figura 83 - Distribuição normal de precipitação, R.H. do Uruguai.	154
Figura 84 - Resultados da validação cruzada, da raiz do erro médio quadrático - RMSE, do coeficiente de determinação (r^2) e do coeficiente de correlação de Pearson (r), R.H. do Uruguai.	155

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Descrição do CMORPH	27
Quadro 2 - Produtos do GPCC	27
Quadro 3 - Produtos disponibilizados pelo TRMM	32
Quadro 4 - Características do produto 3B43	32
Quadro 5 - Caracterização das Regiões Hidrográficas do Brasil	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valor-P para as estações da Região Centro-Oeste.....	48
Tabela 2 - Valor-P para as estações da Região Norte.	48
Tabela 3 - Valor-P para as estações da Região Nordeste.....	49
Tabela 4 - Valor-P para as estações da Região Sul.	50
Tabela 5 - Valor-P para as estações da Região Sudeste.	51
Tabela 6 - Valores de r , r^2 , RMSE e Erro (ABS), R.H. Amazônica.	58
Tabela 7 - Análises estatísticas de Janeiro, Fevereiro e Março, para as regiões hidrográficas.	61
Tabela 8 - Análises estatísticas de Abril, Maio e Junho, para as regiões hidrográficas.	62
Tabela 9 - Análises estatísticas de Julho, Agosto e Setembro, para as regiões hidrográficas.	63
Tabela 10 - Análises estatísticas de Outubro, Novembro e Dezembro, para as regiões hidrográficas.	63
Tabela 11 - Valores de r , r^2 , RMSE e Erro (ABS), R.H. do Tocantins-Araguaia....	74
Tabela 12 - Valores de r , r^2 , RMSE e Erro (ABS), R.H. do Paraguai.....	82
Tabela 13 - Valores de r , r^2 , RMSE e Erro (ABS), R.H. do Atlântico NE Ocidental.	90
Tabela 14 - Valores de r , r^2 , RMSE e Erro (ABS), R.H. do Parnaíba.....	98
Tabela 15 - Valores de r , r^2 , RMSE e Erro (ABS), R.H. do Atlântico NE Oriental.	106
Tabela 16 - Valores de r , r^2 , RMSE e Erro (ABS), R.H. do São Francisco.	114
Tabela 17 - Valores de r , r^2 , RMSE e Erro (ABS), R.H. do Atlântico Leste.	122
Tabela 18 - Valores de r , r^2 , RMSE e Erro (ABS), R.H. do Atlântico Sudeste.	130
Tabela 19 - Valores de r , r^2 , RMSE e Erro (ABS), R.H. do Atlântico Sul.....	138
Tabela 20 - Valores de r , r^2 , RMSE e Erro (ABS), R.H. do Paraná.....	146
Tabela 21 - Valores de r , r^2 , RMSE e Erro (ABS), R.H. do Uruguai.	154

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
1.1. OBJETIVO GERAL	25
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	26
2.1. MÉTODOS PARA ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO	26
2.1.1. GPM.....	26
2.1.2. CMORPH.....	27
2.1.3. GPCC	27
2.2. TROPICAL RAINFALL MEASURING MISSION – TRMM.....	28
2.2.1. Instrumentos a bordo do TRMM	29
2.2.2. Produtos disponibilizados pelo TRMM	32
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	33
4. MATERIAIS E MÉTODOS	36
4.1. MATERIAIS	36
4.2. RECURSOS TECNOLÓGICOS E <i>HARDWARE</i>	36
4.3. FLUXOGRAMA DOS PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	37
4.4. ORGANIZAÇÃO E PREPARAÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA.....	38
4.4.1. Levantamento e aquisição de dados.....	38
4.4.2. Obtenção dos pontos amostrais	39
4.4.3. Extração das informações	39
4.4.4. Compatibilização dos dados.....	39
4.5. TESTES ESTATÍSTICOS SOBRE AS GRADES PARA O BRASIL	39
4.5.1. Correlação Espacial.....	39
4.5.2. Teste de Kolmogorov-Smirnov	41
4.6. ANÁLISE DA DINÂMICA DE PRECIPITAÇÃO PARA AS REGIÕES HIDROGRÁFICAS.....	42
4.6.1. Fatiamento da análise para as regiões hidrográficas.....	42
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
5.1. CORRELAÇÃO E TESTE DE NORMALIDADE POR GRADES PARA O TERRITÓRIO BRASILEIRO.....	44
5.1.1. Correlação.....	44
5.1.2. Teste de Kolmogorov-Smirnov	46
5.2. DINÂMICA DA PRECIPITAÇÃO NAS REGIÕES HIDROGRÁFICAS DO BRASIL	52
5.2.1. Região Hidrográfica Amazônica	53
5.2.2. Regiões Hidrográficas do Brasil	61
6. CONCLUSÕES	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
APÊNDICE A - Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia	69
APÊNDICE B - Região Hidrográfica do Paraguai.....	77

APÊNDICE C - Região Hidrográfica do Atlântico Nordeste Ocidental.....	85
APÊNDICE D - Região Hidrográfica do Parnaíba	93
APÊNDICE E - Região Hidrográfica do Atlântico Nordeste Oriental	101
APÊNDICE F - Região Hidrográfica do São Francisco.....	109
APÊNDICE G - Região Hidrográfica do Atlântico Leste	117
APÊNDICE H - Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste	125
APÊNDICE I - Região Hidrográfica do Atlântico Sul	133
APÊNDICE J - Região Hidrográfica do Paraná	141
APÊNDICE K - Região Hidrográfica do Uruguai.....	149

1. INTRODUÇÃO

A água é um elemento indispensável para o desenvolvimento da vida em nosso planeta, a vida, na forma que a conhecemos, sempre esteve ligada a disponibilidade e qualidade da água. Assim, ela foi um dos maiores motivos para o homem criar raízes a locais com abundância deste precioso recurso.

Hoje, sabe-se que a água é um recurso natural renovável, mas não inesgotável, por isso a preocupação em preservá-la tem se tornado cada vez maior. Com a tendência do aumento da população, a disponibilidade tende a diminuir, repercutindo na qualidade de vida. Portanto, a garantia de acesso a recursos hídricos, em quantidade e qualidade satisfatória vem adquirindo a necessidade de aplicação de estratégias para a sobrevivência das nações (ROCHA, 2002).

A precipitação é um elemento fundamental no ciclo hidrológico, pois é através dela que é feita a recarga hídrica nas bacias e nas reservas subterrâneas. A mesma é utilizada na validação de modelos numéricos de previsão do tempo e do clima, por isso o conhecimento da sazonalidade da precipitação é importante. Consequentemente, torna-se necessário monitorar esta componente do ciclo hidrológico bem como validar as estimativas da mesma por métodos não onerosos (PEREIRA *et al.*, 2013).

Em geral, as nuvens se formam pelo resfriamento do ar abaixo de seu ponto de saturação. Segundo Rascón & Román (2005) a intensidade e quantidade da precipitação dependem do teor de umidade do ar e da velocidade vertical do mesmo, e é a partir destes processos que derivam os diferentes tipos de precipitação.

No Brasil, os menores valores de precipitação ocorrem na região Nordeste, enquanto que os maiores valores ocorrem na região Norte. A precipitação média anual do Brasil entre 1961 e 2007 foi de 1.761 mm, variando de valores na faixa de 500 mm, na região semiárida do Nordeste, a mais de 3.000 mm, na região da Amazônia (ANA, 2009a).

Nos últimos meses a partir do ano de 2014, vem sendo observado em noticiários de âmbito nacional e até mesmo internacional, a falta de chuvas na região Sudeste do Brasil, sendo esta uma das piores secas da região nos últimos 80 anos (GLOBO, 2014). Com mais de 130 municípios atingidos em São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, esta região compreende mais de 27 milhões de habitantes e representa 23% de todo o PIB brasileiro (ALLEN *et al.*, 2014; BBC, 2014; LOBEL *et al.*, 2014).

É de grande importância o conhecimento da distribuição das chuvas em cada período do ano, pois assim é possível determinar os melhores planos de gerenciamento dos recursos hídricos para cada região. As estações meteorológicas são um instrumento de grande necessidade para essa finalidade, principalmente por suas séries históricas que ajudam na compreensão de padrões de precipitação no país. É importante ressaltar que as estações não abrangem todo o território, a análise do déficit hídrico em uma bacia hidrográfica é afetada pela má distribuição, quando existente, das estações (e.g., PEREIRA *et al.*, 2013).

Observações obtidas por sensores a bordo de satélites artificiais na órbita da Terra auxiliam na medição do volume de chuva em uma dada região, atualmente vêm sendo utilizado com frequência por conta da periodicidade de amostragem superior as estações meteorológicas e por fornecer a distribuição espacial da precipitação. Porém, apresentam algumas desvantagens como a precisão, sendo recomendados critérios de análises e validação das estimativas para que sejam utilizados de forma adequada (e.g., CURTARELLI *et al.*, 2013; FRANCHITO *et al.*, 2009).

Para Fernandes *et al.* (2009), a seca é um dos fenômenos climáticos que mais causam prejuízos na agricultura e podem ser diagnosticadas com base em uma série histórica de dados meteorológicos. Por exemplo, podem-se empregar índices quantificadores e análises estatísticas, através de cálculos de diferentes índices de seca e aridez tais como: porcentagem normal, decís, precipitação padronizada, anomalia de chuva, índice de seca efetiva, índice de aridez, etc. É importante ressaltar que, embora largamente empregada, a índices de seca baseados em precipitação não

consideram fatores antropogênicos na região (e.g., bacia hidrográfica) como, por exemplo, o armazenamento de águas em reservatórios artificiais.

É possível afirmar que a seca afeta diretamente as épocas de plantio das culturas. A fim de estabelecer frequências e intensidade das secas relacionando com a segurança alimentar da região do Lago Vitória no Quênia, Awange *et al.* (2007) analisaram dados mensais e sazonais de precipitação. Eles usaram dados de estações meteorológicas para um período de aproximadamente 40 anos e documentos sobre a importação de alimentos do período de 1961-2002 obtidos na Biblioteca do Ministério da Agricultura do Quênia. Para tal comparação entre estes dados, foi feita uma padronização das informações, primeiramente determinando a média da precipitação mensal, calculadas para os três meses de cada estação a fim de se obter a média sazonal. Com esta informação, pode-se calcular o número de anos de seca e para posteriormente padronizar o valor em função da diferença entre a precipitação no ano observado e da média histórica de precipitação para um dado intervalo, este valor foi obtido dividido pelo desvio padrão da observação.

Delahaye *et al.* (2010), realizaram uma análise geostática das precipitações mensais na Amazônia brasileira. Para este fim, utilizados observações de campo entre jan/2000 e dez/2008 para validação do algoritmo de precipitação TRMM-3B43. Através das razões dos vieses médios e os razões dos erros médios, foi possível detectar os padrões sazonais e as mudanças entre as estações chuvosas e secas. Por fim, o estudo destaca a importância na intercomparação de métodos de estimativa de precipitação global e regional em toda a Amazônia brasileira.

Anderson *et al.* (2013), fizeram uma avaliação dos dados de chuva mensal para a região Amazônica, para isso utilizaram dados de campo oriundos de estações meteorológicas convencionais e automáticas, e dados dos algoritmos de precipitação mensal 3B43 v6 e v7, dados estes compreendidos entre 1998 e 2010. Assim, efetuaram análises estatísticas sobre os dados, como: coeficiente de determinação, resíduo entre os produtos, e a raiz do erro médio quadrático. Por fim, não encontraram

nenhum padrão espacial distinto em áreas que o produto apresentou maiores diferenças em relação aos dados das estações de campo.

Farias *et al.* (2013), avaliaram as estimativas de precipitação do TRMM para o Estado de Goiás. Viasaram avaliar a variação das estimativas de precipitação acumulada mensal para os anos de 2000 a 2007, utilizaram o algoritmo 3B43 e dados pluviométricos das estações da Agência Nacional de Águas – ANA. A avaliação se deu através da correlação de Pearson para a média mensal de cada ano. E como resultado destacam que foi encontrada alta correlação entre os dados para o Estado de Goiás.

Pereira *et al.* (2013), realizaram uma avaliação dos dados de precipitação estimados pelo satélite TRMM para o Brasil. Após analisarem os dados de precipitação no período compreendido entre 1998 e 2010 os mesmos concluíram que a comparação entre os dados de precipitação mensal estimada pelo TRMM e 183 estações meteorológicas espalhadas por todo o Brasil apresentaram uma concordância de aproximadamente 97%. Entretanto, foram verificados valores em média 9% maiores que os observados pelas redes de estações meteorológicas para todas as regiões. Os dados do TRMM apresentaram uma tendência média de superestimar a precipitação mensal em 15%. Contudo, as estimativas de precipitação apresentaram variação sazonal muito similar à apresentada pelos dados observados nas estações meteorológicas.

Santos *et al.* (2015), verificaram a precisão dos dados do TRMM na região de transição Amazônia-Cerrado no Estado do Maranhão. Fizeram a comparação entre os dados de 12 estações convencionais do INMET, com os dados de precipitação do produto 3B43-TRMM, para um período de 15 anos (1998 – 2013). Para este fim, calculou-se o erro quadrático médio, a tendência, o coeficiente de correlação, e o coeficiente de determinação. Obtiveram uma boa precisão para os dados, ressaltando maior precisão e maior tendência a superestimar os dados no bioma Amazônico, e uma menor precisão no Cerrado.

Em Almeida *et al.* (2015), foi feita uma avaliação das estimativas de precipitação do produto 3B43-TRMM do Estado do Amazonas. Essa

avaliação se deu por amostras obtidas através das estações meteorológicas comuns (EMC), fazendo-se a comparação estatística entre esses dados. Essa comparação foi baseada em parâmetros estatísticos como o erro médio (EM), raiz do erro médio quadrático (REMQ), coeficiente de correlação linear (r), e o índice de concordância de Wilmott (d). Por fim, chegou-se a conclusão de que as estimativas de precipitação pluvial do produto 3B43-TRMM podem ser utilizadas como uma fonte alternativa de dados de qualidade.

Melo *et al.* (2015), desenvolveram grades de alta resolução ($0.25^\circ \times 0.25^\circ$) de precipitação diária, evapotranspiração, e as cinco variáveis climáticas geralmente necessárias para estimar evapotranspiração para o Brasil. Estas cinco variáveis são temperatura máxima e mínima, radiação solar, umidade relativa e velocidade do vento. Testaram seis esquemas de interpolação diferentes para criar as grades para essas variáveis. Os dados foram obtidos a partir de 3625 pluviômetros e 735 estações meteorológicas para período de 1980-2013. Apresentando uma abordagem de validação cruzada comparando assim pontos observados para fornecer estimativas interpoladas e desta forma poder selecionar o melhor interpolador para cada variável climática. A ponderação do inverso da distância e métodos de ponderação da distância angular produziram os melhores resultados.

Tendo em vista as pesquisas realizadas para o território brasileiro a fim de estabelecer critérios de validação dos produtos de estimativas de precipitação fornecidos pelo TRMM, nota-se que ainda existem lacunas a serem exploradas, visando melhorar a qualidade dos resultados. Um dos pontos a serem explorados são a quantidade e densidade de estações pluviométricas utilizadas em pesquisas anteriores, principalmente na Região Hidrográfica Amazônica.

Dada a problemática, o objetivo principal deste trabalho é avaliar e analisar os dados de precipitação estimados pelo TRMM para o Brasil, entre os anos de 2000 e 2014, utilizando dados de precipitação coletados pelas estações pluviométricas do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, e assim destacar o uso destas informações para o monitoramento do

comportamento pluviométrico para o Brasil, verificando assim suas vantagens e limitações.

A seguir serão apresentados os objetivos gerais e específicos desta pesquisa, assim como a revisão de literatura no capítulo 2 sobre TRMM e seus instrumentos. O capítulo 3 apresenta as características da área de estudo, o capítulo 4 apresenta os materiais e métodos. Os resultados desta pesquisa, bem como conclusões desta monografia encontram-se nos capítulos 5 e 6 respectivamente.

1.1. Objetivo Geral

Avaliar os dados do TRMM de forma que o qualifique como um instrumento complementar para observações de precipitação para o Brasil.

1.2. Objetivos Específicos

- ❖ Avaliar os dados TRMM de precipitação com base no período de 2000 até 2014, e determinar sobre estas observações testes de normalidade a fim de verificar regiões onde existe maior igualdade entre os produtos;
- ❖ Comparar as observações no formato de Grade (TRMM X in situ), fornecendo a correlação estatística entre estes produtos para todo o Brasil;
- ❖ Aplicar o teste de Kolmogorov-Smirnov para os dados em GRADE para todo o Brasil a fim de verificar em quais locais existem menos correlação;
- ❖ Comparar por dados amostrais conforme as regiões hidrográficas no Brasil considerando informações mensais de precipitação.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Métodos para estimativa de precipitação

Existem alguns produtos para estimativa de precipitação a partir de plataformas orbitais, entre eles encontram-se o GPM, CMORPH, o GPCC e o TRMM, nesta pesquisa são apresentadas as características gerais destes produtos com ênfase maior para o TRMM que foi escolhido para o estudo desta dissertação.

2.1.1. GPM

A *Global Precipitation Measurement* – GPM é a próxima geração de uma rede internacional de satélites que fornecem observações globais de chuva e de neve para uma compreensão avançada sobre o ciclo da água e da energia da Terra, melhorando a previsão de eventos extremos e fornecendo informações precisas a tempo de beneficiar diretamente a sociedade (NASA, 2011). Os satélites que contribuem para essa plataforma global de dados de precipitação estão representados na Figura 1.

Figura 1 - Constelação GPM.



Fonte: NASA (2011)

2.1.2. CMORPH

O CMORPH (CPC MORPHingtechnique) produz análises de precipitação global de alta resolução espacial e temporal. Esta técnica utiliza estimativas de precipitação que tenham sido derivadas de satélites em órbita baixa, fazendo observações exclusivamente de micro-ondas passiva, e cujas informações são transportados através de recursos de propagação espacial, no Quadro 1 são mostradas as principais características do CMORPH.

Quadro 1 - Descrição do CMORPH

Resolução daGrade:	0.07277° lat/lon (8 km na Linha do Equador)
Resolução Temporal:	30 minutos
Domínio:	Global (60N - 60S)
Período de registro:	Dezembro, 2002 até o presente.

2.1.3. GPCC

O Centro de Climatologia e Precipitação global (GPCC) fornece análises de precipitação global, de monitoramento e pesquisa do clima da Terra. O centro é uma contribuição alemã para o Programa Mundial de Investigação do Clima (WCRP) e do Sistema de Observação Global do Clima (GCOS). O GPCC fornece diversos produtos de análises, monitoramento e pesquisa da precipitação e do clima global, produtos esses apresentados de forma resumida no Quadro 2 com diversas resoluções espaciais e temporais, cobertura geográfica e aplicações.

Quadro 2 - Produtos do GPCC

Produto	Resolução Espacial	Tempo de Registro	Possível Aplicação
First Guess Monthly	1.0°	2004 - Presente	Monitoramento da seca

First Guess Daily	1.0°	2009 – Presente	Análise de eventos extremos
Monthly Monitoring Version 5	1.0°, 2.5°	1982 – Presente	Calibração de dados de satélite
Full Data Monthly Version 7	0.5°, 1.0°, 2.5°	1901 - 2013	Estudos hidrológicos
Full Data Daily Version 1	1.0°	1988 - 2013	Análise de eventos extremos
HOMPRA Europe Version 1 (coming soon)	1.0°	1951 - 2005	Análise de tendências
VASCLIMO Dataset	0.5°, 1.0°, 2.5°	1951 - 2000	Análise de tendências
Precipitation Climatology Version 2015	0.25°, 0.5°, 1.0°, 2.5°	1951/2000	Interpolação pelo método de anomalias
Interpolation Test Dataset	1.0°	1988	Comparação dos esquemas de interpolação
Drought Index Version 1	1.0°	2013 – Presente	Monitoramento da seca
GPCC Visualizer			Criação de mapas

2.2. Tropical Rainfall Measuring Mission – TRMM

O satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* – TRMM, é um projeto desenvolvido em uma parceria entre Estados Unidos da América - EUA e Japão. Foi lançado a bordo do veículo espacial H-II F6 em 28 de novembro de 1997, no Centro Espacial de Tanegashima. O Japão ficou responsável pelo lançamento, e por desenvolver o instrumento de observação

Precipitation Radar – PR, enquanto que os EUA por intermédio da *National Aeronautics and Space Administration* – NASA, ficou responsável pela construção do veículo de lançamento, pelo desenvolvimento de outros quatro instrumentos de observação (*TRMM Microwaver Imager* – TMI, *Visible and Infrared Scanner* – VIRS, *Cloud and Earth Radiant Energy Sensor* – CERES, *Lightning Imaging Sensor* – LIS), e pelo sistema de operação do satélite (JAXA, 2014; KUMMEROW *et al.*, 1998).

O TRMM foia primeira missão dedicada a medição da precipitação nas zonas tropical e subtropical, fazendo o uso de sensores que operam na faixa das micro-ondas e infravermelho, e, além disso, tem o primeiro radar orbital de precipitação. Localizado numa órbita de baixa altitude de aproximadamente 350 km, complementa o “Estado da Arte” de instrumentos promovendo medidas com mais acurácia (GRAHAM, 1999).

A NASA divulgou por meio de seu site oficial que em julho de 2014, as leituras sobre o combustível indicaram que já estava próximo do fim. Como isso, afetou a manutenção de manobras do satélite e o TRMM começou a perder altitude. Porém, uma pequena quantidade de combustível foi necessária para realizar o desvio de detritos e garantir que o satélite continuasse seguro durante a tração para baixo. As observações irão continuar até que se atinja uma altura de 335 km, ponto em que será desligado antes da reentrada na atmosfera que está previsto para fevereiro de 2016. Enquanto que o TMI e LIS continuaram operando durante todo o período de perda de altitude, porém os dados do TMI serão afetados, pois o ângulo de incidência irá mudar assim como o campo de visão.

2.2.1. Instrumentos a bordo do TRMM

❖ *Precipitation Radar*(PR)

O PR foi o primeiro instrumento designado para o mapeamento tridimensional da estrutura da chuva, principalmente da sua distribuição vertical. Faz medidas quantitativas da chuva que precipita sobre o

continente e sobre o oceano (KUMMEROW *et al.*, 1998). Essas medições fornecem informações valiosas sobre a intensidade e distribuição da chuva, do tipo da chuva, da profundidade da tempestade e na altura em que a neve se derrete em chuva. As estimativas do calor liberado para a atmosfera, com base nestas medições, podem ser utilizadas para melhorar os modelos da circulação atmosférica global (NASA, 2011a).

Apesar de que desde a Segunda Guerra Mundial os radares terrestres para meteorologia têm sido utilizados para estimar a precipitação, diversos desafios técnicos tiveram que ser superados antes que este tipo de instrumento pudesse ser utilizado no espaço.

❖ *TRMM Microwave Imager (TMI)*

O TMI é um sensor de micro-ondas passivo projetado para fornecer informações quantitativas de precipitação de uma grande área sob o satélite. Medindo cuidadosamente as quantidades de energia de micro-ondas emitida pela Terra e sua atmosfera em minutos, o TMI é capaz de quantificar o vapor de água, a água da nuvem, e a intensidade da precipitação na atmosfera. Ele é um instrumento relativamente pequeno e que consome pouca energia. Isto, combinado com a larga faixa de informações quantitativas sobre as chuvas dão ao TMI o apelido de "cavalo de guerra" do pacote de medição de chuva no TRMM (NASA, 2011b).

❖ *Visible and Infrared Scanner (VIRS)*

O VIRS é um dos principais instrumentos a bordo do TRMM. Como o próprio nome indica, ele detecta a radiação vinda da Terra em cinco regiões espectrais, que vão do visível ao infravermelho, ou seja, de 0,63-12 micrômetros. O VIRS está incluído no conjunto de instrumentos primários por duas razões. Primeiro é a sua capacidade de delinear chuva. O segundo, e mais importante, é servir como um padrão de transferência para outras medições meteorológicas que são feitas rotineiramente usando o *Polar*

Orbiting Environmental Satellites (POES) e aqueles que são feitos usando o *Geostationary Operational Environmental Satellites* (GOES) operado pelos Estados Unidos e satélites similares de outros países. A intensidade da radiação nas várias regiões espectrais pode ser utilizada para determinar o brilho (visível e infravermelho próximo) ou a temperatura (infravermelha) da fonte (NASA, 2011c).

❖ *Cloud and Earth Radiant Energy Sensor (CERES)*

O CERES é um dos cinco instrumentos que está a bordo do TRMM. Os dados do instrumento CERES podem ser usados para estudar a energia trocada entre o Sol, a atmosfera, a superfície e as nuvens da Terra. No entanto, ele teve um período limitado de funcionamento (entre janeiro-agosto de 1998 até março de 2000) (NASA, 2011d).

❖ *Lightning Imaging Sensor (LIS)*

O LIS é um instrumento pequeno, altamente sofisticado que detecta e localiza relâmpagos sobre a região tropical do globo. Olhando para baixo a partir de um ponto de observação a bordo do TRMM, a 402 quilômetros acima da Terra, o sensor fornece informações que vem contribuindo com o desenvolvimento de sensores geoestacionários de raios avançados capazes de melhorar significativamente o tempo "nowcasting". A partir da sua posição estacionária em órbita, estes sensores de raios futuros iriam dar cobertura contínua dos Estados Unidos e do resto do Hemisfério Ocidental. Um objetivo importante é entregar informações do dia e noite do relâmpago para uma estação de trabalho meteorológico dentro de 30 segundos da ocorrência - fornecendo uma ferramenta inestimável para tempestade "nowcasting", bem como para a emissão de alertas de tempestades severas. O sensor fornece informações sobre as características de nuvem, dinâmica da tempestade, bem como a variabilidade anual das tempestades (NASA, 2011e).

2.2.2. Produtos disponibilizados pelo TRMM

São variados os produtos disponibilizados pelo TRMM, de fontes diretas (através de seus instrumentos), ou indiretas (integrando-se com informações provenientes de outras fontes de dados), a seguir é apresentado o Quadro 3, com uma lista simplificada dos produtos disponibilizados pelo TRMM.

Quadro 3 - Produtos disponibilizados pelo TRMM

Level Products	Produtos										
	L1	1C21	1B21	1B11	1B01						
	L2	2B31	2A25	2A23	2A21	2A12					
	L3	3B42	3B41	3B40	3B43	3A46	3B31	3A26	3A25	3A12	3A11

Os dados do produto 3B43 são disponibilizados no formato *Hierarchical Data Format* (.HDF) com o tamanho do pixel de 0.25°x0.25° e abrangendo de 50°N até 50°S de Latitude. Os dados de precipitação remetem a uma série temporal média mensal de chuva em milímetros por hora (mm hr⁻¹), conforme o Quadro 4, este produto do TRMM é um algoritmo que combina dados de múltiplos sensores orbitais originando, desta forma, os dados de precipitação global (HUFFMAN et al., 1995, 2007). De um modo geral, o lançamento do satélite TRMM permitiu a obtenção de informações sobre as características da precipitação em lugares que possuem uma baixa densidade de redes de estações meteorológicas.

Quadro 4 - Características do produto 3B43

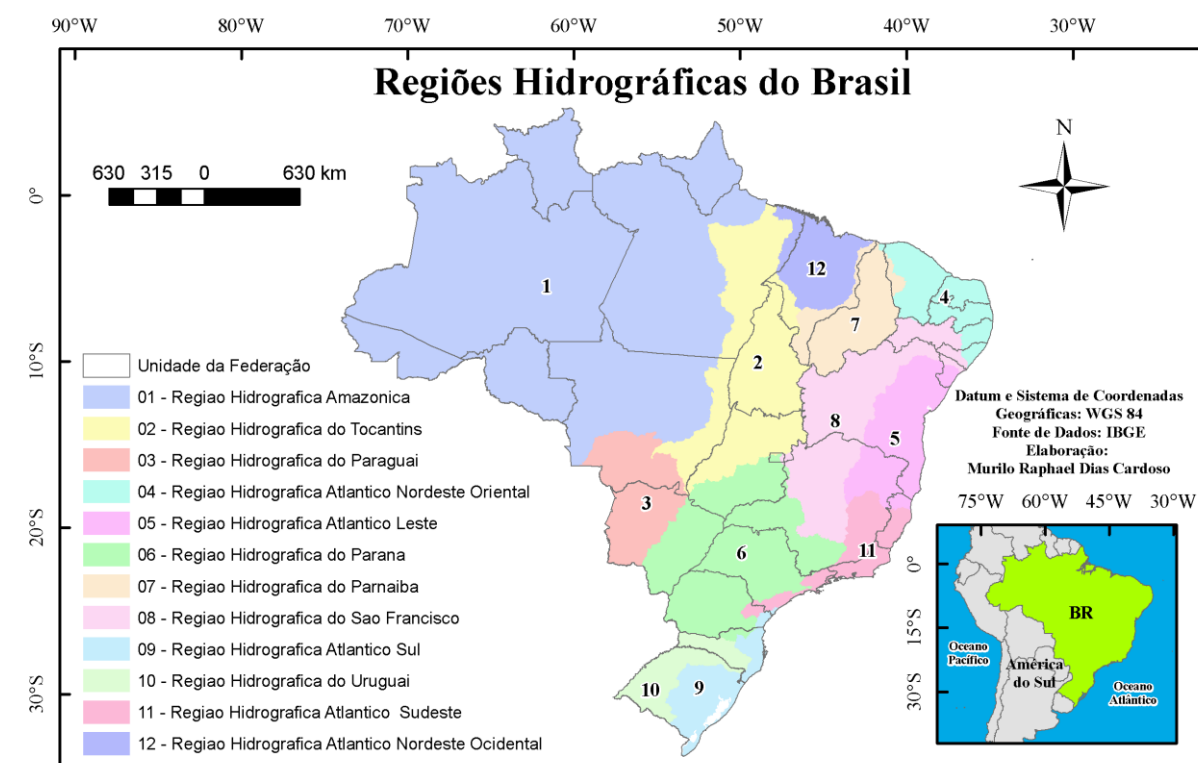
Cobertura Temporal	Data Inicial: 01/01/1988 - Data Final: -
Cobertura Geográfica	Latitude: 50°S - 50°N; Longitude: 180°W - 180°E
Resolução Temporal	Mensal
Resolução Espacial	0.25° x 0.25°
Formato do Arquivo	.HDF

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo deste trabalho compreende todo o território brasileiro, o maior país da América do Sul e quinto maior país do mundo em área territorial, possui uma população com mais de 200 milhões de habitantes. Localizado entre as latitudes entre 5°30' N e 34°00' S, longitudes entre 74°00' W e 34°00' W. O Brasil destaca-se principalmente pelas diferenças econômicas, culturais e pela grande biodiversidade das regiões, apresentando, do ponto de vista climático, vários sistemas atmosféricos que contribuem para a determinação do clima.

Para esta pesquisa, serão tomadas como base para unidade de análise, as principais regiões hidrográficas do país. São 12 as principais regiões hidrográficas do Brasil (Figura 2): Amazônica, Tocantins Araguaia, Atlântico Nordeste Ocidental, Parnaíba, Atlântico Nordeste Oriental, São Francisco, Atlântico Leste, Paraguai, Paraná, Sudeste, Uruguai, e Atlântico Sul.

Figura 2 - Regiões Hidrográficas do Brasil



A seguir é apresentado o Quadro 5 com a caracterização das regiões hidrográficas do Brasil.

Quadro 5 - Caracterização das Regiões Hidrográficas do Brasil

Mapa	Região Hidrográfica	Unidades Federativas	Área (km ²)	Bacias	Principais rios
	Amazônica	AC, AM, RR, RO, MT, PA e AP.	3.869.953	Bacia do rio Amazonas, rios da Ilha de Marajó e do Amapá.	Amazonas, Negro, Solimões e Purus.
	Tocantins - Araguaia	GO, MT, TO, MA, PA e DF.	918.822	Bacia do rio Tocantins.	Tocantins, Araguaia, Vermelho, Itacaiunas e Crixá-Açú.
	Paraguai	MT e MS.	363.446	Sub-bacia do rio Paraguai em território brasileiro.	Paraguai, Miranda, Cuiabá e São Lourenço.
	Atlântico Nordeste Oriental	CE, RN, PB, PE e AL.	286.802	Pequenas bacias costeiras.	Jaguaribe, Salgado, Banabuiú e Cariús.
	Atlântico Leste	SE, BA, MG e ES.	388.160	Bacia do rio Camaquã, Itajaí, Jacuí, Itajaí-Mirim, Itajaí do Sul.	Paraguaçu, Mucuri, Pardo e Jequitinhonha e São Mateus.
	Paraná	MG, GO, MS, SP, PR, SC e DF.	879.873	Sub-bacia do rio Paraná em território brasileiro.	Paraná, Paranaíba, Tietê e Iguaçu.
	Parnaíba	PI, MA e CE.	333.056	Bacia do rio Parnaíba.	Parnaíba, Balsas, Gurgueia e Uruçuí-Preto.
	São Francisco	SE, AL, PE, BA, GO, MG e DF.	638.576	Bacia do rio São Francisco.	São Francisco, das Velhas, Abaeté e Carinhanha.
	Atlântico Sul	RS e SC	187.522	Bacia do rio Camaquã, Itajaí, Jacuí, Itajaí-Mirim.	Itajaí, Jacuí, Itajaí-Açu e Itajaí do Sul.

	Uruguai	RS e SC	174.533	Sub-bacia do rio Uruguai em território brasileiro.	Uruguai, Chapécó, Passo Fundo, do Peixe e da Várzea.
	Atlântico Sudeste	ES, MG, RJ, SP e PR.	214.629	Bacia do rio Doce, Ribeira e Paraíba do Sul.	Doce, Paraíba do Sul, Ribeira de Iguape.
	Atlântico Nordeste Ocidental	MA e PA.	274.301	Sub-bacias dos rios Mearim e Itapecuru.	Gurupi, Turiaçu, Pericumã e Mearim.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Materiais

A seguir são listados os materiais utilizados neste trabalho:

- ❖ Grades de estimativa de precipitação fornecidas pelo produto 3B43 do TRMM foram utilizadas para analisar a distribuição espacial da precipitação sobre a área de estudo e verificar a sua consistência em relação aos dados das estações meteorológicas. Ao todo foram utilizadas 180 Grades em formato netCDF referentes às observações mensais de janeiro de 2000 a dezembro de 2014;
- ❖ Grades de alta resolução ($0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$) de precipitação diária com o intervalo de dados entre 1980 – 2013, fornecidos gratuitamente para download em: «<https://utexas.app.box.com/v/xavier-et-al-ijoc-data>»;
- ❖ Dados de precipitação diária para o Brasil provenientes das Estações Meteorológicas do INMET.
- ❖ Dados vetoriais nos formatos *shapefile* das Estações Pluviométricas do BDMEP/INMET: Sistema Geodésico de Referência SIRGAS 2000, fornecidos pelo próprio INMET;
- ❖ Dados vetoriais no formato *shapefile* das Regiões Hidrográficas: Sistema Geodésico de Referência SIRGAS 2000, fornecidos pela ANA.

4.2. Recursos tecnológicos e hardware

Para elaboração deste trabalho, os recursos tecnológicos empregados foram:

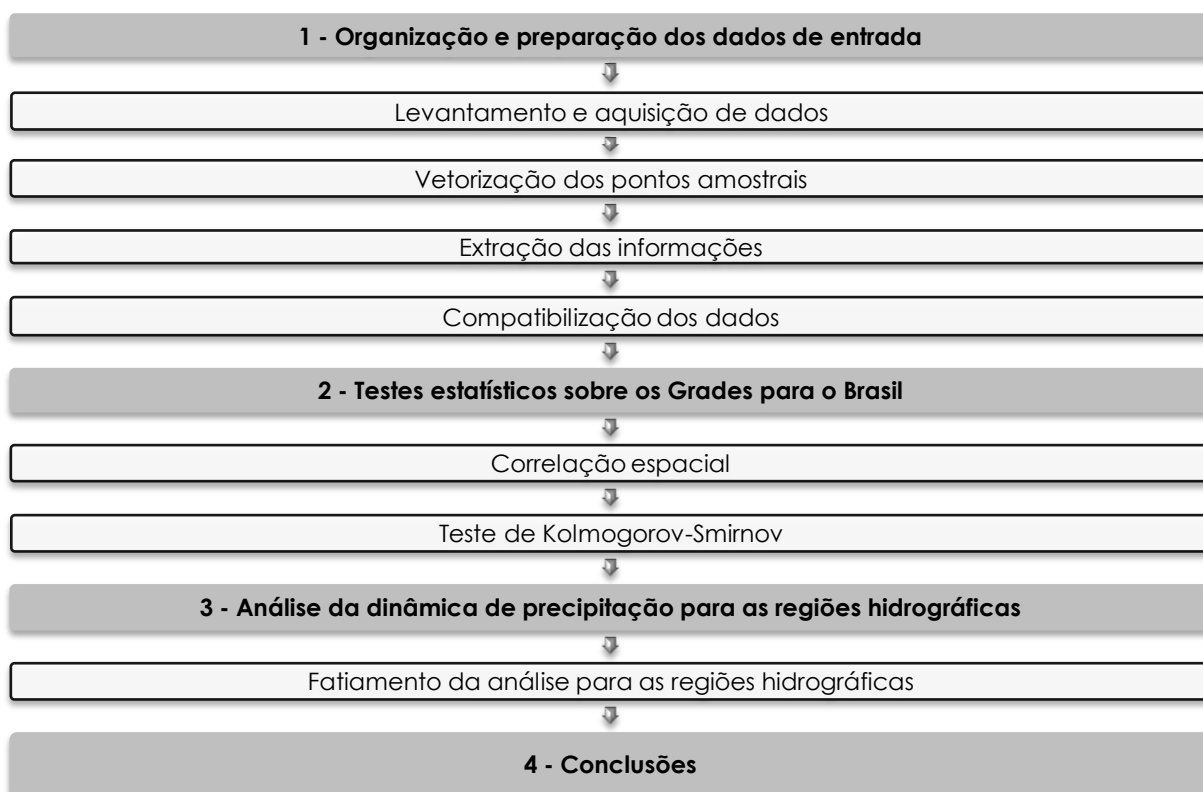
- ❖ *Software ArcGIS 10* para elaboração de mapas temáticos, construção de banco de dados espaciais e extração das informações;
- ❖ *Software Microsoft Office Excel 2010* para realizar os cálculos matriciais e geração de gráficos e tabelas;

- ❖ *Software* MATLAB R2014a como plataforma de análise de dados GRADE x GRADE e geração de mapas.
- ❖ *Hardware*: Notebook ASUS com sistema operacional Windows 10 de 64 bits, processador Intel core i5 de 2,20 GHz e memória RAM de 8 GB.

4.3. Fluxograma dos procedimentos metodológicos

O processo metodológico foi dividido de acordo com o fluxograma da Figura 3. A etapa 1, refere-se a organização e preparação dos dados de entrada. A etapa 2, Análise da dinâmica de precipitação para as regiões hidrográficas. Na etapa 3, Testes estatísticos sobre as Grades para o Brasil. Na etapa 4, as conclusões sobre os resultados obtidos.

Figura 3 - Fluxograma da metodologia de trabalho pesquisa



4.4. Organização e preparação dos dados de entrada

4.4.1. Levantamento e aquisição de dados

Foram adquiridos:

- Observações de 264 estações pluviométricas em formato *.txt* com informações entre janeiro/2000 a dezembro/2014 (Figura 4).
- 180 Grades em formato *.netCDF* com as estimativas de precipitação mensal para o intervalo de janeiro/2000 a dezembro/2014 fornecidas pelo produto 3B43 do TRMM,
- Grade em formato *.netCDF* com a estimativa de precipitação fornecidas pela interpolação dos dados de 3265 estações pluviométricas distribuídas em todo o território brasileiro (XAVIER et al., 2013).

Figura 4 - Distribuição das estações pluviométricas.



Fonte: INPE (2015)

4.4.2. Obtenção dos pontos amostrais

A obtenção dos pontos amostrais foi empregada a partir das coordenadas Lat/Lon, fornecidas junto aos dados das estações pluviométricas disponibilizadas no BDMEP/INMET. Estas foram dispostas em uma planilha digital e importadas para o *ARCGIS*. Os pontos amostrais serviram de base para extração das informações contidas nas Grades de estimativas de precipitação.

4.4.3. Extração das informações

Esta etapa consistiu em utilizar os pontos amostrais anteriormente, como forma de extração das informações de precipitação contidas nas Grades do TRMM, para esta etapa foi utilizado o *ARCGIS*, extraíndo os valores da Grade para os pontos, alimentando assim, uma tabela com os dados de estimativas de precipitação para todas as estações, podendo assim, serem feitas análises estatísticas comparativas entre os dois conjuntos de dados.

4.4.4. Compatibilização dos dados

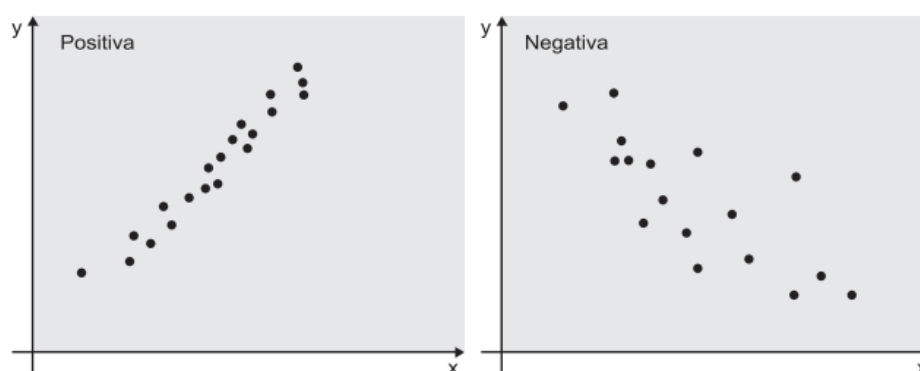
A compatibilização dos dados é necessária de forma preliminar aos testes estatísticos, pois as unidades tratadas nos dois conjuntos de dados diferem uma da outra, sendo a unidade de precipitação das estações em milímetros por mês (mm/mês) e a da Grade do produto 3B43 em milímetro por hora (mm/h). Esta etapa é realizada de forma simples, multiplicando os valores das células pela quantidade de horas que determinado mês possui.

4.5. Testes estatísticos sobre as Grades para o Brasil

4.5.1. Correlação Espacial

Duas variáveis apresentam uma correlação linear quando os pontos do diagrama de dispersão se aproximam de uma reta. Essa correlação pode ser positiva (para valores crescentes de X , há uma tendência a valores também crescentes de Y) ou negativa (para valores crescentes de X , a tendência é observarem-se valores decrescentes de Y). As correlações lineares positivas e negativas encontram-se ilustradas na Figura 5.

Figura 5 - Correlações Lineares positivas e negativas.



Fonte: Naghettini e Pinto (2007)

O coeficiente de correlação linear, também chamado de covariância normalizada e representado por ρ , é expresso por:

$$\rho_{X,Y} = \frac{\sigma_{X,Y}}{\sigma_X \sigma_Y} \quad (\text{Eq. 1})$$

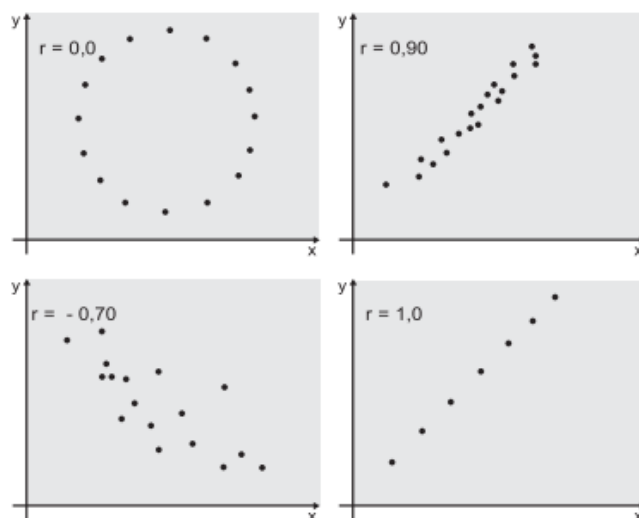
Onde, $\sigma_{X,Y}$ é a covariância entre as variáveis X e Y ; σ_X e σ_Y são os desvios-padrão das variáveis X e Y , respectivamente. O coeficiente de correlação pode ser expresso ainda por r , conforme:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n [(x(i) - \bar{x})(y(i) - \bar{y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x(i) - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y(i) - \bar{y})^2}} \quad (\text{Eq. 2})$$

O coeficiente de correlação linear é adimensional e varia entre -1 e +1, o que não ocorre com a covariância. Assim, as unidades adotadas pelas variáveis não afetam o valor do coeficiente de correlação. Caso os dados se alinhem perfeitamente ao longo de uma reta com declividade positiva teremos a correlação linear positiva perfeita com o coeficiente igual a 1. A correlação linear negativa perfeita ocorre quando os dados se alinham perfeitamente ao longo de uma reta com declividade negativa e o

coeficiente de correlação é igual a -1. O significado de valores intermediários é facilmente percebido. A Figura 6 apresenta alguns diagramas de dispersão com os respectivos valores do coeficiente de correlação.

Figura 6 - Exemplos de Coeficiente de Correlação.



Fonte: Naghettini e Pinto (2007).

Ressalta-se, novamente, que um valor do coeficiente de correlação alto, embora estatisticamente significativo, não implica necessariamente numa relação de causa e efeito, mas, simplesmente indica a tendência que aquelas variáveis apresentam quanto à sua variação conjunta.

4.5.2. Teste de Kolmogorov-Smirnov

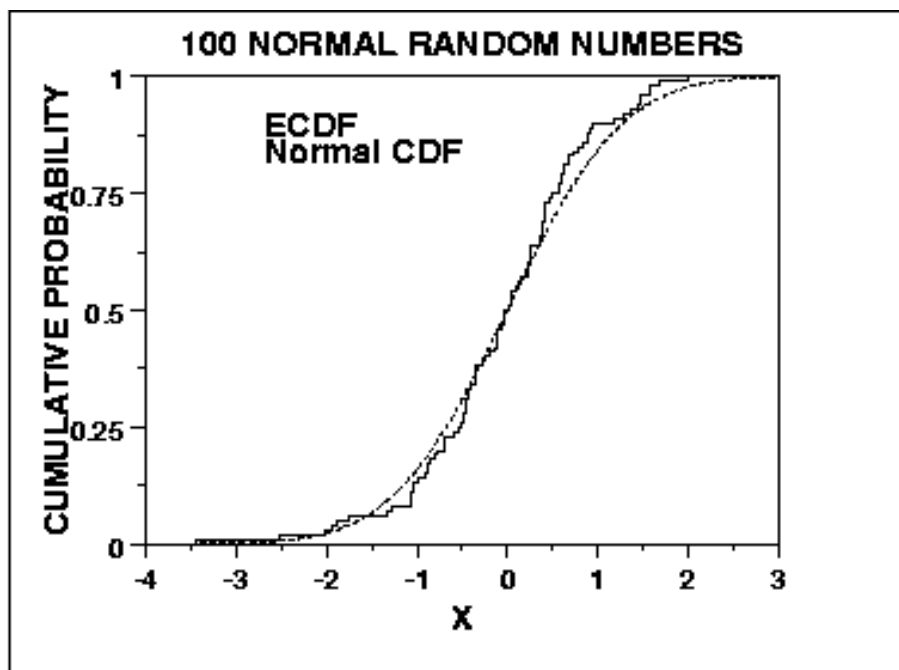
O teste de Kolmogorov-Smirnov é utilizado para decidir se uma amostra é proveniente de uma população com uma distribuição específica. É baseado na Função de Distribuição Empírica. Dado N pontos de dados ordenados $Y_1, Y_2, \dots, Y_N$, a Função de Distribuição Empírica é definida por:

$$En = n(i)/N \quad \text{Eq. (3)}$$

Onde $n(i)$ é o número de ponto menor que Y_i , e Y_i são ordenados do menor para o maior valor. Este é o ponto da função que aumenta de $1/N$ para o valor de cada dado dos pontos ordenados.

No gráfico abaixo foi plotado a Função de Distribuição Empírica com a Função de Distribuição Acumulada Normal para 100 números normais aleatórios. O K-S test é baseado na maior distância entre estas duas curvas (Figura 7)

Figura 7 - Distância das funções de distribuição.



Fonte: NIST/SEMATECH (2012).

O teste de Kolmogorov-Smirnov é definido por:

H_0 : Os dados seguem uma distribuição específica;

H_a : Os dados não seguem uma distribuição específica;

Teste Estatístico: $D = \max_{1 \leq i \leq N} (F(Y_i) - ((i-1)/N), ((i/N) - F(Y_i)))$.

4.6. Análise da dinâmica de precipitação para as regiões hidrográficas

4.6.1. Fatiamento da análise para as regiões hidrográficas

Após uma comparação geral sobre os dados para todo o território brasileiro, executou-se a comparação estatística sobre os dados por Regiões Hidrográficas. O Brasil está dividido em 12 regiões hidrográficas conforme

apresentado anteriormente, sobre estes dados obteve-se os valores de r , r^2 , $RMSE$ e $Erro (ABS)$.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados da comparação estatística de cada região hidrográfica para os anos de 2000 a 2014. Além da correlação espacial entre duas Grades de informações e por pontos de controle sobre as Grades, e um teste de normalidade para as mesmas Grades.

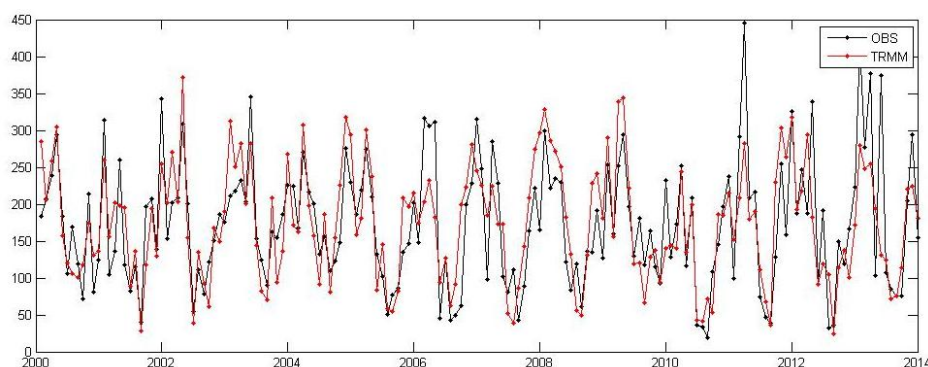
5.1. Correlação e Teste de normalidade por Grades para o território brasileiro

Em diversas pesquisas, é desejável avaliar a relação entre duas variáveis. Para esta pesquisa, as variáveis a serem avaliadas quantitativamente entre si, são as estimativas de precipitação por satélite e os dados de precipitação das estações meteorológicas convencionais. Neste caso, a análise é feita por meio de dados dispostos numa grade, fornecendo informações abrangendo todo o território brasileiro. Assim, fez necessário gerar também um teste de normalidade para verificar a maior distância vertical entre as curvas das variáveis.

5.1.1. Correlação

A Figura 8 apresenta a distribuição linear da precipitação medida e estimada ao longo de 2000 a 2014, feita a partir da média dos valores de todas as células sobre o território brasileiro, dela é possível considerar um alto indicativo de correlação entre as variáveis.

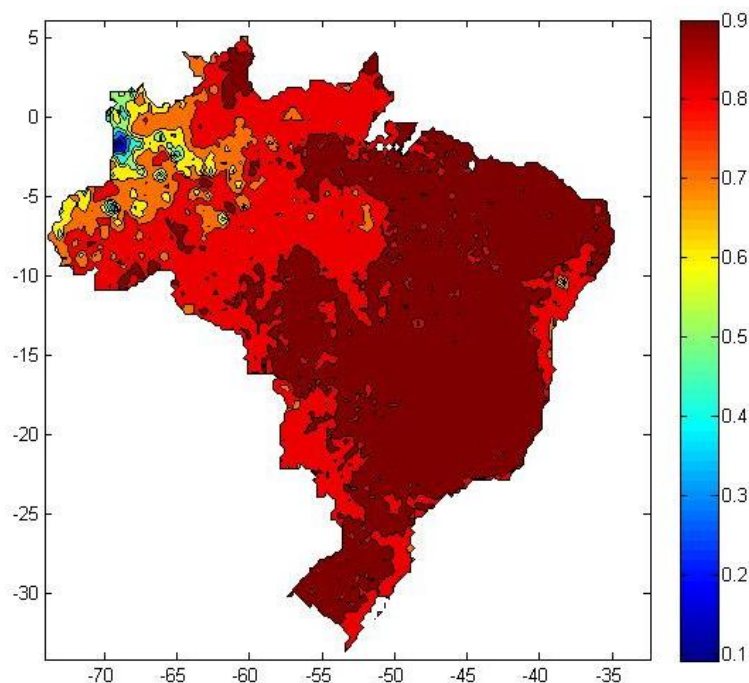
Figura 8 - Distribuição linear da precipitação medida e estimada.



Ainda que possamos considerar um alto índice de correlação entre as variáveis pela figura anterior, fez-se necessário avaliar as estimativas a partir de uma grade gerada pela interpolação dos dados das estações pluviométricas para o Brasil.

A Figura 9 é o resultado da operação realizada entre as duas Grades, representando o mapa de correlação entre eles.

Figura 9 - Mapa de correlação entre a grade das observações e a grade das estimativas de precipitação (TRMM).



