

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA
AMBIENTAL**

**VALIDAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO ESTIMADA
PELOS PRODUTOS 3B42 E 3B43 DO TRMM SOBRE A
RESERVA BIOLÓGICA JARU – RO**

KEYLYANE SANTOS DA SILVA ALVES

Dra. LUCIANA SANCHES

**Cuiabá, MT
Fevereiro, 2017**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA
AMBIENTAL**

**VALIDAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO ESTIMADA
PELOS PRODUTOS 3B42 E 3B43 DO TRMM SOBRE A
RESERVA BIOLÓGICA JARU – RO**

KEYLYANE SANTOS DA SILVA ALVES

*Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Física Ambiental da Universidade
Federal de Mato Grosso, como parte
dos requisitos para obtenção do
título de Mestre em Física
Ambiental.*

Dra. LUCIANA SANCHES

**Cuiabá, MT
Fevereiro, 2017**

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE EQUAÇÕES.....	x
LISTA DE SIMBOLOS.....	xi
RESUMO	xiii
ABSTRACT.....	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. JUSTIFICATIVA.....	3
3. HIPÓTESE.....	3
4. OBJETIVOS	4
4.1. Objetivo Geral.....	4
4.2. Objetivos Específicos	4
5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
5.1. A Região Amazônica	5
5.1.1. O Clima da Floresta Amazônia.....	5
5.1.2. A Precipitação na Amazônia	7
5.2. Estimativas de Precipitação Por Sensoriamento Remoto	11
5.3. O Projeto TRMM.....	12
6. MATERIAL E MÉTODOS	16
6.1. Localização e Descrição da Área de Estudo	16
6.2. Instrumento Utilizado na Medição da Variável Precipitação.....	18
6.3. Descrição dos Dados Observados de Precipitação	18
6.4. Descrição dos Dados de ppt Estimados pelo Produto TRMM.....	19

6.5. Tratamento dos Dados Observados em campo e dos Dados Estimados pelo TRMM.....	21
6.6. Validação do Produto TRMM.....	23
7. RESULTADOS E DISCUSSÕES	26
7.1. Caracterização da ppt Observada em Superfície Diária e Mensal Sobre a REBIO Jaru.....	27
7.2. Caracterização da ppt Mensal Estimada Pelo Produto 3B43 V7 TRMM Sobre a REBIO Jaru.....	33
7.3. Validação da ppt Diária Estimada Pelo Produto 3B42 V7 TRMM.....	37
7.4. Validação da ppt Mensal Estimada Pelo Produto 3B43V7 TRMM.....	41
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
9. SUGESTÕES.....	46
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
11. ANEXOS	55

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Órbita do satélite TRMM.....	14
FIGURA 2 - Esquema de funcionamento dos sensores.	15
FIGURA 3 – Localização da Reserva Biológica do Jaru e Estação Meteorológica no Estado de Rondônia, Brasil.....	18
FIGURA 4 – Grade de pixel do TRMM sobre a REBIO Jaru nomeados P1 ... P8, Localização da estação meteorológica (triângulo fechado) e área de estudo.....	21
FIGURA 5 - Fluxograma da metodologia utilizada para validação dos dados do TRMM...	26
FIGURA 6 - Distribuição da precipitação diária acumulada sobre a Reserva Biológica do Jaru, anos de 2004 a 2012. (*) Mês inteiro sem dados diários. (**) Mês com falha de dados diários.....	28
FIGURA 7 - Imagem realçada do canal infravermelho do satélite METEOSAT - 9 para 01Z do dia 20 de janeiro de 2009 (a), 09Z do dia 13 de fevereiro de 2010 (b), 21Z do dia 25 de março de 2010 (c) e 07Z do dia 22 de março de 2011(d).	30
FIGURA 8 - Distribuição da precipitação mensal acumulada da Reserva Biológica do Jaru, anos de 2004 a 2012. (*) Mês desconsiderado por não ter dados ou por ser um mês com falha.	32
FIGURA 9 - Box-Plot da precipitação mensal dos pixels 1 a 8 pelo produto 3B43 V7 de 2004 a 2012. A linha central do box-plot representa a média do conjunto de dados, a caixa representa o intervalo interquartil que contém 50% dos dados, e os extremos representam valores máximo e mínimo. A linha tracejada representa a média interanual dos pixels.....	34
FIGURA 10 - Precipitação média mensal do produto 3B43 V7 TRMM nos anos 2004 a 2012 sobre a REBIO Jaru.	36
FIGURA 11 - Regressão entre os dados estimados pelo produto 3B42 V7 TRMM e os dados diários observados na estação meteorológica na REBIO Jaru no período anual, período chuvoso e período seco nos anos 2004 a 2012.....	40
FIGURA 12 - Regressão entre dados estimados pelo produto 3B43 V7 TRMM e os dados mensais observados na estação meteorológica na REBIO Jaru no período anual, período chuvoso e período seco nos anos 2004 a 2012.....	44
FIGURA 13 - Carta da análise sinótica da circulação atmosférica ao Nível 250 HPA do satélite GOES 13 no dia 20 de fevereiro de 2009 – 00Z.....	55

FIGURA 14 - Carta da análise sinótica da circulação atmosférica ao Nível 250 HPA do satélite GOES 13 no dia 13 de fevereiro de 2010 – 00Z.....	56
FIGURA 15 - Carta da análise sinótica da circulação atmosférica ao Nível 250 HPA do satélite GOES 13 no dia 25 de março de 2010 – 00Z.	57
FIGURA 16 - Carta da análise sinótica da circulação atmosférica ao Nível 250 HPA do satélite GOES 13 no dia 22 de março de 2011 – 00Z.	58

LISTA DE TABELAS

TABELA 1- Número de Dias e de Meses com ppt acumulada da Estação Meteorológica da REBIO Jaru com suas Porcentagens de Falhas nos Anos de 2004 A 2012.....	22
TABELA 2 - Porcentagem da precipitacao estimada pelo produto 3B43 V7, para o período chuvoso e período seco dos pixels 1 a 8 de 2004 a 2012.....	33
TABELA 3 - Índices de Correlação de Spearman (ρ), Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático (RMSE), Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático Normalizado Pela Média dos Valores Observados (NRMSE), Erro Relativo (Errv), Probabilidade de Detecção (POD), Falso Alarme (FAR) E Índice de Sucesso (CSI) na Validação Por Pixel do Produto 3B42 V7 TRMM. Os asteriscos indicam o nível de significância dos coeficientes: p-valor $\leq 0,05$ (*); (**) p-valor $\leq 0,01$; (***) p-valor $\leq 0,001$	37
TABELA 4 - Índices de Correlação Spearman (ρ), Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático (RMSE), Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático Normalizado Pela Média dos Valores Observados (NRMSE), Erro Relativo (Errv), Probabilidade de Detecção (POD), Falso Alarme (FAR) E Índice de Sucesso (CSI) na Validação do Produto 3B43 na REBIO Jaru de 2004 a 2012. Os asteriscos indicam o nível de significância dos coeficientes: p-valor $\leq 0,05$ (*); (**) p-valor $\leq 0,01$; (***) p-valor $\leq 0,001$	41

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	24
Equação 2	24
Equação 3	24
Equação 4	24
Equação 5	25
Equação 6	25
Equação 7	25

LISTA DE SIMBOLOS

AB-	Alta da Bolívia
ABRACOS -	<i>Anglo Brazilian Amazonian Climate Observational Study</i>
AMSR-E -	<i>Advanced Microwave Scanning Radiometer</i>
AMSU-B -	<i>Advanced Microwave Sounding Radiometer</i>
Aw -	Clima Tropical Chuvoso
CERES -	<i>Clouds and the Earth's Radiant Energy System</i>
CGA -	Circulação Geral da Atmosfera
CSI -	Índice de Sucesso
CSV -	<i>Comma-Separated Values</i>
E -	Leste
ENOS -	El Niño Oscilação Sul
Errv -	Erro Relativo
FAR -	Índice de Alarme Falso
GOES -	<i>Geostacionary Operational Environmental Satellite</i>
GPCC -	<i>Global Precipitation Climatology Center</i>
GPI -	<i>Goes Precipitation Index</i>
GV -	<i>Ground Validation</i>
ICMBio -	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
JAXA -	<i>Japan Aerospace Exploration Agency</i>
JBN	Jatos de Baixos Níveis
LBA -	Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia
LI-	Linhas de Instabilidades
LIS -	<i>Lightning Imaging Sensor</i>
N -	Norte
NASA -	<i>National Aeronautics And Space Administration</i>
NetCDF -	Network Common Data Form
NRMSE -	Erro Médio Quadrático Normalizado pela Média dos Valores Observados
POD -	Probabilidade de detecção
ppt -	Precipitação
PR -	<i>Precipitation Radar</i>
ρ -	Coeficiente de Correlação de Spearman
REBIO -	Reserva Biológica
Rg -	Radiação Global
RMSE -	Erro Médio Quadrático
S -	Sul
SE/NW -	Sudeste/Noroeste
SIG -	Sistemas de Informação Geográfica
SSM/I -	<i>Special Sensor Microwave Imager</i>

TIROS I -	<i>Television and InfraRed Observation Satellite</i>
TMI -	<i>Microwave Imager</i>
TMPA -	<i>Multisatellite Precipitation Analysis</i>
TRMM -	<i>Tropical Rainfall Measuring Mission</i>
TSM-	Temperatura de Superfície do Mar
VCAN-	Vórtice Ciclônicos de Altos Níveis
V7 -	Versão 7
VIRS -	<i>Visible and Infrared Scanner</i>
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT -	Zona de Convergência Inter-Tropical
W -	Oeste

RESUMO

ALVES, K. S. S. **Validação da precipitação estimada pelos produtos 3B42 e 3B43 do TRMM sobre a reserva biológica Jaru – RO.** Cuiabá, MT. 70 f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, 2017.