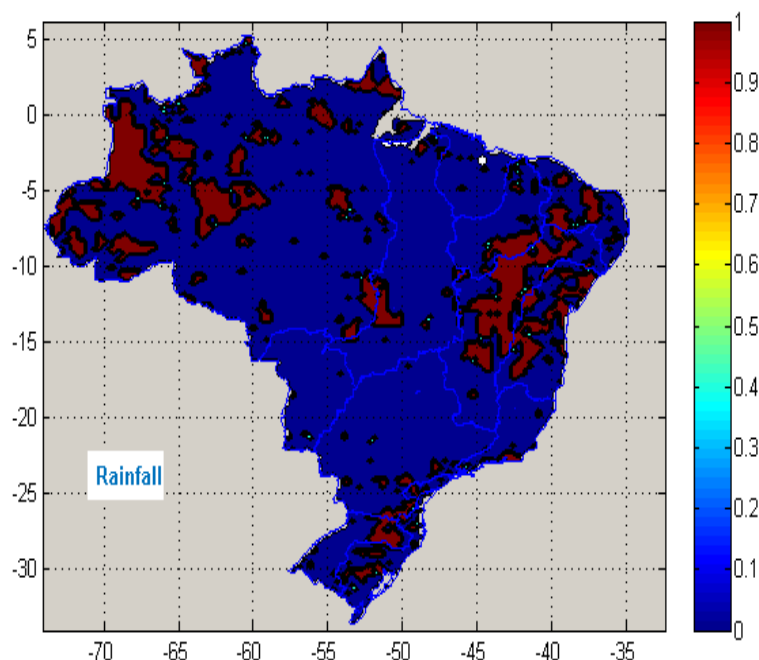
Na figura apresentada, percebe-se que a correlação entre os dois conjuntos de dados é alta, havendo apenas uma falta de concordância

numa região já conhecida pela menor densidade de estações pluviométricas do país.

5.1.2. Teste de Kolmogorov-Smirnov

A Figura 10 é o resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov, que valida os dados das estimativas de precipitação para esta pesquisa.

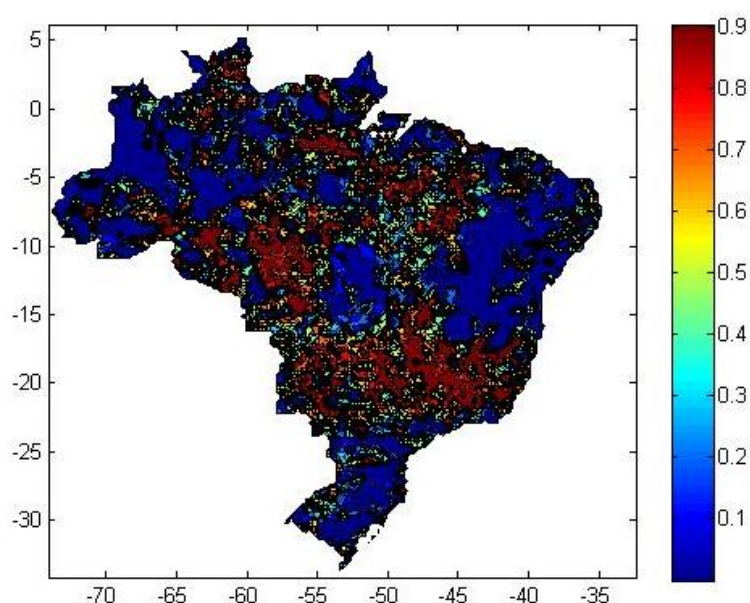
Figura 10 - Teste de Kolmogorov-Smirnov.



Pode-se perceber que foram obtidos bons resultados quanto às estimativas de precipitação, e que elas funcionam para grande parte do território brasileiro. Vale salientar que, nas regiões em vermelho, a hipótese nula foi aceita, indicando uma aleatoriedade entre os dados, possivelmente provocada pela escassez de dados devido a não homogeneidade das estações nestas regiões.

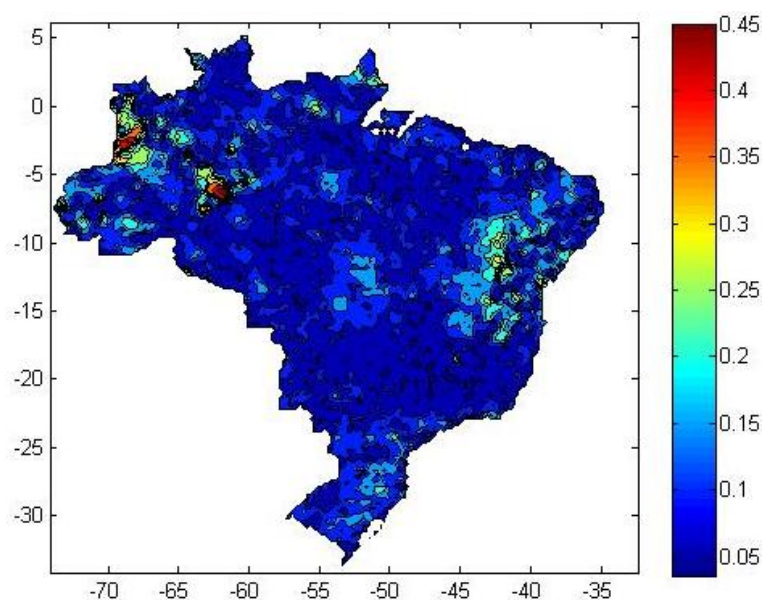
A Figura 11 mostra o mapa gerado pelo ks-test para as duas variáveis analisadas, o nível de significância definido foi de 5%.

Figura 11 - Valor-p gerado pelo ks-test.



A Figura 12 traz em destaque, as regiões que obtiveram resultados abaixo do esperado em relação ao nível de significância.

Figura 12 - Áreas que mantiveram valores-p abaixo do nível de significância.



A Tabela 1 apresenta o valor-p obtido através do processamento dos dados pelo ks-test para a região Centro-Oeste do Brasil.

Tabela 1 - Valor-P para as estações da Região Centro-Oeste.

ESTAÇÃO	UF	P-VALUE	ESTAÇÃO	UF	P-VALUE
BRASILIA	DF	0,257844	NHECOLANDIA	MS	0,96902
RONCADOR	DF	0,257844	PARANAIBA	MS	0,594236
ARAGARCAS	GO	0,148208	PONTA_PORA	MS	0
CATALAO	GO	0,31439	CACERES	MT	0,191148
FORMOSA	GO	0,11519	CANARANA	MT	0,066497
GOIANIA	GO	0,335139	CUIABA	MT	0,243804
GOIAS	GO	0,177801	DIAMANTINO	MT	0,697828
IPAMERI	GO	0,225876	GLEBA_CESTE	MT	0,154178
ITUMBIARA	GO	0,139306	MATUPA	MT	0,298127
JATAI	GO	0,697828	NOVA_XAVANTINA	MT	0,056816
PIRENOPOLIS	GO	0,212936	PADRE_RICARDO_REMETER	MT	0,021241
POSSE	GO	0,034849	POXOREO	MT	0,296828
RIO_VERDE	GO	0,575413	RONDONOPOLIS	MT	0,447617
CORUMBA	MS	0,225285	SAO_JOSE_DO_RIO_CLARO	MT	0,331806
IVINHEMA	MS	0,433914	-	-	-

Com os valores-p obtidos para a região centro-oeste, é possível afirmar que os dados das estimativas de precipitação do TRMM, são confiáveis e válidos para esta região.

A Tabela 2 apresenta o valor-p obtido através do processamento dos dados pelo ks-test para a região Norte do Brasil.

Tabela 2 - Valor-P para as estações da Região Norte.

EST	UF	VALOR P	EST	UF	VALOR P
ARAGUAIANA	TO	0,374966	PARITINS	AM	0,559338
PALMAS	TO	0,027434	CACHOEIRA_UAUPES	AM	0,095782
PEDRO_AFONSO	TO	0,106063	TEFE	AM	0,66014
PEIXE	TO	0,02417	MACAPA	AP	0
PORTO_NACIONAL	TO	0,105324	ALTAMIRA	PA	0,350977
TAGUATINGA	TO	0,000922	BELEM	PA	0,46941
CRUZEIRO_DO_SUL	AC	0,703101	BELTERRA	PA	0,681671
RIO_BRANCO	AC	0,423297	BREVES	PA	0,604808
TARAUACA	AC	0,797502	CAMETA	PA	0,163078
BARCELOS	AM	0,999216	CONCEICAO_ARAGUAIA	PA	0,198107
BENJAMIN_CONST	AM	0,002047	ITAITUBA	PA	0,03995
COARI	AM	0,845818	MARABA	PA	0,961325
CODAJAS	AM	0,165758	MONTE_ALEGRE	PA	0,748314
EIRUNEPE	AM	0,800301	OBIDOS	PA	0,956247
FONTE_BOA	AM	0,343981	PORTO_DE_MOZ	PA	0,285229
IAUARETE	AM	0,007892	SOURE	PA	0,559338

ITACOATIARA	AM	0,11945	TRACUATEUA	PA	0,142862
LABREA	AM	0,996383	TUCURUI	PA	0,669375
MANAUS	AM	0,316929	BOA_VISTA	RR	0,382361
MANICORE	AM	0,157822	CARACARAI	RR	0,907778

Com os valores-p obtidos para a região norte, é possível afirmar que os dados das estimativas de precipitação do TRMM, são confiáveis e válidos para esta região, com ressalvas às áreas aonde não possuem uma boa disponibilidade de estações.

A Tabela 3 apresenta o valor-p obtido através do processamento dos dados pelo ks-test para a região Nordeste do Brasil.

Tabela 3 - Valor-P para as estações da Região Nordeste.

EST	UF	VALOR P	EST	UF	VALOR P
AGUA_BRANCA	AL	0,095688	BALSAS	MA	0,099883
MACEIO	AL	0	BARRA_DO_CORDA	MA	0,580445
PALMEIRA_DOS_INDIOS	AL	0,092695	CAROLINA	MA	0,091085
PAO_DE_ACUCAR	AL	0,000171	CAXIAS	MA	0,35381
PORTO_DE_PEDRAS	AL	0,341669	CHAPADINHA	MA	0,052715
ALAGOINHAS	BA	0,233569	COLINAS	MA	0,099247
BARRA	BA	0,000001	IMPERATRIZ	MA	0,478651
BARREIRAS	BA	0,003208	SAO_LUIS	MA	0,774324
BOM_JESUS_DA_LAPA	BA	0,000118	TURIACU	MA	0,997586
CAETITE	BA	0,217879	ZE_DOCA	MA	0,301843
CANAVIEIRAS	BA	0	AREIA	PB	0,973659
CARAVELAS	BA	0	CAMPINA_GRANDE	PB	0,758155
CARINHANHA	BA	0,001085	JOAO_PESSOA	PB	0,382361
CIPO	BA	0,631701	MONTEIRO	PB	0,028746
CORRENTINA	BA	0,000322	PATOS	PB	0,000095
CRUZ_DAS_ALMAS	BA	0,000001	SAO_GONCALO	PB	0,000841
FEIRA_DE_SANTANA	BA	0,210278	ARCOVERDE	PE	0,223579
GUARATINGA	BA	0,529627	CABROBO	PE	0,001303
IRECE	BA	0	GARANHUNS	PE	0,000398
ITABERABA	BA	0,21892	OURICURI	PE	0,034883
ITIRUCU_JAGUAQUARA	BA	0,001372	PETROLINA	PE	0,000063
ITUACU	BA	0,000632	RECIFE_CURADO	PE	0
JACOBINA	BA	0,158737	SURUBIM	PE	0,024834
LENCOIS	BA	0,000743	TRIUNFO	PE	0,410238
MONTE_SANTO	BA	0,125758	BOM_JESUS_DO_PIAUI	PI	0,00035
MORRO_DO_CHAPEU	BA	0,010757	CALDEIRAO	PI	0,226014
PAULO_AFONSO	BA	0,020595	CARACOL	PI	0,000022
REMANSO	BA	0	ESPERANTINA	PI	0,013609
SALVADOR_ONDINA	BA	0	FLORIANO	PI	0,047238

SENHOR_DO_BONFIM	BA	0,038277	LUZILANDIA_LAG_DO_PIAUI	PI	0,00957
SERRINHA	BA	0,003229	PARNAIBA	PI	0,041711
STA_RITA_CASSIA	BA	0,006295	PAULISTANA	PI	0,000048
VITORIA_DA_CONQUISTA	BA	0,61885	PICOS	PI	0,006692
ACARAU	CE	0,09431	PIRIPIRI	PI	0,226014
BARBALHA	CE	0,002538	SAO_JOAO_DO_PIAUI	PI	0,000009
CAMPOS_SALES	CE	0,012722	TERESINA	PI	0,013453
CRATEUS	CE	0,277486	VALE_GURGUEIA	PI	0,002296
FORTALEZA	CE	0,413417	APODI	RN	0,001315
GUARAMIRANGA	CE	0,050358	CEARA_MIRIM	RN	0,043661
IGUATU	CE	0,000055	CRUZETA	RN	0,000154
JAGUARUANA	CE	0,001933	FLORANIA	RN	0,001167
MORADA_NOVA	CE	0,002071	MACAU	RN	0,003631
QUIXERAMOBIM	CE	0,045287	NATAL	RN	0
SOBRAL	CE	0,045367	SERIDO_CAICO	RN	0,000002
TAUA	CE	0,040136	ARACAJU	SE	0,000151
ALTO_PARNAIBA	MA	0,002185	ITABAIANINHA	SE	0,000037
BACABAL	MA	0,873349	PROPRIA	SE	0,004435

Com os valores-p obtidos para a região nordeste, é possível afirmar que os dados das estimativas de precipitação do TRMM, não são confiáveis e válidos para esta região, visto que mais de 2/3 das estações apresentaram um nível valores abaixo do nível de significância, prejudicando assim as análises para a R.H. do São Francisco.

A Tabela 4 apresenta o valor-p obtido através do processamento dos dados pelo ks-test para a região Sul do Brasil.

Tabela 4 - Valor-P para as estações da Região Sul.

EST	UF	VALOR P	EST	UF	VALOR P
CAMPO_MOURAO	PR	0,056659	PELOTAS	RS	0,098398
CASTRO	PR	0,043774	PORTO_ALEGRE	RS	0,014581
CURITIBA	PR	0,020439	RIO_GRANDE	RS	0,058337
IRATI	PR	0,436591	SANTA_MARIA	RS	0,076877
IVAI	PR	0,431246	SANTA_VITORIA_PALMAR	RS	0,339368
LONDRINA	PR	0,72133	SANTANA_DO_LIVRAMENTO	RS	0
MARINGA	PR	0,858348	SAO_LUIZ_GONZAGA	RS	0,819543
PARANAGUA	PR	0,431246	TORRES	RS	0
BAGE	RS	0,303967	URUGUAIANA	RS	0,015438
BENTO_GONCALVES	RS	0,001645	CAMPOS_NOVOS	SC	0,009685
BOM_JESUS	RS	0,000635	CHAPECO	SC	0,101073
CAXIAS_DO_SUL	RS	0,051871	FLORIANOPOLIS	SC	0
CRUZ_ALTA	RS	0,233966	INDAIAL	SC	0,174008

ENCRUZILHADA_DO_SUL	RS	0,001008	LAGES	SC	0,000028
IRAI	RS	0,025985	SAO_JOAQUIM	SC	0,014749
LAGOA_VERMELHA	RS	0,014581	URUSSANGA	SC	0,03995
PASSO_FUNDO	RS	0,032822	-	-	-

Com os valores-p obtidos para a região sul, é possível afirmar que os dados das estimativas de precipitação do TRMM, são pouco confiáveis e para esta região, pois metade das estações apresentaram valores abaixo do esperado, porém, pela análise feita grade sobre grade, apresenta um resultado aparentemente aceitável.

A Tabela 5 apresenta o valor-p obtido através do processamento dos dados pelo ks-test para a região Sudeste do Brasil.

Tabela 5 - Valor-P para as estações da Região Sudeste.

EST	UF	VALOR P	EST	UF	VALOR P
SAO_MATEUS	ES	0,669375	MACHADO	MG	0,730818
VITORIA	ES	0,577416	MOCAMBINHO	MG	0,002108
AIMORES	MG	0,558621	MONTE_AZUL	MG	0,000111
ARACUAI	MG	0,000065	MONTES_CLAROS	MG	0,045358
ARAXA	MG	0,550867	PARACATU	MG	0,049648
ARINOS	MG	0,002333	PATOS_DE_MINAS	MG	0,350716
BAMBUI	MG	0,648379	PEDRA_AZUL	MG	0,11324
BARBACENA	MG	0,353653	PIRAPORA	MG	0,117147
BELO_HORIZONTE	MG	0,75713	POMPEU	MG	0,439628
BOM_DESPACHO	MG	0,53513	SALINAS	MG	0,062579
C_DO_MATO_DENTRO	MG	0,992083	SAO_LOURENCO	MG	0,865393
CALDAS_P_DE_CALDAS	MG	0,598697	SAO_S_DO_PARAISO	MG	0,725961
CAPARAO	MG	0,337077	SETE_LAGOAS	MG	0,493993
CAPINOPOLIS	MG	0,737336	UBERABA	MG	0,390391
CARATINGA	MG	0,282663	UNAI	MG	0,016368
CARBONITA	MG	0,218518	VICOSA	MG	0,134754
CORONEL_PACHECO	MG	0,475877	AVELAR_P_ALFERES	RJ	0,291141
CURVELO	MG	0,545734	CAMPOS	RJ	0,235732
DIAMANTINA	MG	0,630999	CORDEIRO	RJ	0,041191
DIVINOPOLIS	MG	0,648379	ITAPERUNA	RJ	0,786188
ESPINOSA	MG	0,00001	RESENDE	RJ	0,120639
FLORESTAL	MG	0,791074	RIO_DE_JANEIRO	RJ	0
FORMOSO	MG	0,044627	AVARE	SP	0,909781
FRUTAL	MG	0,568356	CAMPOS_DO_JORDAO	SP	0,761848
IBIRITE	MG	0,77519	CATANDUVA	SP	0,92825
ITAMARANDIBA	MG	0,712235	FRANCA	SP	0,901842
ITUJUTABA	MG	0,355004	GUARULHOS	SP	0,057214

JANAUBA	MG	0,001642	PRESIDENTE_PRUDENTE	SP	0,425984
JANUARIA	MG	0,022068	SAO_CARLOS	SP	0,965091
JOAO_PINHEIRO	MG	0,274916	SAO_PAULO_MIR_SANTANA	SP	0,060058
JUIZ_DE_FORA	MG	0,227613	SAO_SIMAO	SP	0,520617
JURAMENTO	MG	0,236893	SOROCABA	SP	0,013298
LAMBARI	MG	0,533621	TAUBATE	SP	0,152702
LAVRAS	MG	0,853786	VOTUPORANGA	SP	0,75713

Com os valores-p obtidos para a região sudeste, é possível afirmar que os dados das estimativas de precipitação do TRMM, são confiáveis e válidos para esta região. A densidade das estações nessa região facilitou as análises, fornecendo resultados mais fiáveis quanto à validade das estimativas.

5.2. Dinâmica da precipitação nas Regiões Hidrográficas do Brasil

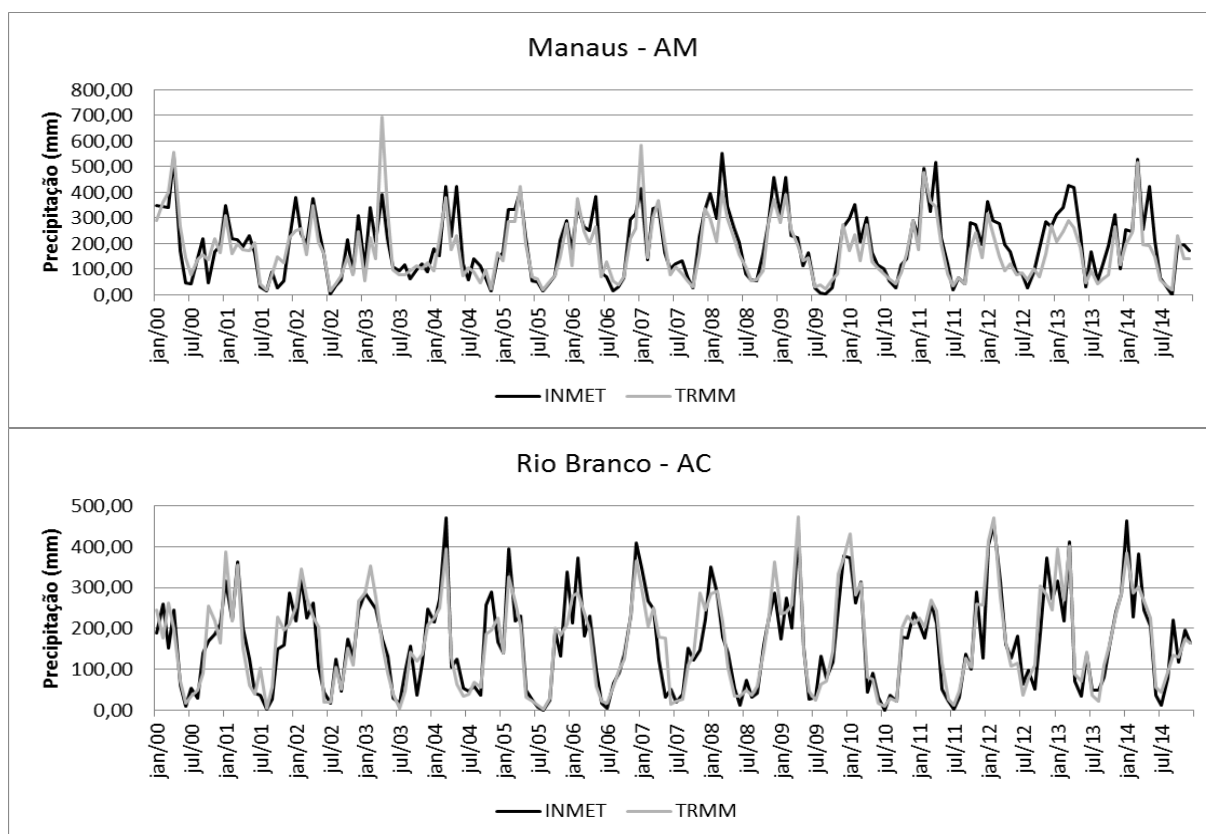
O comportamento hidrológico é complexo e pode sofrer variações de acordo com cada região hidrográfica, e também podem diferir dentro da própria região, pois várias zonas climáticas podem ser abrangidas por uma região hidrográfica. O estudo da dinâmica da precipitação nas regiões hidrográficas do Brasil visa compreender melhor este comportamento assim como a avaliação proposta nos objetivos deste trabalho de acordo com análises amostrais para cada região hidrográfica.

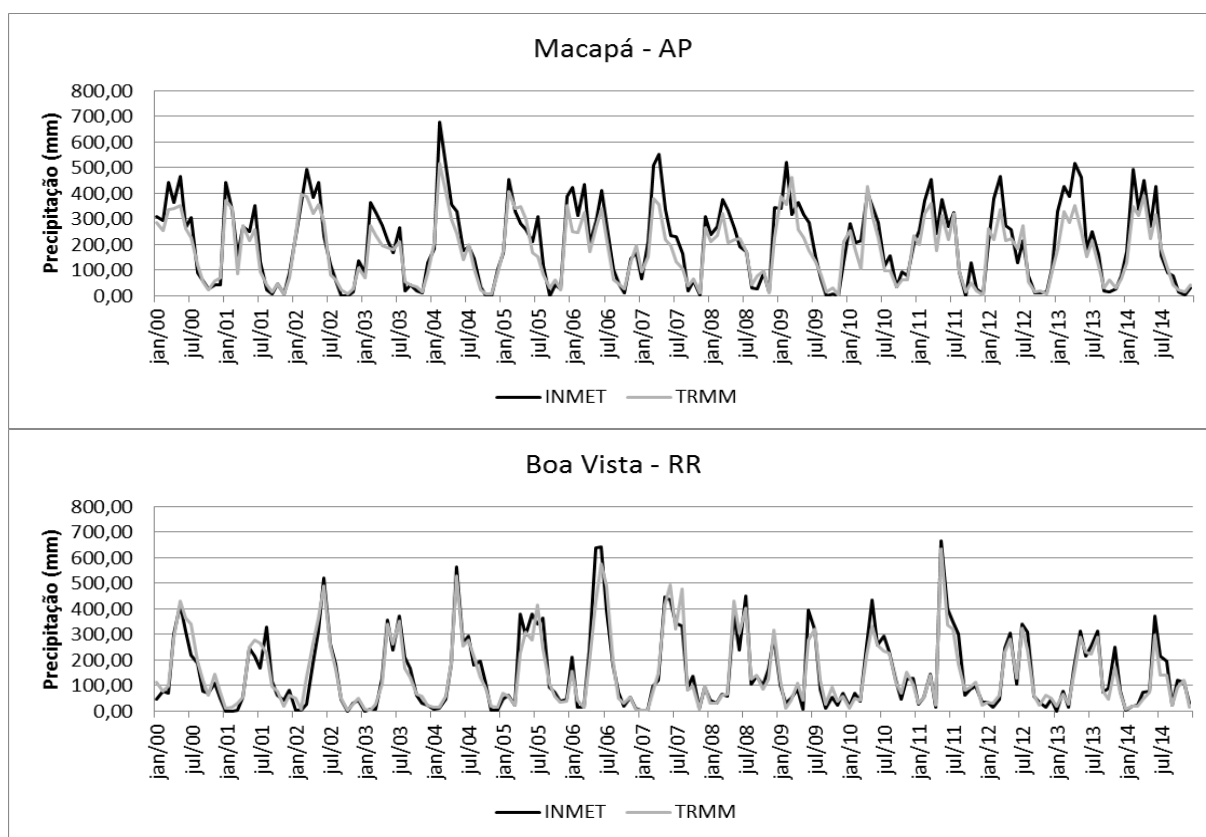
5.2.1. Região Hidrográfica Amazônica

A Figura 13 mostra o comportamento das chuvas ao longo de janeiro do ano 2000 a dezembro do ano 2014 nas estações Manaus-AM, Rio Branco-AC, Macapá-AP e Boa Vista-RR, do INMET, que também serviram como pontos de amostragem para os dados do TRMM.

Como se pode perceber, a comparação visual do gráfico nos revela que há um comportamento de grande correlação entre os dados do INMET e TRMM, observando-se apenas um momento de grande discrepância entre as duas fontes de dados em abril de 2003, discrepância essa de pouco mais 300 mm, porém de maneira geral, houve uma correlação 88,11% entre os dois conjuntos, para a estação Manaus - AM.

Figura 13 - Variação da precipitação no intervalo de 2000-2014 nas estações Manaus, Rio Branco, Macapá e Boa Vista.

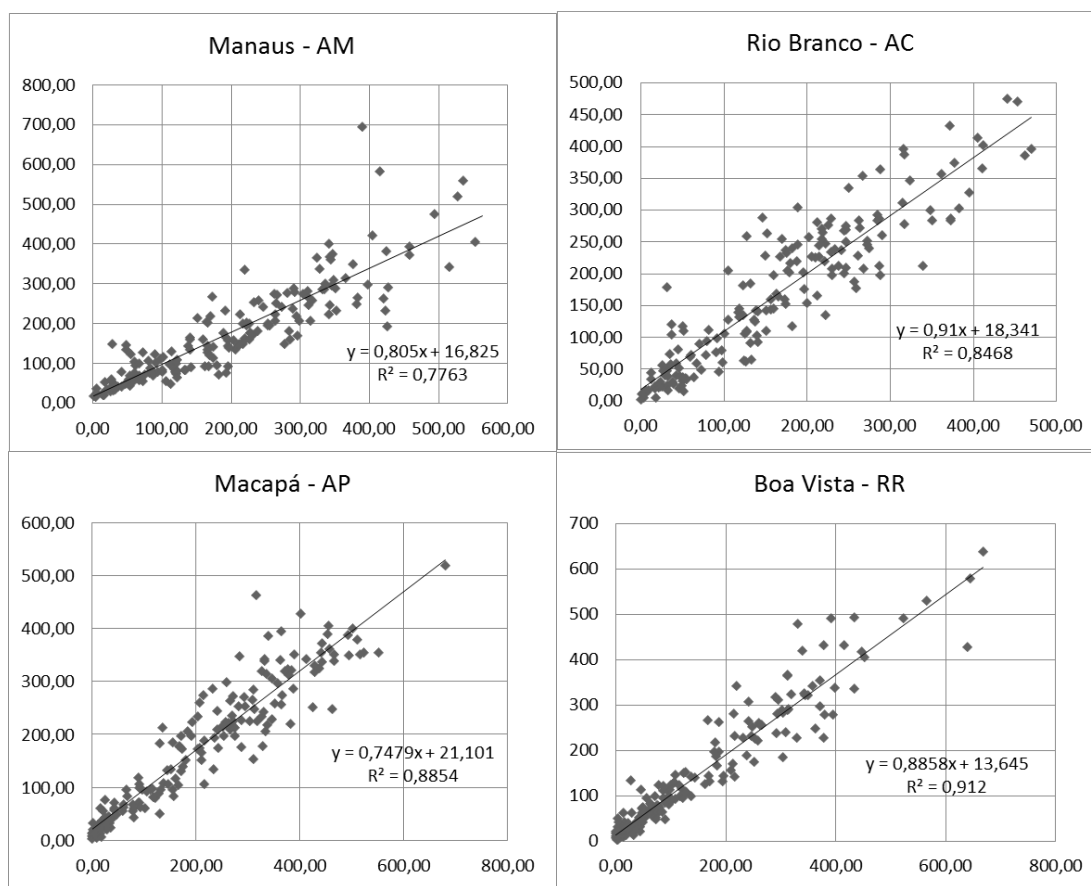




Para todas as outras estações, só por análise visual dos gráficos, ressalta-se a grande correlação entre os dados, não havendo nenhum ponto de grande discrepância entre os dois conjuntos. A correlação entre os dados é de 92,02% para Rio Branco – AC; 94,09% para Macapá – AP; e 95,50% para Boa Vista – RR.

A Figura 14 mostra de uma maneira mais simplificada alguns resultados de validação cruzada.

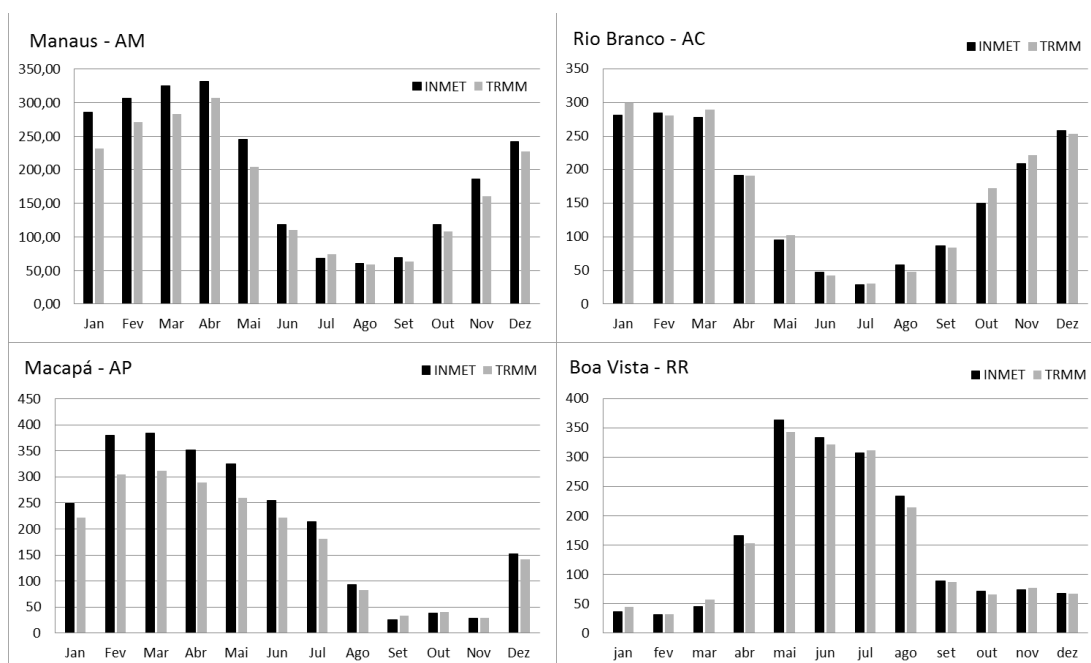
Figura 14 - Validação cruzada nas estações da R.H. Amazônica.



A correlação entre os dois conjuntos é alta, e os dados possuem um bom nível de significância para as 180 observações, como mostrado na Figura 14 o valor de $R^2 = 0,7763$ para o ponto de amostragem de Manaus, mostrando uma homogeneidade entre os dados, observável também através da linha de tendência. Para as demais estações foram obtidos resultados mais satisfatórios, sendo o valor de $R^2 = 0,8468$ para a estação de Rio Branco – AC; para a estação de Macapá – AP, o valor foi de 0,8854; e para Boa Vista – RR, o valor foi de 0,9120.

O nível de concordância entre os dados é ainda maior quando comparados em relação a sua média mensal, pois a discrepância agora é generalizada de 180 observações para apenas 12, sendo a média mensal anual para os 15 anos de dados observados. A Figura 15 ilustra bem esta situação.

Figura 15 - Precipitação média mensal de 2000-2014, R.H. Amazônica.



A correlação entre as médias mensais anuais para os dados INMET e TRMM chega a 99% para o ponto de amostragem de Manaus-AM, sendo os meses de maior discrepância os mais chuvosos, que vai de dezembro a maio, a maior discrepância encontrada é de 53,68 mm no mês de janeiro e a menor discrepância de 1,97 mm no mês de agosto, o menos chuvoso.

Para a estação de Rio Branco – AC, a correlação é de 99% para os valores dos dados. Também sendo os meses mais chuvosos com as maiores discrepâncias, que vai de outubro a março, a maior discrepância encontrada foi de 21,74 mm em outubro e a menor discrepância foi de 0,76 mm em abril.

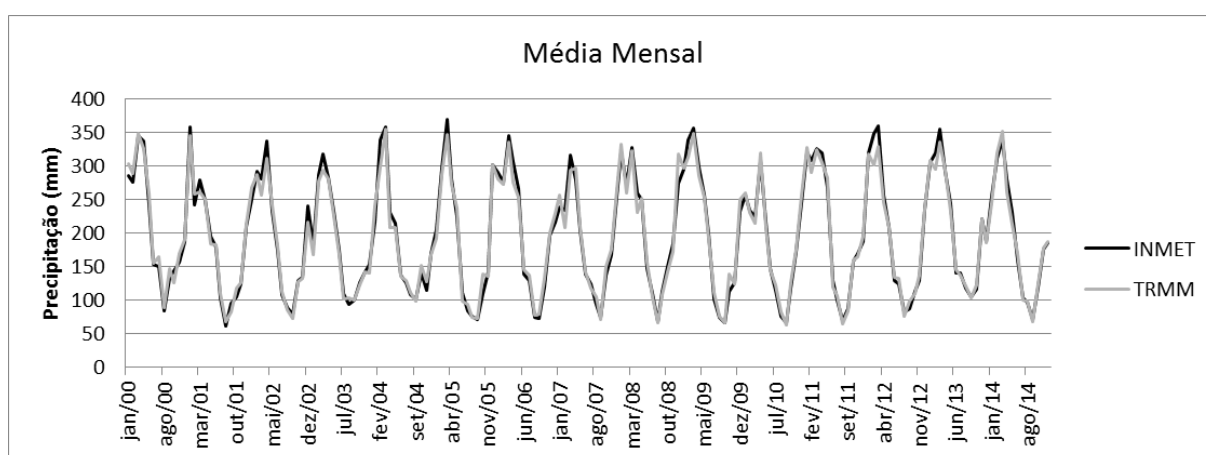
Na estação Macapá – AP, a correlação obtida foi de 99,80% entre os dois conjuntos de dados. Novamente as maiores discrepâncias se encontram nos meses mais chuvosos, que vai de janeiro a julho, apresentando um comportamento diferente as demais estações apresentadas anteriormente. Nesta estação os valores das discrepâncias foram maiores do que os encontrados nas outras, a maior discrepância encontrada foi de 73,97 mm para o mês de fevereiro, sendo o segundo mês mais chuvoso, e a menor discrepância encontrada foi de 0,71 mm no mês de novembro, o menos chuvoso.

E a estação de Boa vista – RR, apresentando um comportamento diferente das demais, com uma correlação entre os dados de 99,76%. E os períodos mais chuvosos indo de abril a agosto, com a maior discrepância no mês mais chuvoso, maio com 20,70 mm e 1 mm no mês menos chuvoso, fevereiro.

Após as análises preliminares de algumas estações visando entender o comportamento do fenômeno, e dos próprios dados, gerou-se a média mensal de todas as 32 estações do INMET e pontos amostrais do TRMM, a fim de se obter os resultados de forma mais abrangente para a Região Hidrográfica Amazônica.

A Figura 16 mostra exatamente a distribuição da precipitação média mensal para os 32 pontos de amostras. Percebe-se que há uma boa correlação entre os dados durante todos os anos avaliados.

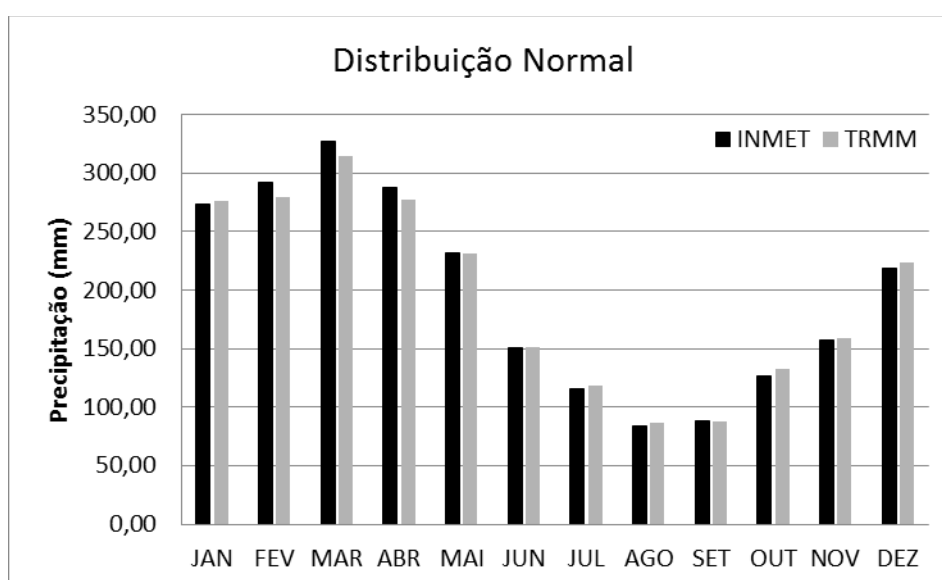
Figura 16 - Média mensal dos pontos amostrais da R.H. Amazônica.



Os dados tratados desta forma apresentam um índice de correlação de 98,98%. Percebe-se também que as séries temporais mantêm um comportamento cíclico, sendo importante salientar que esta comparação é feita com 15 anos de dados.

Ainda foi feita a normalização de precipitação, gerando um valor médio mensal para todas as estações e pontos amostrais da região selecionada, a Figura 17 mostra o gráfico dessa distribuição.

Figura 17 - Distribuição normal da precipitação na R.H. Amazônica.



A Tabela 6 contém os valores normais para as estações INMET e pontos amostrais TRMM, juntos aos valores de correlação linear, coeficiente de determinação, RMSE e erro absoluto.

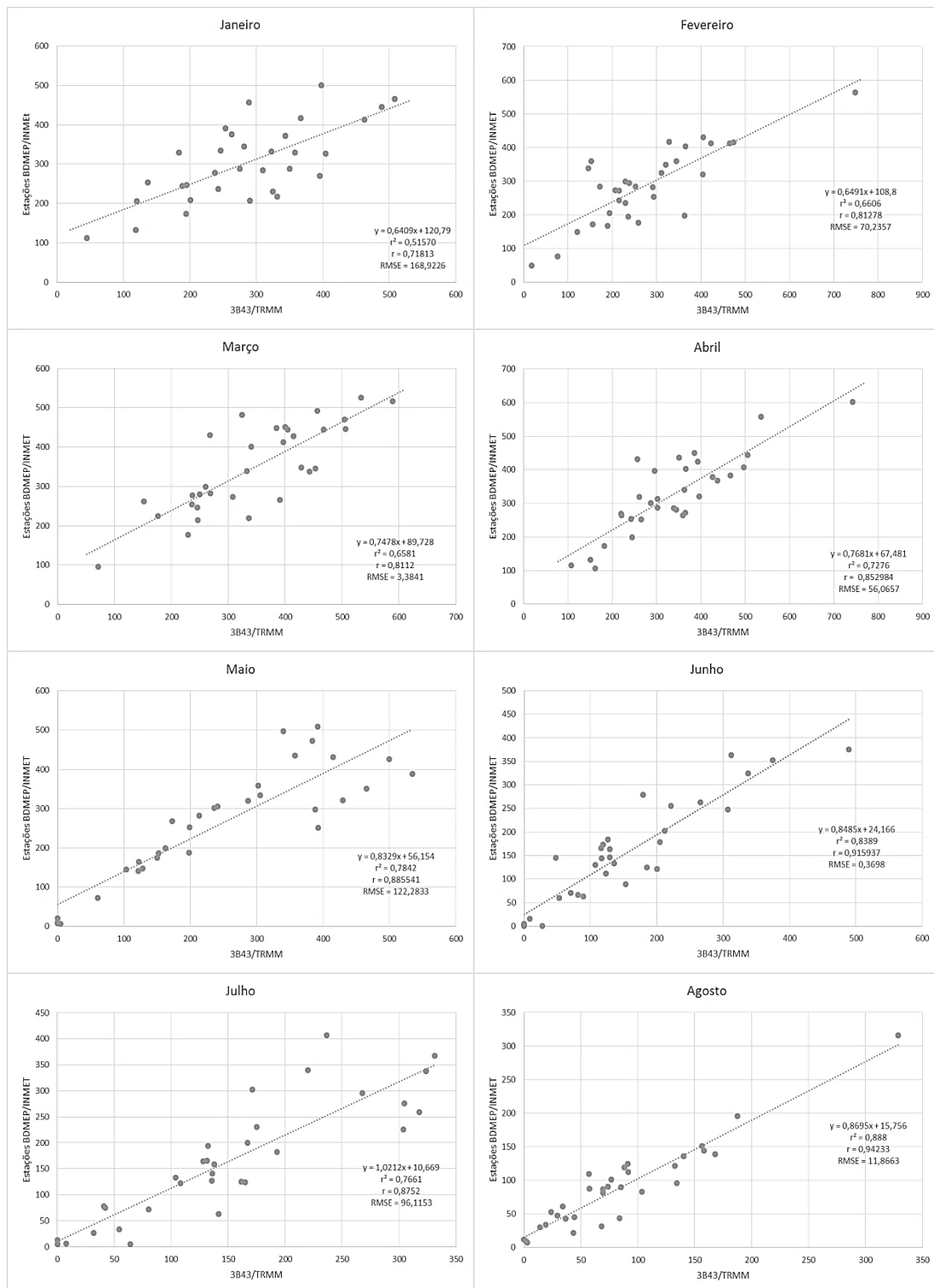
Tabela 6 - Valores de r , r^2 , RMSE e Erro (ABS), R.H. Amazônica.

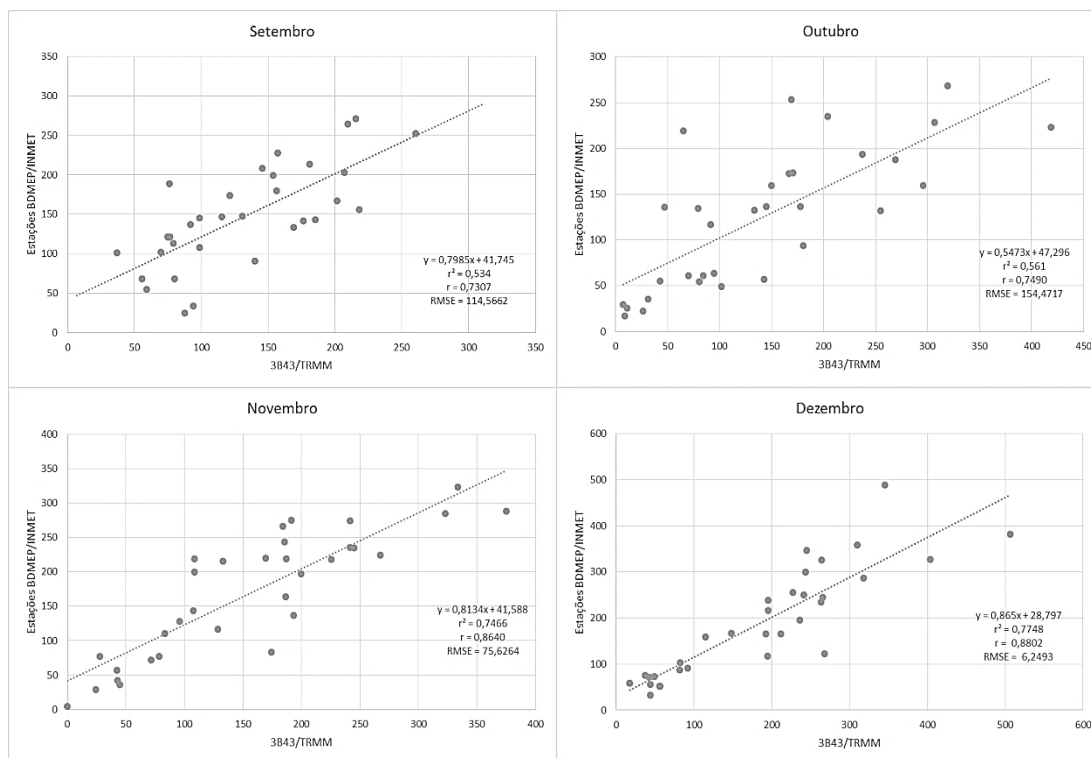
MÊS	INMET	TRMM	r	r^2	RMSE	Erro (ABS)
JAN	273,29	276,10	0,97	0,94	12,821	2,81
FEV	291,72	278,97	0,87	0,76	21,612	12,75
MAR	326,51	314,21	0,96	0,91	17,087	12,29
ABR	287,62	277,24	0,91	0,82	17,237	10,38
MAI	232,06	230,81	0,91	0,83	10,387	1,24
JUN	150,29	151,12	0,96	0,93	6,6298	0,82
JUL	115,22	118,45	0,92	0,86	7,5746	3,23
AGO	84,19	86,22	0,96	0,91	5,4778	2,02
SET	88,07	87,54	0,95	0,91	6,7381	0,53
OUT	126,24	132,60	0,66	0,44	13,694	6,36
NOV	157,01	158,41	0,98	0,95	6,4525	1,40
DEZ	218,61	223,35	0,96	0,92	15,25	4,73

Como pode ser visto na Tabela 6, existe uma concordância bem significativa entre os dados das estações e os dados do satélite. A Figura 17 apresenta a relação entre os dados de precipitação para a região hidrográfica amazônica, que embora apresente um número reduzido de estações apresenta uma relação relativamente bem distribuída entre os dois

conjuntos de dados. A Figura 18 apresenta gráficos de dispersão entre os dados de todas as estações para cada mês do ano.

Figura 18 - Resultados da validação cruzada, da raiz do erro médio quadrático - RMSE, do coeficiente de determinação (r^2) e do coeficiente de correlação de Pearson (r), R.H. Amazônica.





Conforme a Figura 18, nota-se que a raiz do erro médio quadrático apresentou variação de 0,37 a 168,92 mm, e que o coeficiente de determinação e o de correlação estiveram entre 0,5157 – 0,888 e 0,7181 – 0,9423, analisando de forma generalizada em relação aos meses do ano, ou seja, análise feita para as 32 estações adotadas na região. Percebe-se que esses gráficos não explicam quais períodos são mais ou menos chuvosos, apesar de no mês de agosto haver uma concentração de estações com baixos índices pluviométricos.

5.2.2. Regiões Hidrográficas do Brasil

No tópico anterior foi apresentada toda a metodologia seguida para a obtenção dos resultados desta pesquisa, como também os resultados referentes à Região Hidrográfica Amazônica, tal análise para as demais regiões foram realizadas e dispostas em um apêndice. Nas Tabelas 7, 8, 9 e 10 são apresentados os resultados dos testes estatísticos sobre os dados de cada região hidrográfica do Brasil.

Tabela 7 - Análises estatísticas de Janeiro, Fevereiro e Março, para as regiões hidrográficas.

Meses	Estatísticas	Regiões Hidrográficas do Brasil											
		Amazônica	Tocantins-Araguaia	Paraguai	Atlântico NE Ocidental	Parnaíba	Atlântico NE Oriental	São Francisco	Atlântico Leste	Atlântico Sudeste	Atlântico Sul	Paraná	Uruguai
Janeiro	INMET	273,29	295,03	240,53	218,68	163,95	97,89	162,91	100,22	230,41	171,01	272,67	150,61
	TRMM	276,10	292,31	269,04	214,48	180,93	103,56	170,99	102,66	261,69	179,60	279,40	168,72
	r	0,97	0,73	0,94	0,64	0,89	0,745	0,957	0,85	0,80	0,99	0,87	0,91
	r ²	0,94	0,53	0,88	0,42	0,80	0,56	0,91	0,73	0,64	0,98	0,77	0,83
	RMSE	12,821	31,94	34,43	20,46	28,05	25,30	25,27	19,45	47,93	14,25	24,03	22,11
	Erro (ABS)	2,81	2,71	28,51	4,20	16,98	5,68	8,08	2,45	31,28	8,59	6,73	18,11
Fevereiro	INMET	291,72	276,85	214,44	288,80	183,38	108,70	113,42	83,20	129,36	167,31	192,84	145,91
	TRMM	278,97	280,92	255,14	271,87	200,72	120,89	123,82	91,78	153,39	185,57	205,79	157,44
	r	0,87	0,91	0,91	0,861	0,973	0,796	0,91	0,74	0,95	0,97	0,81	0,95
	r ²	0,76	0,84	0,84	0,74	0,95	0,63	0,84	0,56	0,90	0,94	0,67	0,90
	RMSE	21,612	25,89	50,22	32,86	21,98	26,14	18,43	16,10	27,69	21,21	20,09	17,66
	Erro (ABS)	12,75	4,07	40,70	16,93	17,33	12,20	10,40	8,57	24,03	18,26	12,94	11,53
Março	INMET	326,51	293,21	201,97	346,99	200,39	150,42	137,05	102,49	169,50	147,49	179,98	143,52
	TRMM	314,21	297,67	210,64	346,87	205,20	153,38	147,37	97,67	189,14	146,50	192,87	141,92
	r	0,96	0,91	0,87	0,914	0,932	0,758	0,95	0,86	0,84	0,88	0,94	0,72
	r ²	0,91	0,83	0,77	0,84	0,87	0,57	0,91	0,74	0,72	0,78	0,88	0,52
	RMSE	17,087	36,05	26,22	31,92	25,53	39,40	17,91	20,99	29,09	18,13	21,00	10,12
	Erro (ABS)	12,29	4,45	8,67	0,12	4,81	2,96	10,33	4,82	19,63	0,99	12,88	1,59

Na Tabela 7 encontram-se os resultados para o primeiro trimestre anual, os dados renderam bons resultados para todas as regiões hidrográficas, tendo algumas ressalvas, sendo a maior discrepância encontrada entre os dados do INMET e TRMM de 31,28 mm para a R.H. do Atlântico Sudeste no mês de janeiro, porém não é uma discrepância significativa visto que foram utilizados para esta análise 15 anos de observações.

Em relação ao teste de correlação, a R.H. do Atlântico Nordeste Ocidental obteve uma correlação comparada às demais regiões, sendo abaixo de 70% e um erro (ABS) de apenas 4,20 mm, para o mês de janeiro. A baixa amplitude entre os dados não mostra exatamente como eles se comportam ao longo de toda a série, porém o teste de correlação nos

mostra se os dados estão em fase, ou se não estão em fase. Assim, os dados do INMET e TRMM se encontram em fase devido aos altos valores de correlação entre eles.

Tabela 8 - Análises estatísticas de Abril, Maio e Junho, para as regiões hidrográficas.

Meses	Estatísticas	Regiões Hidrográficas do Brasil											
		Amazônica	Tocantins-Araguaia	Paraguai	Atlântico NE Ocidental	Parnaíba	Atlântico NE Oriental	São Francisco	Atlântico Leste	Atlântico Sudeste	Atlântico Sul	Paraná	Uruguai
Abril	INMET	287,62	208,05	93,51	346,68	175,46	162,30	63,61	84,11	74,93	120,11	90,21	150,61
	TRMM	277,24	206,96	102,79	334,45	190,26	167,70	70,82	81,75	87,46	133,66	98,22	168,84
	r	0,91	0,97	0,85	0,947	0,97	0,829	0,82	0,91	0,74	0,83	0,85	0,88
	r²	0,82	0,95	0,72	0,90	0,95	0,69	0,68	0,83	0,56	0,70	0,73	0,77
	RMSE	17,23	25,47	15,05	35,01	27,46	43,17	13,47	19,66	18,17	16,82	14,13	22,33
	Erro (ABS)	10,38	1,09	9,28	12,24	14,81	5,41	7,21	2,36	12,53	13,54	8,00	18,22
Maio	INMET	232,06	100,58	45,17	217,14	75,97	142,92	29,93	68,23	40,82	122,10	58,46	136,97
	TRMM	230,81	101,69	60,16	228,37	89,89	130,06	30,30	57,73	46,36	127,90	65,79	144,03
	r	0,91	0,99	0,64	0,981	0,94	0,91	0,94	0,94	0,72	0,82	0,97	0,79
	r²	0,83	0,98	0,41	0,96	0,90	0,83	0,88	0,89	0,53	0,67	0,95	0,63
	RMSE	10,387	12,81	19,24	20,80	27,57	40,95	12,96	23,92	11,41	10,61	11,35	13,06
	Erro (ABS)	1,24	1,10	14,99	11,23	13,92	12,86	0,37	10,49	5,54	5,80	7,32	7,06
Junho	INMET	150,29	35,66	15,07	108,07	23,39	151,25	18,02	64,28	20,66	123,28	43,26	144,11
	TRMM	151,12	32,94	18,99	110,05	29,57	122,55	17,51	49,95	25,20	131,47	48,36	150,21
	r	0,96	0,99	0,18	0,983	0,98	0,93	0,93	0,93	0,85	0,77	0,98	0,95
	r²	0,93	0,99	0,03	0,97	0,98	0,87	0,88	0,87	0,72	0,60	0,97	0,92
	RMSE	6,62	8,15	5,17	16,82	9,68	71,36	12,83	28,55	8,18	14,46	8,53	11,82
	Erro (ABS)	0,82	2,71	3,91	1,98	6,17	28,70	0,50	14,33	4,54	8,19	5,10	6,10

Na Tabela 8 encontram-se os resultados para o segundo trimestre anual, os dados renderam bons resultados para todas as regiões hidrográficas, tendo algumas ressalvas, os valores de discrepância encontrados entre os dados do INMET e TRMM não foram amplos, não havendo uma discrepância significativa, temos que os valores medidos e estimados foram muito parecidos.

Em relação ao teste de correlação, a R.H. do Paraguai obteve um índice de correlação muito baixo, sendo abaixo de 20% e um erro (ABS) de apenas 3,91mm, para o mês de junho. Mostrando mais uma vez que a baixa amplitude entre os dados não significa que eles se comportem de maneira semelhante ao longo de toda a série. Os dados tiveram um erro muito pequeno, porém não correlacionados, ou seja, estão fora de fase entre si.

Tabela 9 - Análises estatísticas de Julho, Agosto e Setembro, para as regiões hidrográficas.

Meses	Estatísticas	Regiões Hidrográficas do Brasil											
		Amazônica	Tocantins-Araguaia	Paraguai	Atlântico NE Ocidental	Parnaíba	Atlântico NE Oriental	São Francisco	Atlântico Leste	Atlântico Sudeste	Atlântico Sul	Paraná	Uruguai
Julho	INMET	115,22	25,44148	13,56633	69,132	11,979	101,079	16,807	58,372	23,17357	136,2271	39,15117	133,3668
	TRMM	118,45	24,8096	17,56245	70,723	15,770	85,170	14,874	43,803	25,72434	151,6402	40,8002	137,8374
	r	0,92	0,991219	0,677679	0,996	0,937	0,948	0,913	0,939	0,894836	0,93802	0,99016	0,933582
	r²	0,86	0,982516	0,459248	0,99	0,88	0,90	0,83	0,88	0,800732	0,879881	0,980429	0,871575
	RMSE	7,5746	7,033855	6,053972	6,98	7,41	43,61	16,79	25,95	7,415139	19,05162	5,207479	11,54941
	Erro (ABS)	3,23	0,631878	3,996115	1,59	3,79	15,91	1,93	14,57	2,550767	15,41307	1,649028	4,470659
Agosto	INMET	84,19	18,43222	12,83875	24,505	4,891	66,075	13,539	43,905	22,17629	122,7269	28,96133	119,8553
	TRMM	86,22	20,28569	15,09598	27,568	6,873	52,072	12,518	35,623	25,15393	120,0599	31,51299	118,8615
	r	0,96	0,991963	0,522173	0,950	0,885	0,935	0,897	0,941	0,925627	0,836867	0,983832	0,859914
	r²	0,91	0,98399	0,272665	0,90	0,78	0,87	0,80	0,89	0,856785	0,700347	0,967926	0,739453
	RMSE	5,4778	4,624578	4,816235	7,14	4,30	34,56	10,91	16,10	0,488267	10,94595	5,211048	11,34229
	Erro (ABS)	2,02	1,853464	2,257227	3,06	1,98	14,00	1,02	8,28	2,977646	2,666975	2,551659	0,993794
Setembro	INMET	88,07	43,58333	43,869	13,734	6,919	32,353	21,680	40,448	48,62843	156,3891	71,90068	174,424
	TRMM	87,54	43,51768	53,20579	15,381	9,101	30,282	24,416	33,297	56,82949	180,2473	78,27744	195,0091
	r	0,95	0,897523	0,275075	0,826	0,720	0,954	0,890	0,886	0,769074	0,957384	0,975564	0,897197
	r²	0,91	0,805548	0,075666	0,68	0,52	0,91	0,79	0,78	0,591474	0,916585	0,951725	0,804963
	RMSE	6,7381	12,39462	17,64633	4,86	4,80	12,70	8,12	15,95	11,30594	25,57749	9,669619	25,4317
	Erro (ABS)	0,53	0,065653	9,336792	1,65	2,18	2,07	2,74	7,15	8,201065	23,8582	6,376753	20,5851

Tabela 10 - Análises estatísticas de Outubro, Novembro e Dezembro, para as regiões hidrográficas.

Meses	Estatísticas	Regiões Hidrográficas do Brasil											
		Amazônica	Tocantins-Araguaia	Paraguai	Atlântico NE Ocidental	Parnaíba	Atlântico NE Oriental	São Francisco	Atlântico Leste	Atlântico Sudeste	Atlântico Sul	Paraná	Uruguai
Outubro	INMET	126,24	114,4319	117,3098	24,488	31,688	24,556	59,713	62,465	100,3888	146,9773	123,4876	214,0364
	TRMM	132,60	117,6391	129,5709	26,684	36,438	19,970	70,658	58,567	117,2992	166,868	123,798	222,7478
	r	0,66	0,830183	0,900291	0,953	0,964	0,880	0,918	0,895	0,779261	0,916453	0,85323	0,910774
	r²	0,44	0,689203	0,810524	0,91	0,93	0,77	0,84	0,80	0,607248	0,839886	0,728002	0,829509
	RMSE	13,694	16,43575	20,41892	7,25	8,39	9,78	16,89	15,36	20,79607	23,98947	14,67793	18,31567
	Erro (ABS)	6,36	3,207262	12,26113	2,20	4,75	4,59	10,95	3,90	16,91041	19,89067	0,31042	8,711396
Novembro	INMET	157,01	184,0511	164,7461	41,752	55,675	15,847	148,999	125,216	209,31	131,6632	179,6715	150,9648
	TRMM	158,41	173,9128	171,7685	46,644	63,102	10,958	156,702	120,450	236,8905	149,1248	183,1922	164,7273
	r	0,98	0,900306	0,837535	0,962	0,950	0,632	0,976	0,960	0,879377	0,856442	0,83328	0,213009
	r²	0,95	0,810551	0,701465	0,93	0,90	0,40	0,95	0,92	0,773304	0,733493	0,694356	0,045373
	RMSE	6,4525	26,4209	22,75958	9,88	15,76	10,56	19,30	20,97	30,65986	24,29035	20,11791	16,72655
	Erro (ABS)	1,40	10,13828	7,022427	4,89	7,43	4,89	7,70	4,77	27,58052	17,46157	3,520689	13,76244
Dezembro	INMET	218,61	246,0515	212,2136	85,113	92,971	30,871	195,385	121,543	263,8854	138,291	235,5563	157,3417
	TRMM	223,35	240,1915	228,1811	81,894	103,391	36,146	202,211	128,390	293,0519	151,9699	244,7717	174,1308
	r	0,96	0,795459	0,948674	0,975	0,985	0,805	0,977	0,977	0,903206	0,929363	0,91094	0,855303
	r²	0,92	0,632756	0,899982	0,95	0,97	0,65	0,95	0,95	0,815781	0,863716	0,829812	0,731543
	RMSE	15,25	24,40165	23,3194	9,41	13,72	13,11	22,93	18,72	38,34065	21,44453	24,1265	21,23284
	Erro (ABS)	473	5,860012	15,96755	3,22	10,42	5,28	6,83	6,85	29,16652	13,67897	9,215364	16,78917

Nas Tabelas 9 e 10 encontram-se os resultados para o terceiro e quarto trimestre anual, os dados renderam bons resultados para todas as regiões hidrográficas, os dados seguiram a mesma tendência de não possuir uma grande amplitude entre si, porém importante ressaltar, não significando em si, correlação entre os dados.

Os dados se mostraram alto correlacionados de maneira geral, porém, apresentaram momentos de não correlação entre si. Em setembro na R.H. do Paraguai não obteve-se uma boa correlação entre os dados, assim como em novembro na R.H. do Uruguai com o valor de correlação de 27% e 21% respectivamente.

6. CONCLUSÕES

Os resultados indicam que as estimativas de precipitação por satélite para o Brasil é uma fonte válida, contendo algumas ressalvas em determinadas áreas. Porém, estas deverão ser analisadas novamente, quando houver uma maior densidade de estações pluviométricas ativas, recobrando a maior área possível.

Os testes realizados entre os dados através dos pontos amostrais das estações do INMET e as estimativas do TRMM, indicam uma maior discrepância entre os dados em épocas mais chuvosas.

Contudo, umas das regiões onde apresentou um bom índice de correlação entre os dois conjuntos de dados, mas que no ks-test não apresentou um resultado satisfatório em relação à significância das estimativas, a R.H. do São Francisco, uma região com o índice pluviométrico baixo em relação a outras regiões hidrográficas.

Esta merece uma atenção maior em futuros estudos, visando entender o porquê deste comportamento anômalo, pois se esperava obter bons resultados quanto a sua validade. Ainda assim, tratando-se do acompanhamento do comportamento da precipitação, os dados TRMM podem ser uma fonte alternativa a ser considerada.

Recomendações

- ❖ Realizar comparações estatísticas com outras fontes de dados, como por exemplo, as estimativas de precipitação fornecidas pelo GPCC, aonde os dados são disponíveis gratuitamente, numa abrangência entre o ano de 1901 e 2010.
- ❖ Aplicar novos testes estatísticos como;
 - Análise das Principais Componentes (PCA);
 - Transformada Rápida de Fourier (FFT);

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, J. et al. **Drought Shrinking São Paulo Reservoirs**. Disponível em: <<http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=84564&src=eoaiotd>>.

ALMEIDA, C. T. et al. Avaliações das estimativas de precipitação do produto 3B43-TRMM do estado do Amazonas. **Floresta e Ambiente**, v.22(3), p. 279-286, 2015.

ANA. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil - 2009**. 1ª. ed. Brasília: ANA, 2009a.

ANA. **Inventário das estações pluviométricas**. 2ª. ed. Brasília: ANA; SGH, 2009b.

ANA. **Diretrizes e análises recomendadas para a consistência de dados pluviométricos**. Brasília: [s.n.].

ANDERSON, L. O. et al. Avaliação dos dados de chuva mensal para a região amazônica oriundos do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) produto 3b43 versões 6 e 7 para o período de 1998 a 2010. **Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, p. 6743-6750, 2013.

AWANGE, J. et al. Frequency and severity of drought in the Lake Victoria region (Kenya) and its effects on food security. **Climate Research**, v. 33, p. 135-142, 2007.

BBC. **Brazil drought crisis deepens in Sao Paulo**. Disponível em: <<http://www.bbc.com/news/world-latin-america-29581069>>.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2ª. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2001.

CAMPAROTTO, L. B. et al. 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.

CURTARELLI, M. P. et al. Avaliação do produto TRMM 3B42 diário sobre a Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia até o reservatório de Tucuruí-PA. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, p. 5816-5823, 2013.

DELAHAYE F. et al. Análise geoestatística das precipitações mensais na Amazônia brasileira. **IX Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica**. 2010.

MELO, 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*, 2015, **120**, 18, 9426

DOWNING, D.; CLARK, J.; FARIAS, A. A. **Estatística Aplicada**. 2ª. ed. São Paulo: Saraiva, 2005.

FARIAS, S. E. M. et al. Avaliação das estimativas de precipitação do satélite TRMM para o Estado de Goiás: uma abordagem climatológica. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, p. 1938-1944, 2013.

FERNANDES, D. S. et al. **Índices para a Quantificação da Seca**. 1ª. ed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2009.

FERNANDES, L. G. L. Utilização de redes neurais na análise e previsão de séries temporais. 1995.

FLEMING, K. et al. Evaluating the TRMM 3B43 monthly precipitation product using gridded raingauge data over Australia. **Australian Meteorological and Oceanographic**, v. 61, p. 171–184, 2011.

FLEMING, K.; AWANGE, J. L. Comparing the version 7 TRMM 3B43 monthly precipitation product with the TRMM 3B43 version 6 / 6A and Bureau of Meteorology datasets for Australia. **Australian Meteorological and Oceanographic**, v. 63, n. October 2006, p. 421–426, 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, 23 jan. 2009.

GLOBO. **País atravessa uma das piores secas dos últimos 80 anos, diz ONS**. Disponível em: <<http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2014/02/pais-atravessa-uma-das-piores-secas-dos-ultimos-80-anos-diz-ons.html>>.

GRAHAM, S. **Tropical rainfall Comprises mores than two-thirds of global rainfall**. Disponível em: <<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/TRMM/>>. Acesso em: 8 nov. 2014.

HUFFMAN, G. J. et al. Global precipitation estimates based on a technique for combining satellite-based estimates, rain gauge analysis, and NWP model precipitation information.pdf. **Journal of Climate**, v. 8, n. 1, p. 1284–1295, 1995.

HUFFMAN, G. J. et al. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales. **Journal of Hydrometeorology**, v. 8, n. 1, p. 38–55, fev. 2007.

JAXA. **Tropical Rainfall Measuring Mission “TRMM”**. Disponível em: <<http://global.jaxa.jp/projects/sat/trmm/>>. Acesso em: 8 nov. 2014.

KÖPPEN, W. Das geographische System der Klimate. In: KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (Eds.). **Handbuch der Klimatologie**. 1. ed. Berlin: Verlag von Gebrüder Borntraeger, 1936. p. 1–44.

KUMMEROW, C. et al. The tropical rainfall measuring mission (TRMM) sensor package. **Journal of atmospheric and oceanic technology**, v. 15, n. 3, p. 809–817, 1998.

LOBEL, F. et al. **Seca no Sudeste já atinge 133 cidades e afeta economia**. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2014/11/1541915-seca-no-sudeste-atinge-133-cidades-e-ja-afeta-economia.shtml>>.

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

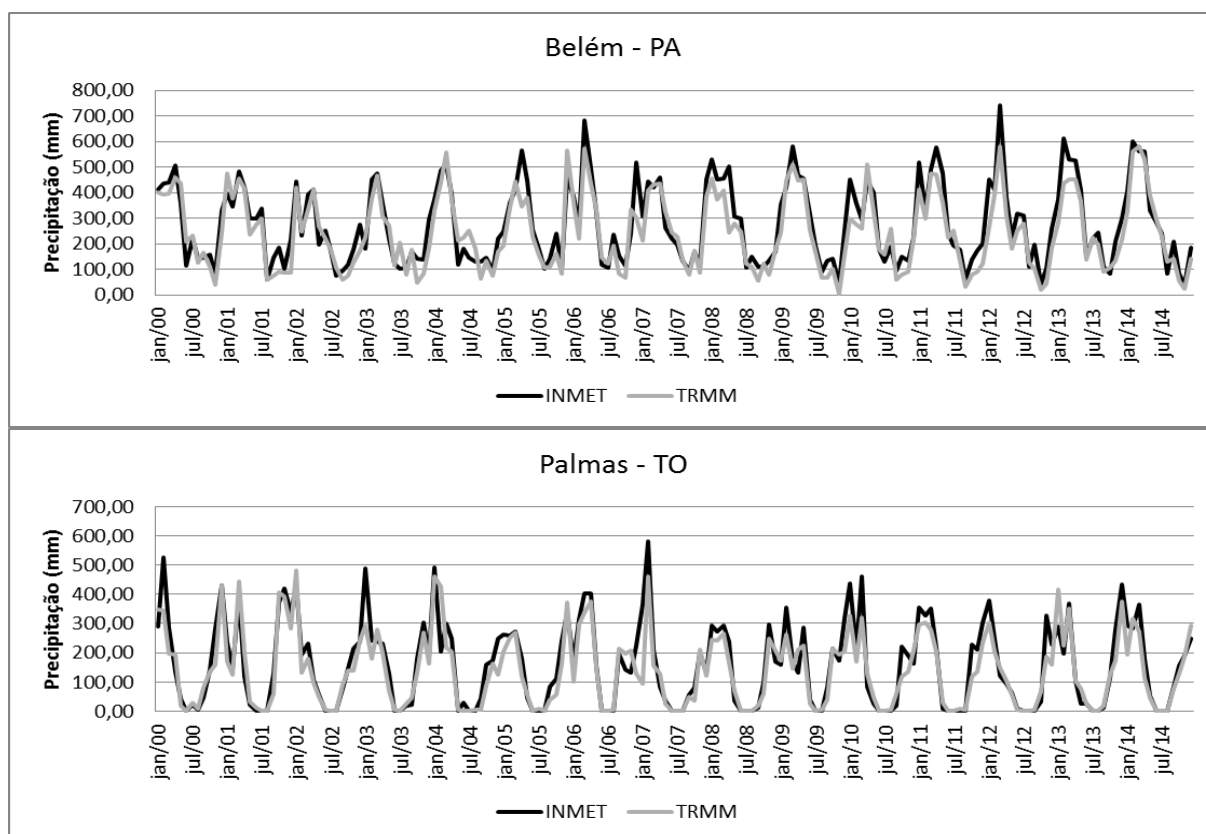
- MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. **Análise de séries temporais**. [s.l.] Blucher, 2006.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. D. A. **Hidrologia Estatística**. [s.l.: s.n.].
- NASA. **Global Precipitation Measurement**. Disponível em: <<http://pmm.nasa.gov/gpm>>. Publicado em: 4 jan 2011. Acesso em: 21 mar 2016.
- NASA. **Precipitation Radar**. Disponível em: <http://trmm.gsfc.nasa.gov/overview_dir/pr.html>. Acesso em: 8 nov. 2014a.
- NASA. **TRMM Microwave Imager**. Disponível em: <http://trmm.gsfc.nasa.gov/overview_dir/tmi.html>. Acesso em: 8 nov. 2014b.
- NASA. **Visible and Infrared Scanner**. Disponível em: <http://trmm.gsfc.nasa.gov/overview_dir/virs.html>. Acesso em: 8 nov. 2014c.
- NASA. **Clouds and the Earth's Radiant Energy System**. Disponível em: <http://trmm.gsfc.nasa.gov/overview_dir/ceres.html>. Acesso em: 8 nov. 2014d.
- NASA. **Lightning Imaging Sensor**. Disponível em: <http://trmm.gsfc.nasa.gov/overview_dir/lis.html>. Acesso em: 8 nov. 2014e.
- NIST/SEMATECH. **e-Handbook of Statistical Methods**, Disponível em: <<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>>, Acesso em: 23 abr 2016.
- PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, p. 1633–1644, 2007.
- 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.
- RASCÓN, L. E. M.; ROMÁN, A. J. **Principios de Hidrogeografia. Estudio Del Ciclo Hidrológico**. 1ª. ed. Ciudad de México: UNAM, 2005.
- ROCHA, C. L. **Outorga de direito de uso da água em Alagoas**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.
- RUBEL, F.; KOTTEK, M. Observed and projected climate shifts 1901–2100 depicted by world maps of the Köppen-Geiger climate classification. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 19, n. 2, p. 135–141, 1 abr. 2010.
- SANTOS, J. R. N. et al. Precisão dos dados do satélite Tropical Rainfall Measure Mission (TRMM) na região de transição Amazônia-Cerrado no Estado do Maranhão. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, p. 4807–4813, 2015.

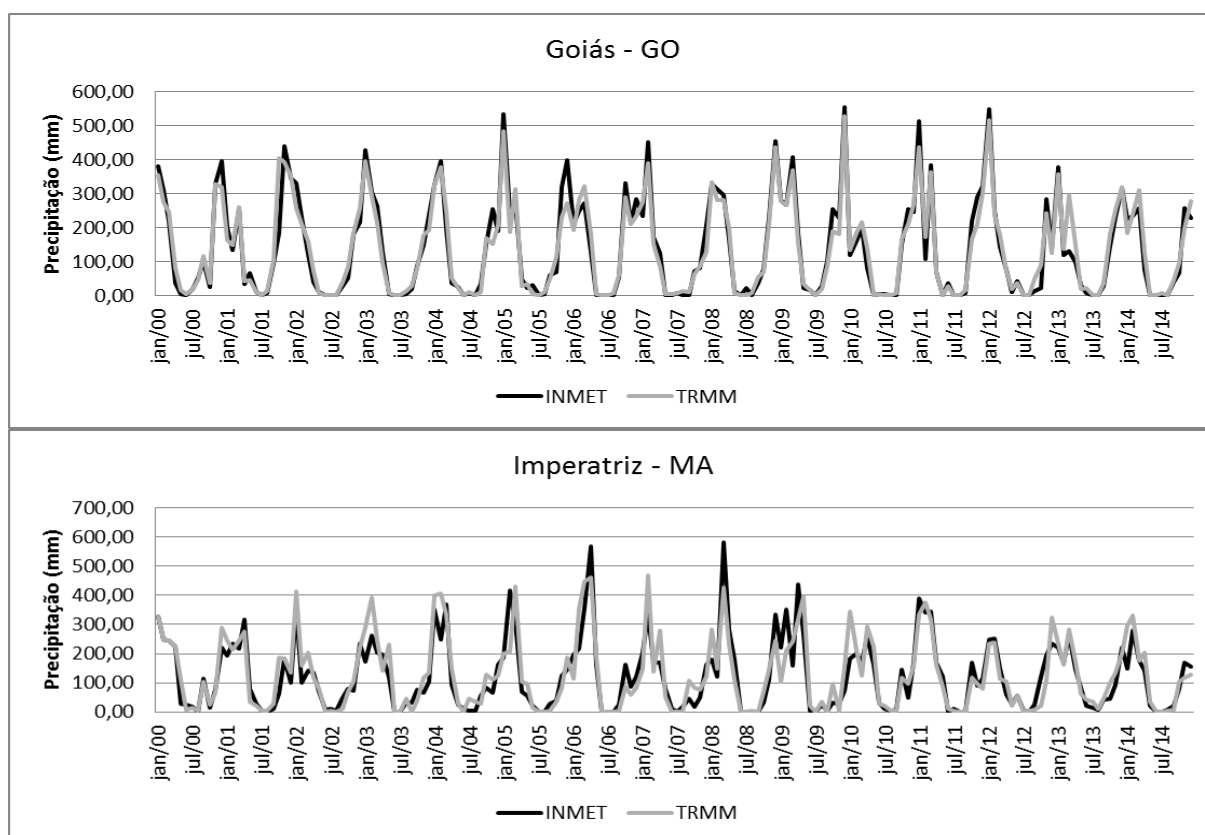
APÊNDICE A - Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia

A Figura 19 mostra o comportamento das chuvas ao longo de janeiro do ano 2000 a dezembro do ano 2014 nas estações Belém - PA, Palmas - AC, Goiás - GO e Imperatriz - MA, do INMET, que também serviram como pontos de amostragem para os dados do TRMM.

Como se pode perceber, a comparação visual do gráfico nos revela que há um comportamento de grande correlação entre os dados do INMET e TRMM, observando-se apenas um momento de grande discrepância entre as duas fontes de dados em abril de 2003, discrepância essa de pouco mais 259,7 mm, porém de maneira geral, houve uma correlação 92,48% entre os dois conjuntos, para a estação Belém-PA.

Figura 19 - Variação da precipitação no intervalo de 2000 - 2014 nas estações de Belém, Palmas, Goiás e Imperatriz.

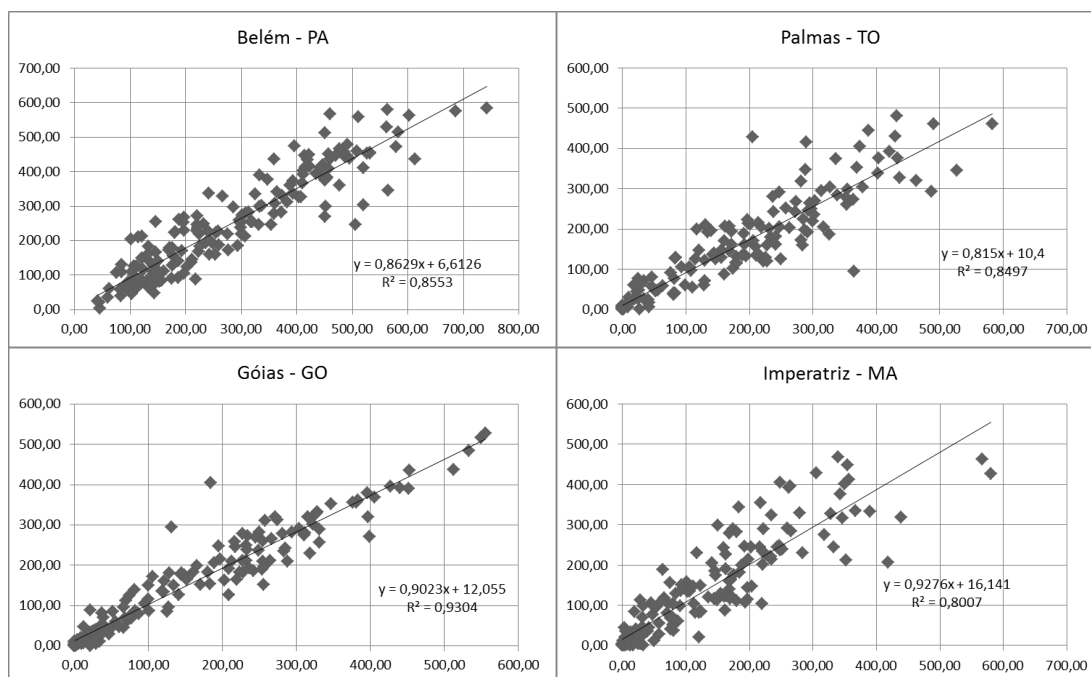




Para todas as outras estações, só por análise visual dos gráficos, ressalta-se a grande correlação entre os dados, não havendo nenhum ponto de grande discrepância entre os dois conjuntos. A correlação entre os dados é de 92,18% para Palmas – TO; 96,46% para Goiás – GO; e 89,48% para Imperatriz – MA.

A Figura 20 mostra de uma maneira mais simplificada alguns resultados de validação cruzada.

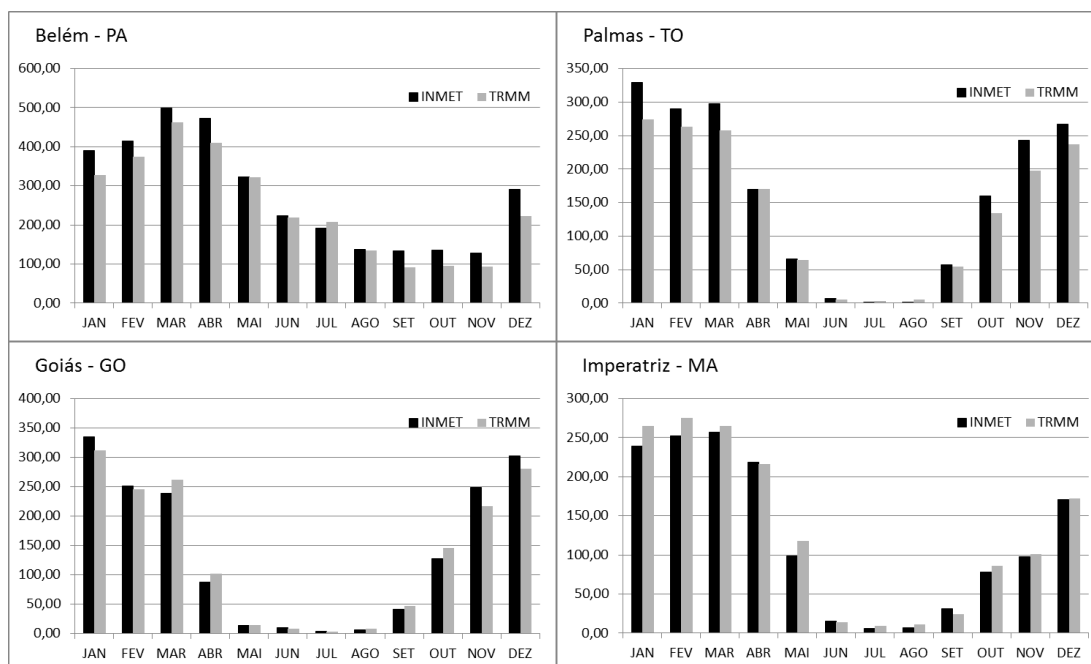
Figura 20 - Validação cruzada para as estações da R.H. do Tocantins-Araguaia.



A correlação entre os dois conjuntos é alta, e os dados possuem um bom nível de significância para as 180 observações, como mostrado na Figura 20 o valor de $R^2 = 0,8553$ para o ponto de amostragem de Belém, mostrando uma homogeneidade entre os dados, observável também através da linha de tendência. Para as demais estações foram obtidos resultados mais satisfatórios, sendo o valor de $R^2 = 0,8497$ para a estação de Palmas – TO; para a estação de Goiás – GO, o valor foi de 0,9304; e para Imperatriz – MA, o valor foi de 0,8007.

O nível de concordância entre os dados é ainda maior quando comparados em relação a sua média mensal, pois a discrepância agora é generalizada de 180 observações para apenas 12, sendo a média mensal anual para os 15 anos de dados observados. A Figura 21 ilustra bem esta situação.

Figura 21 - Precipitação média mensal de 2000-2014, R.H. do Tocantins-Araguaia.



A correlação entre as médias mensais anuais para os dados INMET e TRMM chega a 98% para o ponto de amostragem de Belém-PA, sendo os meses de maior discrepância os mais chuvosos, que vai de dezembro a maio, a maior discrepância encontrada é de 68,64 mm no mês de janeiro e a menor discrepância de 1,36 mm no mês de agosto, o segundo menos chuvoso.

Para a estação de Palmas – TO, a correlação é de 99% para os valores dos dados. Também sendo os meses mais chuvosos com as maiores discrepâncias, que vai de outubro a março, a maior discrepância encontrada foi de 55,47 mm em janeiro, o mês mais chuvoso, e a menor discrepância foi de 1,22 mm em julho, o mês com menor precipitação.

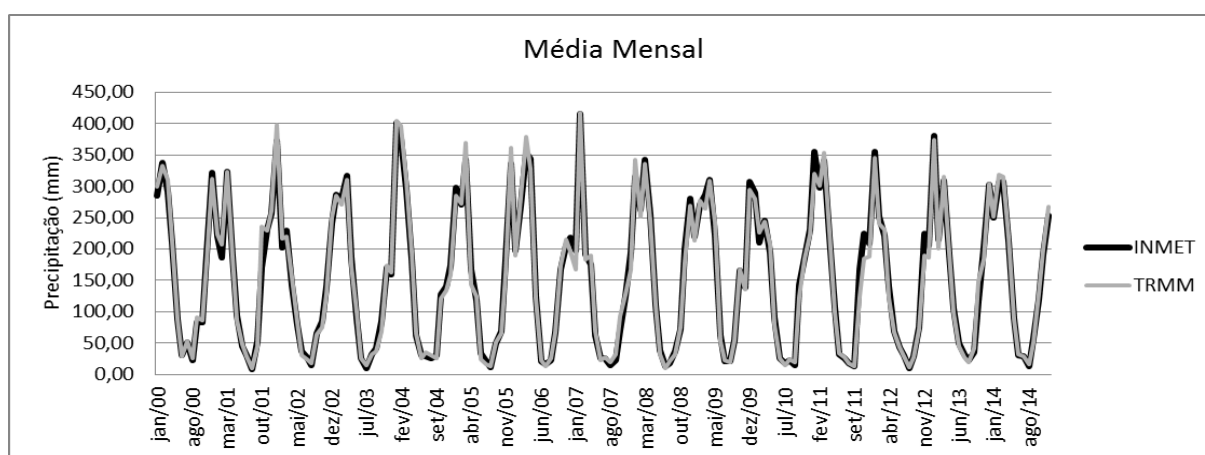
Na estação Goiás – GO, a correlação obtida foi de 99,25% entre os dois conjuntos de dados. Novamente as maiores discrepâncias se encontram nos meses mais chuvosos, que vai de outubro a abril. A maior discrepância encontrada foi de 31,427 mm para o mês de novembro, e a menor discrepância encontrada foi de 0,44 mm no mês de maio.

E a estação de Imperatriz – MA, com uma correlação entre os dados de 99,67%. E os períodos mais chuvosos indo de outubro a abril, com a maior discrepância em janeiro com 25,94 mm, e 0,89 mm no mês em junho.

Após as análises preliminares de algumas estações visando entender o comportamento do fenômeno, e dos próprios dados, gerou-se a média mensal de todas as 18 estações do INMET e pontos amostrais do TRMM, a fim de se obter os resultados de forma mais abrangente para a Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia.

A Figura 22 mostra exatamente a distribuição da precipitação média mensal para os 18 pontos de amostras. Percebe-se que há uma boa correlação entre os dados durante todos os anos avaliados.

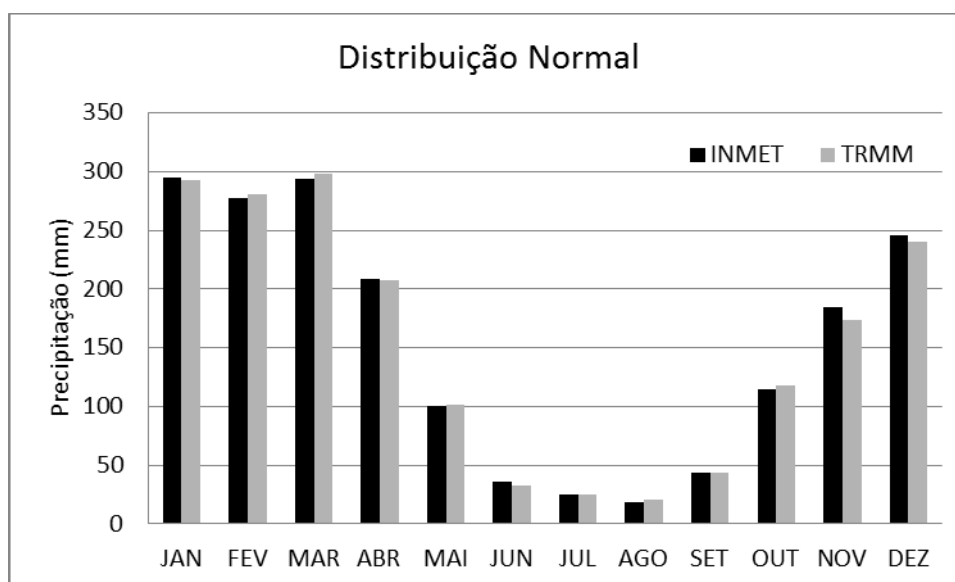
Figura 22 - Média mensal dos pontos amostrais da R.H. do Tocantins-Araguaia.



Os dados tratados desta forma apresentam um índice de correlação de 99,35%. Percebe-se também que as séries temporais mantêm um comportamento cíclico, sendo importante salientar que esta comparação é feita com 15 anos de dados.

Ainda foi feita a normalização de precipitação, gerando um valor médio mensal para todas as estações e pontos amostrais da região selecionada, a Figura 23 mostra o gráfico dessa distribuição.

Figura 23 - Distribuição normal da precipitação, R.H. do Tocantins-Araguaia.



A Tabela 11 contém os valores normais para as estações INMET e pontos amostrais TRMM, juntos aos valores de correlação linear, coeficiente de determinação, RMSE e erro absoluto.

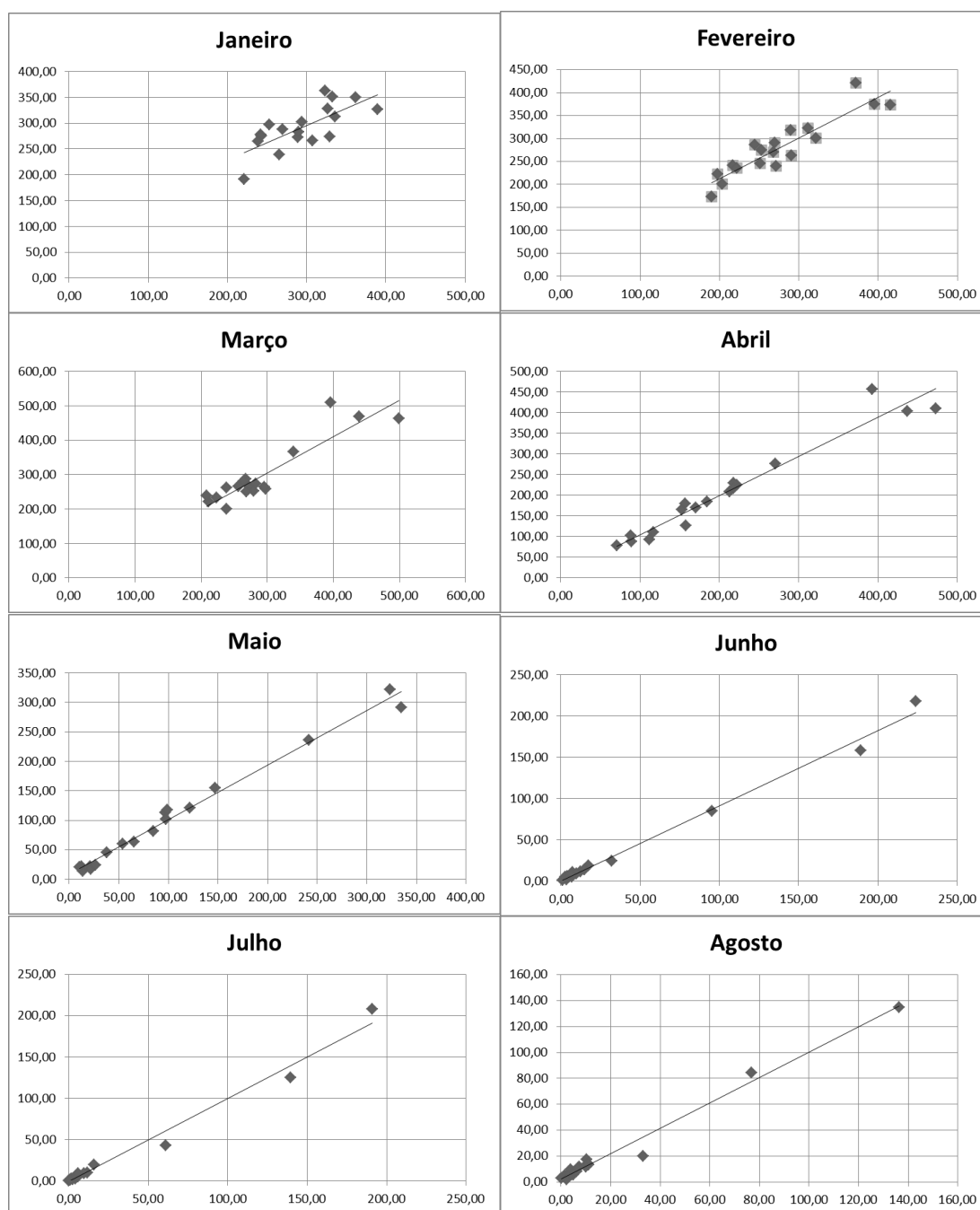
Tabela 11 - Valores de r , r^2 , RMSE e Erro (ABS), R.H. do Tocantins-Araguaia.

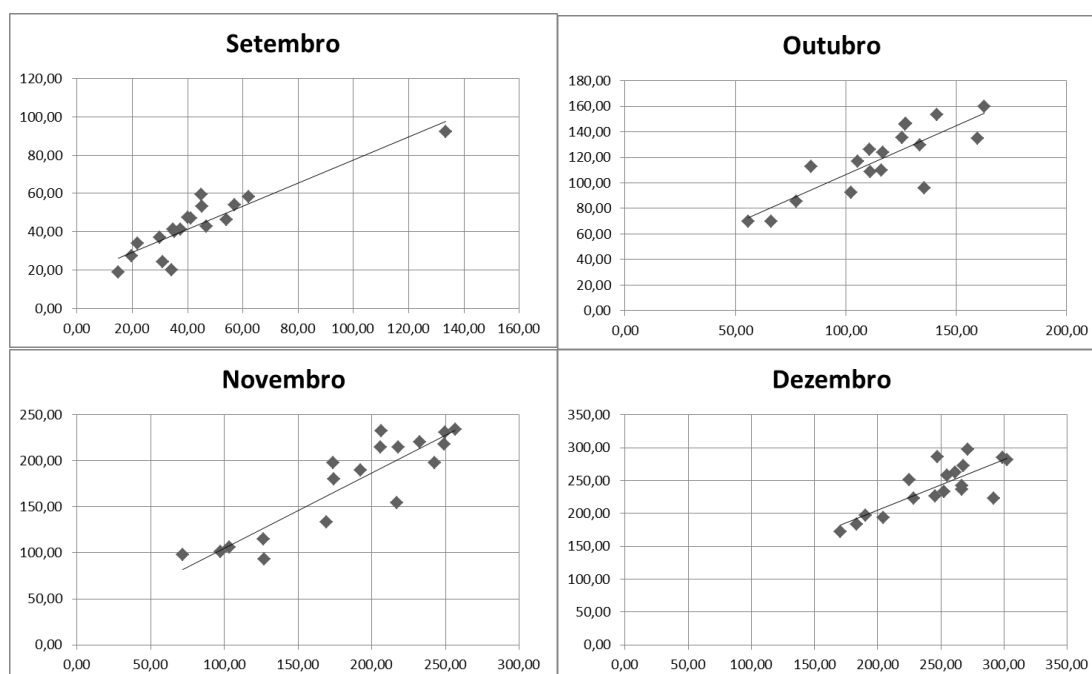
MÊS	INMET	TRMM	r	r^2	RMSE	Erro (ABS)
JAN	295,033	292,3138	0,733847	0,538532	31,9452	2,719233
FEV	276,8516	280,9299	0,918228	0,843142	25,89886	4,078262
MAR	293,2165	297,6752	0,916006	0,839067	36,05055	4,458756
ABR	208,0553	206,9649	0,975072	0,950766	25,47113	1,090387
MAI	100,5837	101,6903	0,993518	0,987079	12,81801	1,106621
JUN	35,66111	32,94439	0,996347	0,992707	8,158999	2,716719
JUL	25,44148	24,8096	0,991219	0,982516	7,033855	0,631878
AGO	18,43222	20,28569	0,991963	0,98399	4,624578	1,853464
SET	43,58333	43,51768	0,897523	0,805548	12,39462	0,065653
OUT	114,4319	117,6391	0,830183	0,689203	16,43575	3,207262
NOV	184,0511	173,9128	0,900306	0,810551	26,4209	10,13828
DEZ	246,0515	240,1915	0,795459	0,632756	24,40165	5,860012

Como pode ser visto na Tabela 11, existe uma concordância bem significativa entre os dados das estações e os dados do satélite. A Figura 23 apresenta a relação entre os dados de precipitação para a região hidrográfica do Tocantins-Araguaia, que embora apresente um número reduzido de estações apresenta uma relação relativamente bem distribuída

entre os dois conjuntos de dados. A Figura 24 apresenta gráficos de dispersão entre os dados de todas as estações para cada mês do ano.

Figura 24 - Resultados da validação cruzada, da raiz do erro médio quadrático - RMSE, do coeficiente de determinação (r^2) e do coeficiente de correlação de Pearson (r), R.H. do Tocantins-Araguaia.





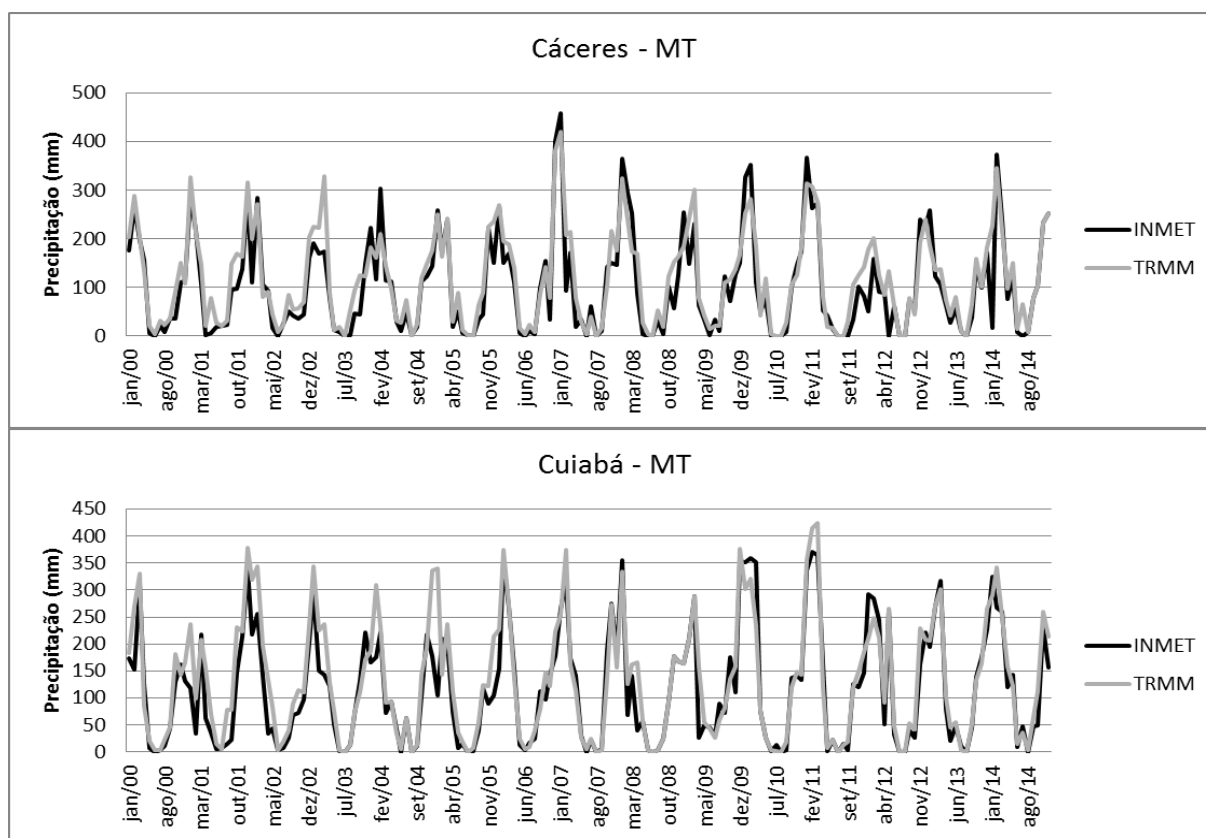
Conforme a Figura 24 e a Tabela 11, nota-se que a raiz do erro médio quadrático apresentou variação de 4,62 a 36,05 mm, e que o coeficiente de determinação e o de correlação estiveram entre 0,5385 – 0,9927 e 0,7338 – 0,9963, analisando de forma generalizada em relação aos meses do ano, ou seja, análise feita para as 18 estações adotadas na região. Percebe-se que a partir desses gráficos os meses menos chuvosos são julho e agosto, e os mais chuvosos são Janeiro e março.

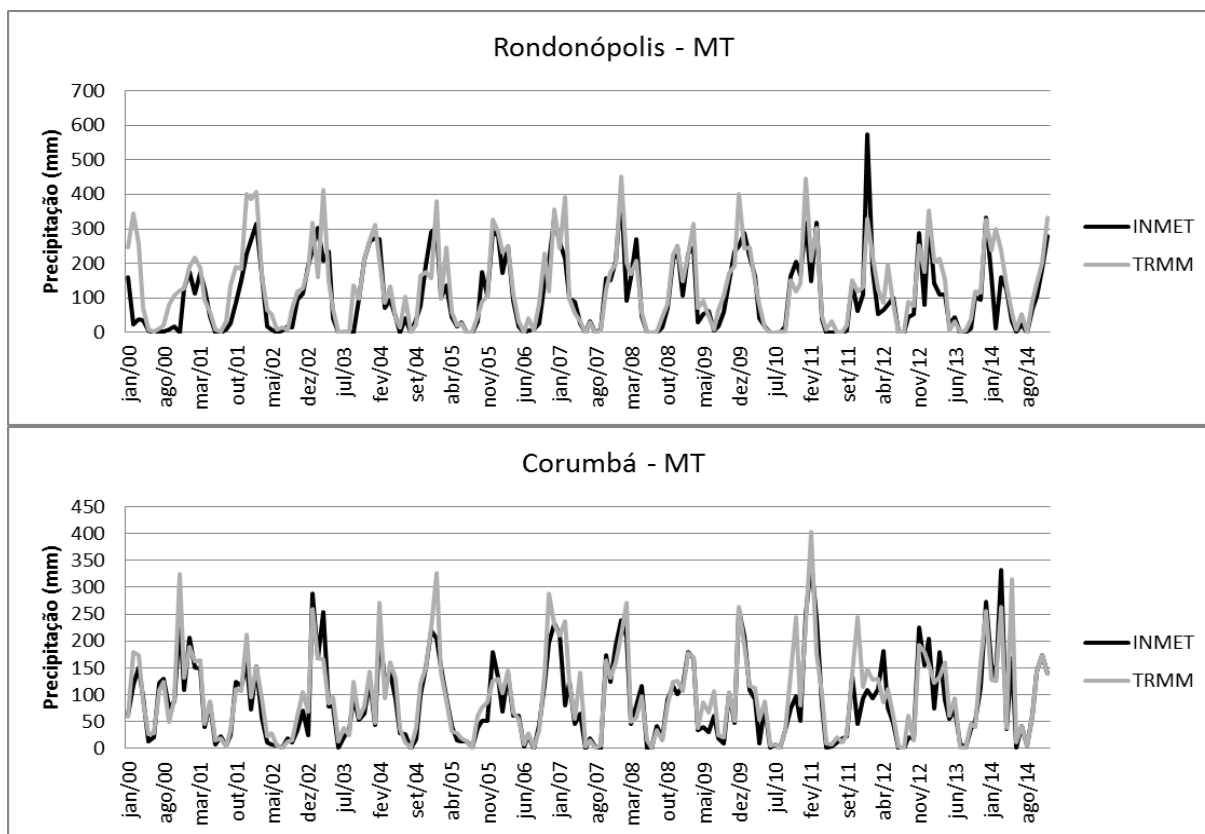
APÊNDICE B- Região Hidrográfica do Paraguai

A Figura 25 mostra o comportamento das chuvas ao longo de janeiro do ano 2000 a dezembro do ano 2014 nas estações Cáceres-MT, Cuiabá-MT, Rondonópolis-MT e Corumbá-MT, do INMET, que também serviram como pontos de amostragem para os dados do TRMM.

Como se pode perceber, a comparação visual do gráfico nos revela que há um comportamento de grande correlação entre os dados do INMET e TRMM, observando-se apenas alguns momentos de discrepâncias entre as duas fontes de dados, discrepância essa de pouco mais 320 mm na estação Rondonópolis-MT.

Figura 25 - Variação da precipitação no intervalo de 2000-2014 nas estações de Cáceres, Cuiabá, Rondonópolis e Corumbá.

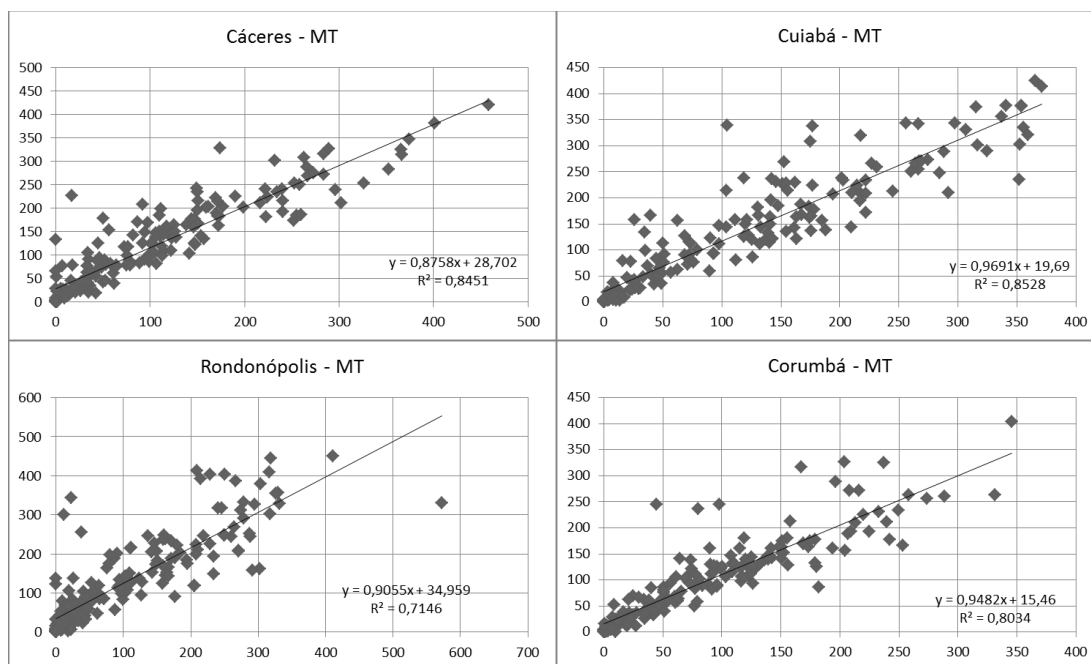




Para todas as outras estações, só por análise visual dos gráficos, ressaltar-se a grande correlação entre os dados, porém houve alguns pontos de maior discrepância entre os dois conjuntos. Para a estação de Cáceres – MT, a discrepância foi de 210 mm, 235 mm para Cuiabá-MT, 199 mm para Corumbá-MT. A correlação entre os dados é de 91,93% para Cáceres – MT; 92,34% para Cuiabá – MT; 84,53% para Rondonópolis – MT; e 89,91% para Corumbá - MT.

A Figura 26 mostra de uma maneira mais simplificada alguns resultados de validação cruzada.

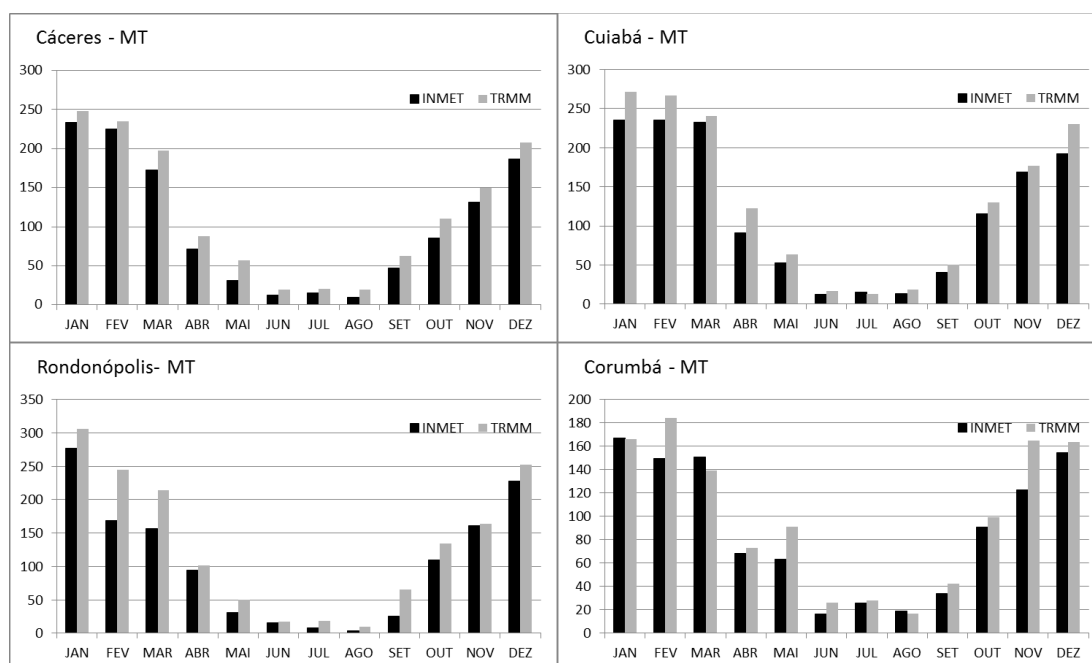
Figura 26 - Validação cruzada para as estações da R.H. do Paraguai.



A correlação entre os dois conjuntos é alta, e os dados possuem um bom nível de significância para as 180 observações, como mostrado na Figura 26 o valor de $R^2 = 0,8451$ para o ponto de amostragem de Cáceres, mostrando uma homogeneidade entre os dados, observável também através da linha de tendência. Para as demais estações foram obtidos resultados mais satisfatórios, sendo o valor de $R^2 = 0,8528$ para a estação de Cuiabá – MT; para a estação de Rondonópolis – MT, o valor foi de 0,7146; e para Corumbá – MT, o valor foi de 0,8084.

O nível de concordância entre os dados é ainda maior quando comparados em relação a sua média mensal, pois a discrepância agora é generalizada de 180 observações para apenas 12, sendo a média mensal anual para os 15 anos de dados observados. A Figura 27 ilustra bem esta situação.

Figura 27 - Precipitação média mensal de 2000-2014, R.H. do Paraguai.



A correlação entre as médias mensais anuais para os dados INMET e TRMM chega a 99,69% para o ponto de amostragem de Cáceres-MT, sendo os meses de maior discrepância os mais chuvosos, que vai de novembro a março, entretanto, a maior discrepância encontrada é de 25,80 mm no mês de maio e a menor discrepância de 5,12 mm no mês de julho.

Para a estação de Cuiabá – MT, a correlação é de 99,44% para os valores dos dados. Também sendo os meses mais chuvosos com as maiores discrepâncias, que vai de novembro a março, a maior discrepância encontrada foi de 37,71 mm em dezembro e a menor discrepância foi de 2,17 mm em julho.

Na estação Rondonópolis – MT, a correlação obtida foi de 97,90% entre os dois conjuntos de dados. Novamente as maiores discrepâncias se encontram nos meses mais chuvosos, que vai de novembro a março. Nesta estação os valores das discrepâncias foram maiores do que os encontrados nas outras, a maior discrepância encontrada foi de 75,29 mm para o mês de fevereiro, sendo o terceiro mês mais chuvoso, e a menor discrepância encontrada foi de 1,83 mm no mês de junho.

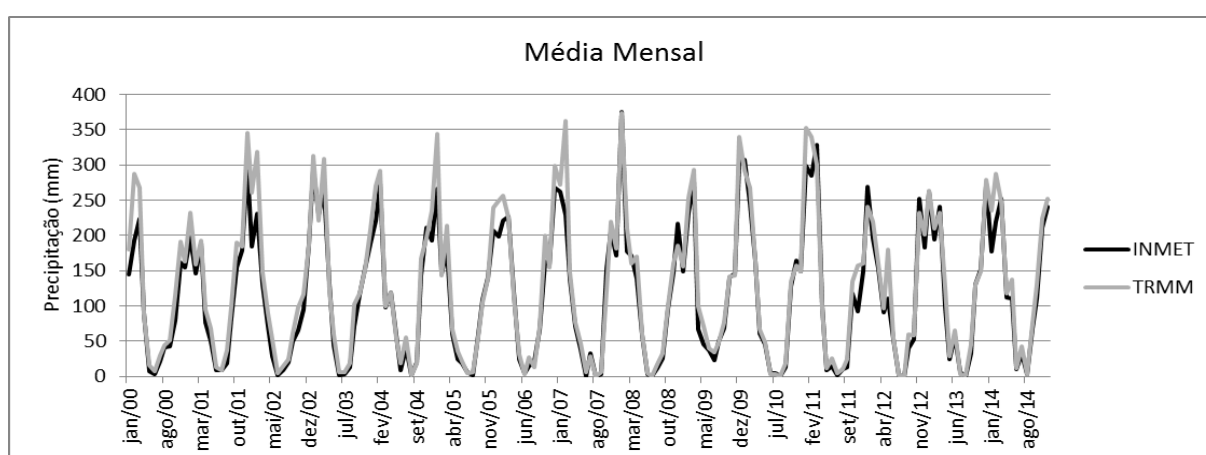
E a estação de Corumbá – MT apresentou uma correlação entre os dados de 96,75%. E os períodos mais chuvosos indo de novembro a Março,

com a maior discrepância no mês de novembro, com 42,15 mm e 2,21 mm no mês de julho.

Após as análises preliminares de algumas estações visando entender o comportamento do fenômeno, e dos próprios dados, gerou-se a média mensal de todas as 8 estações do INMET e pontos amostrais do TRMM, a fim de se obter os resultados de forma mais abrangente para a Região Hidrográfica do Paraguai.

A Figura 28 mostra exatamente a distribuição da precipitação média mensal para os 8 pontos de amostras. Percebe-se que há uma boa correlação entre os dados durante todos os anos avaliados.

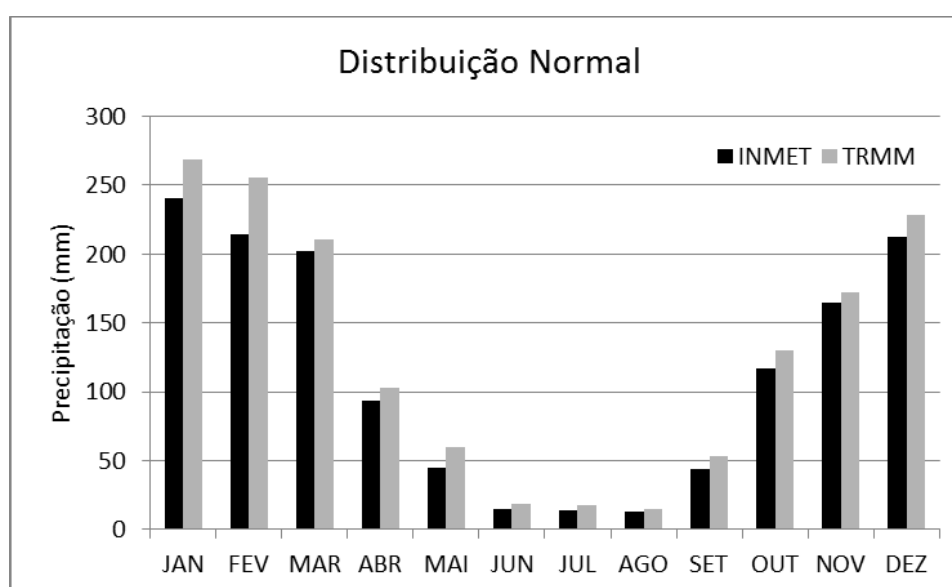
Figura 28 - Média Mensal dos pontos amostrais, R.H. do Paraguai.



Os dados tratados desta forma apresentam um índice de correlação de 97,75%. Percebe-se também que as séries temporais mantêm um comportamento cíclico, sendo importante salientar que esta comparação é feita com 15 anos de dados.

Ainda foi feita a normalização de precipitação, gerando um valor médio mensal para todas as estações e pontos amostrais da região selecionada, a Figura 29 mostra o gráfico dessa distribuição.

Figura 29 - Distribuição normal de precipitação, R.H. do Paraguai.



A Tabela 12 contém os valores normais para as estações INMET e pontos amostrais TRMM, juntos aos valores de correlação linear, coeficiente de determinação, RMSE e erro absoluto.

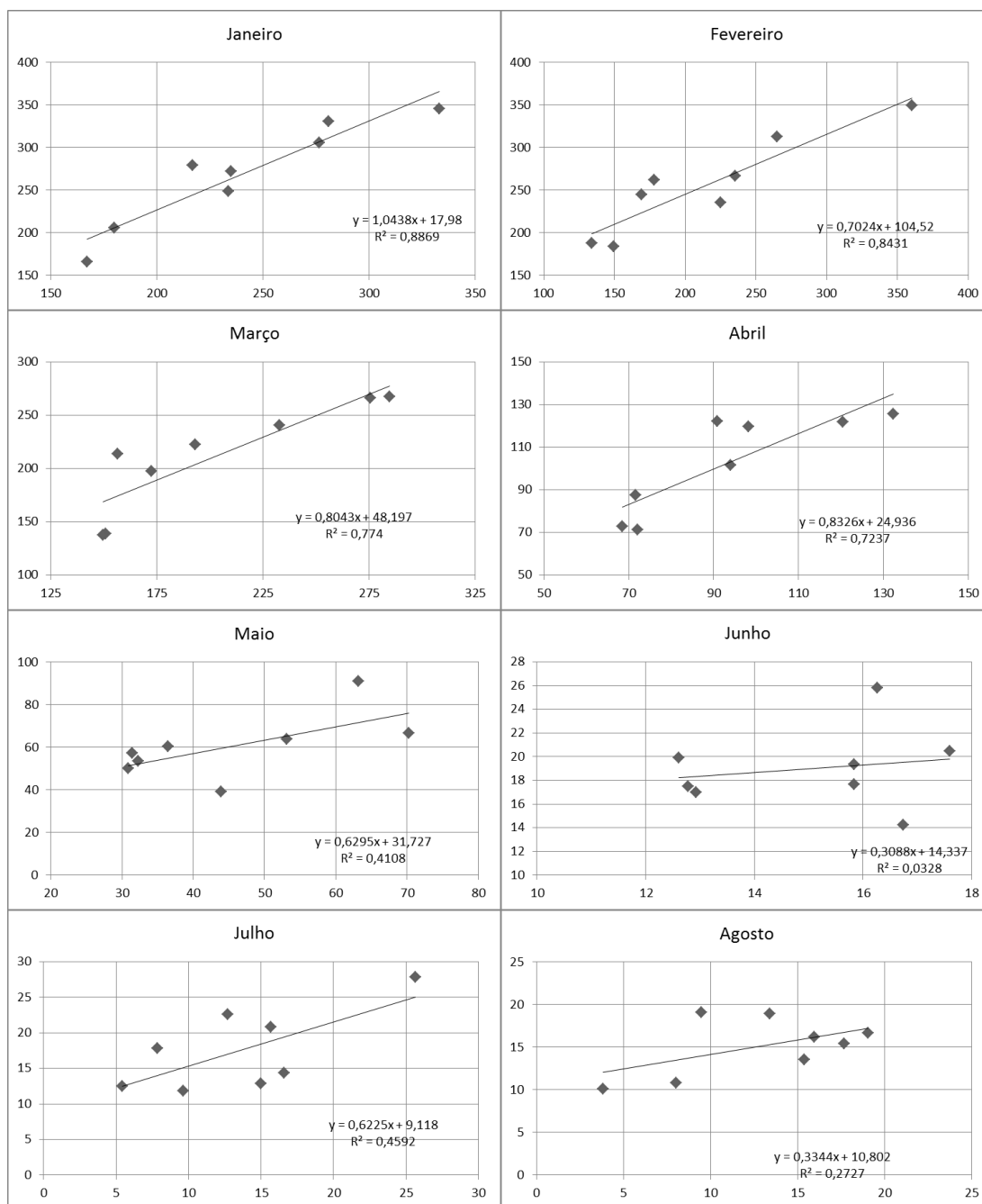
Tabela 12 - Valores de r , r^2 , RMSE e Erro (ABS), R.H do Paraguai.

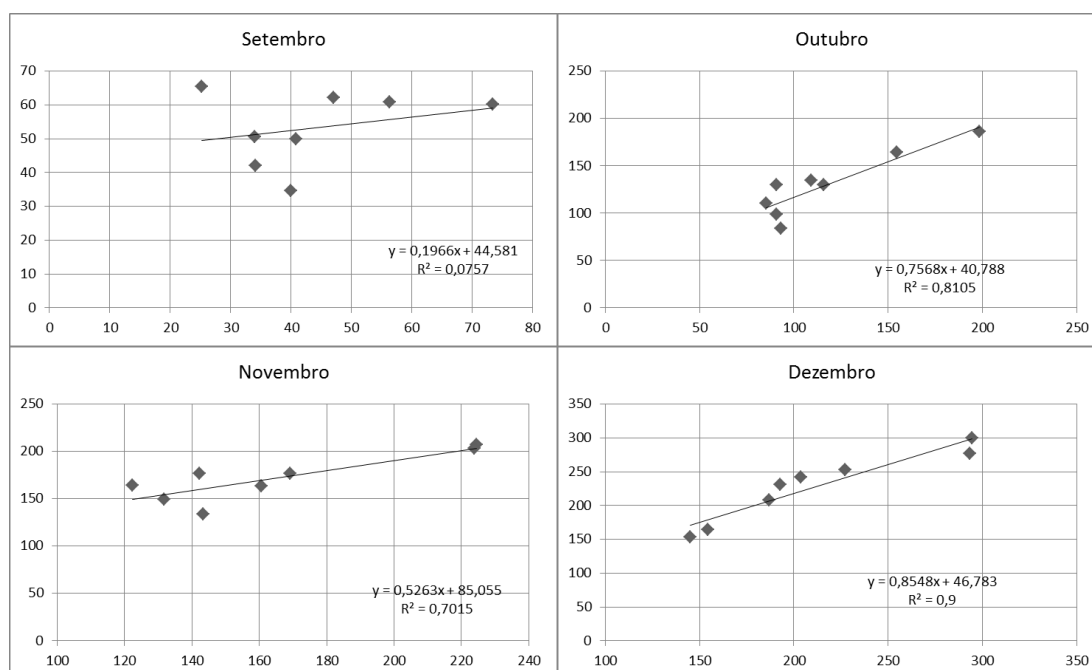
MÊS	INMET	TRMM	r	r^2	RMSE	Erro (ABS)
JAN	240,5322	269,0443	0,941736	0,886867	34,43803	28,51215
FEV	214,4444	255,1448	0,918188	0,843069	50,22355	40,70037
MAR	201,9727	210,6469	0,879795	0,77404	26,22589	8,67428
ABR	93,5125	102,7975	0,850728	0,723739	15,05263	9,284978
MAI	45,17567	60,16585	0,640967	0,410839	19,24902	14,99019
JUN	15,07375	18,99232	0,181154	0,032817	5,170882	3,918566
JUL	13,56633	17,56245	0,677679	0,459248	6,053972	3,996115
AGO	12,83875	15,09598	0,522173	0,272665	4,816235	2,257227
SET	43,869	53,20579	0,275075	0,075666	17,64633	9,336792
OUT	117,3098	129,5709	0,900291	0,810524	20,41892	12,26113
NOV	164,7461	171,7685	0,837535	0,701465	22,75958	7,022427
DEZ	212,2136	228,1811	0,948674	0,899982	23,3194	15,96755

Como pode ser visto na Tabela 12, existe uma concordância significativa entre os dados das estações e os dados do satélite, porém, existe uma correlação bem fraca entre os dados para o mês de junho, e uma correlação fraca para o mês de setembro. A Figura 29 apresenta a relação entre os dados de precipitação para a região hidrográfica do Paraguai, que embora apresente um número reduzido de estações

apresenta uma relação relativamente bem distribuída entre os dois conjuntos de dados. A Figura 30 apresenta gráficos de dispersão entre os dados de todas as estações para cada mês do ano.

Figura 30 - Resultados da validação cruzada, da raiz do erro médio quadrático - RMSE, do coeficiente de determinação (r^2) e do coeficiente de correlação de Pearson (r), R.H. do Paraguai.





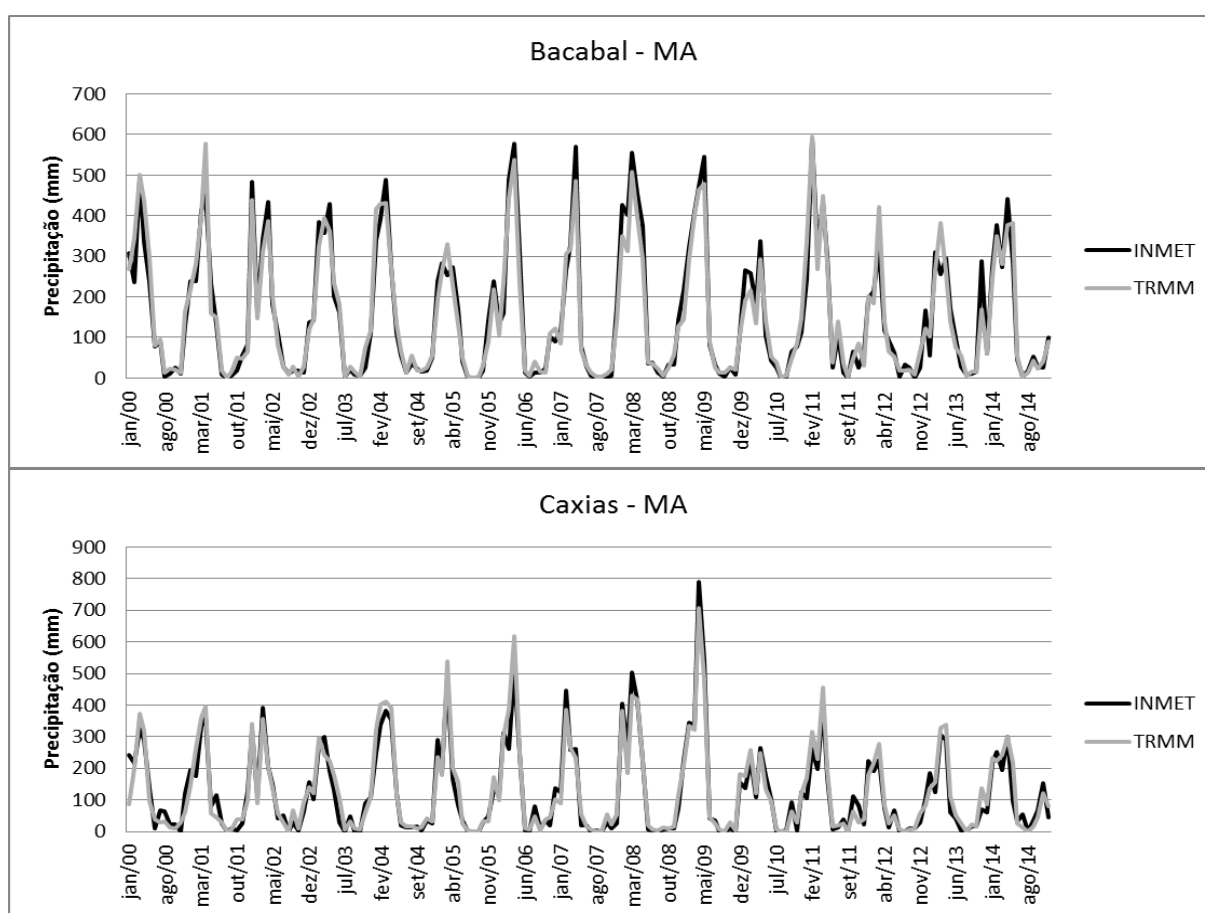
Conforme a Figura 30 e, nota-se que a raiz do erro médio quadrático apresentou variação de 4,82 a 50,22 mm, e que o coeficiente de determinação e o de correlação estiveram entre 0,0328 – 0,8999 e 0,1811 – 0,9486, analisando de forma generalizada em relação aos meses do ano, ou seja, análise feita para as 8 estações adotadas na região. Percebe-se que esses gráficos explicam que as variáveis nos meses de junho e setembro são estatisticamente independentes.

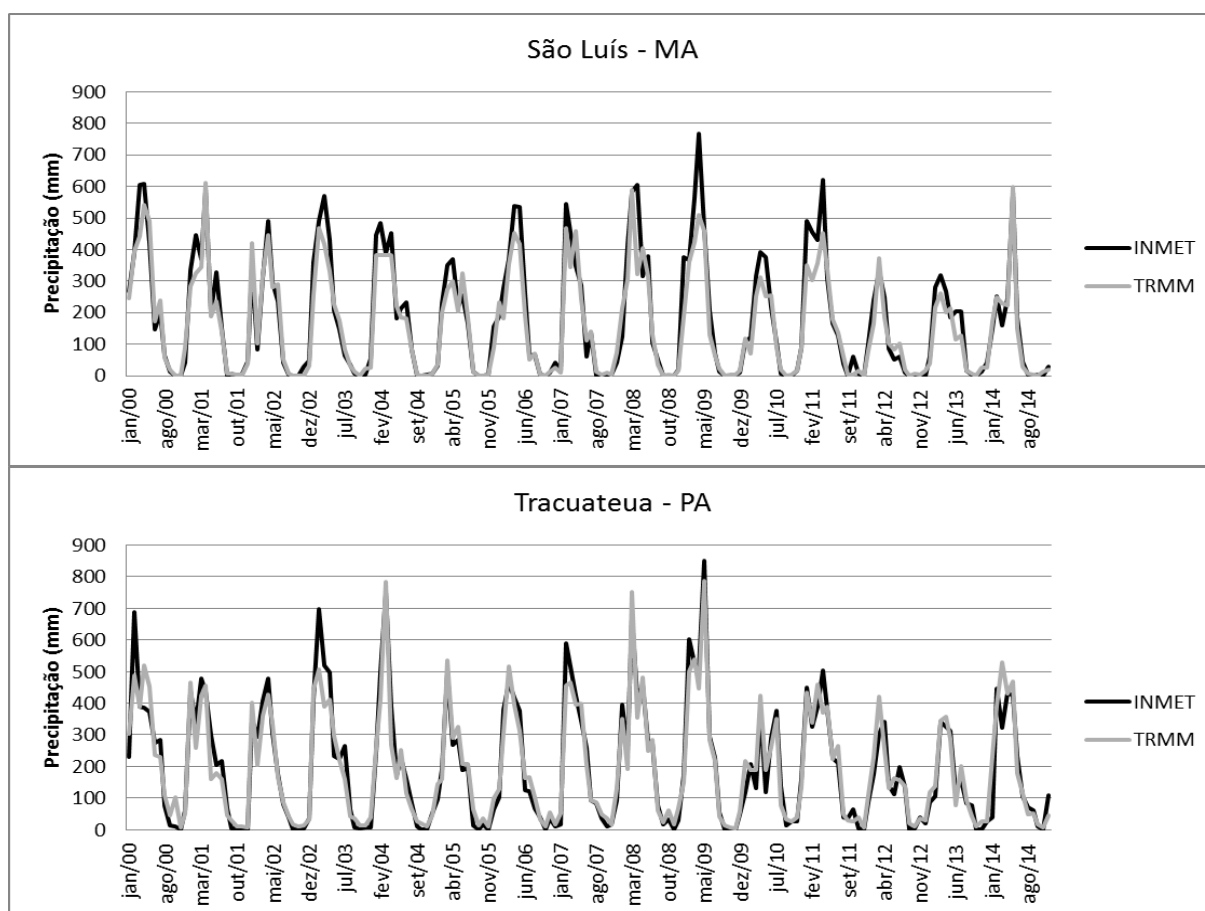
APÊNDICE C- Região Hidrográfica do Atlântico Nordeste Ocidental

A Figura 31 mostra o comportamento das chuvas ao longo de janeiro do ano 2000 a dezembro do ano 2014 nas estações Bacabal - MA, Caxias - MA, São Luís - MA e Tracuateua - PA, do INMET, que também serviram como pontos de amostragem para os dados do TRMM.

Como se pode perceber, a comparação visual do gráfico nos revela que há um comportamento de grande correlação entre os dados do INMET e TRMM, observando-se apenas um momento de discrepância significativa entre as duas fontes de dados, em março de 2013 com discrepância de pouco mais 127 mm, porém de maneira geral, houve uma correlação 96,96% entre os dois conjuntos, para a estação Bacabal - MA.

Figura 31 - Variação da precipitação no intervalo de 2000-2014 nas estações de Bacabal, Caxias, São Luís e Tracuateua.

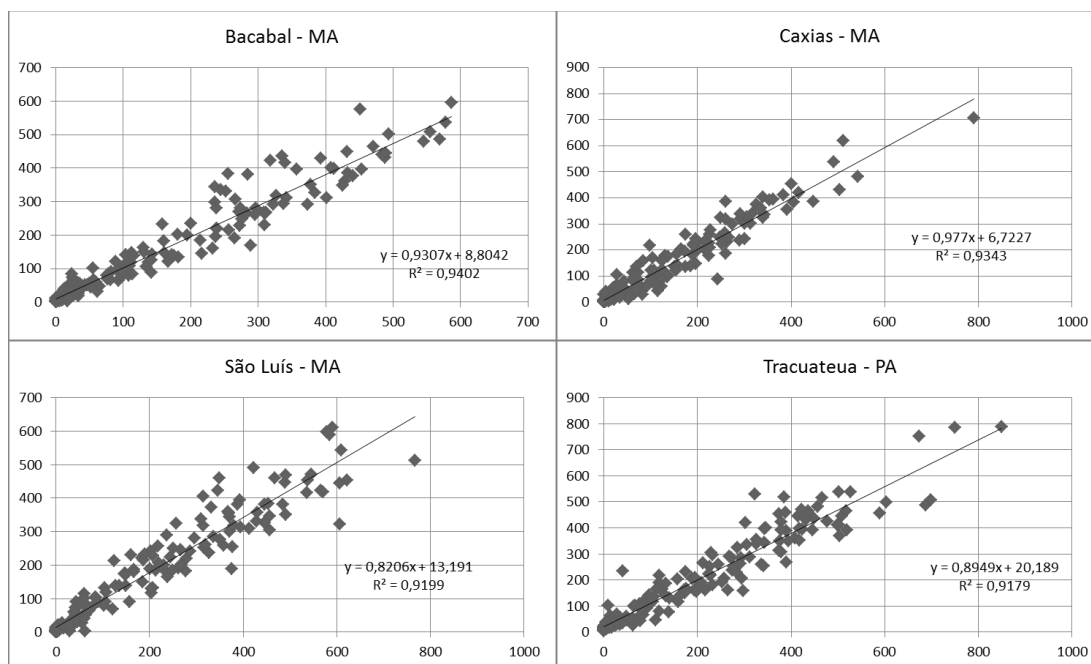




Para todas as outras estações, resalta-se a grande correlação entre os dados, havendo alguns pontos de discrepâncias significativas entre os dois conjuntos. A correlação entre os dados é de 96,65% para Caxias – MA; 95,91% para São Luís – MA; e 95,80% para Tracuateua – PA.

A Figura 32 mostra de uma maneira mais simplificada alguns resultados de validação cruzada.

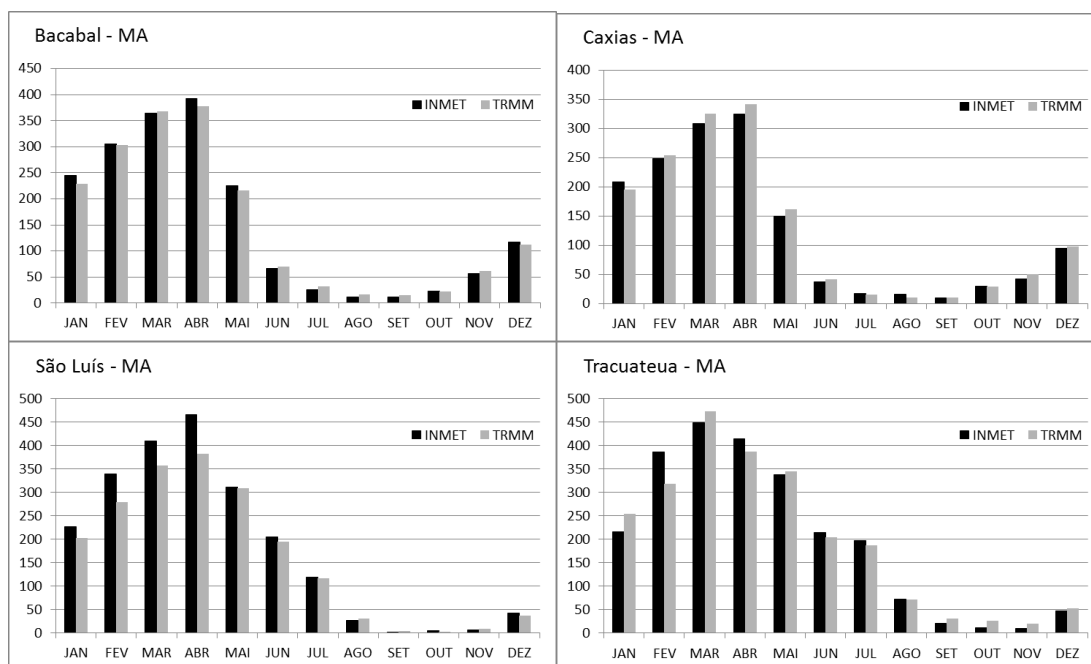
Figura 32 - Validação Cruzada, R.H. do Atlântico NE Ocidental.



A correlação entre os dois conjuntos é alta, e os dados possuem um bom nível de significância para as 180 observações, como mostrado na Figura 32 o valor de $R^2 = 0,9402$ para o ponto de amostragem de Bacabal, mostrando uma homogeneidade entre os dados, observável também através da linha de tendência. Para as demais estações foram obtidos resultados mais satisfatórios, sendo o valor de $R^2 = 0,9343$ para a estação de Caxias; para a estação de São Luís, o valor foi de $R^2 = 0,9199$; e para Tracuateua, o valor foi de $R^2 = 0,9179$.

O nível de concordância entre os dados é ainda maior quando comparados em relação a sua média mensal, pois a discrepância agora é generalizada de 180 observações para apenas 12, sendo a média mensal anual para os 15 anos de dados observados. A Figura 33 ilustra bem esta situação.

Figura 33 - Precipitação média mensal de 2000-2014, R.H. do Atlântico NE Ocidental.



A correlação entre as médias mensais anuais para os dados INMET e TRMM chega a 99,89% para o ponto de amostragem de Bacabal - MA, sendo os meses de maior discrepância os mais chuvosos, que vai de dezembro a maio, a maior discrepância encontrada é de 15,93 mm no mês de janeiro e a menor discrepância de 0,89 mm no mês de outubro.

Para a estação de Caxias - MA, a correlação é de 99,80% para os valores dos dados. Também sendo os meses mais chuvosos com as maiores discrepâncias, que vai de janeiro a maio, a maior discrepância encontrada foi de 17,51 mm em março e a menor discrepância foi de 0,40 mm em outubro.

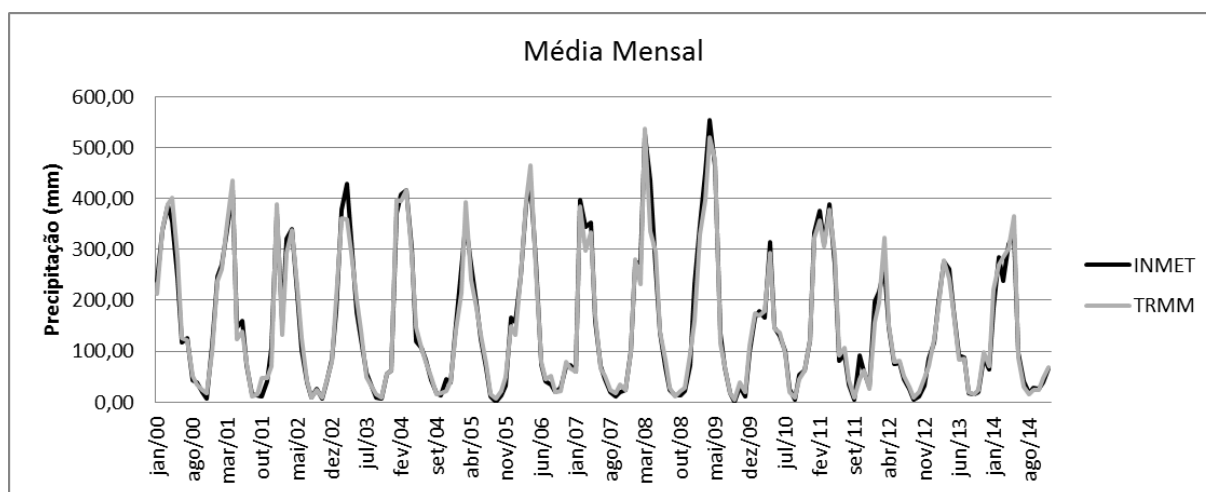
Na estação São Luís - MA, a correlação obtida foi de 99,46% entre os dois conjuntos de dados. Novamente as maiores discrepâncias se encontram nos meses mais chuvosos, que vai de janeiro a julho. Nesta estação os valores das discrepâncias foram maiores do que os encontrados nas outras, a maior discrepância encontrada foi de 83,01 mm para o mês de abril, sendo o mês mais chuvoso, e a menor discrepância encontrada foi de 1,06 mm no mês de julho.

E a estação de Tracuateua – PA, com uma correlação entre os dados de 98,69%. E os períodos mais chuvosos indo de janeiro a julho, com a maior discrepância no mês de fevereiro com 68,70 mm e 1,51 mm no mês de agosto.

Após as análises preliminares de algumas estações visando entender o comportamento do fenômeno, e dos próprios dados, gerou-se a média mensal de todas as 9 estações do INMET e pontos amostrais do TRMM, a fim de se obter os resultados de forma mais abrangente para a Região Hidrográfica do Atlântico NE Ocidental.

A Figura 34 mostra exatamente a distribuição da precipitação média mensal para os 9 pontos de amostras. Percebe-se que há uma boa correlação entre os dados durante todos os anos avaliados.

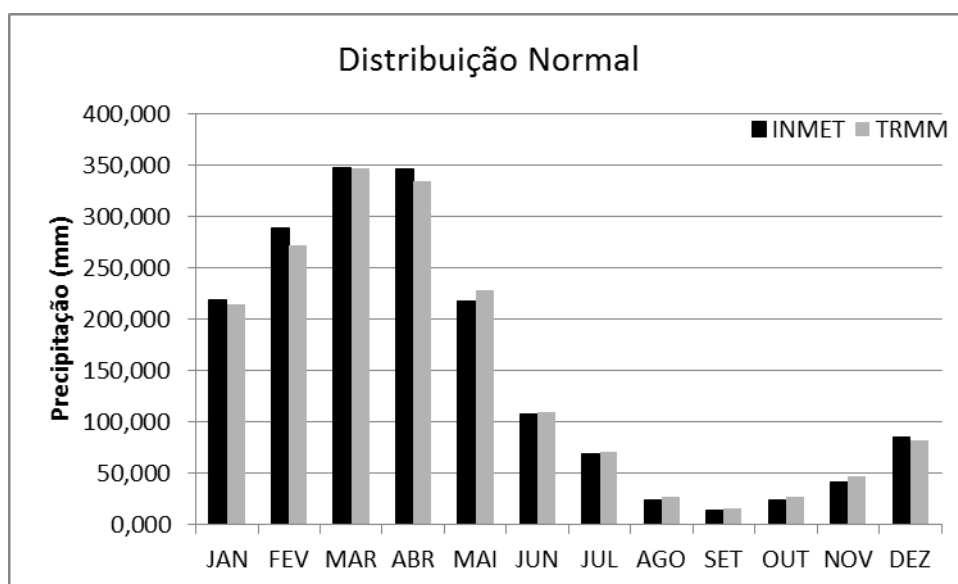
Figura 34 - Média mensal dos pontos amostrais, R.H. do Atlântico NE Ocidental.



Os dados tratados desta forma apresentam um índice de correlação de 98,85%. Percebe-se também que as séries temporais mantêm um comportamento cíclico, sendo importante salientar que esta comparação é feita com 15 anos de dados.

Ainda foi feita a normalização de precipitação, gerando um valor médio mensal para todas as estações e pontos amostrais da região selecionada, a Figura 35 mostra o gráfico dessa distribuição.

Figura 35 - Distribuição normal de precipitação, R.H. do Atlântico NE Ocidental.



A Tabela 13 contém os valores normais para as estações INMET e pontos amostrais TRMM, juntos aos valores de correlação linear, coeficiente de determinação, RMSE e erro absoluto.

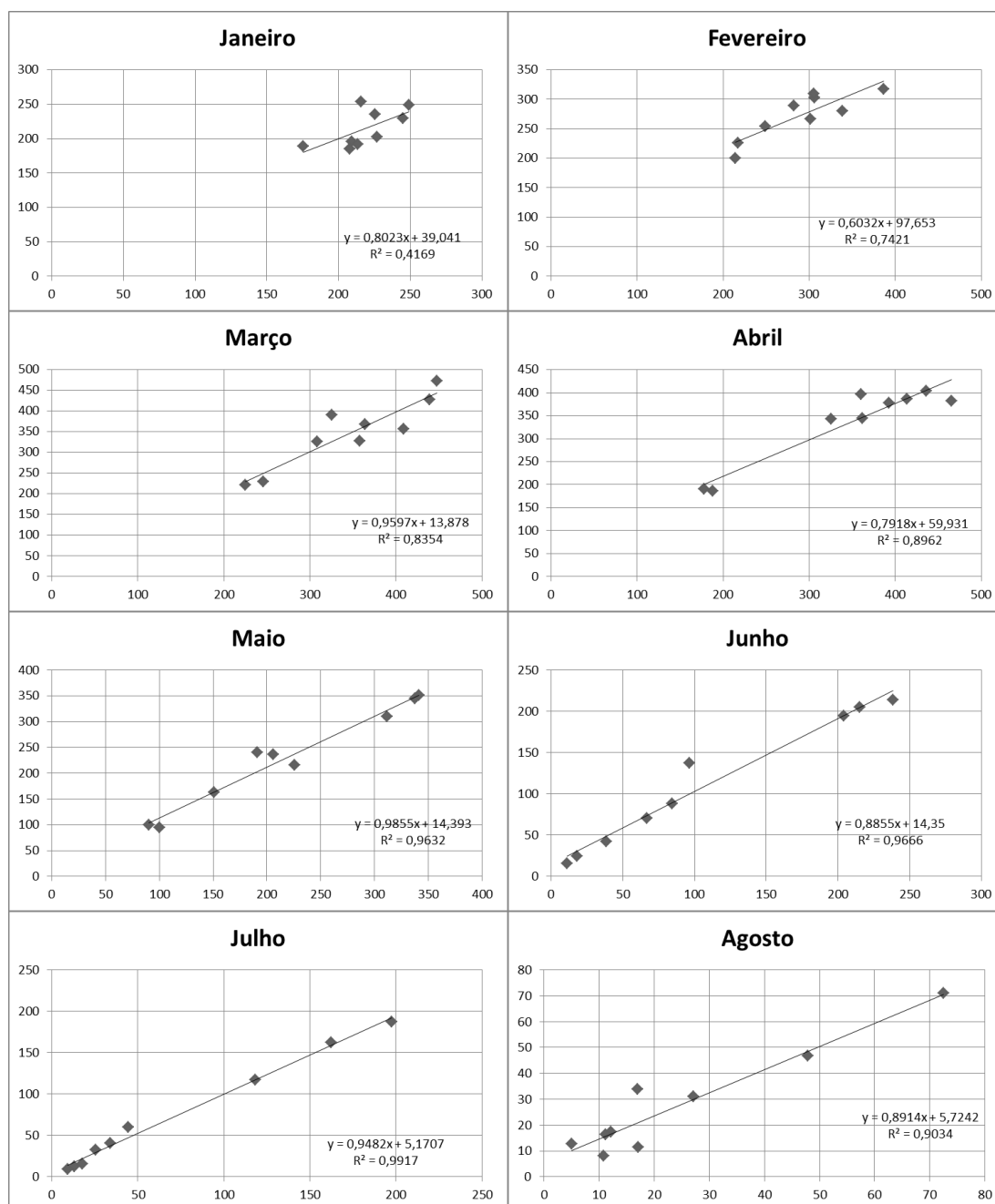
Tabela 13 - Valores de r , r^2 , RMSE e Erro (ABS), R.H. do Atlântico NE Ocidental.

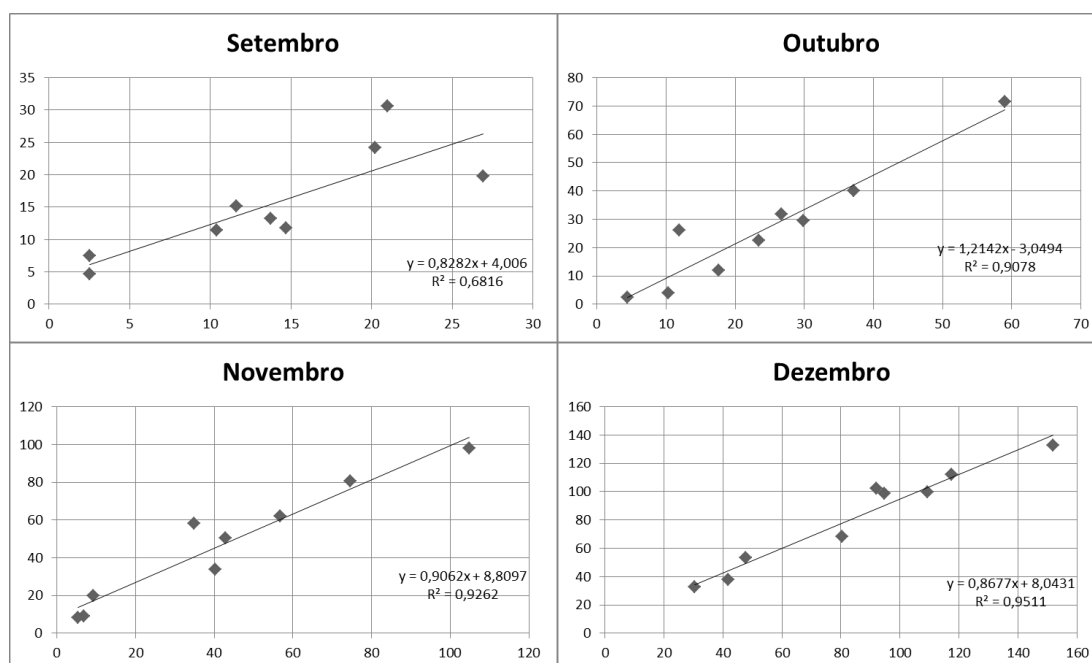
MÊS	INMET	TRMM	r	r^2	RMSE	Erro (ABS)
JAN	218,680	214,484	0,646	0,42	20,46	4,20
FEV	288,802	271,872	0,861	0,74	32,86	16,93
MAR	346,997	346,878	0,914	0,84	31,92	0,12
ABR	346,687	334,452	0,947	0,90	35,01	12,24
MAI	217,145	228,379	0,981	0,96	20,80	11,23
JUN	108,078	110,055	0,983	0,97	16,82	1,98
JUL	69,132	70,723	0,996	0,99	6,98	1,59
AGO	24,505	27,568	0,950	0,90	7,14	3,06
SET	13,734	15,381	0,826	0,68	4,86	1,65
OUT	24,488	26,684	0,953	0,91	7,25	2,20
NOV	41,752	46,644	0,962	0,93	9,88	4,89
DEZ	85,113	81,894	0,975	0,95	9,41	3,22

Como pode ser visto na Tabela 13, existe uma concordância bem significativa entre os dados das estações e os dados do satélite. A Figura 35 apresenta a relação entre os dados de precipitação para a região hidrográfica do Atlântico NE Ocidental, que embora apresente um número reduzido de estações apresenta uma relação relativamente bem distribuída

entre os dois conjuntos de dados. A Figura 36 apresenta gráficos de dispersão entre os dados de todas as estações para cada mês do ano.

Figura 36 - Resultados da validação cruzada, da raiz do erro médio quadrático - RMSE, do coeficiente de determinação (r^2) e do coeficiente de correlação de Pearson (r), R.H. do Atlântico NE Ocidental.





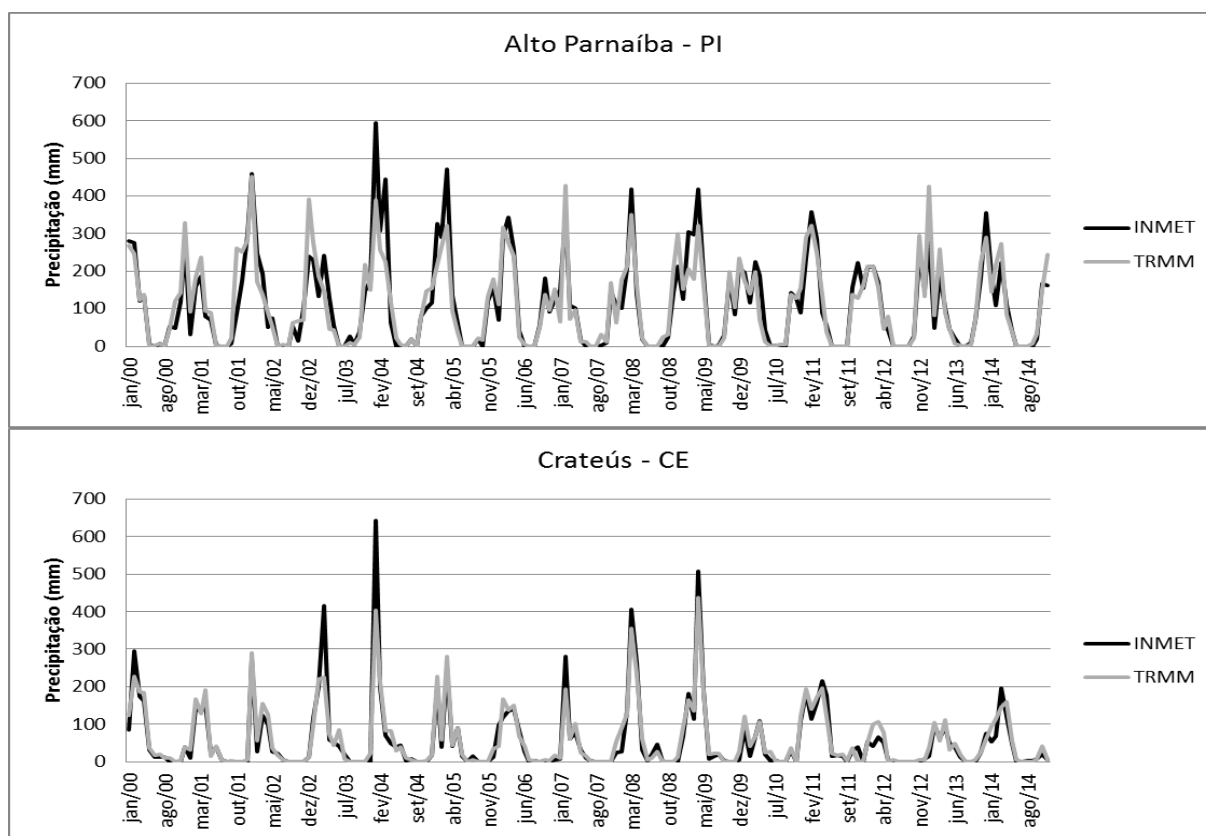
Conforme a Figura 36, nota-se que a raiz do erro médio quadrático apresentou variação de 4,86 a 35,01 mm, e que o coeficiente de determinação e o de correlação estiveram entre 0,42 – 0,99 e 0,64 – 0,99, analisando de forma generalizada em relação aos meses do ano, ou seja, análise feita para as 9 estações adotadas na região.

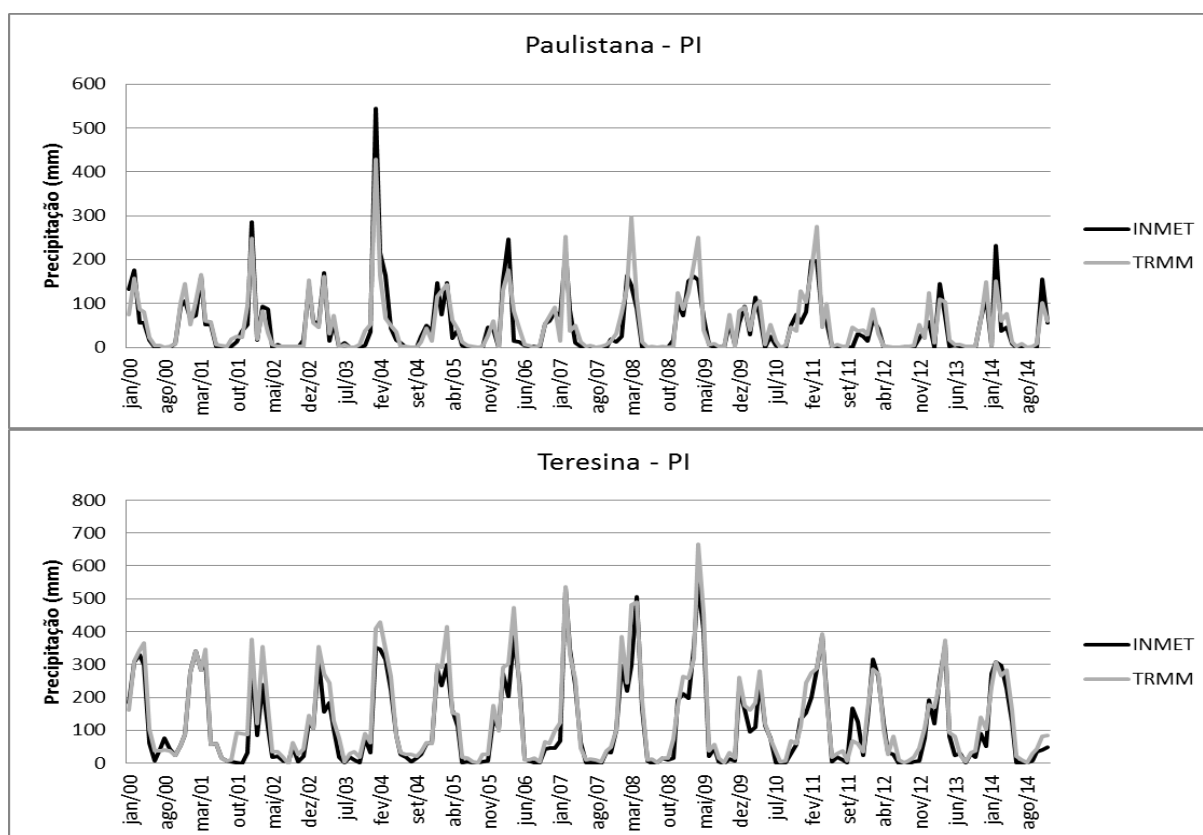
APÊNDICE D- Região Hidrográfica do Parnaíba

A Figura 37 mostra o comportamento das chuvas ao longo de janeiro do ano 2000 a dezembro do ano 2014 nas estações Alto Parnaíba - PI, Crateús - CE, Paulistana - PI e Teresina - PI, do INMET, que também serviram como pontos de amostragem para os dados do TRMM.

A comparação visual do gráfico nos revela que há um comportamento de grande correlação entre os dados do INMET e TRMM, observando-se alguns momentos de grande discrepância entre as duas fontes de dados em março de 2004, discrepância essa de pouco mais 221 mm, porém de maneira geral, houve uma correlação 90,97% entre os dois conjuntos, para a estação de Alto Parnaíba - PI.

Figura 37 - Variação da precipitação no intervalo de 2000 - 2014 nas estações de Alto Parnaíba, Crateús, Paulistana e Teresina.

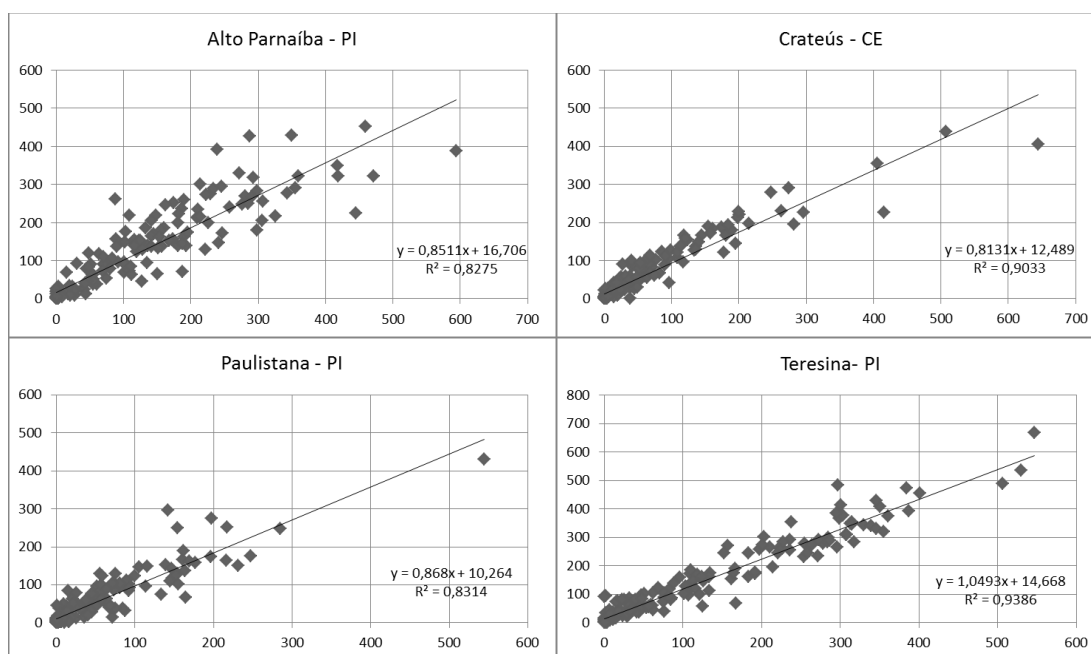




Para todas as outras estações, só por análise visual dos gráficos, ressaltase a grande correlação entre os dados, havendo alguns pontos de discrepância significativa entre os dois conjuntos, como por exemplo, em janeiro de 2004 na estação de Crateús – CE, com o valor de 239 mm e a correlação entre os dados de 95,04%; em março de 2008 ocorreram os pontos de maiores discrepâncias nas estações de Paulistana – PI e Teresina – PI, com valores de 153 mm e 185 mm respectivamente. A correlação entre o valor real e o estimado para as duas estações foram de 91,18% e 96,88%.

De uma maneira mais simplificada, a Figura 38 mostra alguns resultados de validação cruzada.

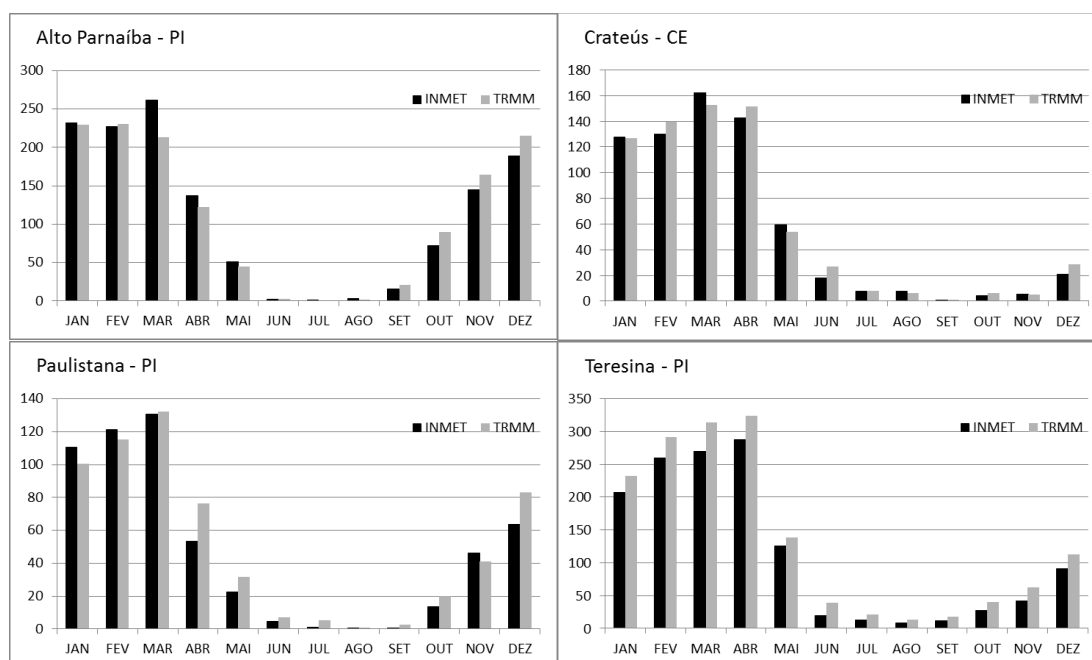
Figura 38 - Validação cruzada para as estações da R.H. do Parnaíba.



A correlação entre os dois conjuntos é alta, e os dados possuem um bom nível de significância para as 180 observações, como mostrado na Figura 38 o valor de $R^2 = 0,8275$ para o ponto de amostragem de Alto Parnaíba, mostrando uma homogeneidade entre os dados, observável também através da linha de tendência. Para as demais estações foram obtidos resultados mais satisfatórios, sendo o valor de $R^2 = 0,9033$ para a estação de Crateús – CE; para a estação de Paulistana - PI, o valor foi de 0,8314; e para Teresina – PI, o valor foi de 0,9386.

O nível de concordância entre os dados é ainda maior quando comparados em relação a sua média mensal, pois a discrepância agora é generalizada de 180 observações para apenas 12, sendo a média mensal anual para os 15 anos de dados observados. A Figura 39 ilustra bem esta situação.

Figura 39 - Precipitação média mensal de 2000-2014, R.H. do Parnaíba.



A correlação entre as médias mensais anuais para os dados INMET e TRMM chega a 98,15% para o ponto de amostragem de Alto Parnaíba - PI, sendo os meses de maior discrepância os mais chuvosos, que vai de novembro a abril, a maior discrepância encontrada é de 47,69 mm no mês de março e a menor discrepância de 0,96 mm no mês de agosto, o segundo menos chuvoso.

Para a estação de Crateús - CE, a correlação é de 99,55% para os valores dos dados. Também sendo os meses mais chuvosos com as maiores discrepâncias, que vai de janeiro a maio, a maior discrepância encontrada foi de 9,46 mm em fevereiro e a menor discrepância foi de 0,24 mm em novembro.

Na estação Paulistana - PI, a correlação obtida foi de 98,06% entre os dois conjuntos de dados. Novamente as maiores discrepâncias se encontram nos meses mais chuvosos, que vai de dezembro a abril. A maior discrepância encontrada foi de 9,46 mm para o mês de fevereiro, e a menor discrepância encontrada foi de 0,66 mm no mês de agosto, o segundo menos chuvoso.

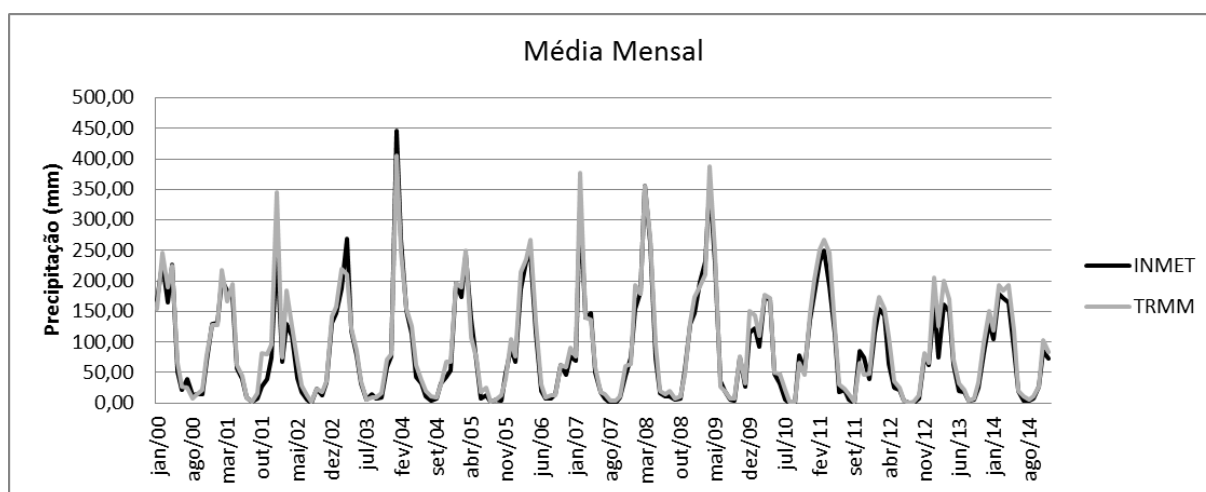
E a estação de Teresina - PI, com uma correlação entre os dados de 99,89%. E os períodos mais chuvosos indo de janeiro a abril, com a maior

discrepância no segundo mês mais chuvoso, março com 44,10 mm e 4,11 mm no mês menos chuvoso, agosto.

Após as análises preliminares de algumas estações visando entender o comportamento do fenômeno, e dos próprios dados, gerou-se a média mensal de todas as 16 estações do INMET e pontos amostrais do TRMM, a fim de se obter os resultados de forma mais abrangente para a Região Hidrográfica do Parnaíba.

A Figura 40 mostra exatamente a distribuição da precipitação média mensal para os 16 pontos de amostras. Percebe-se que há uma boa correlação entre os dados durante todos os anos avaliados.

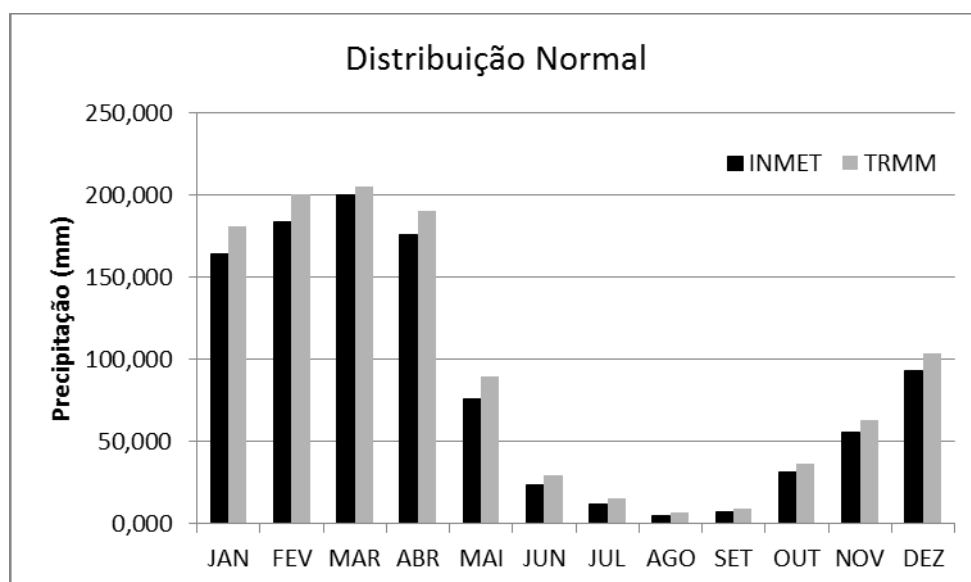
Figura 40 - Média mensal dos pontos amostrais, R.H. do Parnaíba.



Os dados tratados desta forma apresentam um índice de correlação de 98,24%. Percebe-se também que as séries temporais mantêm um comportamento cíclico, sendo importante salientar que esta comparação é feita com 15 anos de dados.

Ainda foi feita a normalização de precipitação, gerando um valor médio mensal para todas as estações e pontos amostrais da região selecionada, a Figura 41 mostra o gráfico dessa distribuição.

Figura 41 - Distribuição normal de precipitação, R.H. do Parnaíba.



A Tabela 14 contém os valores normais para as estações INMET e pontos amostrais TRMM, juntos aos valores de correlação linear, coeficiente de determinação, RMSE e erro absoluto.

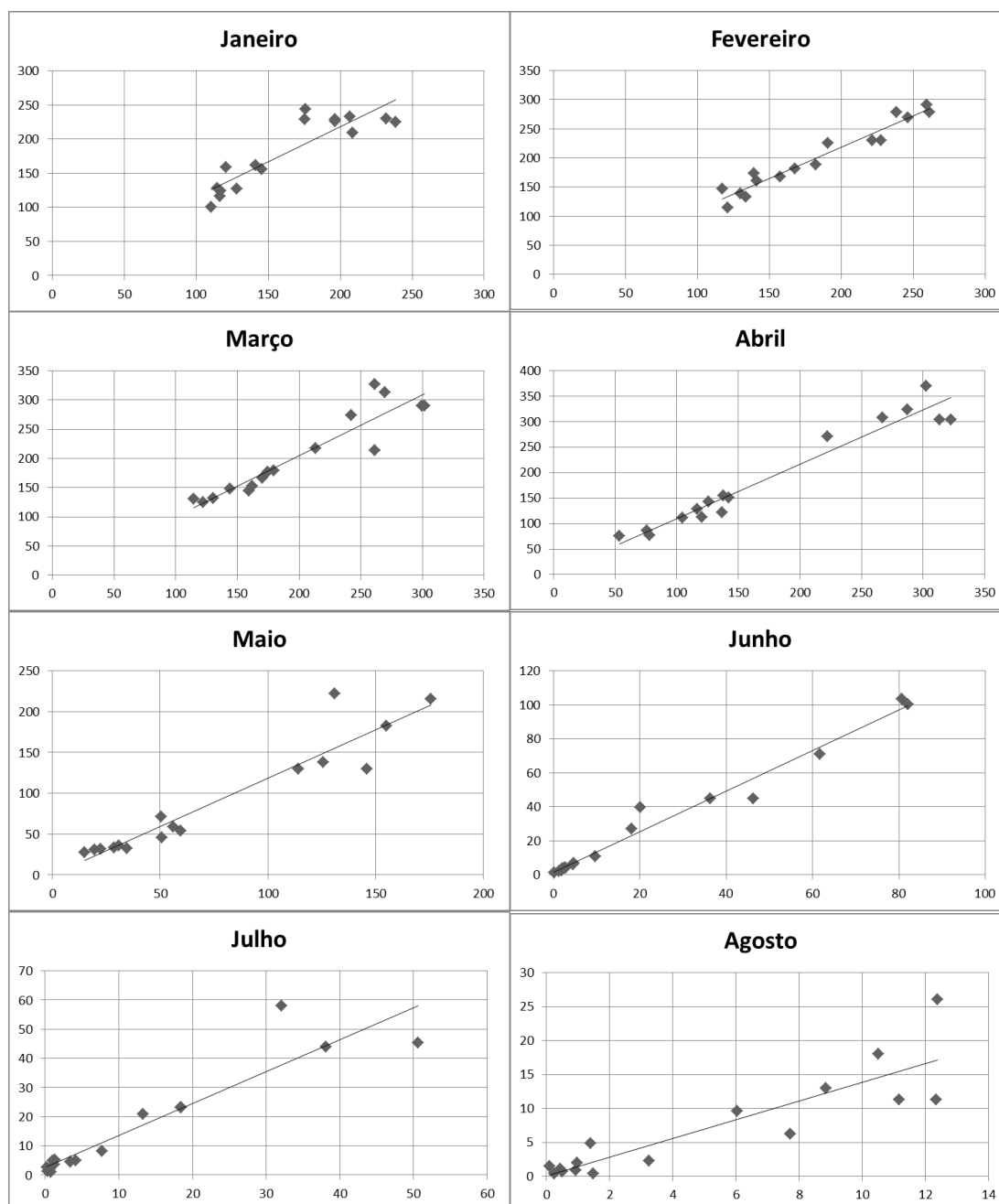
Tabela 14 - Valores de r , r^2 , RMSE e Erro (ABS), R.H. do Parnaíba.

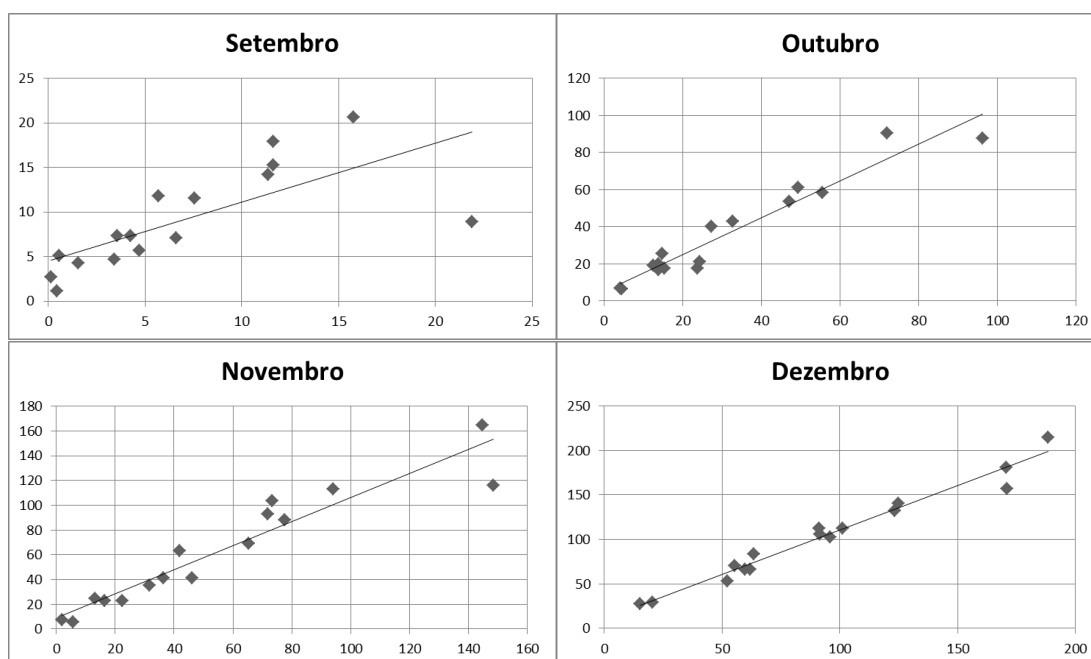
MÊS	INMET	TRMM	r	r^2	RMSE	Erro (ABS)
JAN	163,951	180,933	0,894	0,80	28,05	16,98
FEV	183,387	200,722	0,973	0,95	21,98	17,33
MAR	200,398	205,204	0,932	0,87	25,53	4,81
ABR	175,456	190,263	0,974	0,95	27,46	14,81
MAI	75,975	89,899	0,947	0,90	27,57	13,92
JUN	23,397	29,570	0,989	0,98	9,68	6,17
JUL	11,979	15,770	0,937	0,88	7,41	3,79
AGO	4,891	6,873	0,885	0,78	4,30	1,98
SET	6,919	9,101	0,720	0,52	4,80	2,18
OUT	31,688	36,438	0,964	0,93	8,39	4,75
NOV	55,675	63,102	0,950	0,90	15,76	7,43
DEZ	92,971	103,391	0,985	0,97	13,72	10,42

Como pode ser visto na Tabela 14, existe uma concordância bem significativa entre os dados das estações e os dados do satélite. A Figura 41 apresenta a relação entre os dados de precipitação para a região hidrográfica do Parnaíba, que embora apresente um número reduzido de estações apresenta uma relação relativamente bem distribuída entre os dois

conjuntos de dados. A Figura 42 apresenta gráficos de dispersão entre os dados de todas as estações para cada mês do ano.

Figura 42 - Resultados da validação cruzada, da raiz do erro médio quadrático - RMSE, do coeficiente de determinação (r^2) e do coeficiente de correlação de Pearson (r), R.H. do Parnaíba.





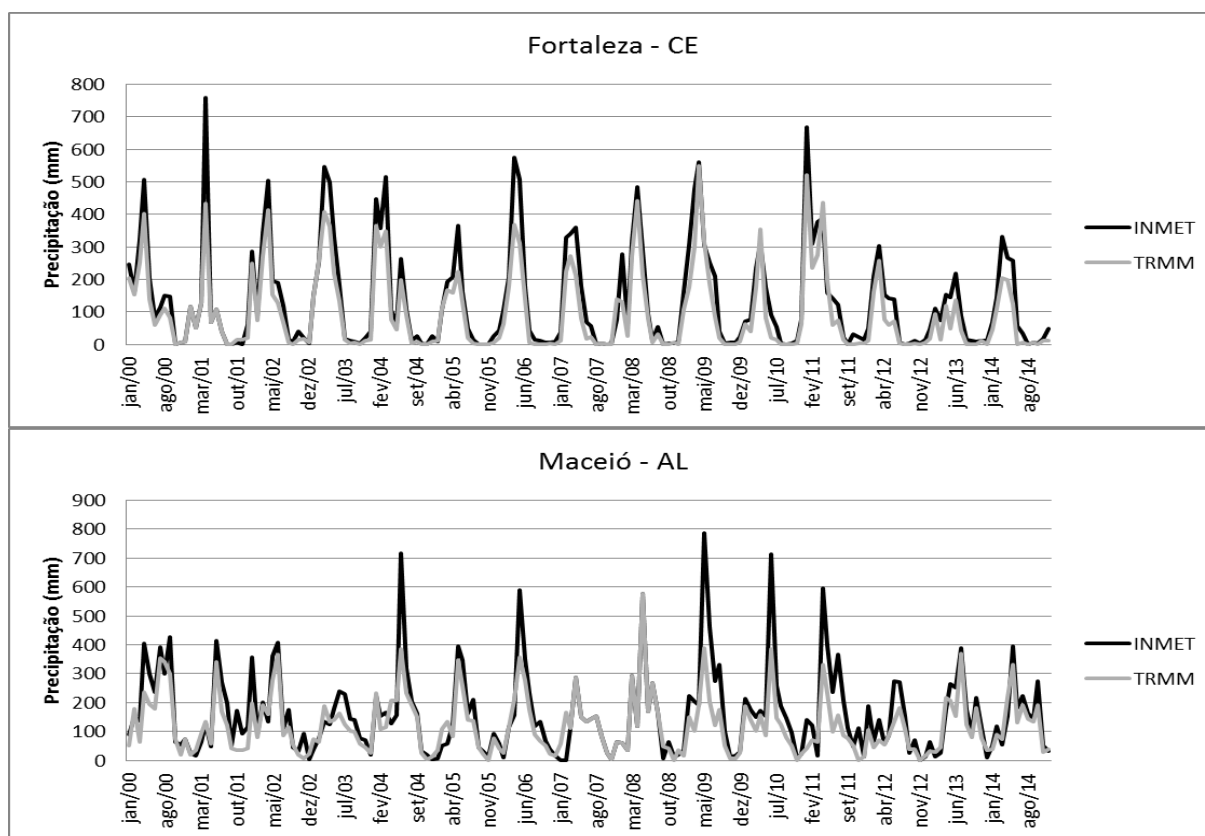
Conforme a Tabela 14, nota-se que a raiz do erro médio quadrático apresentou variação de 4,30 a 28,05 mm, e que o coeficiente de determinação e o de correlação estiveram entre 0,52 – 0,98 e 0,72 – 0,99, analisando de forma generalizada em relação aos meses do ano, ou seja, análise feita para as 16 estações adotadas na região.

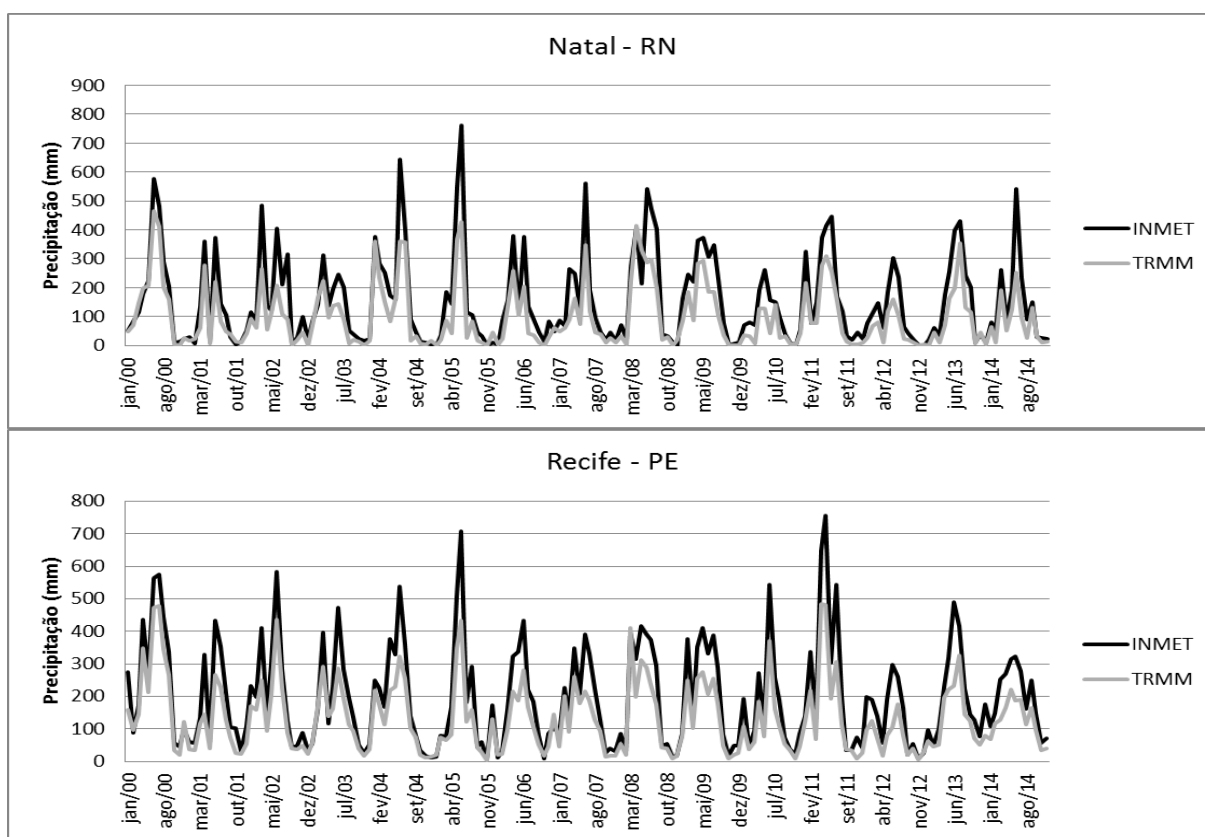
APÊNDICE E- Região Hidrográfica do Atlântico Nordeste Oriental

A Figura 43 mostra o comportamento das chuvas ao longo de janeiro do ano 2000 a dezembro do ano 2014 nas estações Fortaleza - CE, Maceió - AL, Natal - RN e Recife - PE, do INMET, que também serviram como pontos de amostragem para os dados do TRMM.

A comparação visual do gráfico nos revela que há um comportamento de grande correlação entre os dados do INMET e TRMM, observando-se apenas um momento de grande discrepância entre as duas fontes de dados em abril de 2001, discrepância essa de pouco mais 325 mm, porém de maneira geral, houve uma correlação 97,98% entre os dois conjuntos, para a estação Fortaleza - CE.

Figura 43 - Variação da precipitação no intervalo de 2000 – 2014, nas estações de Fortaleza, Maceió, Natal e Recife.

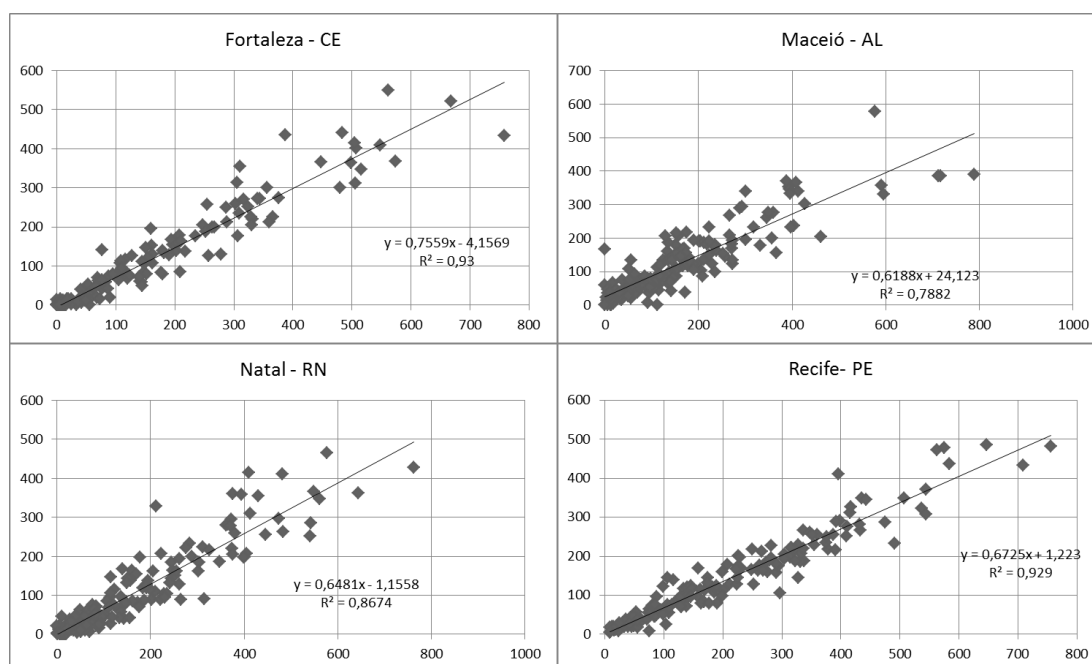




Para todas as outras estações, ressalta-se a grande correlação entre os dados, havendo poucos pontos de discrepância significativa entre os dois conjuntos. A correlação entre os dados é de 88,78% para Maceió – AL; 93,13% para Natal – RN; e 96,38% para Recife – PE.

A Figura 44 mostra de uma maneira mais simplificada alguns resultados de validação cruzada.

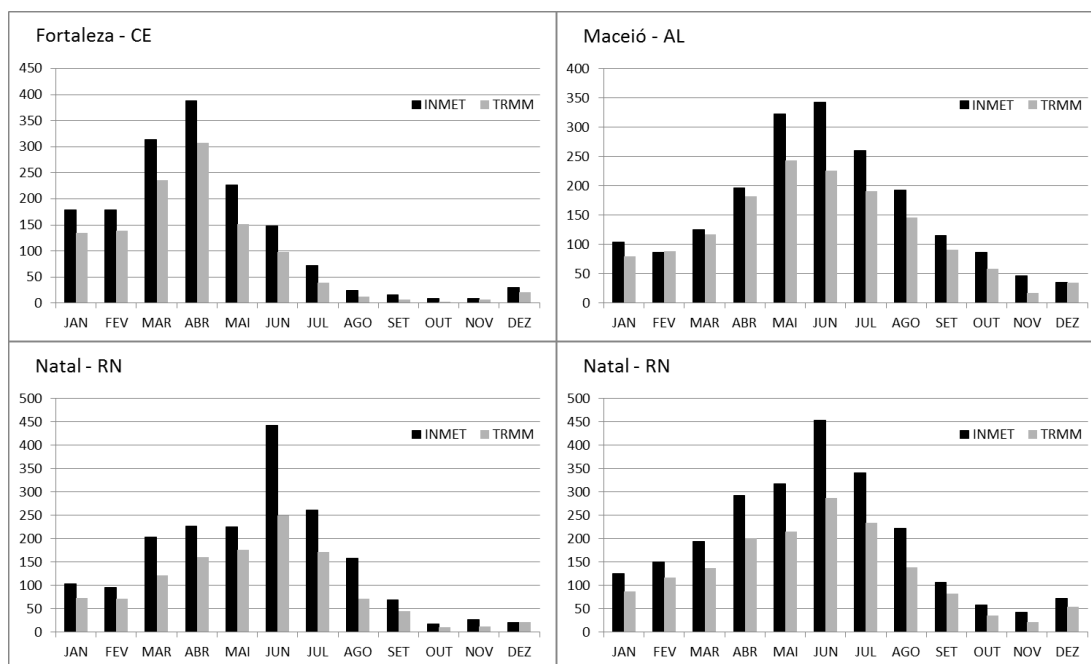
Figura 44 - Validação cruzada para as estações da R.H. do Atlântico NE Oriental.



A correlação entre os dois conjuntos é alta, e os dados possuem um bom nível de significância para as 180 observações, como mostrado na Figura 44 o valor de $R^2 = 0,93$ para o ponto de amostragem de Fortaleza, mostrando uma homogeneidade entre os dados, observável também através da linha de tendência. Para as demais estações foram obtidos resultados satisfatórios, sendo o valor de $R^2 = 0,7882$ para a estação de Maceió – AL; para a estação de Natal – RN, o valor foi de 0,8647; e para Recife – PE, o valor foi de 0,9290.

O nível de concordância entre os dados é ainda maior quando comparados em relação a sua média mensal, pois a discrepância agora é generalizada de 180 observações para apenas 12, sendo a média mensal anual para os 15 anos de dados observados. A Figura 45 ilustra bem esta situação.

Figura 45 - Precipitação média mensal de 2000-2014, R.H. do Atlântico NE Oriental.



A correlação entre as médias mensais anuais para os dados INMET e TRMM chega a 99,66% para o ponto de amostragem de Fortaleza - CE, sendo os meses de maior discrepância os mais chuvosos, que vai de março a maio, a maior discrepância encontrada é de 81,64 mm no mês de abril, o mais chuvoso, e a menor discrepância de 3,09 mm no mês de novembro, o menos chuvoso.

Para a estação de Maceió - AL, a correlação é de 97,20% para os valores dos dados. Também sendo os meses mais chuvosos com as maiores discrepâncias, que vai de abril a agosto, a maior discrepância encontrada foi de 116,53 mm em junho, o mês mais chuvoso, e a menor discrepância foi de 0,61 mm em dezembro, o mês de menor precipitação.

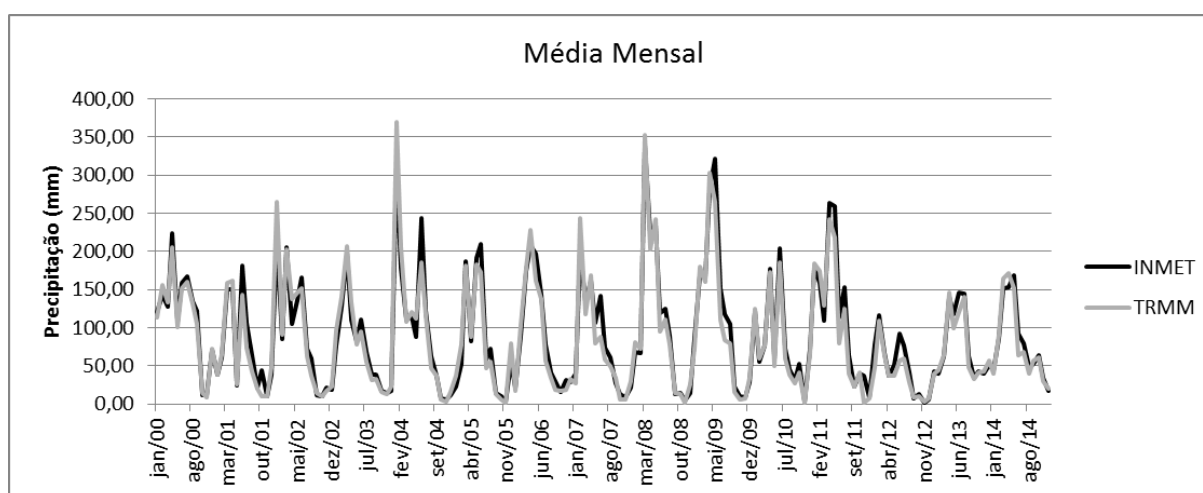
Na estação Natal - RN, a correlação obtida foi de 97,51% entre os dois conjuntos de dados. Novamente as maiores discrepâncias se encontram nos meses mais chuvosos, que vai de março a julho. Nesta estação os valores das discrepâncias foram maiores do que os encontrados nas outras, a maior discrepância encontrada foi de 191,93 mm para o mês de junho, sendo o mês mais chuvoso, e a menor discrepância encontrada foi de 0,30 mm no mês de dezembro.

E a estação de Recife – PE, com uma correlação entre os dados de 99,46%. E os períodos mais chuvosos indo de abril a agosto, com a maior discrepância no mês mais chuvoso, junho com 166,63 mm e 18,24 mm no mês de dezembro.

Após as análises preliminares de algumas estações visando entender o comportamento do fenômeno, e dos próprios dados, gerou-se a média mensal de todas as 31 estações do INMET e pontos amostrais do TRMM, a fim de se obter os resultados de forma mais abrangente para a Região Hidrográfica do Atlântico NE Oriental.

A Figura 46 mostra exatamente a distribuição da precipitação média mensal para os 31 pontos de amostras. Percebe-se que há uma boa correlação entre os dados durante todos os anos avaliados.

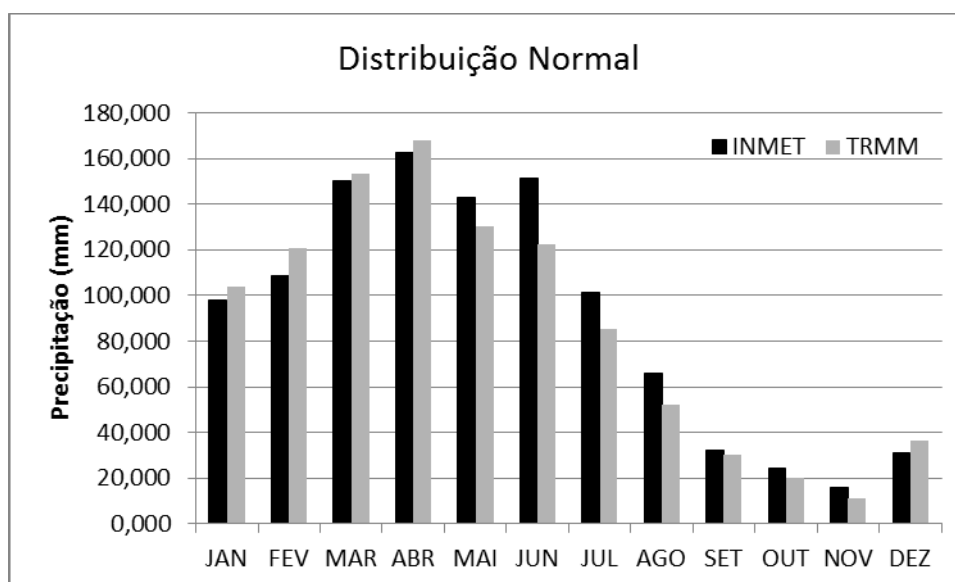
Figura 46 - Média mensal dos pontos amostrais, R.H. do Atlântico NE Oriental.



Os dados tratados desta forma apresentam um índice de correlação de 97,27%. Percebe-se também que as séries temporais mantêm um comportamento cíclico, sendo importante salientar que esta comparação é feita com 15 anos de dados.

Ainda foi feita a normalização de precipitação, gerando um valor médio mensal para todas as estações e pontos amostrais da região selecionada, a Figura 47 mostra o gráfico dessa distribuição.

Figura 47 - Distribuição normal de precipitação, R.H. do Atlântico NE Oriental.



A Tabela 15 contém os valores normais para as estações INMET e pontos amostrais TRMM, juntos aos valores de correlação linear, coeficiente de determinação, RMSE e erro absoluto.

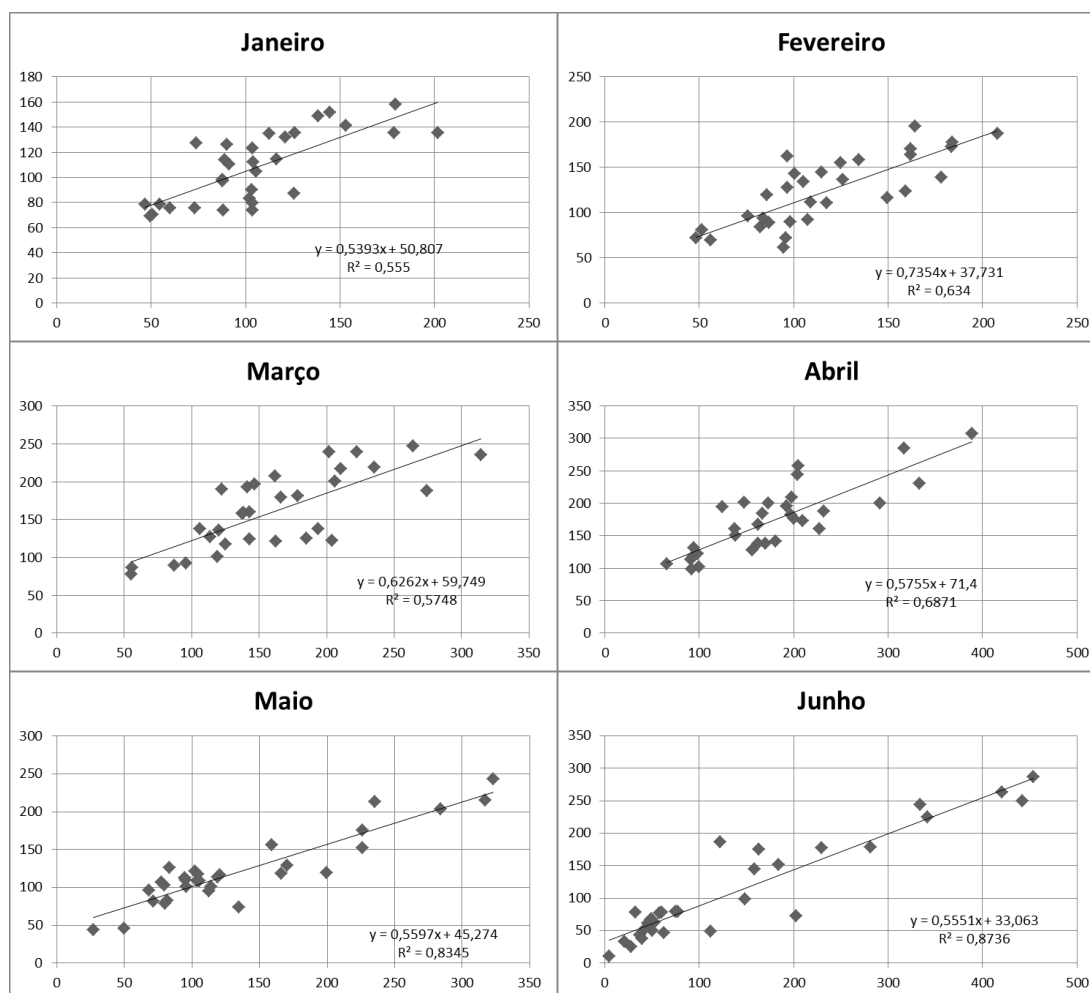
Tabela 15 - Valores de r , r^2 , RMSE e Erro (ABS), R.H. do Atlântico NE Oriental.

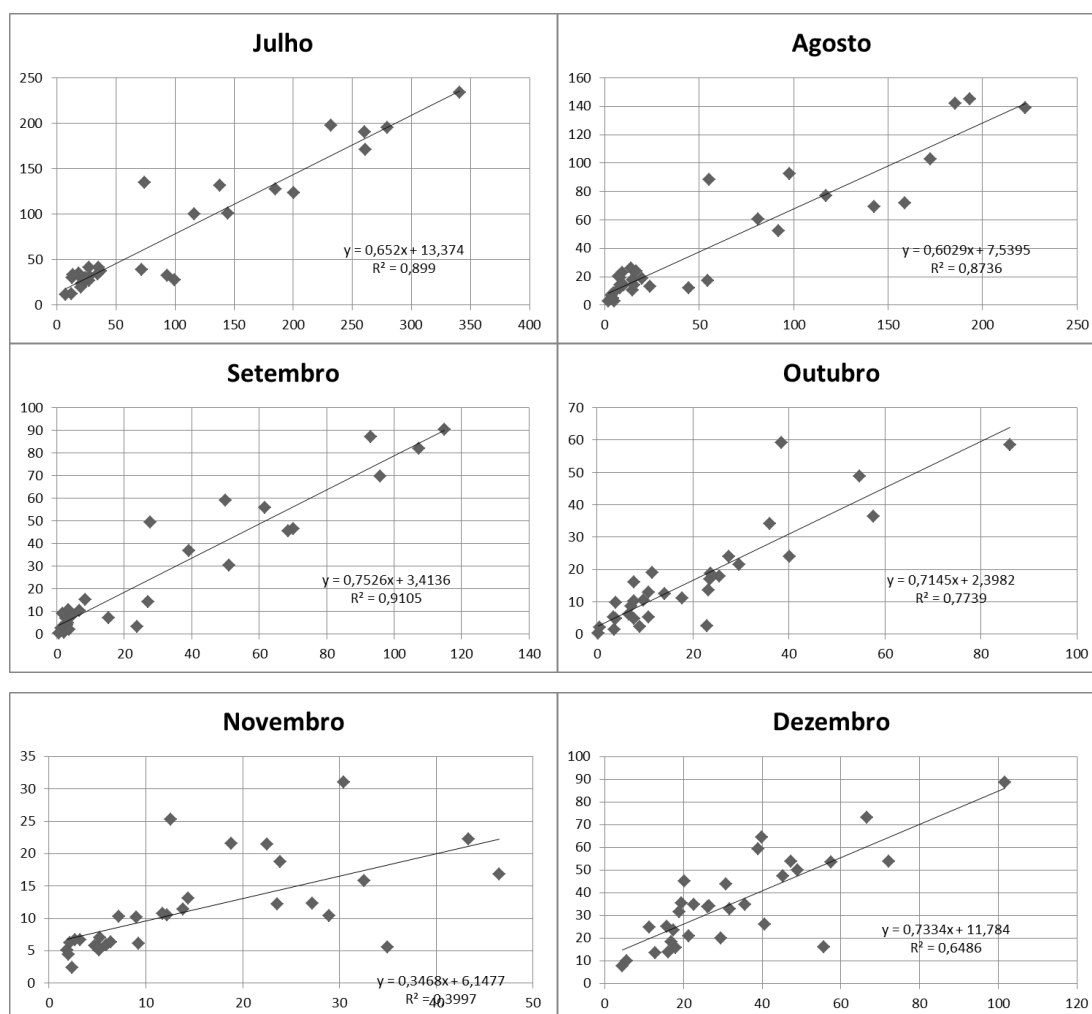
MÊS	INMET	TRMM	r	r^2	RMSE	Erro (ABS)
JAN	97,890	103,569	0,745	0,56	25,30	5,68
FEV	108,701	120,899	0,796	0,63	26,14	12,20
MAR	150,420	153,384	0,758	0,57	39,40	2,96
ABR	162,300	167,708	0,829	0,69	43,17	5,41
MAI	142,920	130,060	0,914	0,83	40,95	12,86
JUN	151,255	122,552	0,935	0,87	71,36	28,70
JUL	101,079	85,170	0,948	0,90	43,61	15,91
AGO	66,075	52,072	0,935	0,87	34,56	14,00
SET	32,353	30,282	0,954	0,91	12,70	2,07
OUT	24,556	19,970	0,880	0,77	9,78	4,59
NOV	15,847	10,958	0,632	0,40	10,56	4,89
DEZ	30,871	36,146	0,805	0,65	13,11	5,28

Como pode ser visto na Tabela 15, existe uma concordância bem significativa entre os dados das estações e os dados do satélite. A Figura 47 apresenta a relação entre os dados de precipitação para a região hidrográfica do Atlântico NE Oriental, que embora apresente um número reduzido de estações apresenta uma relação relativamente bem distribuída

entre os dois conjuntos de dados. A Figura 48 apresenta gráficos de dispersão entre os dados de todas as estações para cada mês do ano.

Figura 48 - Resultados da validação cruzada, da raiz do erro médio quadrático - RMSE, do coeficiente de determinação (r^2) e do coeficiente de correlação de Pearson (r), R.H. do Atlântico NE Oriental.





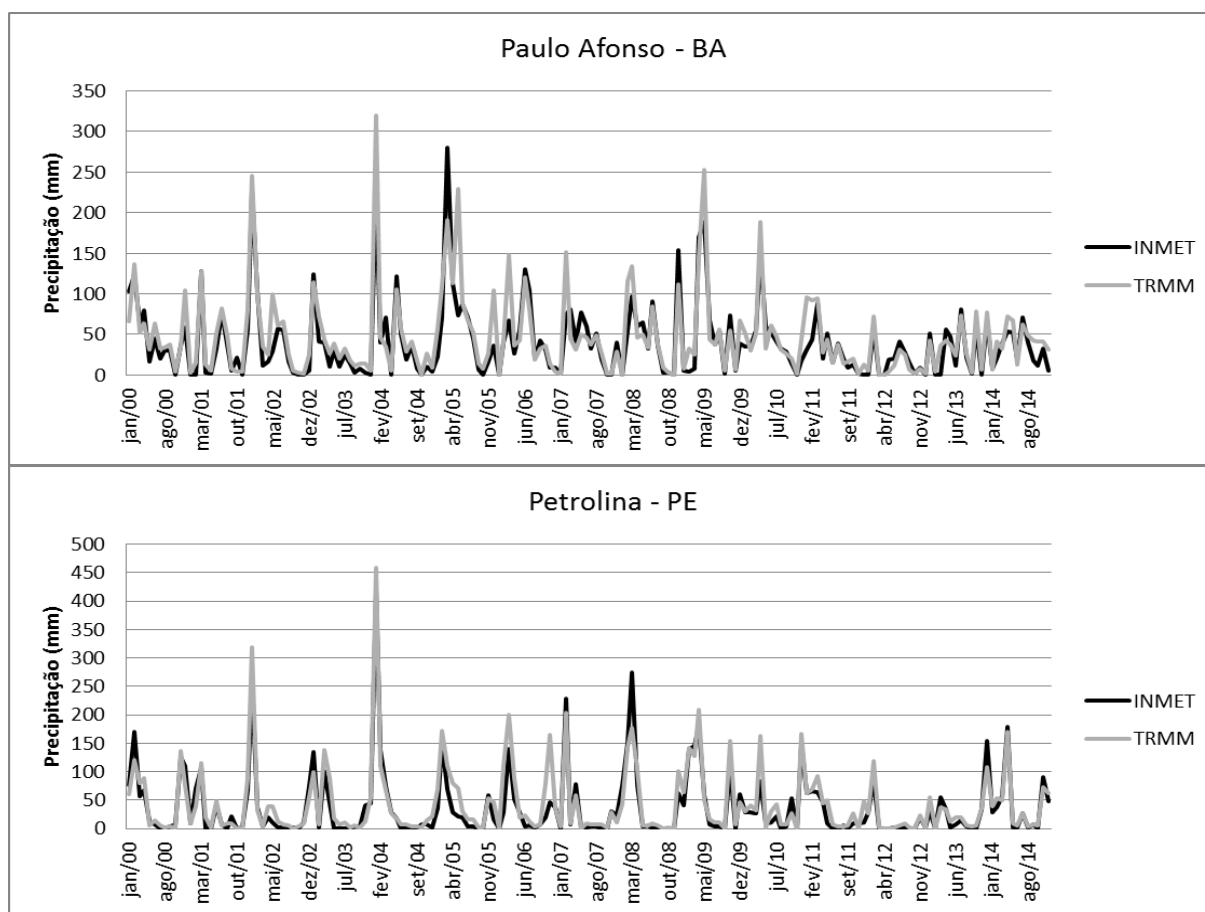
Conforme a Figura 48, nota-se que a raiz do erro médio quadrático apresentou variação de 9,78 a 71,36 mm, e que o coeficiente de determinação e o de correlação estiveram entre 0,40 – 0,91 e 0,632 – 0,954, analisando de forma generalizada em relação aos meses do ano, ou seja, análise feita para as 31 estações adotadas na região.

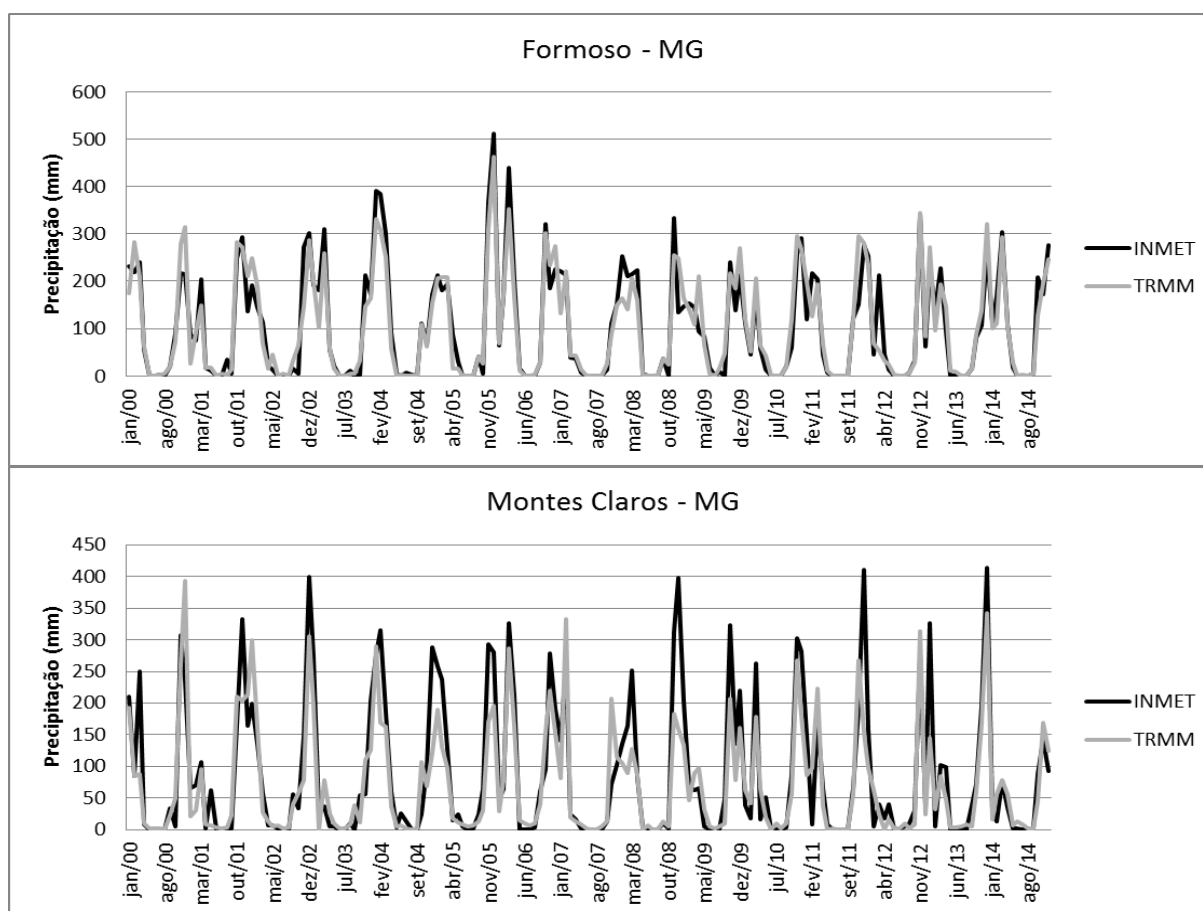
APÊNDICE F- Região Hidrográfica do São Francisco

A Figura 49 mostra o comportamento das chuvas ao longo de janeiro do ano 2000 a dezembro do ano 2014 nas estações Paulo Afonso - BA, Petrolina - PE, Formoso - MG e Montes Claros - MG, do INMET, que também serviram como pontos de amostragem para os dados do TRMM.

Como se pode perceber, a comparação visual do gráfico nos revela que há um comportamento de grande correlação entre os dados do INMET e TRMM, observando-se apenas um momento de grande discrepância entre as duas fontes de dados em maio de 2005, discrepância essa de pouco mais 155 mm, porém de maneira geral, houve uma correlação 87,73% entre os dois conjuntos, para a estação Paulo Afonso - BA.

Figura 49 - Variação da precipitação no intervalo de 2000 - 2014 nas estações de Paulo Afonso, Petrolina, Formoso e Montes Claros.

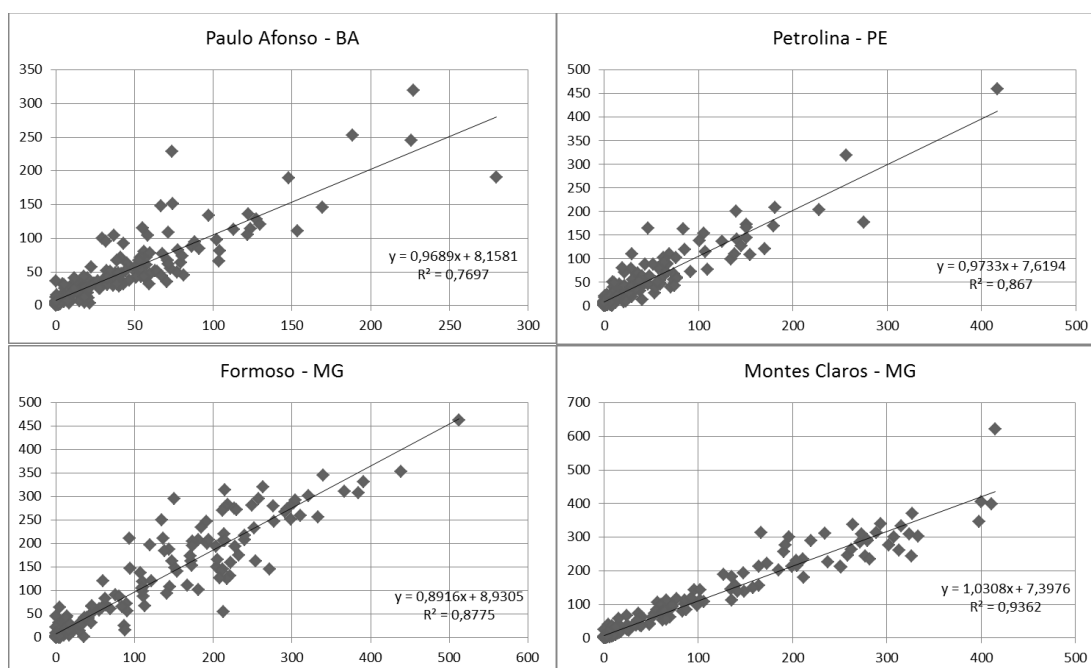




Para todas as outras estações, só por análise visual dos gráficos, ressalta-se a grande correlação entre os dados, havendo poucos pontos de grande discrepância entre os dois conjuntos. A correlação entre os dados é de 93,11% para Petrolina – PE; 93,67% para Formoso – MG; e 96,76% para Montes Claros – MG.

A Figura 50 mostra de uma maneira mais simplificada alguns resultados de validação cruzada.

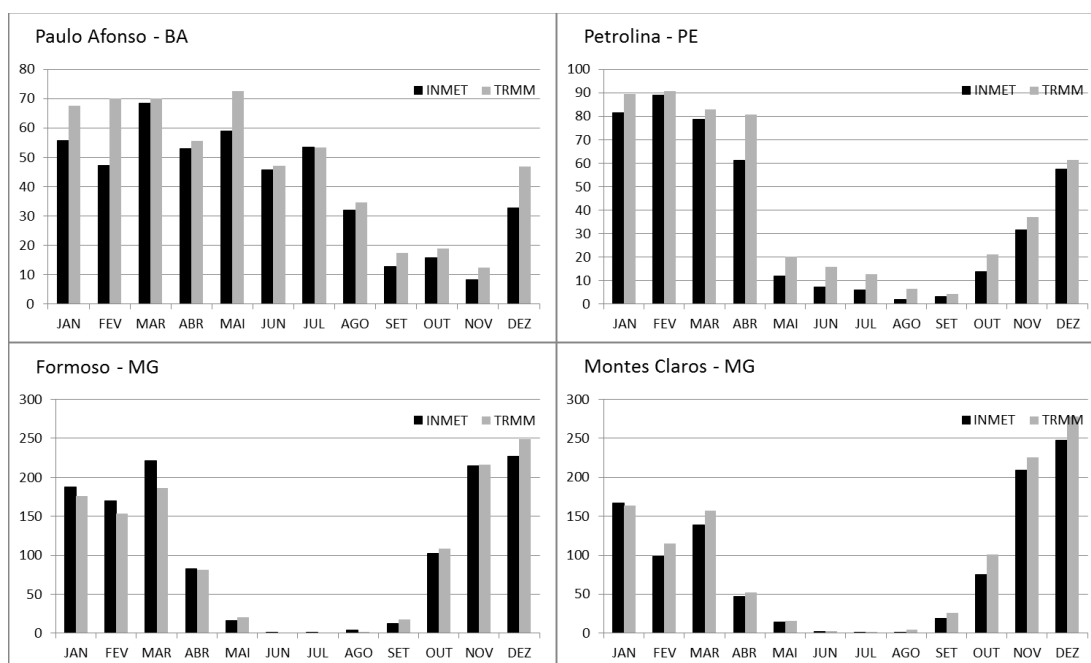
Figura 50 - Validação cruzada nas estações, R.H. do São Francisco.



A correlação entre os dois conjuntos é alta, e os dados possuem um bom nível de significância para as 180 observações, como mostrado na Figura 50 o valor de $R^2 = 0,7697$ para o ponto de amostragem de Paulo Afonso, mostrando uma homogeneidade entre os dados, observável também através da linha de tendência. Para as demais estações foram obtidos resultados mais satisfatórios, sendo o valor de $R^2 = 0,867$ para a estação de Petrolina – PE; para a estação de Formoso – MG, o valor foi de 0,8775; e para Montes Claros – MG, o valor foi de 0,9362.

O nível de concordância entre os dados é ainda maior quando comparados em relação a sua média mensal, pois a discrepância agora é generalizada de 180 observações para apenas 12, sendo a média mensal anual para os 15 anos de dados observados. A Figura 51 ilustra bem esta situação.

Figura 51 - Precipitação média mensal de 2000 - 2014, R.H. do São Francisco.



A correlação entre as médias mensais anuais para os dados INMET e TRMM chega a 94,7% para o ponto de amostragem de Paulo Afonso - BA, sendo os meses mais chuvosos de janeiro a julho, a maior discrepância encontrada é de 23,06 mm no mês de fevereiro e a menor discrepância de 0,14 mm no mês de agosto.

Para a estação de Petrolina - PE, a correlação é de 99,06% para os valores dos dados. Os meses mais chuvosos vão de dezembro a abril, a maior discrepância encontrada foi de 19,52 mm em abril e a menor discrepância foi de 1,26 mm em setembro.

Na estação de Formoso - MG, a correlação obtida foi de 98,95% entre os dois conjuntos de dados. As maiores discrepâncias se encontram nos meses mais chuvosos, que vai de novembro a março. Nesta estação os valores das discrepâncias foram maiores do que os encontrados nas outras, a maior discrepância encontrada foi de 35,16 mm para o mês de março, sendo o segundo mês mais chuvoso, e a menor discrepância encontrada foi de 0,02 mm no mês de junho, o segundo menos chuvoso.

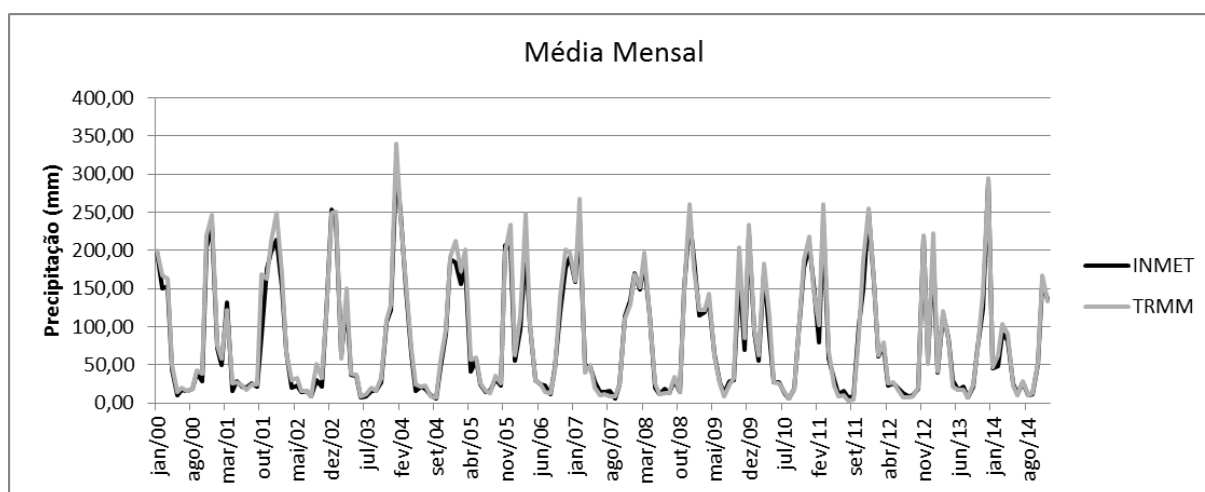
E a estação de Montes Claros - MG, com uma correlação entre os dados de 99,58%. E os períodos mais chuvosos indo de novembro a março,

com a maior discrepância no mês mais chuvoso, dezembro com 30,48 mm e 0,39 mm no mês menos chuvoso, julho.

Após as análises preliminares de algumas estações visando entender o comportamento do fenômeno, e dos próprios dados, gerou-se a média mensal de todas as 40 estações do INMET e pontos amostrais do TRMM, a fim de se obter os resultados de forma mais abrangente para a Região Hidrográfica do São Francisco.

A Figura 52 mostra exatamente a distribuição da precipitação média mensal para os 40 pontos de amostras. Percebe-se que há uma boa correlação entre os dados durante todos os anos avaliados.

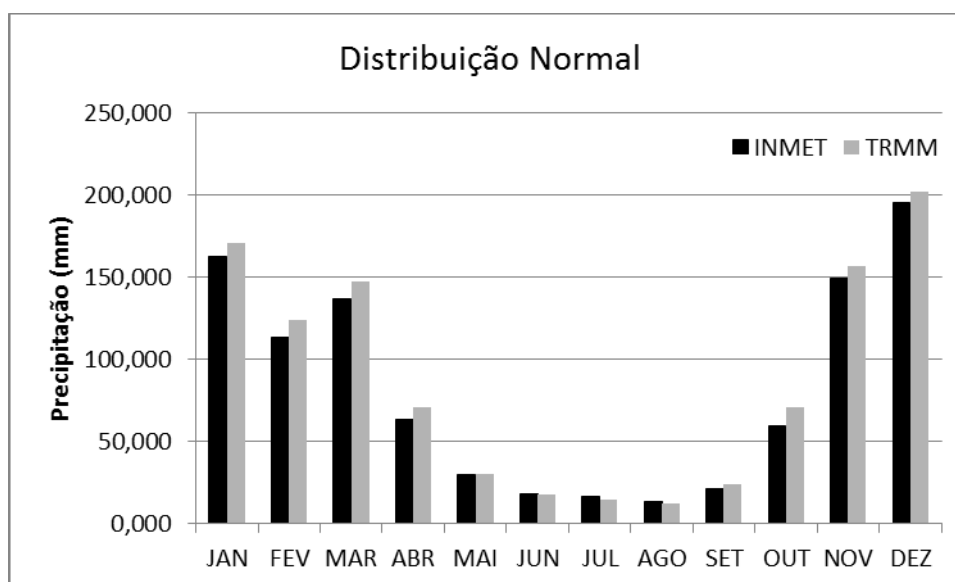
Figura 52 - Média mensal dos pontos amostrais, R.H. do São Francisco.



Os dados tratados desta forma apresentam um índice de correlação de 99,14%. Percebe-se também que as séries temporais mantêm um comportamento cíclico, sendo importante salientar que esta comparação é feita com 15 anos de dados.

Ainda foi feita a normalização de precipitação, gerando um valor médio mensal para todas as estações e pontos amostrais da região selecionada, a Figura 53 mostra o gráfico dessa distribuição.

Figura 53 - Distribuição normal de precipitação, R.H. do São Francisco.



A Tabela 16 contém os valores normais para as estações INMET e pontos amostrais TRMM, juntos aos valores de correlação linear, coeficiente de determinação, RMSE e erro absoluto.

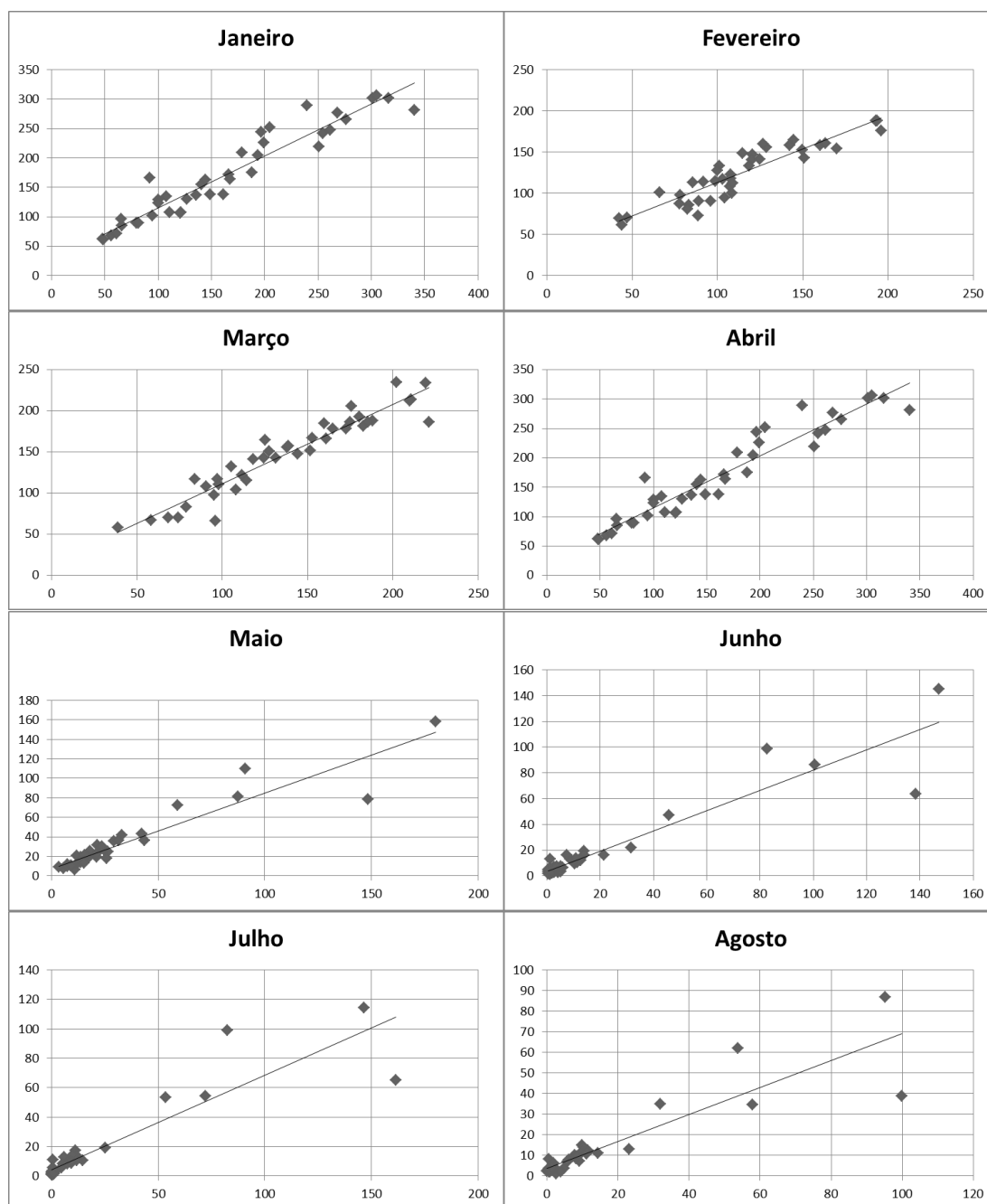
Tabela 16 - Valores de r , r^2 , RMSE e Erro (ABS), R.H. do São Francisco.

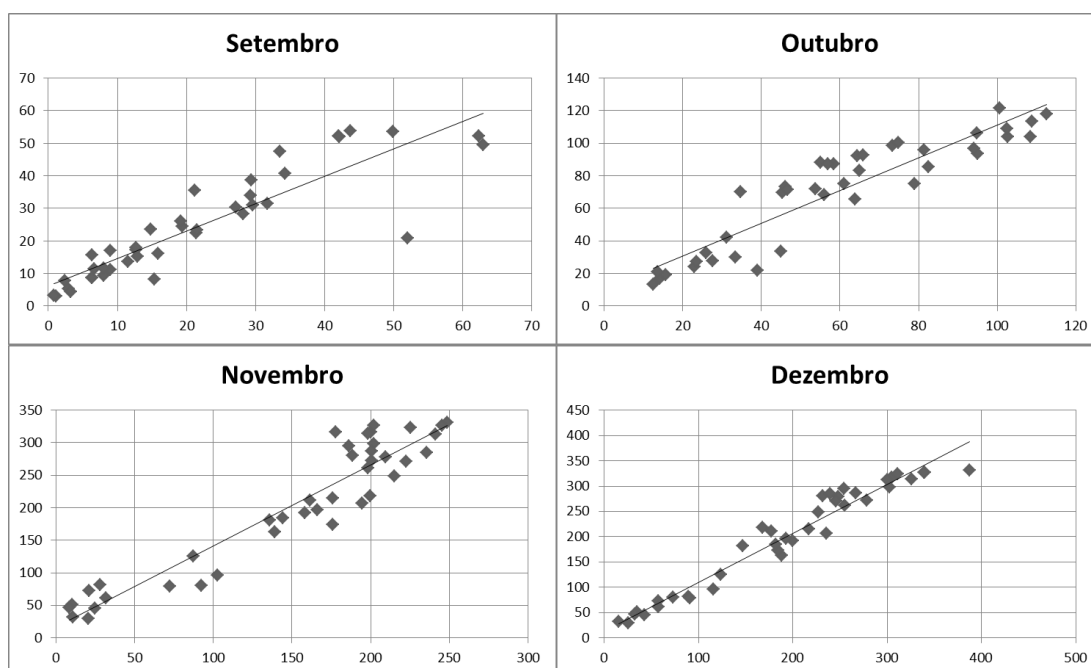
MÊS	INMET	TRMM	r	r^2	RMSE	Erro (ABS)
JAN	162,913	170,990	0,957	0,91	25,27	8,08
FEV	113,421	123,822	0,916	0,84	18,43	10,40
MAR	137,050	147,379	0,952	0,91	17,91	10,33
ABR	63,617	70,825	0,824	0,68	13,47	7,21
MAI	29,935	30,304	0,940	0,88	12,96	0,37
JUN	18,020	17,518	0,936	0,88	12,83	0,50
JUL	16,807	14,874	0,913	0,83	16,79	1,93
AGO	13,539	12,518	0,897	0,80	10,91	1,02
SET	21,680	24,416	0,890	0,79	8,12	2,74
OUT	59,713	70,658	0,918	0,84	16,89	10,95
NOV	148,999	156,702	0,976	0,95	19,30	7,70
DEZ	195,385	202,211	0,977	0,95	22,93	6,83

Como pode ser visto na Tabela 16, existe uma concordância bem significativa entre os dados das estações e os dados do satélite. A Figura 53 apresenta a relação entre os dados de precipitação para a região hidrográfica do São Francisco, que apresenta uma relação relativamente bem distribuída entre os dois conjuntos de dados. A Figura 54 apresenta

gráficos de dispersão entre os dados de todas as estações para cada mês do ano.

Figura 54 - Resultados da validação cruzada, da raiz do erro médio quadrático - RMSE, do coeficiente de determinação (r^2) e do coeficiente de correlação de Pearson (r), R.H. do São Francisco.





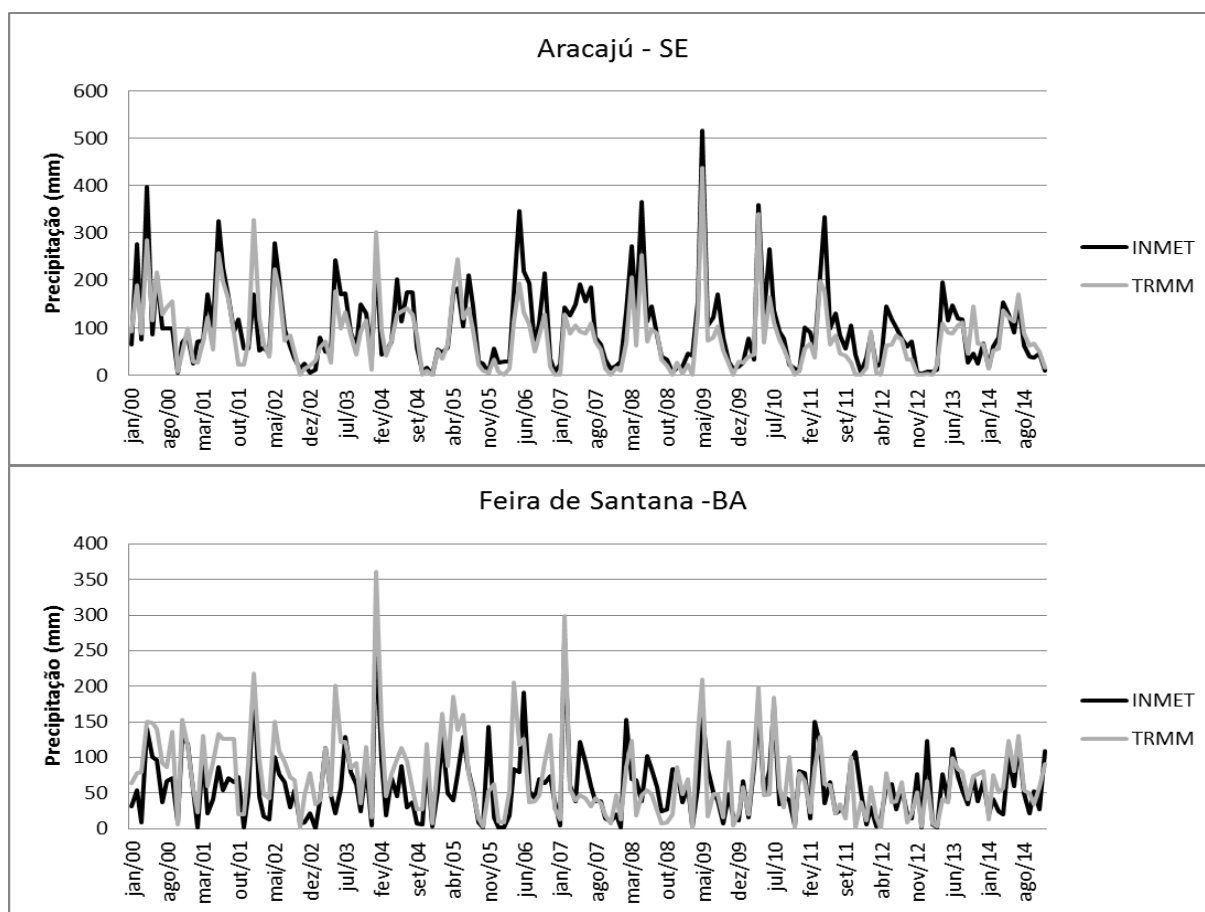
Conforme a Figura 54, nota-se que a raiz do erro médio quadrático apresentou variação de 8,12 a 25,27 mm, e que o coeficiente de determinação e o de correlação estiveram entre 0,79 – 0,95 e 0,824 – 0,977, analisando de forma generalizada em relação aos meses do ano, ou seja, análise feita para as 40 estações adotadas na região.

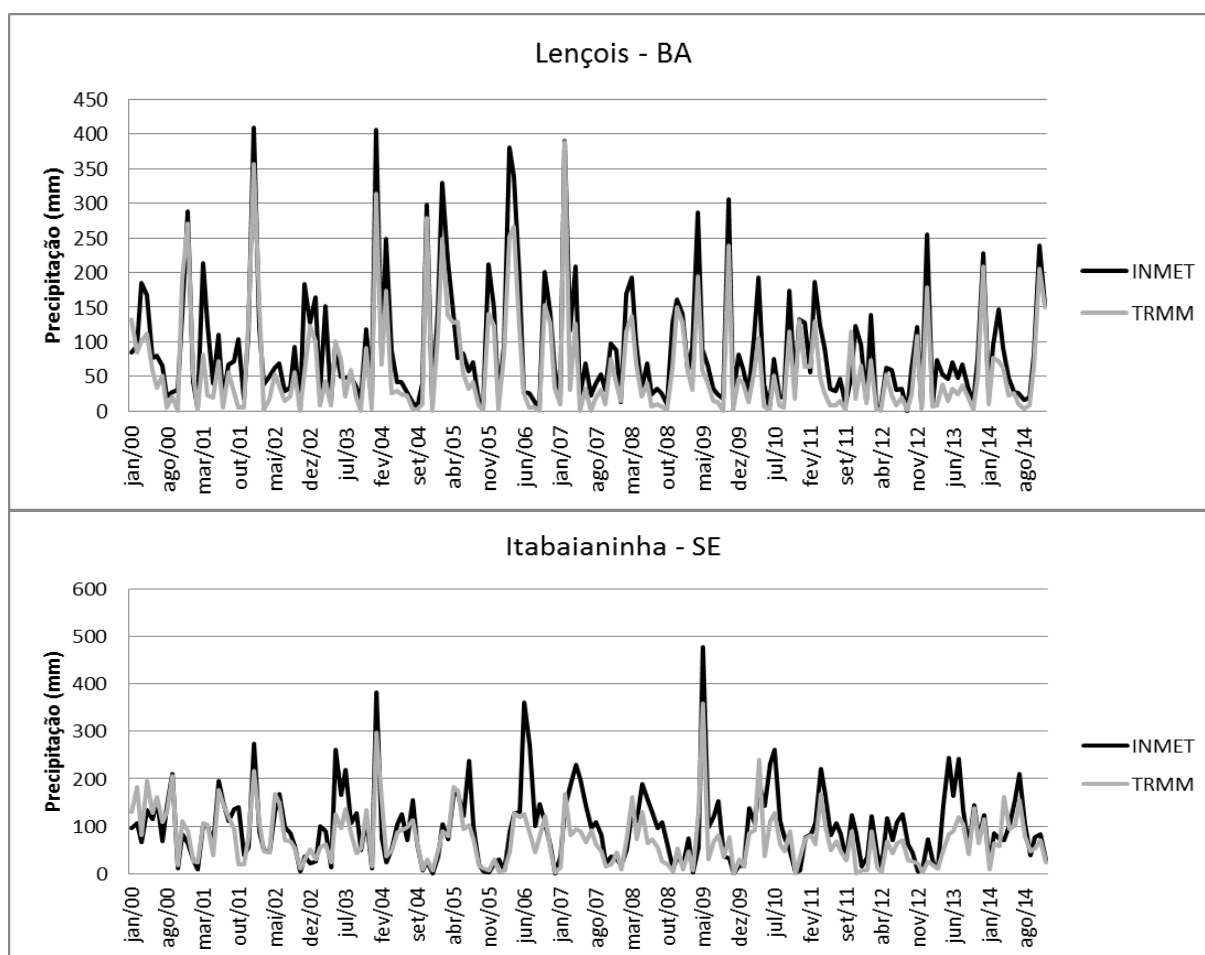
APÊNDICE G- Região Hidrográfica do Atlântico Leste

A Figura 55 mostra o comportamento das chuvas ao longo de janeiro do ano 2000 a dezembro do ano 2014 nas estações Aracaju - SE, Lençóis - BA, Feira de Santana - BA e Itabaianinha - SE, do INMET, que também serviram como pontos de amostragem para os dados do TRMM.

Como se pode perceber, a comparação visual do gráfico nos revela que há um comportamento de grande correlação entre os dados do INMET e TRMM, observando-se apenas um momento de grande discrepância entre as duas fontes de dados em abril de 2003, discrepância essa de pouco mais 157 mm, porém de maneira geral, houve uma correlação 88,89% entre os dois conjuntos, para a estação Aracaju - BA.

Figura 55 - Variação da precipitação no intervalo de 2000 – 2014, nas estações de Aracaju, Feira de Santana, Lençóis e Itabaianinha.

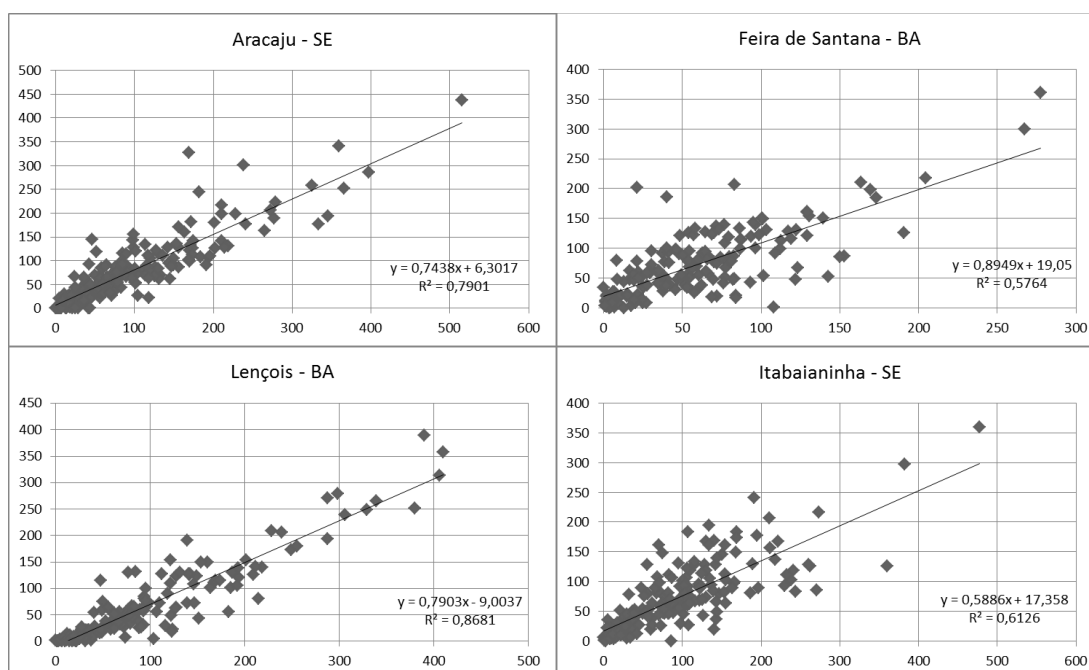




Para todas as outras estações, só por análise visual dos gráficos, ressalta-se a grande correlação entre os dados, havendo alguns pontos de grande discrepância entre os dois conjuntos, como por exemplo: de 180 mm em março de 2003 para a estação de Feira de Santana – BA; de 133 mm março de 2001 para a estação de Lençóis – BA; e de 234 mm em junho de 2006 para a estação de Itabaianinha - SE. A correlação entre os dados é de 93,17% para Feira de Santana - BA; 75,92% para Lençóis – BA; e 78,27% para Itabaianinha – SE.

A Figura 56 mostra de uma maneira mais simplificada alguns resultados de validação cruzada.

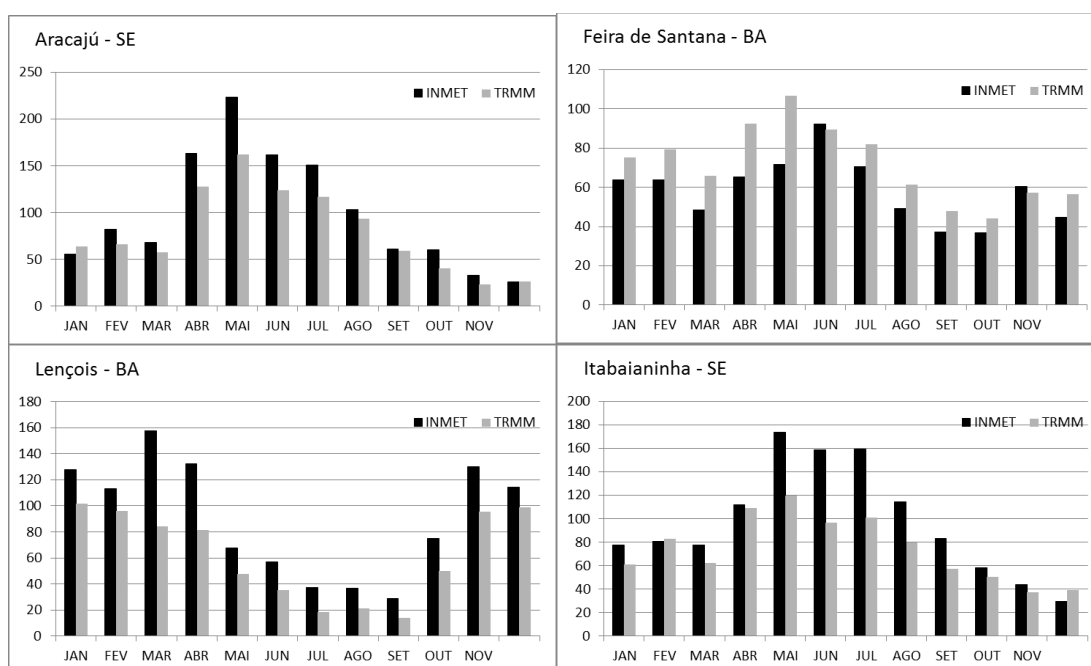
Figura 56 - Validação cruzada, R.H. do Atlântico Leste.



A correlação entre os dois conjuntos é alta, e os dados possuem um bom nível de significância para as 180 observações, como mostrado na Figura 56 o valor de $R^2 = 0,7901$ para o ponto de amostragem de Aracajú - SE, mostrando uma homogeneidade entre os dados, observável também através da linha de tendência. Para as demais estações foram obtidos resultados não muito satisfatórios, sendo o valor de $R^2 = 0,5764$ para a estação de Feira de Santana - BA; para a estação de Lençóis - BA, o valor foi de 0,8681; e para Itabaianinha - SE, o valor foi de 0,6126.

O nível de concordância entre os dados é ainda maior quando comparados em relação a sua média mensal, pois a discrepância agora é generalizada de 180 observações para apenas 12, sendo a média mensal anual para os 15 anos de dados observados. A Figura 57 ilustra bem esta situação.

Figura 57 - Precipitação média mensal de 2000-2014, R.H. do Atlântico Leste.



A correlação entre as médias mensais anuais para os dados INMET e TRMM chega a 98,52% para o ponto de amostragem de Aracajú - SE, sendo os meses de maior discrepância os mais chuvosos, que vai de abril a agosto, a maior discrepância encontrada é de 61,52 mm no mês de maio, o mais chuvoso, e a menor discrepância de 0,351 mm no mês de dezembro, o menos chuvoso.

Para a estação de Feira de Santana - BA, a correlação é de 82,83% para os valores dos dados. Também sendo os meses mais chuvosos com as maiores discrepâncias, que vai de abril a julho, a maior discrepância encontrada foi de 35,17 mm em maio e a menor discrepância foi de 2,82 mm em junho.

Na estação Lençóis - BA, a correlação obtida foi de 93,03% entre os dois conjuntos de dados. Novamente as maiores discrepâncias se encontram nos meses mais chuvosos, que vai de novembro a abril, apresentando um comportamento diferente as demais estações apresentadas anteriormente. Nesta estação os valores das discrepâncias foram maiores do que os encontrados nas outras, a maior discrepância encontrada foi de 73,34 mm

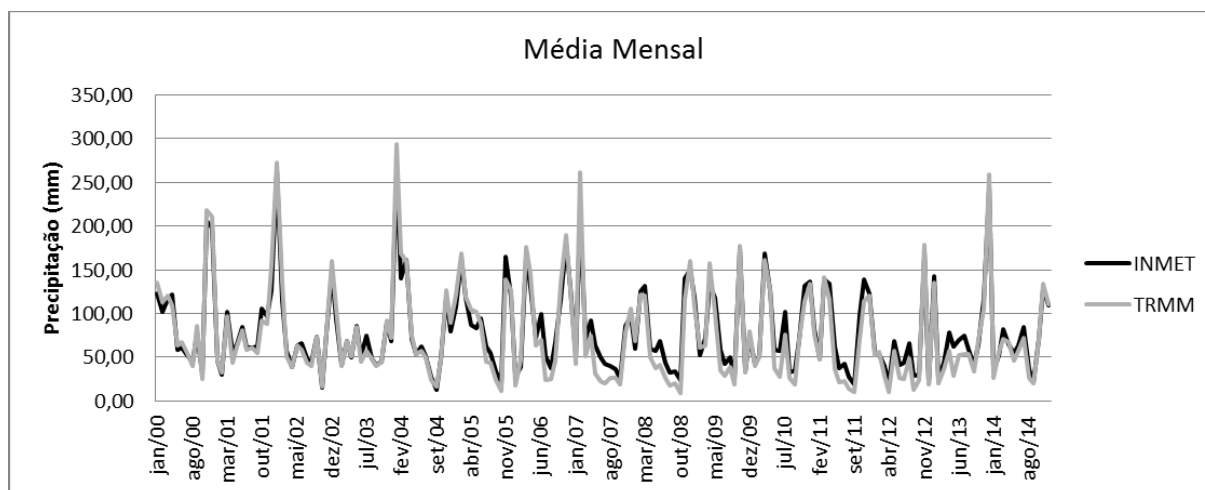
para o mês de março, sendo o mês mais chuvoso, e a menor discrepância encontrada foi de 14,65 mm no mês de setembro, o menos chuvoso.

E a estação de Itabaianinha – SE, apresentando uma correlação entre os dados de 91,25%. E os períodos mais chuvosos indo de abril a agosto, com a maior discrepância no segundo mês mais chuvoso, junho com 62,19 mm e 2,05 mm no mês de fevereiro.

Após as análises preliminares de algumas estações visando entender o comportamento do fenômeno, e dos próprios dados, gerou-se a média mensal de todas as 26 estações do INMET e pontos amostrais do TRMM, a fim de se obter os resultados de forma mais abrangente para a Região Hidrográfica do Atlântico Leste.

A Figura 58 mostra exatamente a distribuição da precipitação média mensal para os 26 pontos de amostras. Percebe-se que há uma boa correlação entre os dados durante todos os anos avaliados.

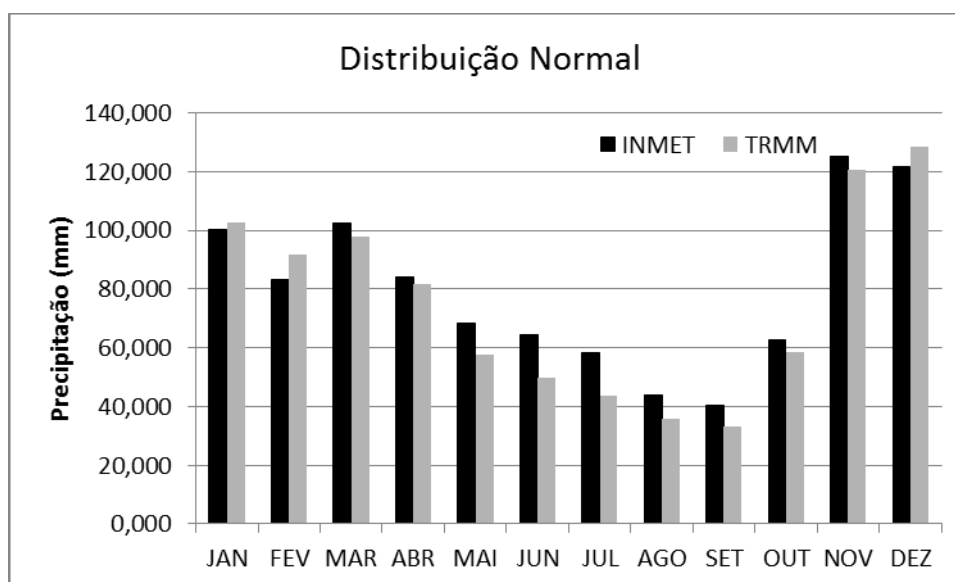
Figura 58 - Média mensal dos pontos amostrais, R.H. Atlântico Leste.



Os dados tratados desta forma apresentam um índice de correlação de 97,68%. Percebe-se também que as séries temporais mantêm um comportamento cíclico, sendo importante salientar que esta comparação é feita com 15 anos de dados.

Ainda foi feita a normalização de precipitação, gerando um valor médio mensal para todas as estações e pontos amostrais da região selecionada, a Figura 59 mostra o gráfico dessa distribuição.

Figura 59 - Distribuição normal de precipitação, R.H. Atlântico Leste.



A Tabela 17 contém os valores normais para as estações INMET e pontos amostrais TRMM, juntos aos valores de correlação linear, coeficiente de determinação, RMSE e erro absoluto.

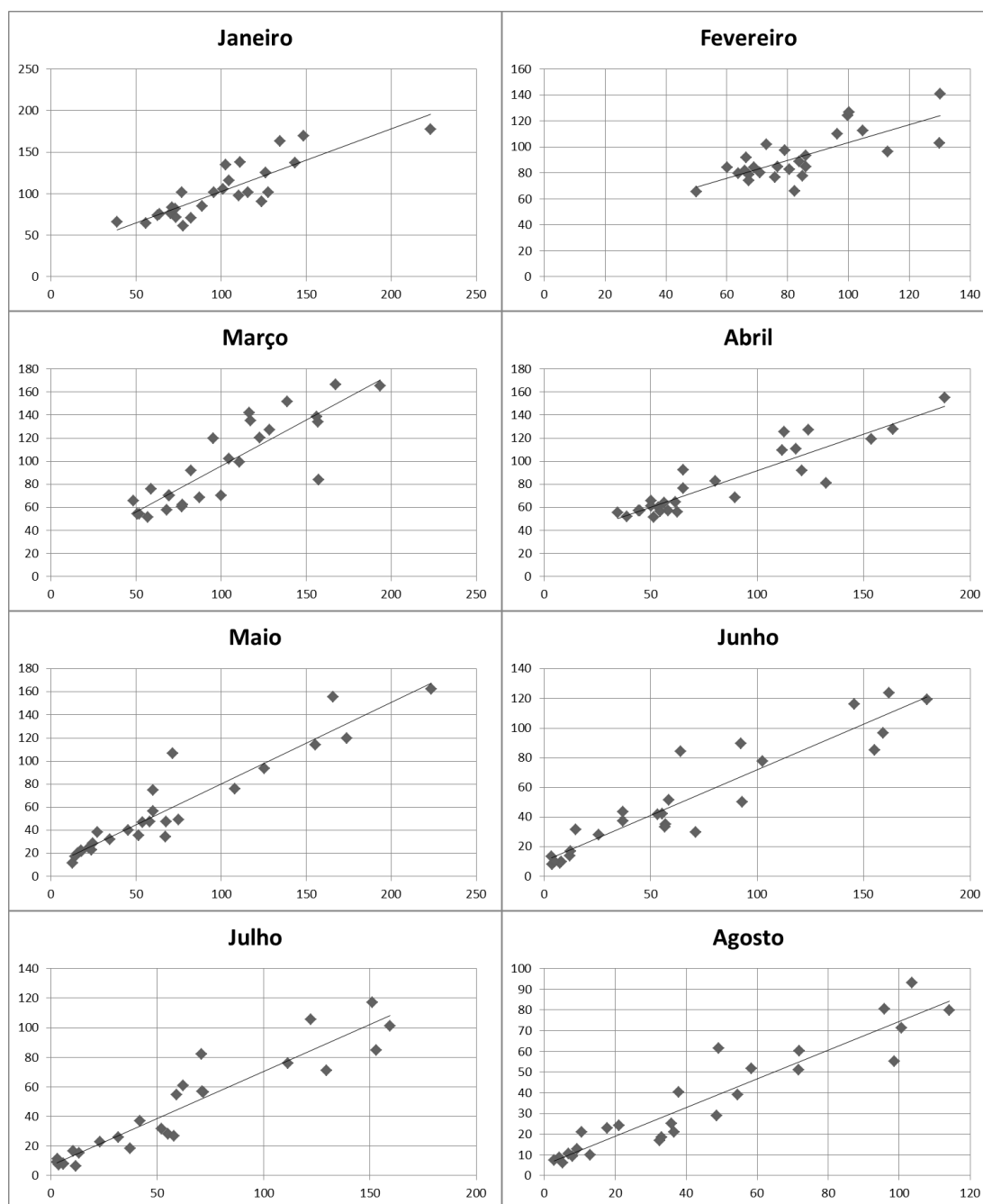
Tabela 17 - Valores de r , r^2 , RMSE e Erro (ABS), R.H. do Atlântico Leste.

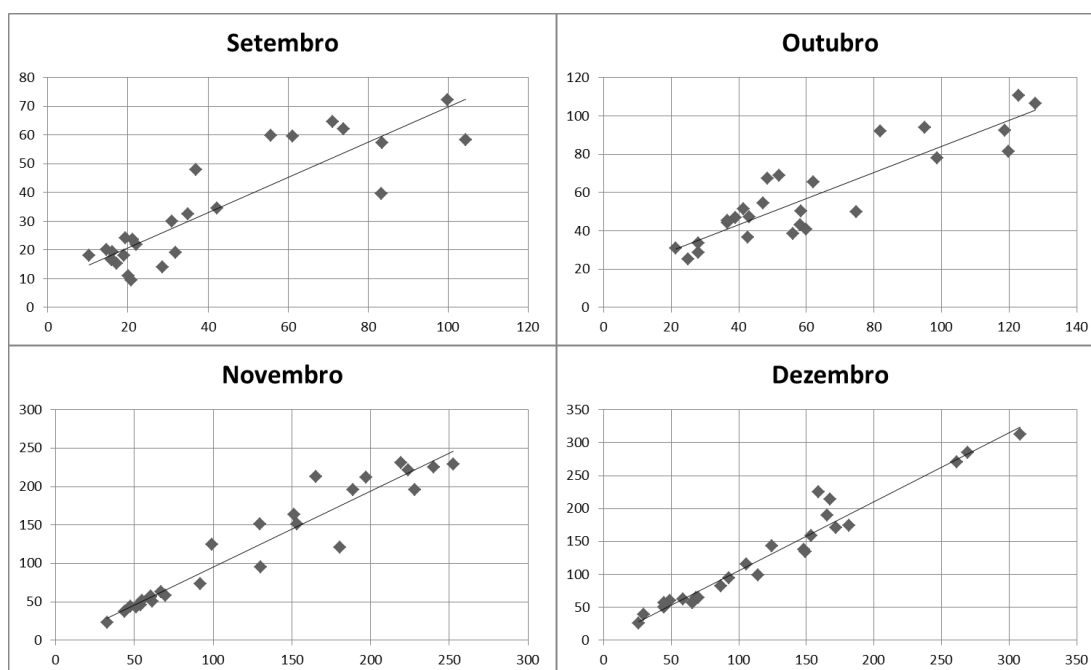
MÊS	INMET	TRMM	r	r^2	RMSE	Erro (ABS)
JAN	100,220	102,666	0,856	0,73	19,45	2,45
FEV	83,208	91,780	0,747	0,56	16,10	8,57
MAR	102,499	97,675	0,862	0,74	20,99	4,82
ABR	84,114	81,751	0,912	0,83	19,66	2,36
MAI	68,230	57,735	0,944	0,89	23,92	10,49
JUN	64,286	49,958	0,935	0,87	28,55	14,33
JUL	58,372	43,803	0,939	0,88	25,95	14,57
AGO	43,905	35,623	0,941	0,89	16,10	8,28
SET	40,448	33,297	0,886	0,78	15,95	7,15
OUT	62,465	58,567	0,895	0,80	15,36	3,90
NOV	125,216	120,450	0,960	0,92	20,97	4,77
DEZ	121,543	128,390	0,977	0,95	18,72	6,85

Como pode ser visto na Tabela 17, existe uma concordância bem significativa entre os dados das estações e os dados do satélite. A Figura 59 apresenta a relação entre os dados de precipitação para a região hidrográfica do rio Amazonas, que embora apresente um número reduzido de estações apresenta uma relação relativamente bem distribuída entre os

dois conjuntos de dados. A Figura 60 apresenta gráficos de dispersão entre os dados de todas as estações para cada mês do ano.

Figura 60 - Resultados da validação cruzada, da raiz do erro médio quadrático - RMSE, do coeficiente de determinação (r^2) e do coeficiente de correlação de Pearson (r), R.H. do Atlântico Leste.





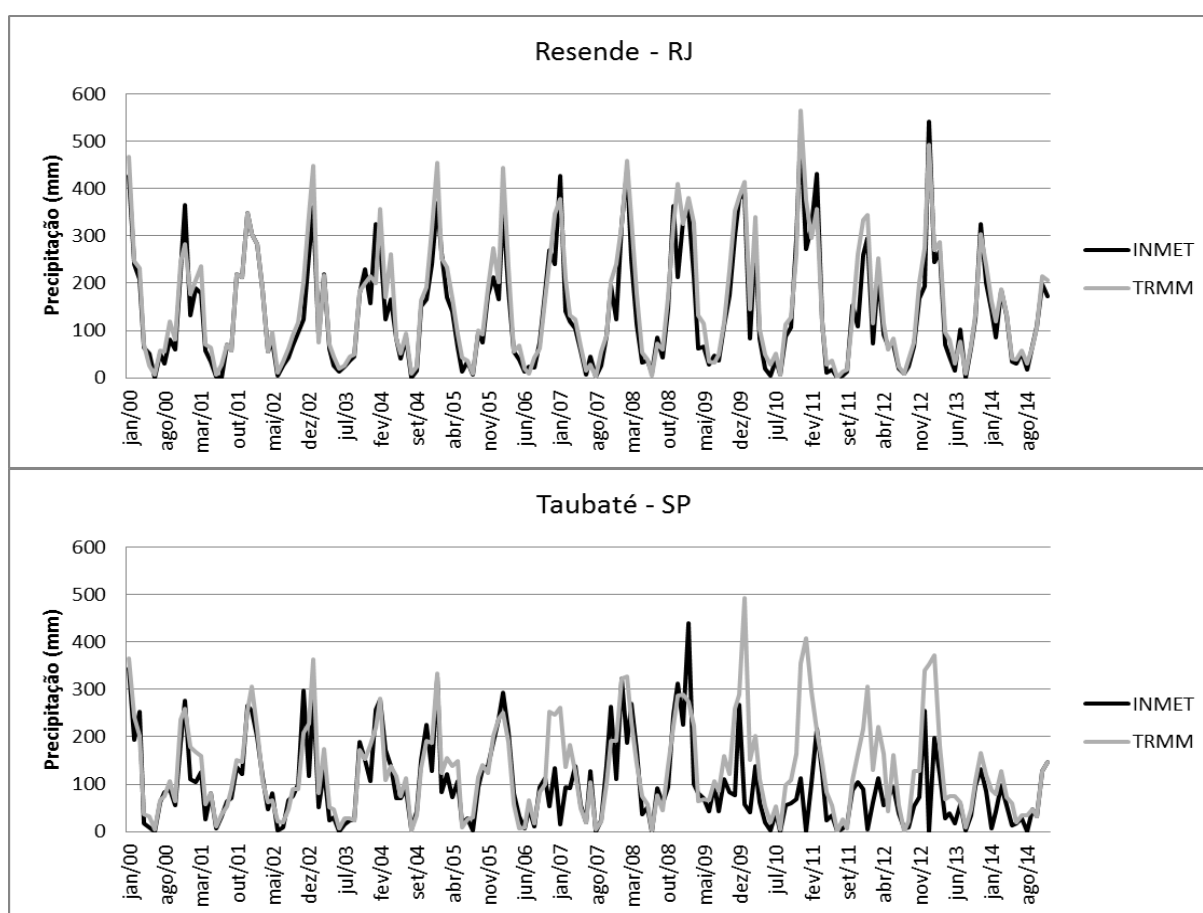
Conforme a Figura 60, nota-se que a raiz do erro médio quadrático apresentou variação de 15,36 a 28,55 mm, e que o coeficiente de determinação e o de correlação estiveram entre 0,56 – 0,95 e 0,74 – 0,97, analisando de forma generalizada em relação aos meses do ano, ou seja, análise feita para as 26 estações adotadas na região. Percebe-se que esses gráficos explicam quais períodos são mais ou menos chuvosos.

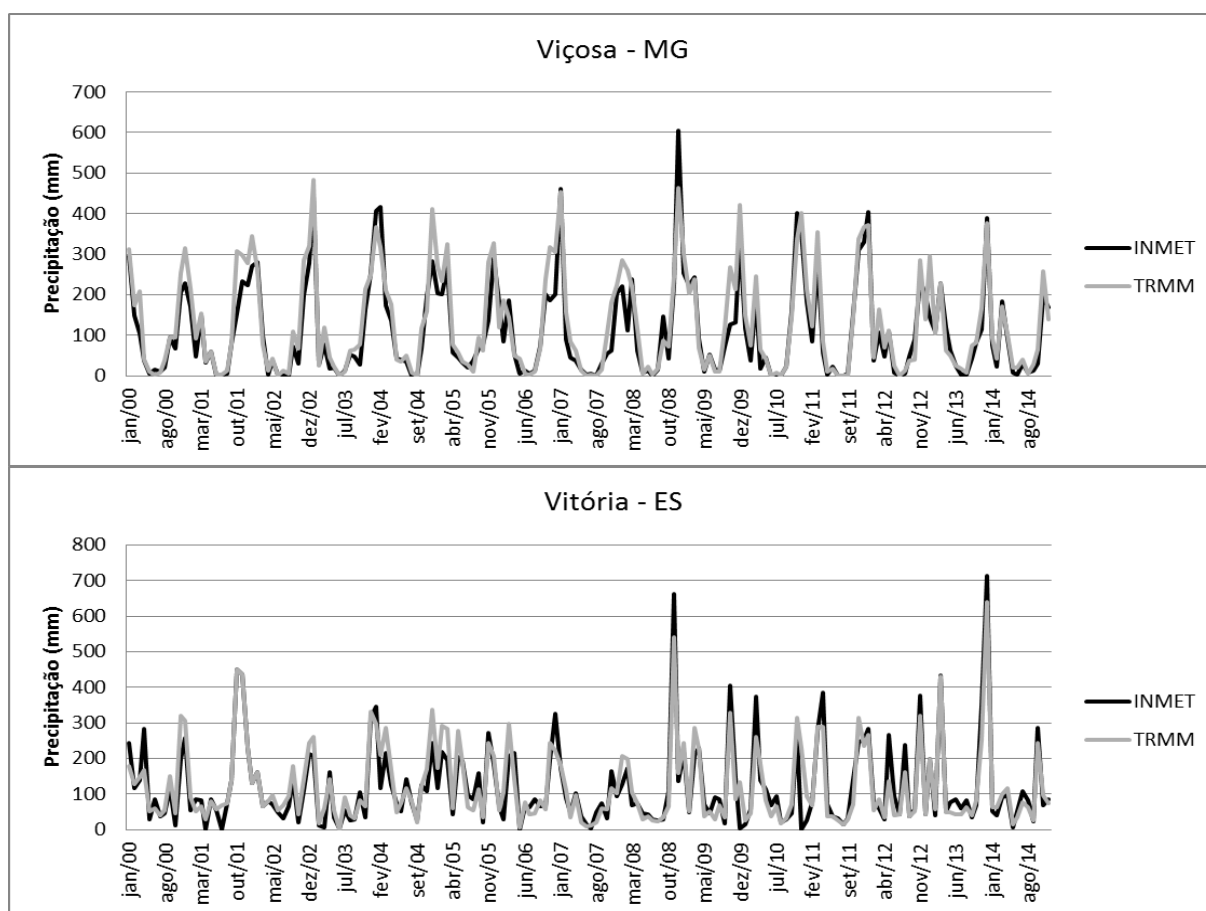
APÊNDICE H- Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste

A Figura 61 mostra o comportamento das chuvas ao longo de janeiro do ano 2000 a dezembro do ano 2014 nas estações Resende - RJ, Taubaté - SP, Viçosa - MG e Vitória - ES, do INMET, que também serviram como pontos de amostragem para os dados do TRMM.

Como se pode perceber, a comparação visual do gráfico nos revela que há um comportamento de grande correlação entre os dados do INMET e TRMM, observando-se apenas um momento de grande discrepância entre as duas fontes de dados em dezembro de 2008, discrepância essa de pouco mais 195 mm, porém de maneira geral, houve uma correlação 95,65% entre os dois conjuntos, para a estação Resende - RJ.

Figura 61 - Variação da precipitação no intervalo de 2000 – 2014, nas estações de Resende, Taubaté, Viçosa e Vitória.

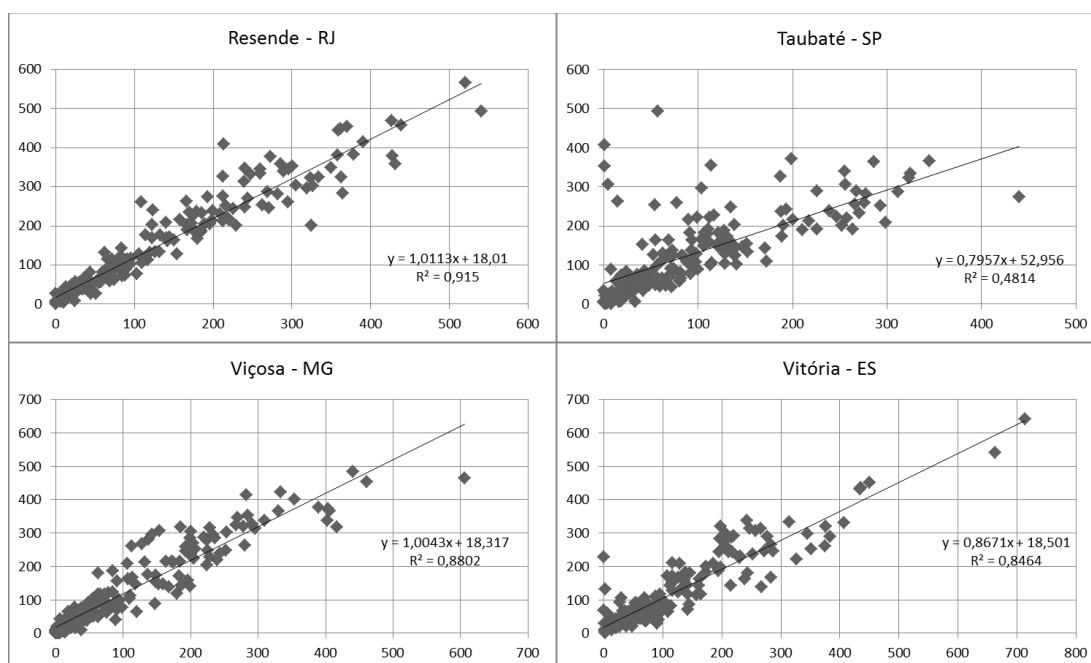




Para todas as outras estações, só por análise visual dos gráficos, ressalta-se a grande correlação entre os dados, observando alguns pontos de grande discrepância entre os dois conjuntos, como por exemplo, a discrepância de 436 mm em janeiro de 2010 para a estação de Taubaté – SP; 153 mm em outubro 2001 na estação de Viçosa – MG; e de 228 mm em dezembro de 2010 na estação de Vitória - ES. A correlação entre os dados é de 69,38% para Taubaté – SP; 92% para Viçosa – MG; e 93,82% para Vitória – ES.

A Figura 62 mostra de uma maneira mais simplificada alguns resultados de validação cruzada.

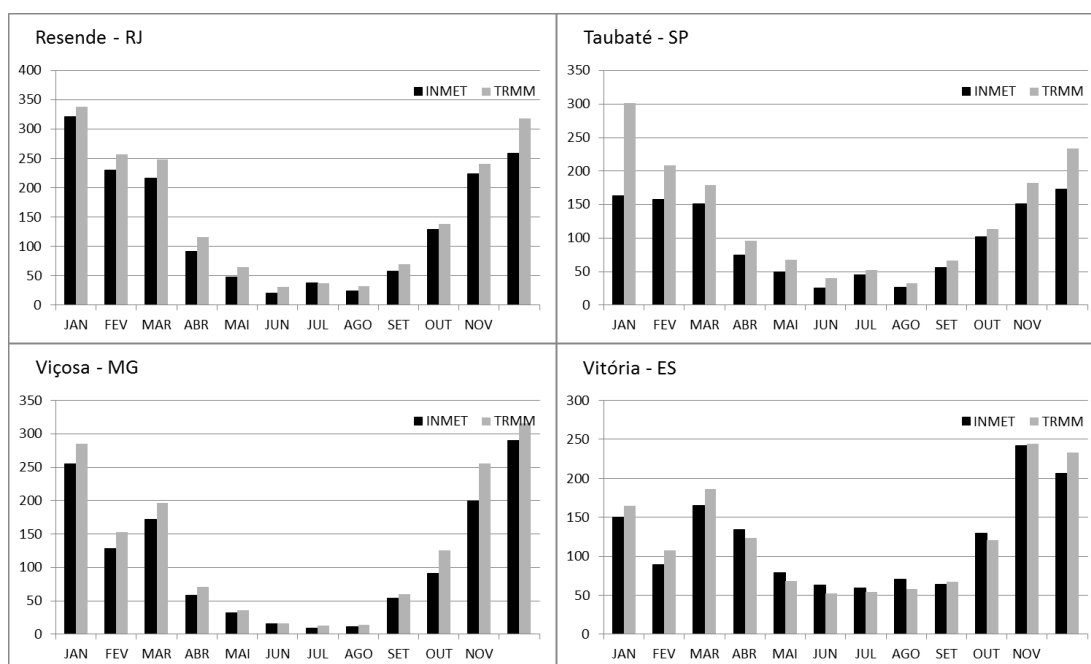
Figura 62 - Validação cruzada, R.H. do Atlântico Sudeste.



A correlação entre os dois conjuntos é alta, e os dados possuem um bom nível de significância para as 180 observações, como mostrado na Figura 62 o valor de $R^2 = 0,915$ para o ponto de amostragem de Resende, mostrando uma homogeneidade entre os dados, observável também através da linha de tendência. Para as demais estações foram obtidos resultados satisfatórios, com exceção da estação de Taubaté, sendo o valor de $R^2 = 0,4814$; para a estação de Viçosa – MG, o valor foi de 0,8802; e para Vitória – ES, o valor foi de $R^2 = 0,8464$.

O nível de concordância entre os dados é ainda maior quando comparados em relação a sua média mensal, pois a discrepância agora é generalizada de 180 observações para apenas 12, sendo a média mensal anual para os 15 anos de dados observados. A Figura 63 ilustra bem esta situação.

Figura 63 - Precipitação média mensal de 2000-2014, R.H. do Atlântico Sudeste.



A correlação entre as médias mensais anuais para os dados INMET e TRMM chega a 99,44% para o ponto de amostragem de Resende - RJ, sendo os meses de maior discrepância os mais chuvosos, que vai de novembro a março, a maior discrepância encontrada é de 59,80 mm no mês de dezembro e a menor discrepância de 0,60 mm no mês de julho, o menos chuvoso.

Para a estação de Taubaté – SP, a correlação é de 94,95% para os valores dos dados. Também sendo os meses mais chuvosos com as maiores discrepâncias, que vai de novembro a março, a maior discrepância encontrada foi de 138,37 mm em janeiro e a menor discrepância foi de 5,98 mm em agosto.

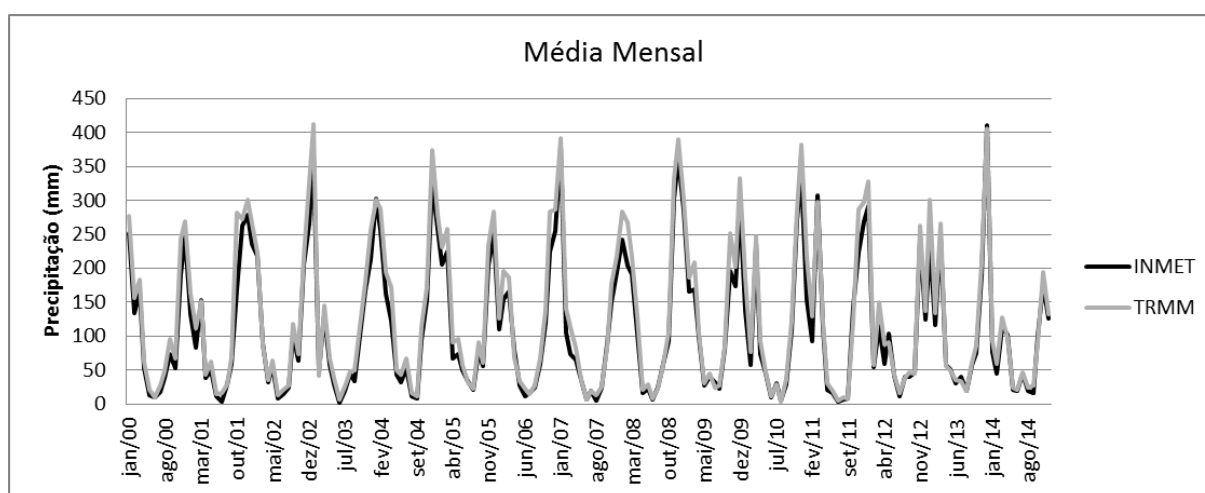
Na estação Viçosa – MG, a correlação obtida foi de 99,48% entre os dois conjuntos de dados. Novamente as maiores discrepâncias se encontram nos meses mais chuvosos, que vai de novembro a março. A maior discrepância encontrada foi de 55,64 mm para o mês de novembro, e a menor discrepância encontrada foi de 1,04 mm no mês de junho, o segundo menos chuvoso.

E a estação de Vitória – ES, apresentando uma correlação entre os dados de 98,39%. E os períodos mais chuvosos indo de novembro a março, com a maior discrepância no segundo mês mais chuvoso, dezembro com 26,64 mm e 3,62 mm no mês de setembro.

Após as análises preliminares de algumas estações visando entender o comportamento do fenômeno, e dos próprios dados, gerou-se a média mensal de todas as 14 estações do INMET e pontos amostrais do TRMM, a fim de se obter os resultados de forma mais abrangente para a Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste.

A Figura 64 mostra exatamente a distribuição da precipitação média mensal para os 14 pontos de amostras. Percebe-se que há uma boa correlação entre os dados durante todos os anos avaliados.

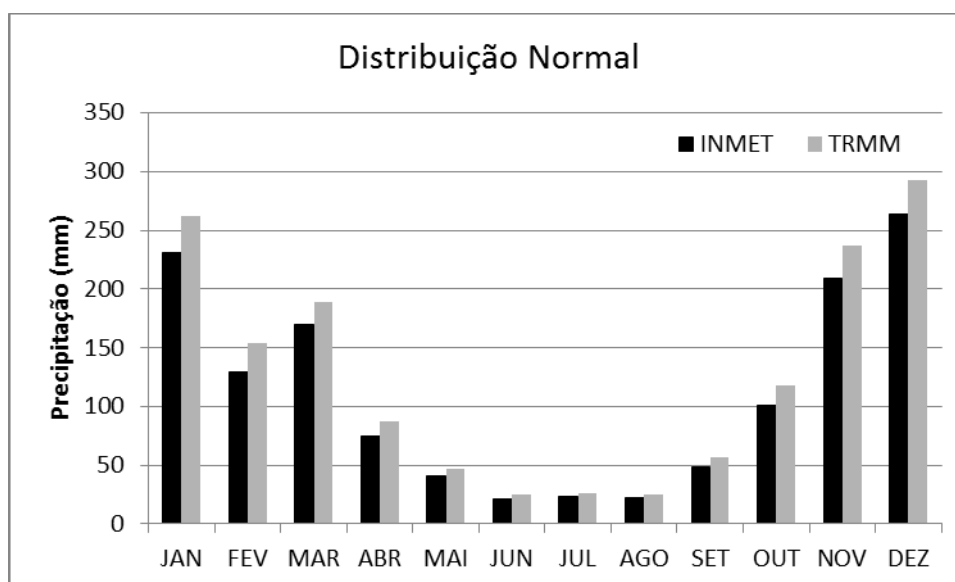
Figura 64 - Média mensal dos pontos amostrais, R.H. do Atlântico Sudeste.



Os dados tratados desta forma apresentam um índice de correlação de 98,96%. Percebe-se também que as séries temporais mantêm um comportamento cíclico, sendo importante salientar que esta comparação é feita com 15 anos de dados.

Ainda foi feita a normalização de precipitação, gerando um valor médio mensal para todas as estações e pontos amostrais da região selecionada, a Figura 65 mostra o gráfico dessa distribuição.

Figura 65 - Distribuição normal de precipitação, R.H. do Atlântico Sudeste.



A Tabela 18 contém os valores normais para as estações INMET e pontos amostrais TRMM, juntos aos valores de correlação linear, coeficiente de determinação, RMSE e erro absoluto.

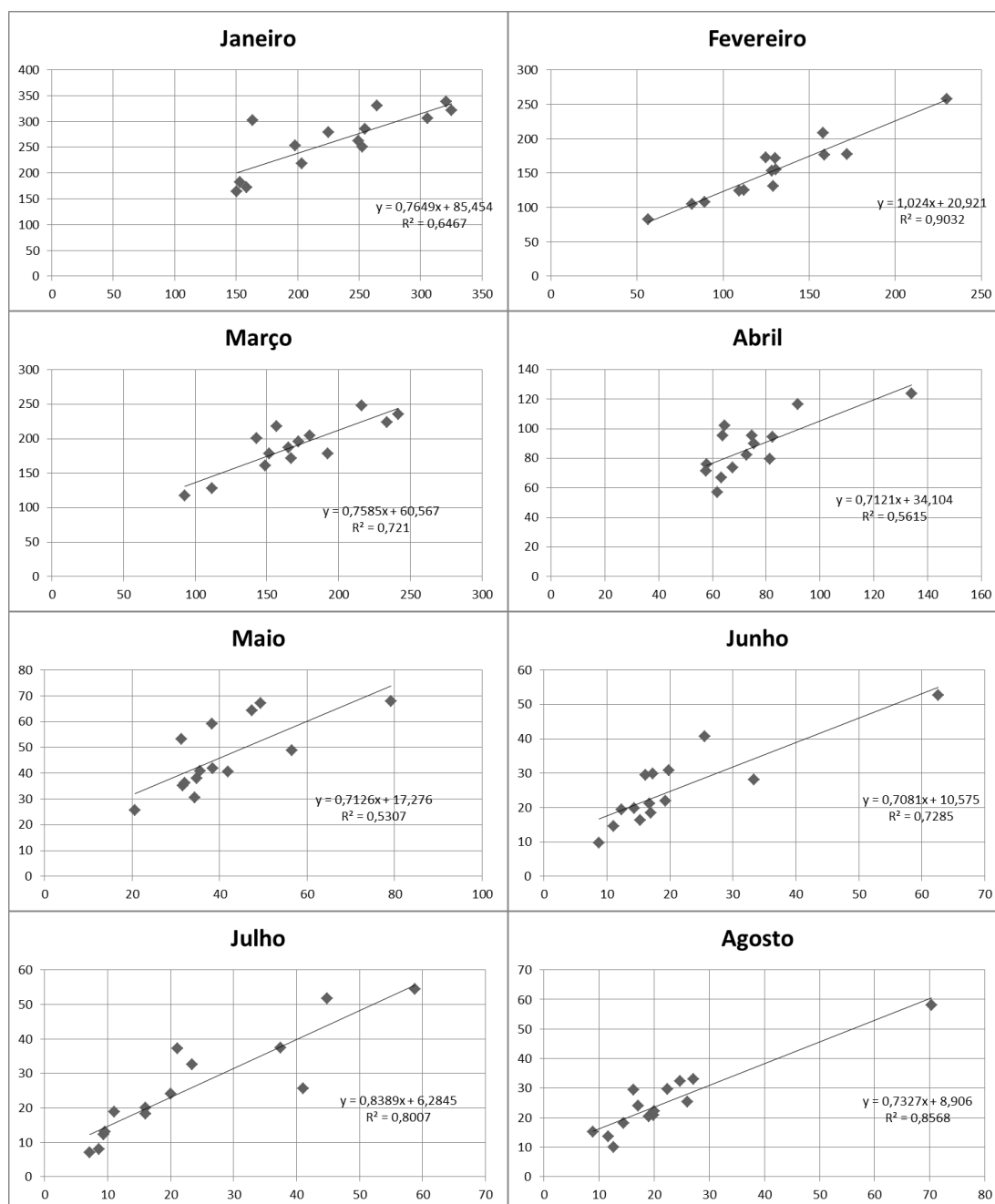
Tabela 18 - Valores de r , r^2 , RMSE e Erro (ABS), R.H. do Atlântico Sudeste.

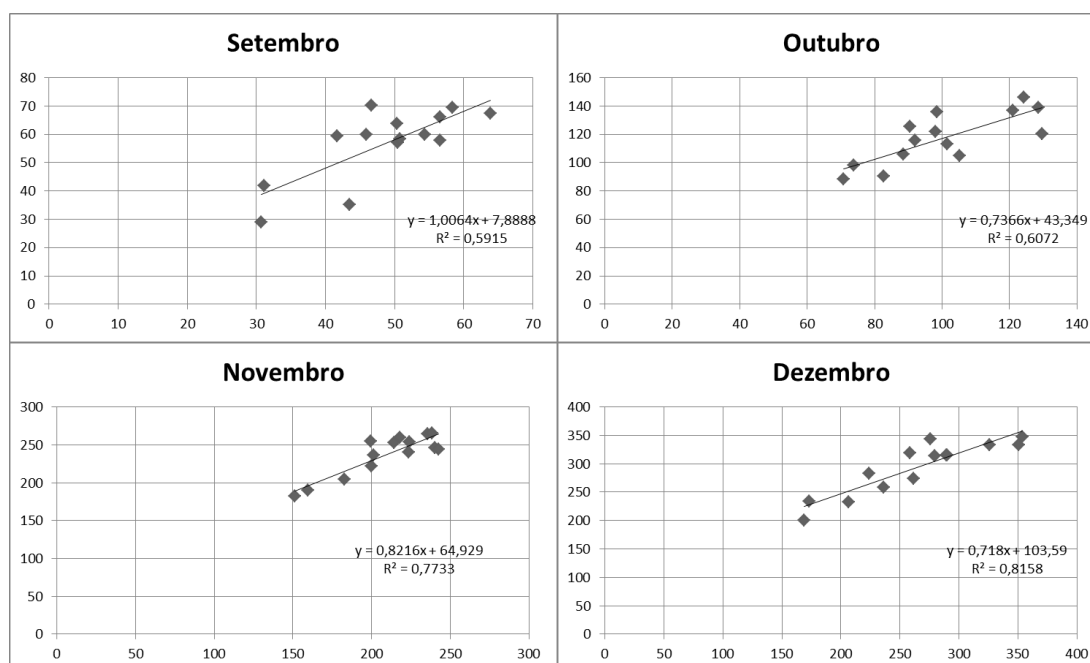
MÊS	INMET	TRMM	r	r^2	RMSE	Erro (ABS)
JAN	230,4152	261,6983	0,804196	0,646732	47,93483	31,28308
FEV	129,3619	153,393	0,950393	0,903248	27,69466	24,03109
MAR	169,5066	189,1403	0,849137	0,721034	29,0966	19,63374
ABR	74,93619	87,46767	0,749365	0,561547	18,17249	12,53148
MAI	40,8221	46,3677	0,728523	0,530746	11,41377	5,545604
JUN	20,66586	25,20844	0,85351	0,72848	8,186624	4,542584
JUL	23,17357	25,72434	0,894836	0,800732	7,415139	2,550767
AGO	22,17629	25,15393	0,925627	0,856785	6,488267	2,977646
SET	48,62843	56,82949	0,769074	0,591474	11,30594	8,201065
OUT	100,3888	117,2992	0,779261	0,607248	20,79607	16,91041
NOV	209,31	236,8905	0,879377	0,773304	30,65986	27,58052
DEZ	263,8854	293,0519	0,903206	0,815781	38,34065	29,16652

Como pode ser visto na Tabela 18, existe uma concordância bem significativa entre os dados das estações e os dados do satélite. A Figura 65 apresenta a relação entre os dados de precipitação para a região hidrográfica do Atlântico Sudeste, que embora apresente um número reduzido de estações apresenta uma relação relativamente bem distribuída

entre os dois conjuntos de dados. A Figura 66 apresenta gráficos de dispersão entre os dados de todas as estações para cada mês do ano.

Figura 66 - Resultados da validação cruzada, da raiz do erro médio quadrático - RMSE, do coeficiente de determinação (r^2) e do coeficiente de correlação de Pearson (r), R.H. do Atlântico Sudeste.





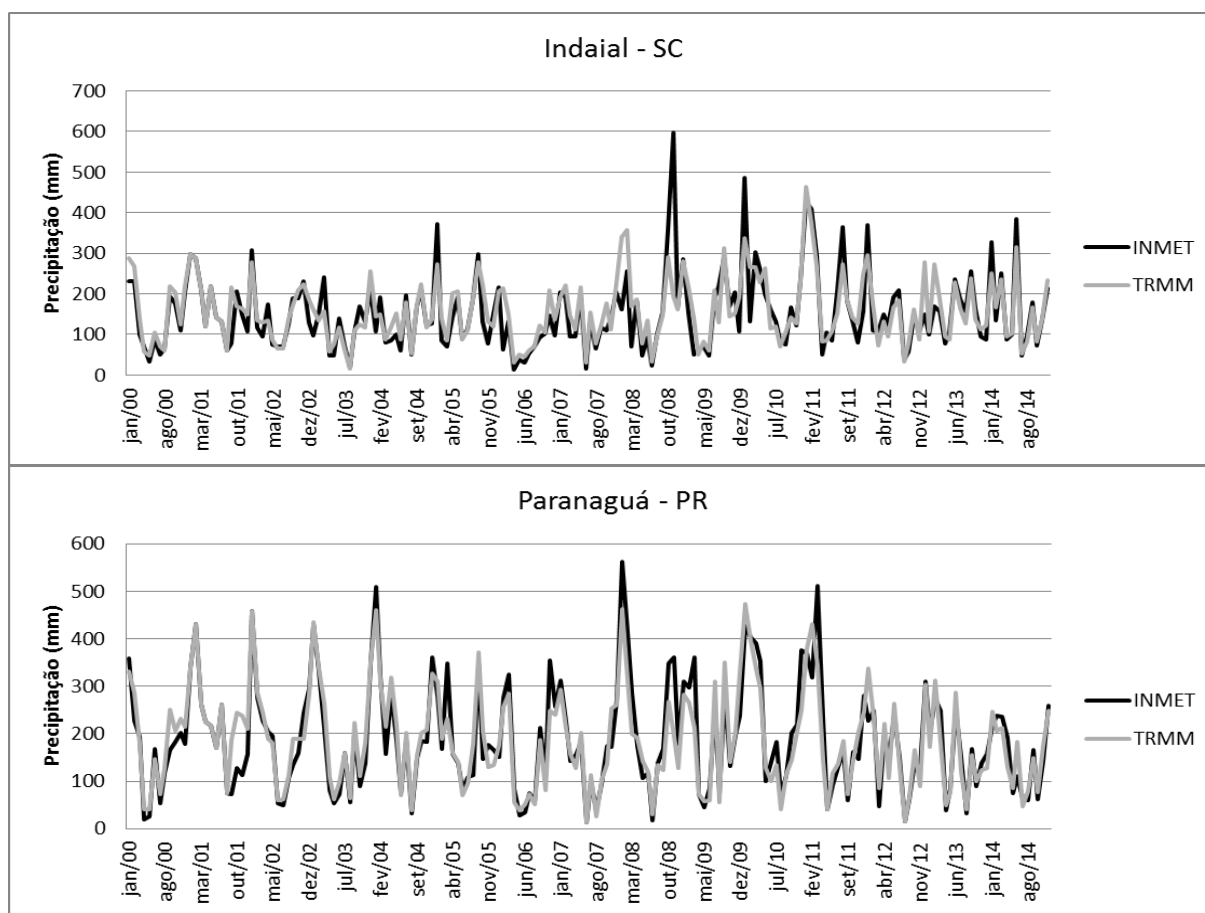
Conforme a Figura 66, nota-se que a raiz do erro médio quadrático apresentou variação de 6,48 a 47,93 mm, e que o coeficiente de determinação e o de correlação estiveram entre 0,5307 – 0,9032 e 0,7285 – 0,9503, analisando de forma generalizada em relação aos meses do ano, ou seja, análise feita para as 14 estações adotadas na região.

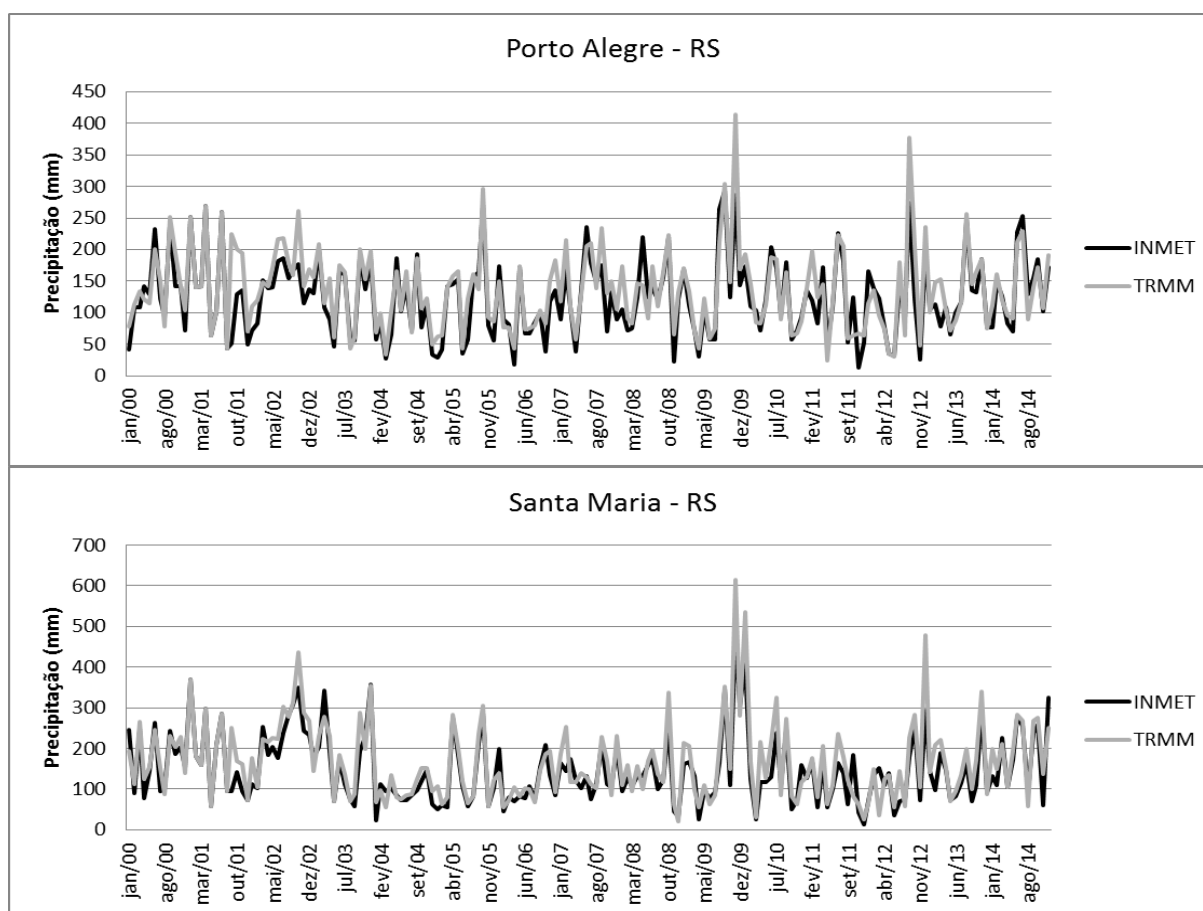
APÊNDICE I- Região Hidrográfica do Atlântico Sul

A Figura 67 mostra o comportamento das chuvas ao longo de janeiro do ano 2000 a dezembro do ano 2014 nas estações Indaial - SC, Paranaguá - PR, Porto Alegre - RS e Santa Maria - RS, do INMET, que também serviram como pontos de amostragem para os dados do TRMM.

Como se pode perceber, a comparação visual do gráfico nos revela que há um comportamento de grande correlação entre os dados do INMET e TRMM, observando-se uma maior discrepância entre as duas fontes de dados em novembro de 2008 de 404 mm. Porém, houve uma correlação 81,53% entre os dois conjuntos, para a estação Indaial - SC.

Figura 67 - Variação da precipitação no intervalo de 2000 – 2014, nas estações de Indaial, Paranaguá, Porto Alegre e Santa Maria.

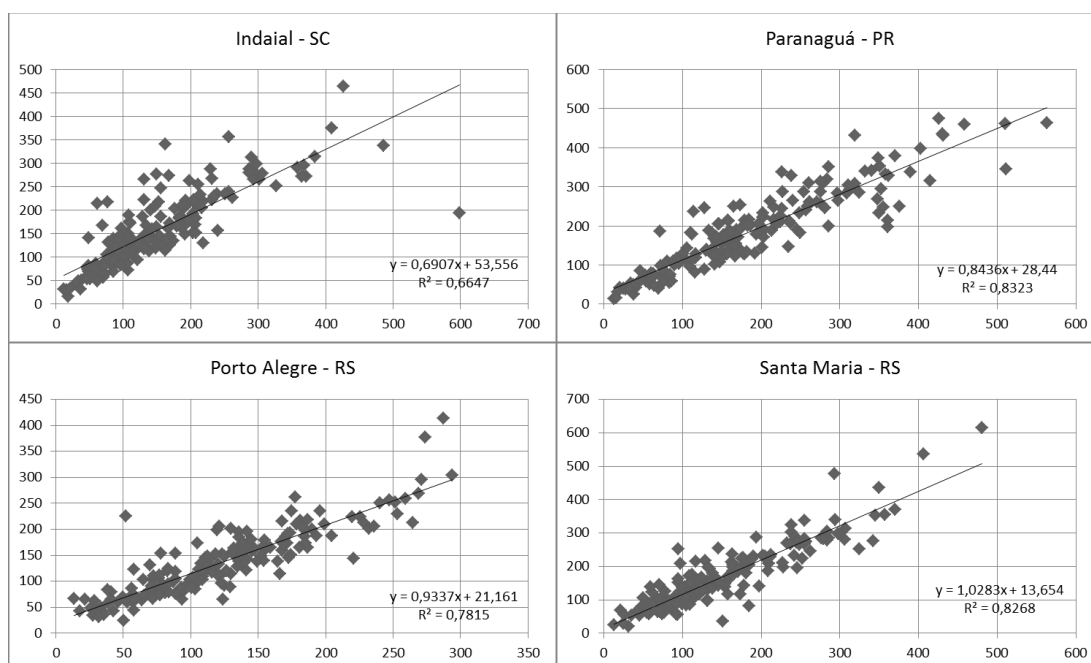




Para todas as outras estações, ressalta-se a grande correlação entre os dados, com poucos pontos de grande discrepância entre os dois conjuntos. A correlação entre os dados é de 91,23% para Paranaguá - PR; 88,4% para Porto Alegre - RS; e 90,93% para Santa Maria - RS.

A Figura 68 mostra de uma maneira mais simplificada alguns resultados de validação cruzada.

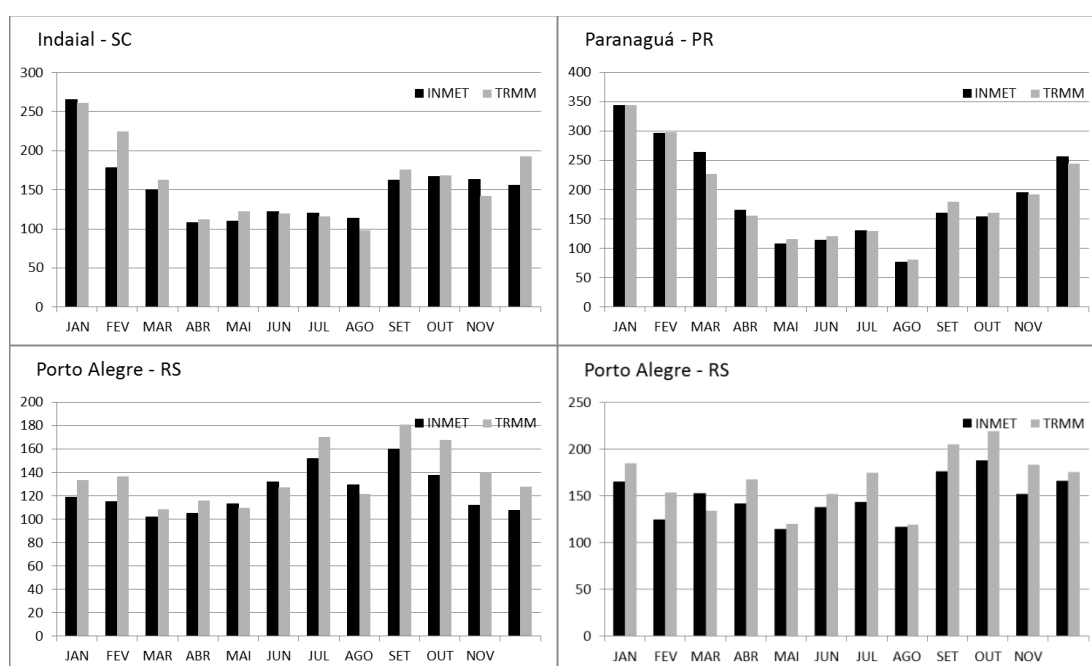
Figura 68 - Validação cruzada, R.H. Atlântico Sul.



A correlação entre os dois conjuntos é alta, e os dados possuem um bom nível de significância para as 180 observações. Como mostrado na Figura 68, o valor de $R^2 = 0,6647$ para o ponto de amostragem de Indaial, mostrando uma leve dispersão entre os dados, observável também através da linha de tendência. Para as demais estações foram obtidos resultados mais homogêneos, sendo o valor de $R^2 = 0,8323$ para a estação de Paranaguá - PR; para a estação de Porto Alegre - RS, o valor foi de 0,7815; e para Santa Maria - RS, o valor foi de 0,8268.

O nível de concordância entre os dados é ainda maior quando comparados em relação a sua média mensal, pois a discrepância agora é generalizada de 180 observações para apenas 12, sendo a média mensal anual para os 15 anos de dados observados. A Figura 69 ilustra bem esta situação.

Figura 69 - Precipitação média mensal de 2000-2014, R.H. do Atlântico Sul.



A correlação entre as médias mensais anuais para os dados INMET e TRMM chega a 92,02% para o ponto de amostragem de Indaial - SC, sendo os meses mais chuvosos compreendidos entre setembro e março. A maior discrepância encontrada é de 46,53 mm no mês de fevereiro e a menor discrepância de 1,87 mm no mês de junho.

Para a estação de Paranaguá - PR, a correlação é de 98,75% para os valores dos dados. Também sendo os meses mais chuvosos compreendidos de setembro a março, a maior discrepância encontrada foi de 35,98 mm em março e a menor discrepância foi de 0,28 mm em julho.

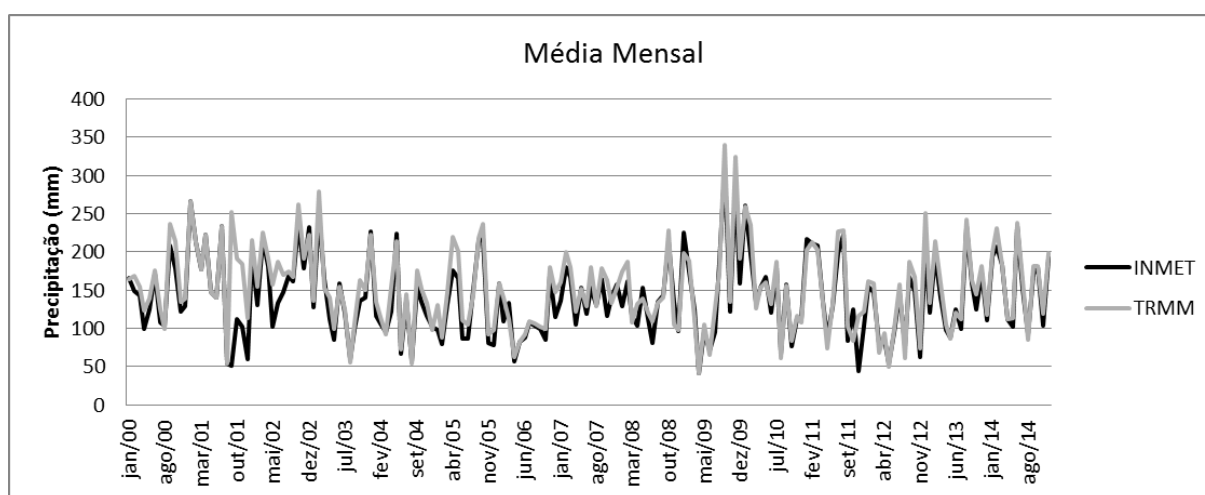
Na estação Porto Alegre - RS, a correlação obtida foi de 84,81%. Essa estação possui como meses mais chuvosos julho e setembro e apresenta discrepância máxima e mínima, respectivamente, 30,56 mm para o mês de outubro e 3,53 mm no mês de maio.

E a estação de Santa Maria - RS, apresentando um comportamento diferente das demais, com uma correlação entre os dados de 87,91%. E os períodos mais chuvosos indo de setembro a janeiro, com a maior discrepância de 31,61 mm, em julho, e menor discrepância de 6,06 mm no mês menos chuvoso, maio.

Após as análises preliminares de algumas estações visando entender o comportamento do fenômeno, e dos próprios dados, gerou-se a média mensal de todas as 13 estações do INMET e pontos amostrais do TRMM, a fim de se obter os resultados de forma mais abrangente para a Região Hidrográfica do Atlântico Sul.

A Figura 70 mostra exatamente a distribuição da precipitação média mensal para os 13 pontos de amostras. Percebe-se que há uma boa correlação entre os dados durante todos os anos avaliados.

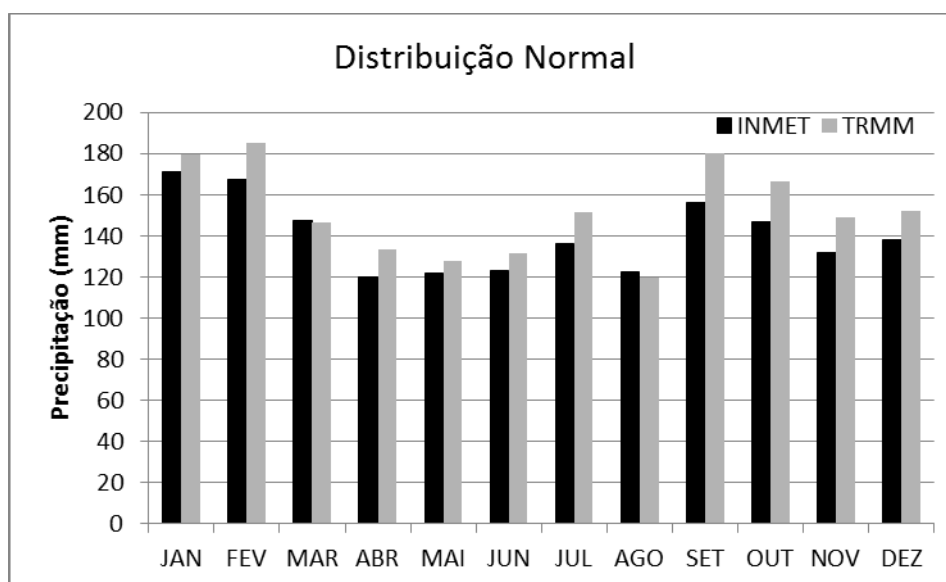
Figura 70 - Média mensal dos pontos amostrais, R.H. do Atlântico Sul.



Os dados tratados desta forma apresentam um índice de correlação de 90,84%. Percebe-se também que as séries temporais mantêm um comportamento cíclico, sendo importante salientar que esta comparação é feita com 15 anos de dados.

Ainda foi feita a normalização de precipitação, gerando um valor médio mensal para todas as estações e pontos amostrais da região selecionada, a Figura 71 mostra o gráfico dessa distribuição.

Figura 71 - Distribuição normal de precipitação, R.H. do Atlântico Sul.



A Tabela 19 contém os valores normais para as estações INMET e pontos amostrais TRMM, juntos aos valores de correlação linear, coeficiente de determinação, RMSE e erro absoluto.

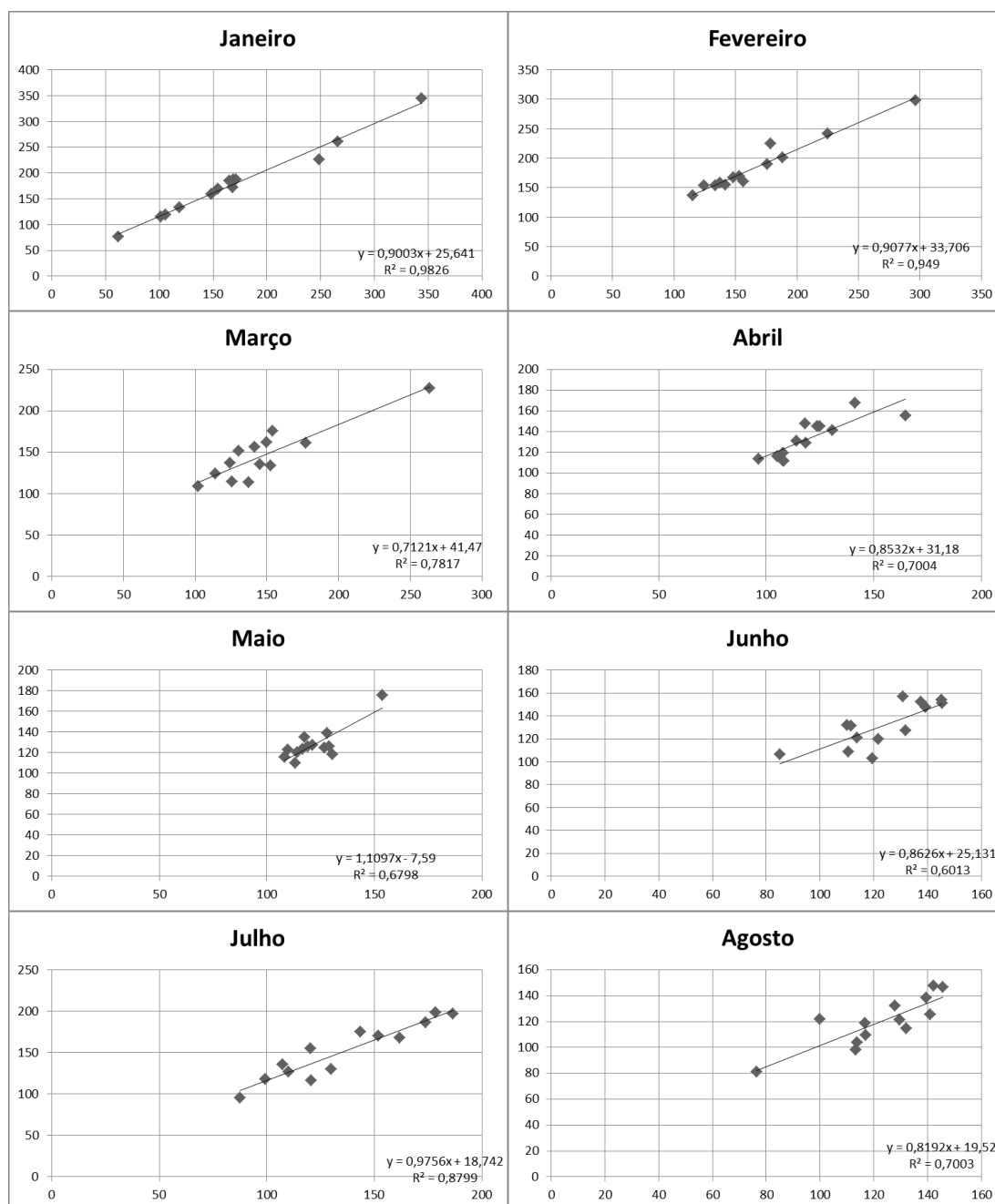
Tabela 19 - Valores de r , r^2 , RMSE e Erro (ABS), R.H. do Atlântico Sul.

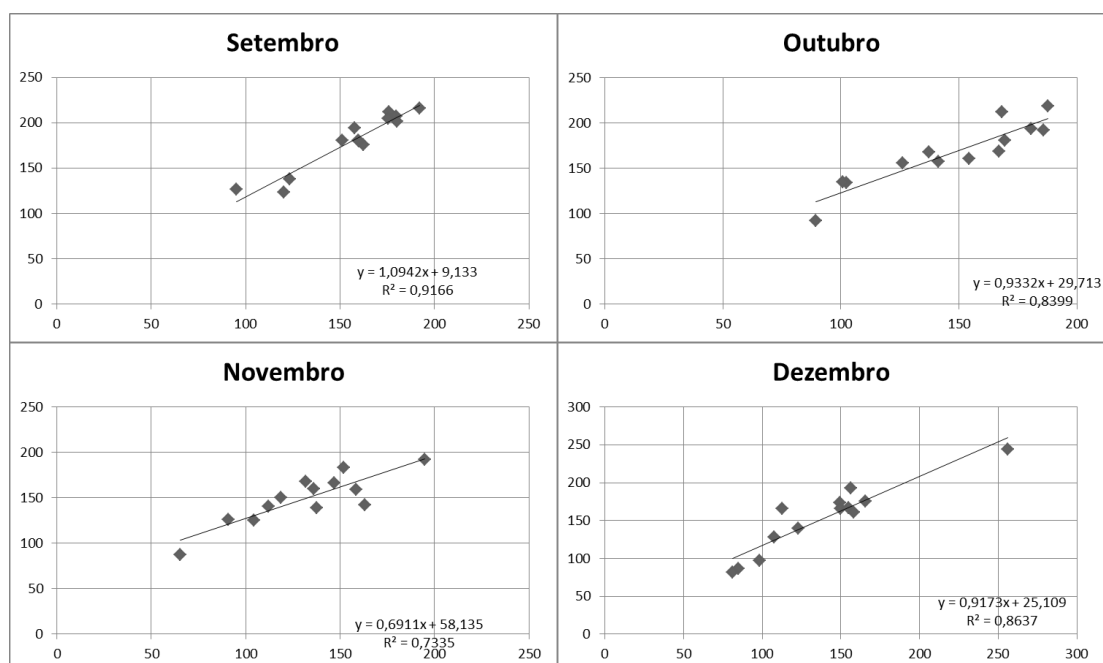
MÊS	INMET	TRMM	r	r^2	RMSE	Erro (ABS)
JAN	171,0107	179,607	0,991273	0,982622	14,25955	8,59629
FEV	167,3169	185,5793	0,974187	0,94904	21,21084	18,26237
MAR	147,4965	146,5032	0,884133	0,781691	18,13685	0,993336
ABR	120,1186	133,6682	0,836918	0,700432	16,82006	13,54954
MAI	122,1073	127,9087	0,824472	0,679753	10,61399	5,801318
JUN	123,2836	131,4787	0,775426	0,601286	14,46183	8,19502
JUL	136,2271	151,6402	0,93802	0,879881	19,05162	15,41307
AGO	122,7269	120,0599	0,836867	0,700347	10,94595	2,666975
SET	156,3891	180,2473	0,957384	0,916585	25,57749	23,8582
OUT	146,9773	166,868	0,916453	0,839886	23,98947	19,89067
NOV	131,6632	149,1248	0,856442	0,733493	24,29035	17,46157
DEZ	138,291	151,9699	0,929363	0,863716	21,44453	13,67897

Como pode ser visto na Tabela 19, existe uma concordância bem significativa entre os dados das estações e os dados do satélite. A Figura 71 apresenta a relação entre os dados de precipitação para a região hidrográfica do Atlântico Sul, que embora possua um número reduzido de estações apresenta uma relação relativamente bem distribuída entre os dois

conjuntos de dados. A Figura 72 apresenta gráficos de dispersão entre os dados de todas as estações para cada mês do ano.

Figura 72 - Resultados da validação cruzada, da raiz do erro médio quadrático - RMSE, do coeficiente de determinação (r^2) e do coeficiente de correlação de Pearson (r), R.H. do Atlântico Sul.





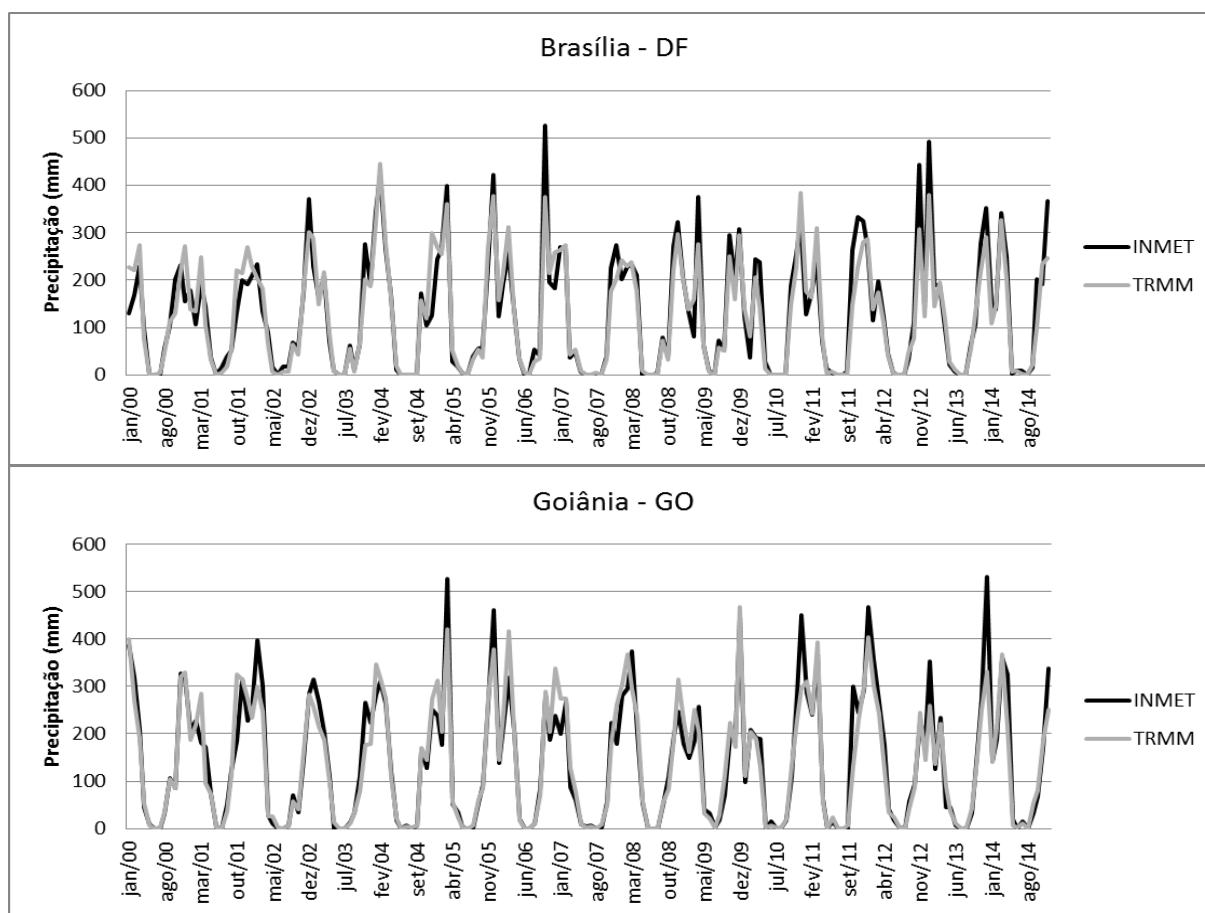
Conforme a Figura 72, nota-se que a raiz do erro médio quadrático apresentou variação de 10,61 a 25,58 mm, e que o coeficiente de determinação e o de correlação estiveram entre 0,613 – 0,983 e 0,7754 – 0,9912, analisando de forma generalizada em relação aos meses do ano, ou seja, análise feita para as 13 estações adotadas na região.

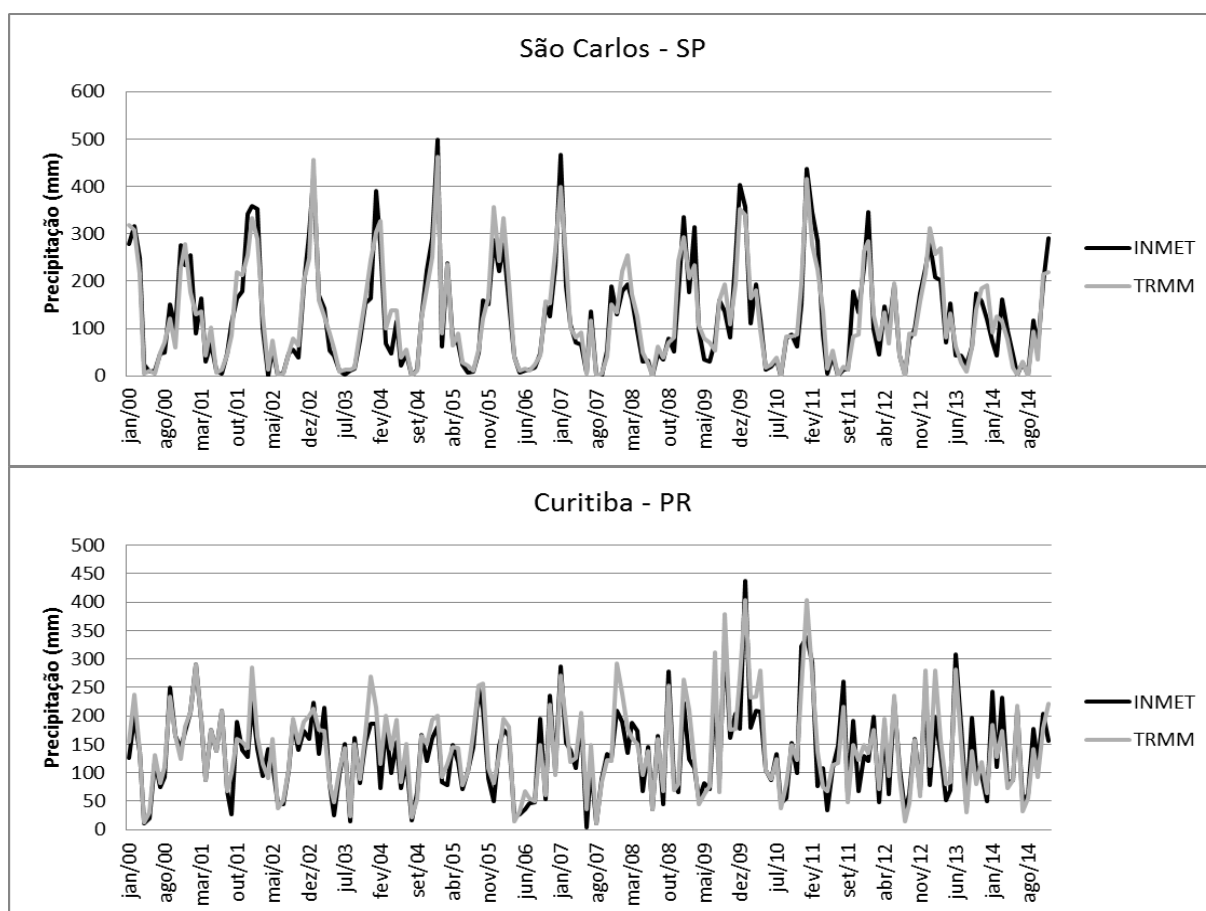
APÊNDICE J- Região Hidrográfica do Paraná

A Figura 73 mostra o comportamento das chuvas ao longo de janeiro do ano 2000 a dezembro do ano 2014 nas estações Brasília - DF, Goiânia - GO, São Carlos - SP e Curitiba - PR, do INMET, que também serviram como pontos de amostragem para os dados do TRMM.

Como se pode perceber, a comparação visual do gráfico nos revela que há um comportamento de grande correlação entre os dados do INMET e TRMM, observando-se uma grande discrepância entre as duas fontes de dados em dezembro de 2004 de 174 mm. Porém, houve uma correlação 94,13% entre os dois conjuntos, para a estação Brasília - DF.

Figura 73 - Variação da precipitação no intervalo de 2000 – 2014, nas estações de Brasília, Goiânia, São Carlos e Curitiba.

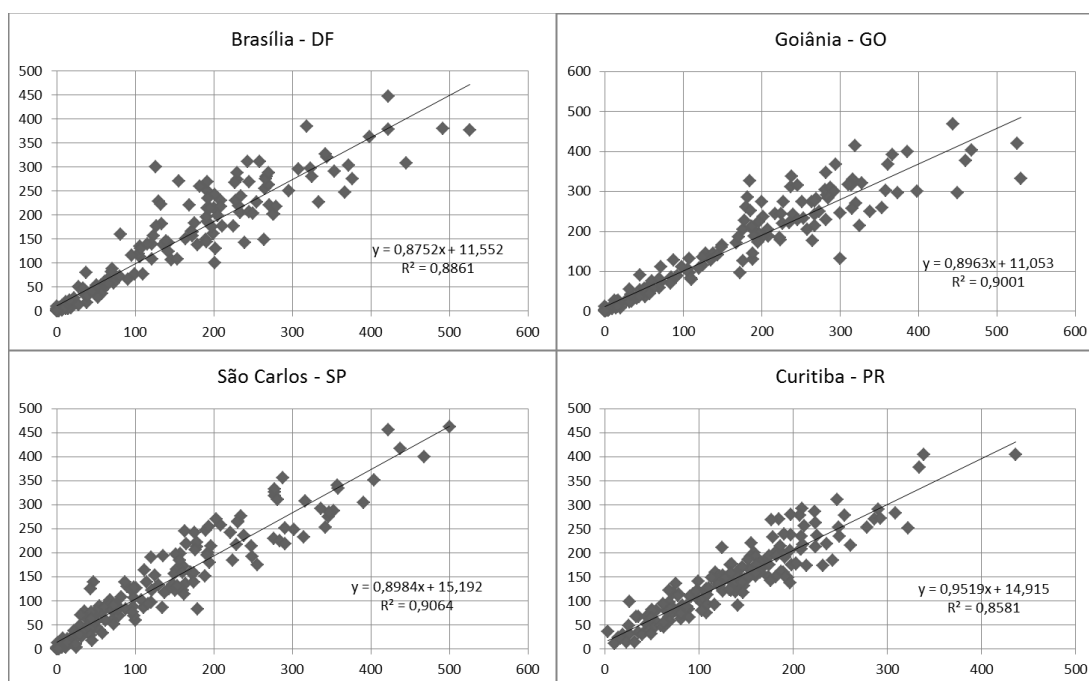




Para todas as outras estações, ressalta-se a grande correlação entre os dados, com poucos pontos de grande discrepância entre os dois conjuntos. A correlação entre os dados é de 94,87% para Goiânia - GO; 95,21% para São Carlos - SP; e 92,63% para Curitiba - PR.

A Figura 74 mostra de uma maneira mais simplificada alguns resultados de validação cruzada.

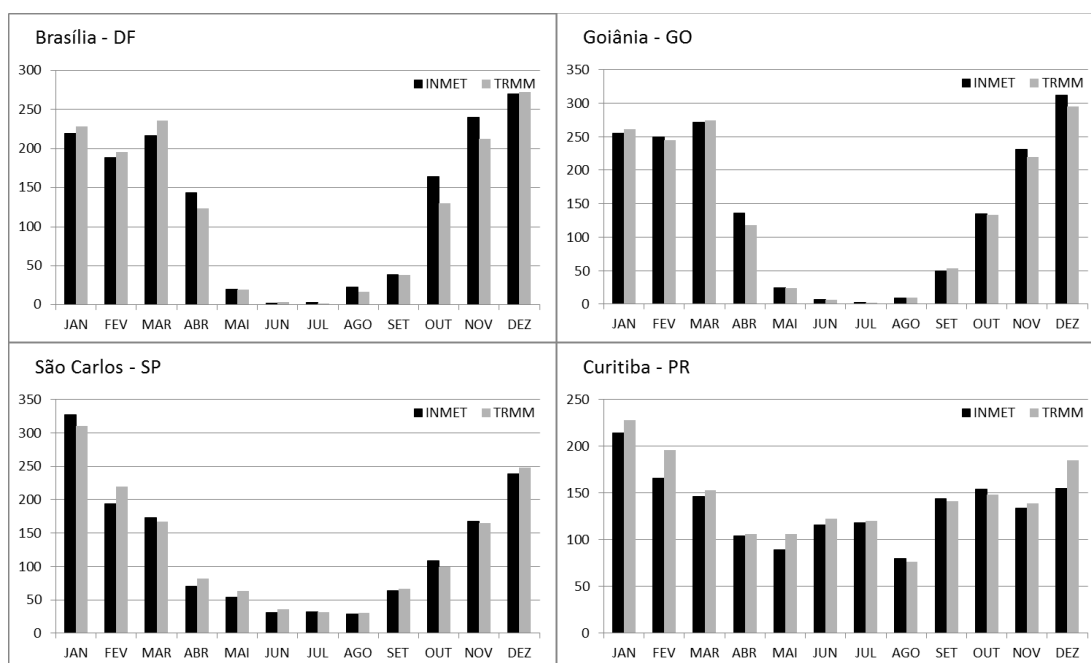
Figura 74 - Validação cruzada, R.H. do Paraná.



A correlação entre os dois conjuntos é alta, e os dados possuem um bom nível de significância para as 180 observações. Como mostrado na Figura 74, o valor de $R^2 = 0,8861$ para o ponto de amostragem de Brasília, mostrando uma homogeneidade entre os dados, observável também através da linha de tendência. Para as demais estações foram obtidos resultados semelhantes, sendo o valor de $R^2 = 0,9001$ para a estação de Rio Goiânia - GO; para a estação de São Carlos - SP, o valor foi de 0,9064; e para Curitiba - PR, o valor foi de 0,8581.

O nível de concordância entre os dados é ainda maior quando comparados em relação a sua média mensal, pois a discrepância agora é generalizada de 180 observações para apenas 12, sendo a média mensal anual para os 15 anos de dados observados. A Figura 75 ilustra bem esta situação.

Figura 75 - Precipitação média mensal de 2000 - 2014, R.H. do Paraná.



A correlação entre as médias mensais anuais para os dados INMET e TRMM chega a 98,89% para o ponto de amostragem de Brasília - DF, sendo os meses de maior discrepância os mais chuvosos, que vai de outubro a abril, a maior discrepância encontrada é de 33,84 mm no mês de outubro e a menor discrepância de 0,5 mm no mês de maio.

Para a estação de Goiânia - GO, a correlação é de 99,8% para os valores dos dados. Também sendo os meses mais chuvosos os de outubro a abril, a maior discrepância encontrada foi de 18,5 mm em abril e a menor discrepância foi de 0,1 mm em julho.

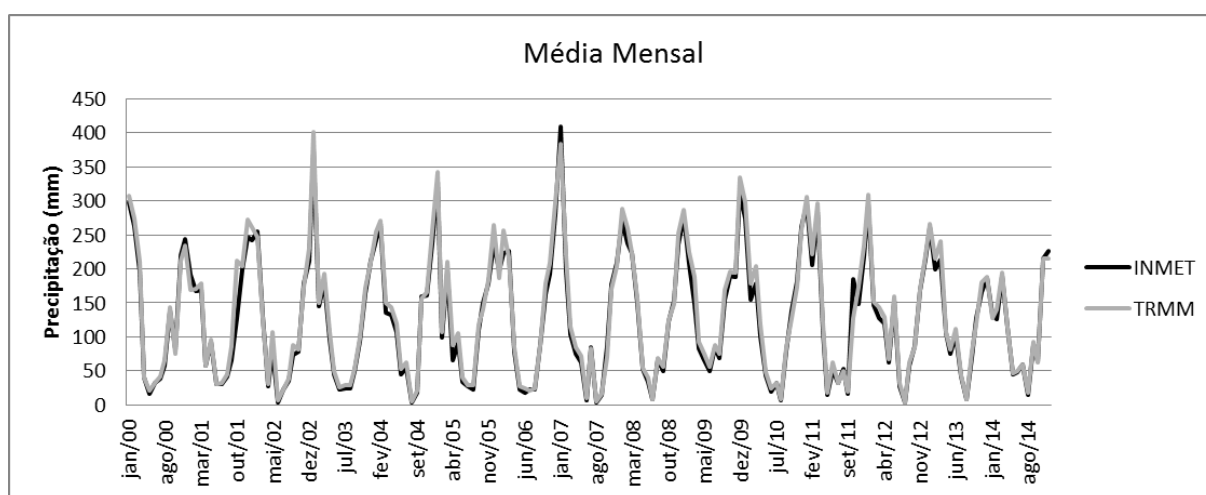
Na estação São Carlos - SC, a correlação obtida foi de 99,36%. Os meses mais chuvosos estão compreendidos entre novembro e março, apresentando um comportamento similar às demais estações apresentadas anteriormente. Nesta estação, a maior discrepância encontrada foi de 25,52 mm para o mês de fevereiro, e a menor foi de 0,63 mm no mês de julho.

A estação de Curitiba - PR apresenta um comportamento diferente das demais, com uma correlação entre os dados de 96,58%. Os períodos mais chuvosos vão de setembro a março, com a maior discrepância no mês de dezembro, 29,97 mm, e menor discrepância no mês de setembro, 2,26 mm.

Após as análises preliminares de algumas estações visando entender o comportamento do fenômeno, e dos próprios dados, gerou-se a média mensal de todas as 42 estações do INMET e pontos amostrais do TRMM, a fim de se obter os resultados de forma mais abrangente para a Região Hidrográfica do Paraná.

A Figura 76 mostra exatamente a distribuição da precipitação média mensal para os 42 pontos de amostras. Percebe-se que há uma boa correlação entre os dados durante todos os anos avaliados.

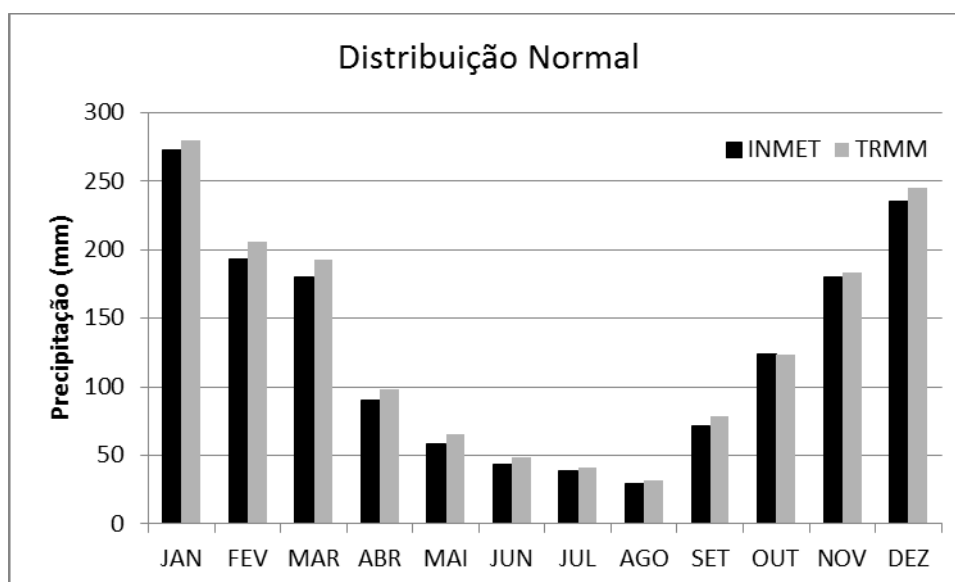
Figura 76 - Média Mensal dos pontos amostrais, R.H. do Paraná.



Os dados tratados desta forma apresentam um índice de correlação de 99,13%. Percebe-se também que as séries temporais mantêm um comportamento cíclico, sendo importante salientar que esta comparação é feita com 15 anos de dados.

Ainda foi feita a normalização de precipitação, gerando um valor médio mensal para todas as estações e pontos amostrais da região selecionada, a Figura 77 mostra o gráfico dessa distribuição.

Figura 77 - Distribuição normal de precipitação, R.H. do Paraná.



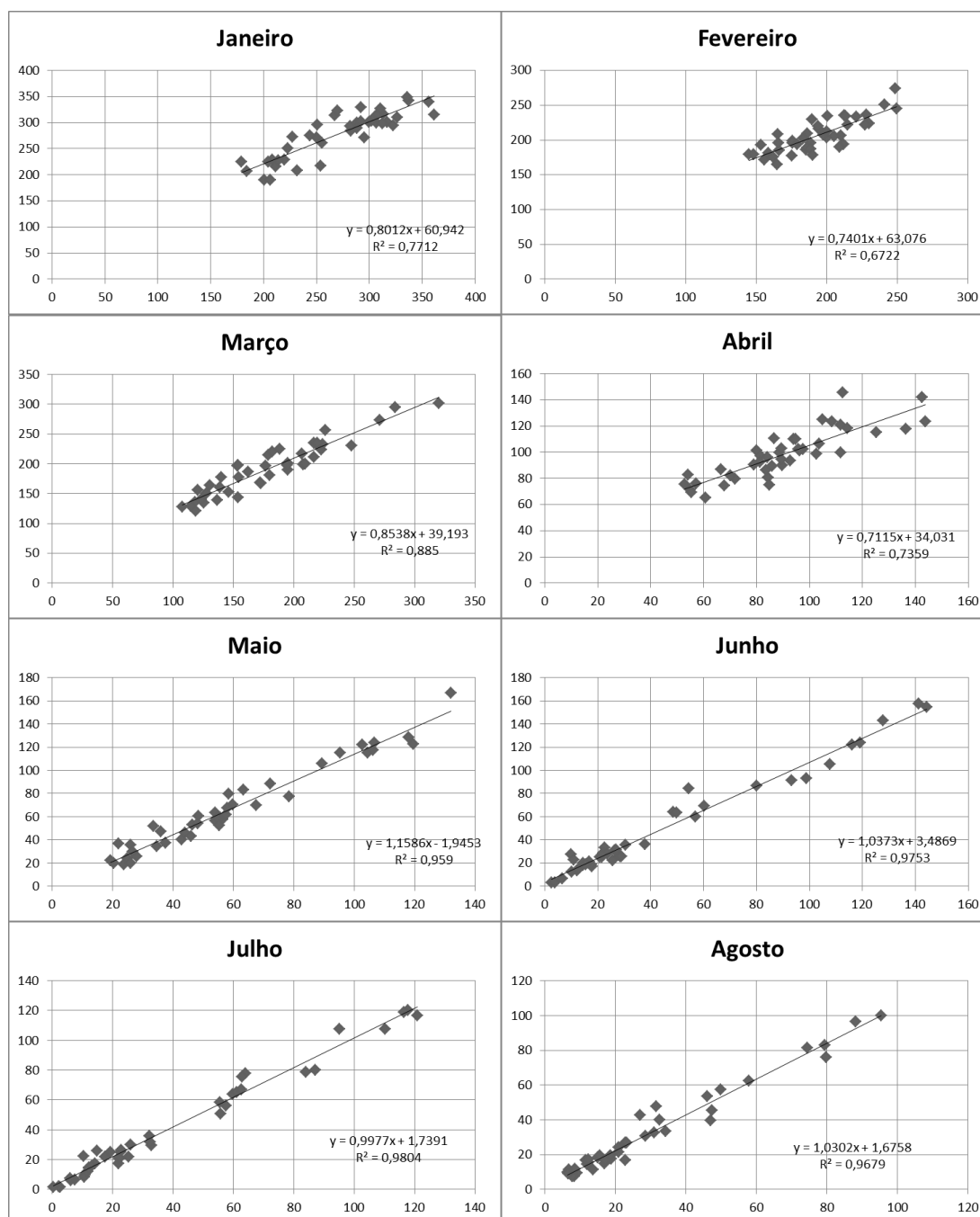
A Tabela 20 contém os valores normais para as estações INMET e pontos amostrais TRMM, juntos aos valores de correlação linear, coeficiente de determinação, RMSE e erro absoluto.

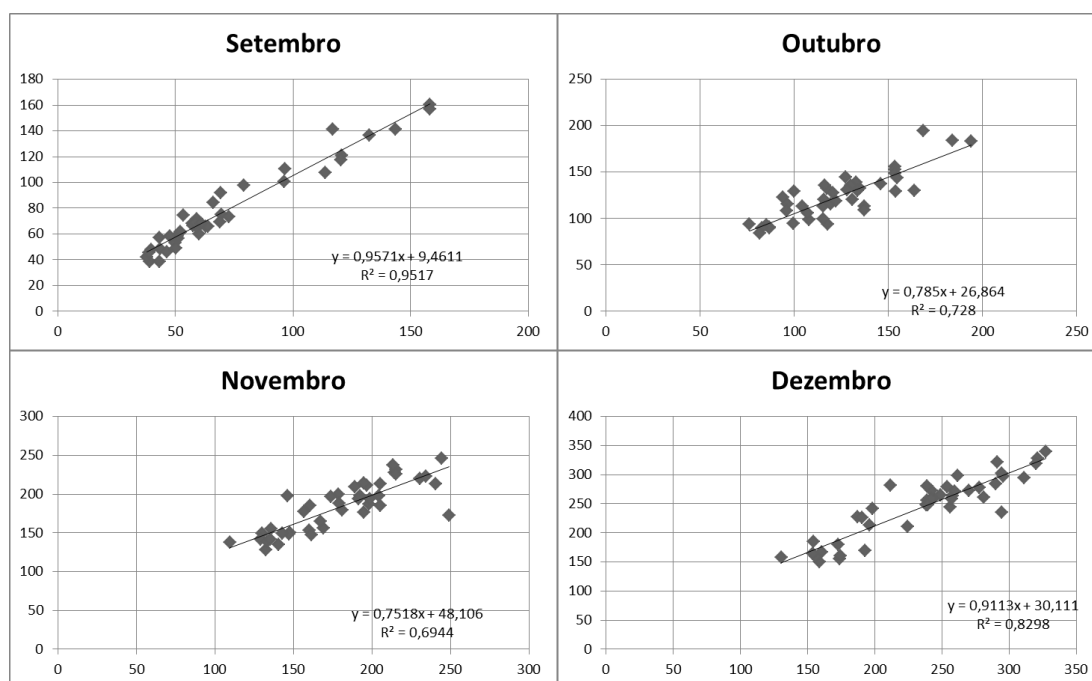
Tabela 20 - Valores de r , r^2 , RMSE e Erro (ABS), R.H. do Paraná.

MÊS	INMET	TRMM	r	r^2	RMSE	Erro (ABS)
JAN	272,6792	279,4092	0,878182	0,771204	24,03864	6,730024
FEV	192,844	205,7908	0,819892	0,672223	20,09796	12,94679
MAR	179,9876	192,8726	0,940764	0,885038	21,00324	12,88493
ABR	90,21848	98,22088	0,857846	0,735899	14,13616	8,002404
MAI	58,46959	65,79522	0,979305	0,959038	11,35199	7,325631
JUN	43,2664	48,36706	0,987586	0,975326	8,536442	5,100664
JUL	39,15117	40,8002	0,990166	0,980429	5,207479	1,649028
AGO	28,96133	31,51299	0,983832	0,967926	5,211048	2,551659
SET	71,90068	78,27744	0,975564	0,951725	9,669619	6,376753
OUT	123,4876	123,798	0,85323	0,728002	14,67993	0,31042
NOV	179,6715	183,1922	0,83328	0,694356	20,11791	3,520689
DEZ	235,5563	244,7717	0,91094	0,829812	24,1265	9,215364

Como pode ser visto na Tabela 20, existe uma concordância bem significativa entre os dados das estações e os dados do satélite. A Figura 77 apresenta a relação entre os dados de precipitação para a região hidrográfica do Paraná, que se apresenta de forma relativamente bem distribuída entre os dois conjuntos de dados. A Figura 78 apresenta gráficos de dispersão entre os dados de todas as estações para cada mês do ano.

Figura 78 - Resultados da validação cruzada, da raiz do erro médio quadrático - RMSE, do coeficiente de determinação (r^2) e do coeficiente de correlação de Pearson (r), R.H. do Paraná.





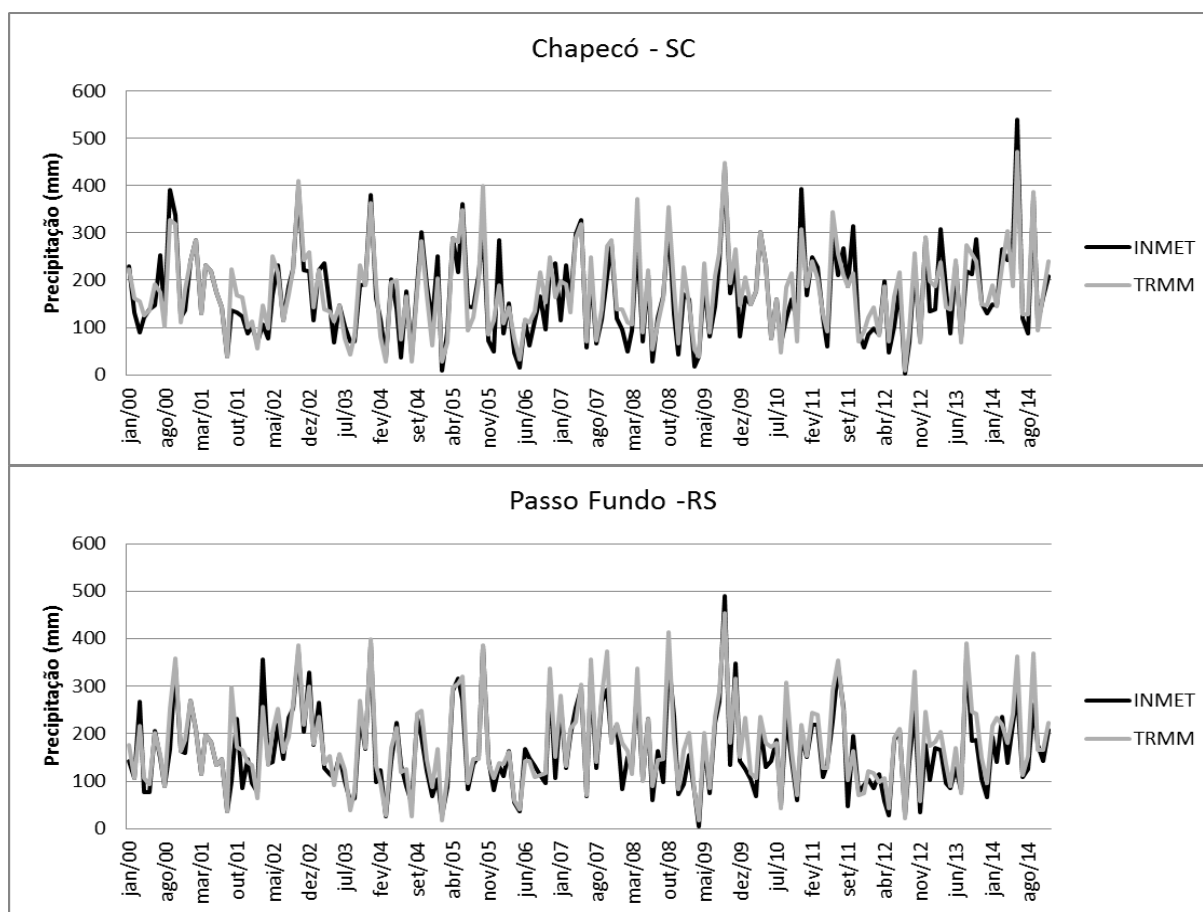
Conforme a Figura 78, nota-se que a raiz do erro médio quadrático apresentou variação de 5,21 e 24,04 mm, e que o coeficiente de determinação e o coeficiente de correlação estiveram entre 0,672 – 0,980 e 0,8199 – 0,9901, analisando de forma generalizada em relação aos meses do ano, ou seja, análise feita para as 42 estações adotadas na região.

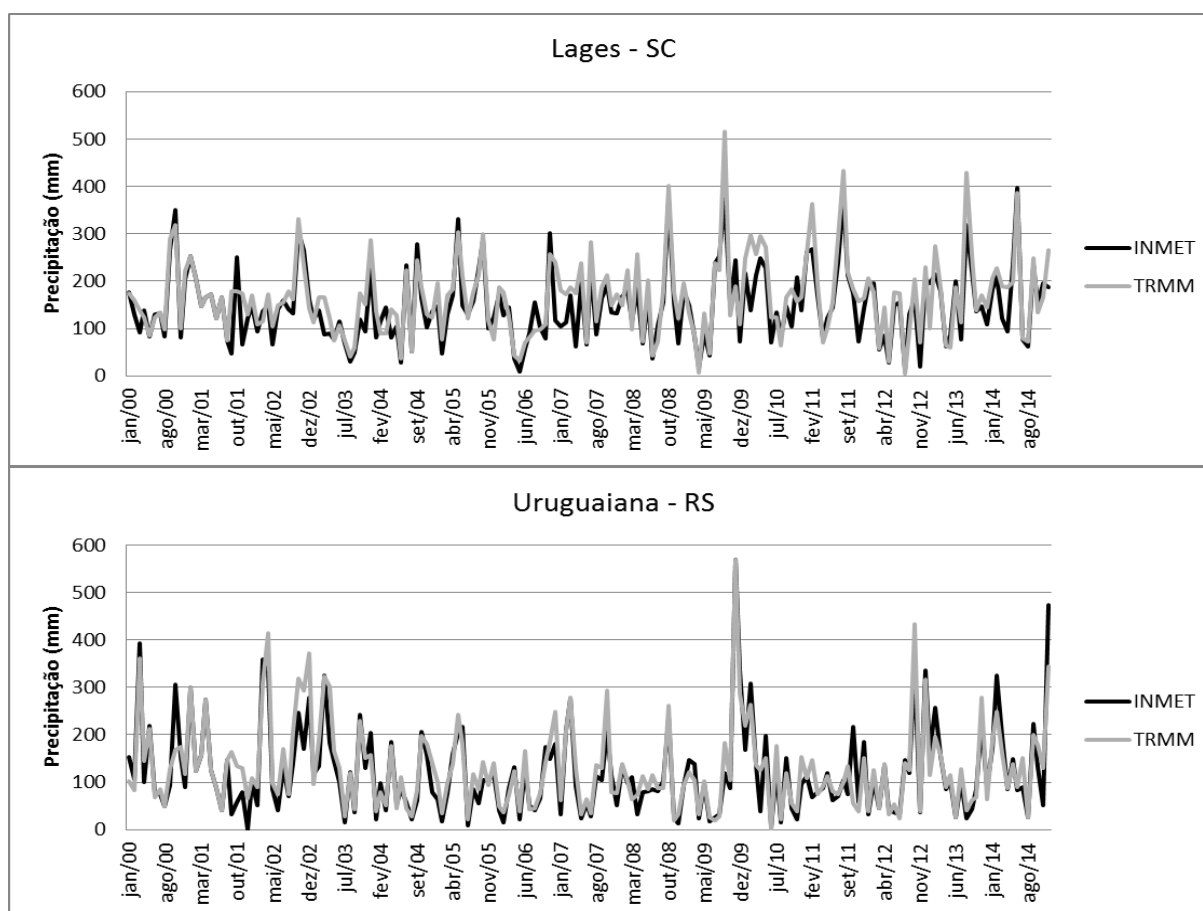
APÊNDICE K- Região Hidrográfica do Uruguai

A Figura 79 mostra o comportamento das chuvas ao longo de janeiro do ano 2000 a dezembro do ano 2014 nas estações Chapecó - SC, Passo Fundo - RS, Lages - SC e Uruguiana - RS, do INMET, que também serviram como pontos de amostragem para os dados do TRMM.

A comparação visual do gráfico nos revela que há um comportamento de grande correlação entre os dados do INMET e TRMM, observando-se apenas um momento de grande discrepância entre as duas fontes de dados em outubro de 2011 para a estação Chapecó - RS, discrepância essa de pouco mais 100 mm. De maneira geral, houve uma correlação 91,77% entre os dois conjuntos.

Figura 79 - Variação da precipitação no intervalo de 2000 – 2014, nas estações de Chapecó, Passo Fundo, Lages e Uruguiana.

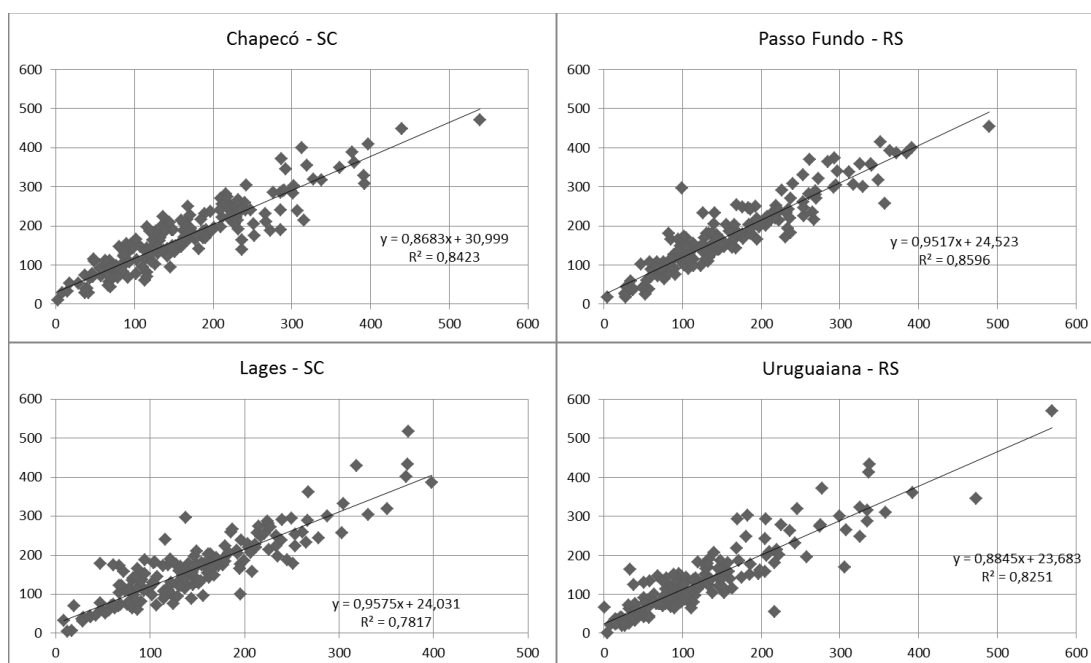




Para as outras estações, resalta-se a grande correlação entre os dados, apesar dos pontos de discrepância. A correlação entre os dados é de 92,71% para Passo Fundo – RS, 88,14% para Lages – SC e 90,83% para Uruguaiana - SC. Os pontos de discrepância foram respectivamente para as três estações, 197,5 mm em setembro de 2001, 158,7 mm em fevereiro de 2010 e 162 mm em outubro de 2011.

A Figura 80 mostra de uma maneira mais simplificada alguns resultados de validação cruzada.

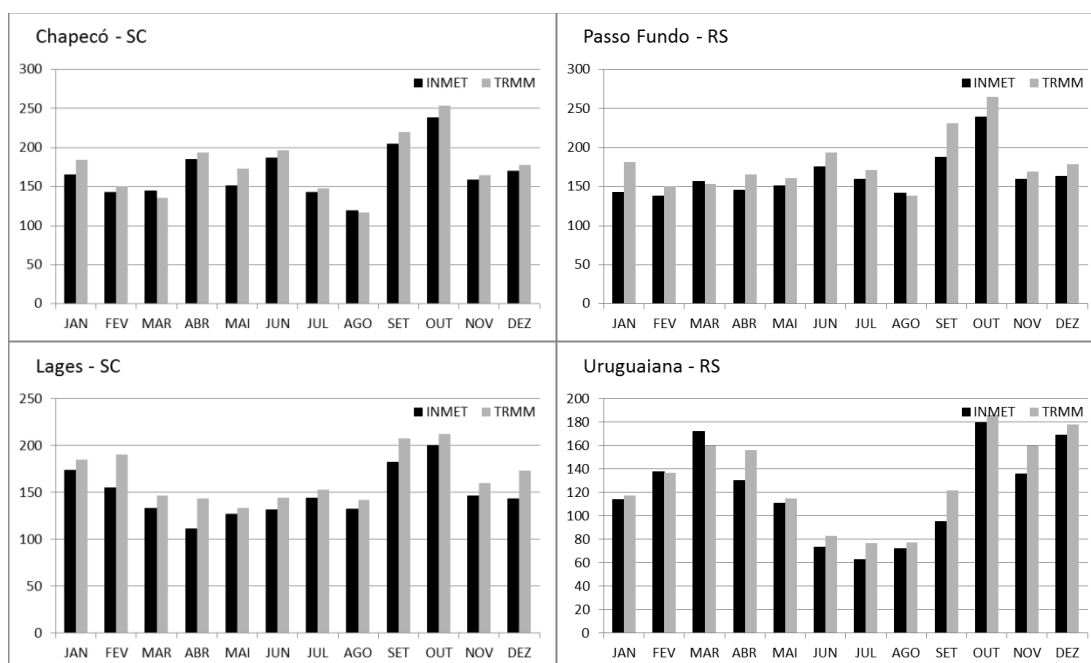
Figura 80 - Validação cruzada, R.H. do Uruguai.



A correlação entre os dois conjuntos é alta, e os dados possuem um bom nível de significância para as 180 observações. Como mostrado na Figura 80, o valor de $R^2 = 0,8423$ para o ponto de amostragem de Chapecó, mostrando uma homogeneidade entre os dados, observável também através da linha de tendência. Para as demais estações foram obtidos resultados similares, sendo o valor de $R^2 = 0,8596$ para a estação de Passo Fundo - RS; para a estação de Lages - SC, o valor foi de 0,7817; e para Uruguiana - RS, o valor foi de 0,8251.

Quando comparamos os dados em relação a sua média mensal, observa-se que nível de concordância é ainda maior, pois a discrepância agora é generalizada de 180 observações para apenas 12, sendo a média mensal anual para os 15 anos de dados observados. A Figura 81 ilustra bem esta situação.

Figura 81 - Precipitação média mensal de 2000 - 2014, R.H. do Uruguai.



A correlação entre as médias mensais anuais para os dados INMET e TRMM chega a 97,9% para o ponto de amostragem de Chapecó - SC, sendo os meses mais chuvosos setembro e outubro. A maior discrepância encontrada é de 22,28 mm no mês de maio e a menor discrepância de 2,84 mm no mês de agosto, o menos chuvoso.

Para a estação de Passo Fundo – RS, a correlação é de 92,69% para os dados. Também sendo mais chuvosos os meses de setembro e outubro. A maior discrepância encontrada foi de 43,84 mm em setembro e a menor discrepância foi de 3,25 mm em agosto, o mês menos chuvoso.

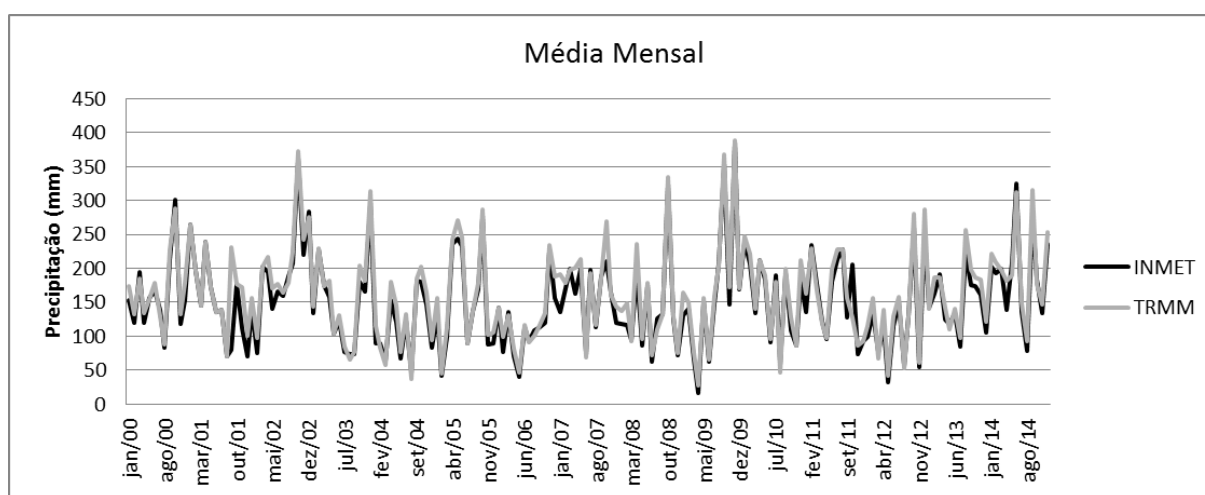
Na estação Lages - SC, a correlação obtida foi de 92,88% entre os dois conjuntos de dados. Novamente, os meses mais chuvosos são setembro e outubro. Nesta estação, a maior discrepância encontrada foi de 34,96 mm para o mês de fevereiro, e a menor discrepância encontrada foi de 7,09 mm no mês de maio, o segundo menos chuvoso.

A estação de Uruguiana - RS apresenta um comportamento diferente das demais, com uma correlação entre os dados de 95,76%. Os meses mais chuvosos são março, outubro e dezembro, com a maior discrepância no mês de abril, com 26,76mm e menor discrepância de 0,98 mm no mês de fevereiro.

Após as análises preliminares de algumas estações visando entender o comportamento do fenômeno, e dos próprios dados, gerou-se a média mensal de todas as 12 estações do INMET e pontos amostrais do TRMM, a fim de se obter os resultados de forma mais abrangente para a Região Hidrográfica do Uruguai.

A Figura 82 mostra exatamente a distribuição da precipitação média mensal para os 12 pontos de amostras. Percebe-se que há uma boa correlação entre os dados durante todos os anos avaliados.

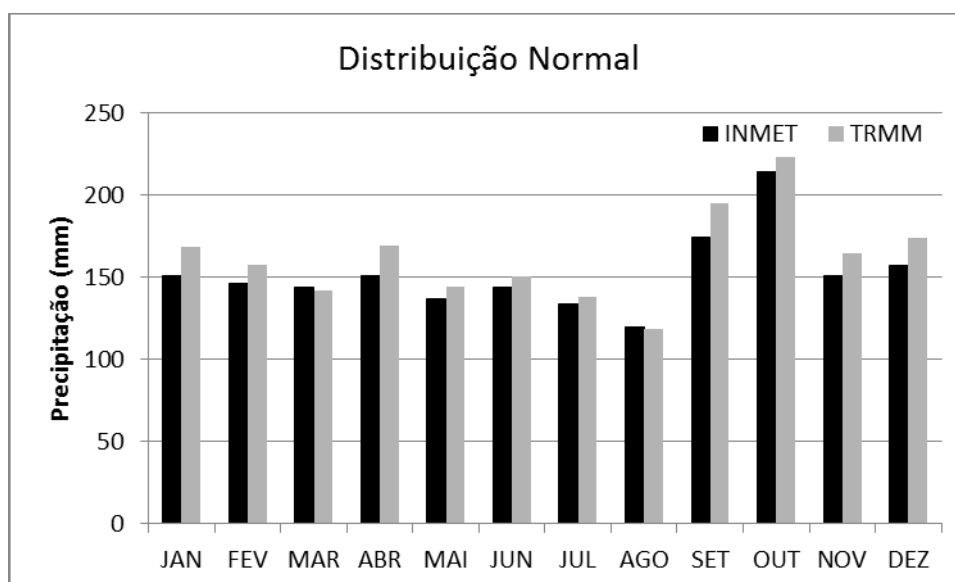
Figura 82 - Média Mensal dos pontos amostrais, R.H. do Uruguai.



Os dados tratados desta forma apresentam um índice de correlação de 96,26%. Percebe-se também que as séries temporais mantêm um comportamento cíclico, sendo importante salientar que esta comparação é feita com 15 anos de dados.

Ainda foi feita a normalização de precipitação, gerando um valor médio mensal para todas as estações e pontos amostrais da região selecionada. A Figura 83 mostra o gráfico dessa distribuição.

Figura 83 - Distribuição normal de precipitação, R.H. do Uruguai.



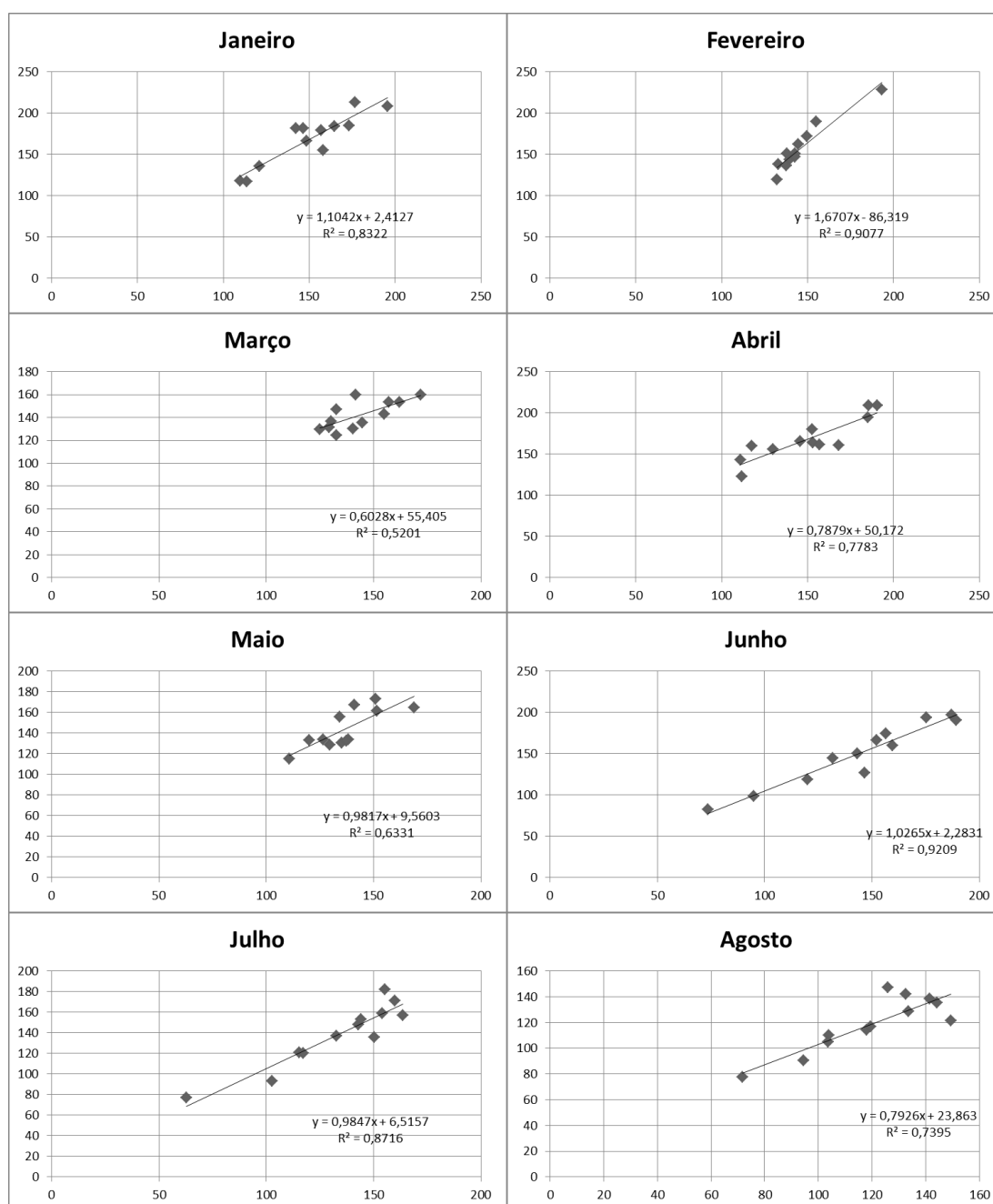
A Tabela 21 contém os valores normais para as estações INMET e pontos amostrais TRMM, juntos aos valores de correlação linear, coeficiente de determinação, RMSE e erro absoluto.

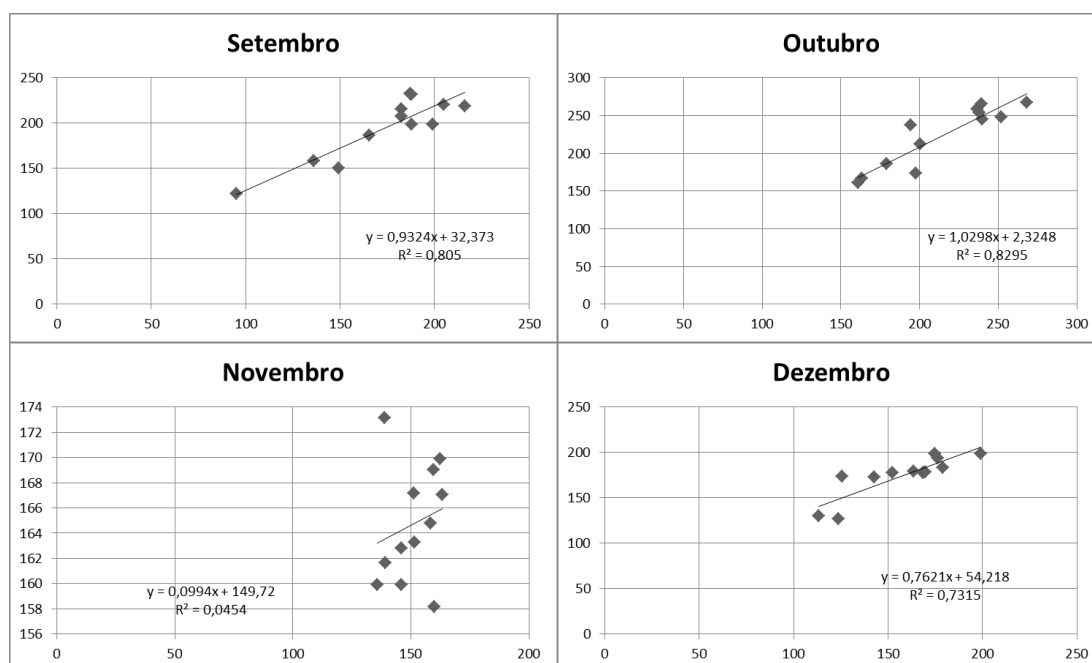
Tabela 21 - Valores de r , r^2 , RMSE e Erro (ABS), R.H. do Uruguai.

MÊS	INMET	TRMM	r	r^2	RMSE	Erro (ABS)
JAN	150,6122	168,7218	0,912262	0,832222	22,10802	18,10965
FEV	145,9106	157,4496	0,952755	0,907742	17,66252	11,53901
MAR	143,5159	141,919	0,721196	0,520124	10,12172	1,596922
ABR	150,6149	168,8444	0,882226	0,778322	22,33	18,22942
MAI	136,9739	144,034	0,795646	0,633052	13,06327	7,060105
JUN	144,1114	150,2131	0,959613	0,920856	11,82448	6,101727
JUL	133,3668	137,8374	0,933582	0,871575	11,54941	4,470659
AGO	119,8553	118,8615	0,859914	0,739453	11,34229	0,993794
SET	174,424	195,0091	0,897197	0,804963	25,4317	20,58512
OUT	214,0364	222,7478	0,910774	0,829509	18,31567	8,711396
NOV	150,9648	164,7273	0,213009	0,045373	16,72655	13,76244
DEZ	157,3417	174,1308	0,855303	0,731543	21,23284	16,78917

Como pode ser visto na Tabela 21, existe uma concordância bem significativa entre os dados das estações e os dados do satélite. A Figura 83 apresenta a relação entre os dados de precipitação para a região hidrográfica do Uruguai, que embora apresente um número reduzido de estações apresenta uma relação relativamente bem distribuída entre os dois conjuntos de dados. A Figura 84 apresenta gráficos de dispersão entre os dados de todas as estações para cada mês do ano.

Figura 84 - Resultados da validação cruzada, da raiz do erro médio quadrático - RMSE, do coeficiente de determinação (r^2) e do coeficiente de correlação de Pearson (r), R.H. do Uruguai.





Conforme a Figura 84 e a Tabela 21, nota-se que a raiz do erro médio quadrático apresentou variação de 10,12 a 25,43 mm, e que o coeficiente de determinação e o de correlação estiveram entre 0,045 – 0,921 e 0,213 – 0,9596, analisando de forma generalizada em relação aos meses do ano, ou seja, análise feita para as 12 estações adotadas na região.