Conhecer com precisão quando e onde a precipitação ocorre ainda é um desafio para a comunidade científica, decorrente de algumas dificuldades como a quantidade insuficiente de medições terrestres e os locais de difícil acesso. Nesse sentido o sensoriamento remoto é uma ferramenta que pode auxiliar na aquisição de dados escassos de superfície. Análises para validação do produto de precipitação estimados pelo satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) foram realizadas com os dados de precipitação observados em superfície durante o período de 2004 a 2012. Para tal foram utilizados dados de precipitação da estação meteorológica da Reserva Biológica do Jaru, localizada a leste no estado de Rondônia e comparados com os dados dos algoritmos 3B42 V7 e 3B43 V7 do produto TRMM. Foi realizada análise estatística com base em alguns índices de variáveis contínuas como o coeficiente de correlação de Spearman (ρ), a raiz quadrada do erro médio quadrático normalizado pela média dos valores observados (NRMSE), o erro médio quadrático (RMSE), o erro relativo (Errv) e alguns índices categóricos como a probabilidade de detecção (POD), o Alarme Falso (FAR) e o índice de sucesso (CSI) entre os dados de precipitação diária e mensal observados em superfície e os dados de precipitação estimada. Os resultados encontrados para o produto 3B43 V7 indicaram que as estimativas de precipitação foram representativas quando comparadas com as observações em superfície, porém quando comparados por período chuvoso e seco, houve subestimação e superestimação respectivamente, do produto. Já o produto 3B42 V7 não representa satisfatoriamente a precipitação que ocorre em superfície.

Palavras-chave: chuva tropical, Sensoriamento Remoto, Floresta Amazônica.

ABSTRACT

ALVES, K. S. S. Validation of precipitation estimated by products 3B42 and 3B43 TRMM on biological reservation Jaru – RO. Cuiabá, MT. 70 f. Dissertation (Masters in Environmental Physics) - Physics Institute, Federal University of Mato Grosso, 2017.

Describe with precision, when and where precipitation will occurs, still a challenge for the scientific community, due to some difficulties like insufficient amount of terrestrial measurements and the difficult access to certain locations. In this way, the remote sensing is a tool that can assist in the acquisition of scarce surface data. We carried out analyses for product validation of precipitation estimated by TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) satellite with the observed data in surface rainfall during the period from 2004 to 2012. For this purpose, was used precipitation data from the meteorological station biological reserve of Jaru, located at the East in the State of Rondônia and compared with the data of the algorithms 3B42 V7 and 3B43 V7 of TRMM product. Statistical analysis was carried out based on some indices of continuous variables such as Spearman's Rank Correlation Coefficient (ρ), the normalized root-mean-square deviation or error by the mean of the observed values (NRMSE), the root-mean-square error (RMSE), the relative error (Errv) and some categorical indices as the probability of detection (POD), the false alarm (FAR) and the success index (CSI) between the daily and monthly precipitation data observed in surface and estimated precipitation data. The results for the product 3B43 V7 indicated that rainfall estimates were representative when compared with surface observations, but when compared by rainy and dry season, there was underestimation and overestimation of product, respectively. 3B42 V7 product already does not satisfactorily the precipitation that occurs on the surface.

Keywords: Tropical Rain, Remote Sensing, Amazon Rainforest.

1. INTRODUÇÃO

A precipitação pluviométrica no ciclo hidrológico é considerada uma variável instável, pois não é possível saber com precisão quando ela definitivamente ocorre em superfície. Uma análise dos seus padrões no espaço e no tempo permite fazer previsões a curto e a longo prazo e assim prevenir danos e/ou contribuir para o desenvolvimento socioeconômico adequado e sustentável de uma região.

No contexto global a precipitação possui um comportamento diferente para cada região, a começar pelas condições de como ela ocorre no oceano e como ela ocorre nos continentes. No oceano, o ciclo hidrológico ocorre de maneira direta, onde as águas são aquecidas pela radiação solar ao ponto que ocorre a evaporação da mesma para a atmosfera e posteriormente elas se condensam a tal ponto para precipitação.

Já nos continentes o ciclo é mais complexo, pois existem várias etapas até chegar ao estado de precipitação propriamente dita, pois depende a evapotranspiração das florestas, rios, lagos e também da circulação atmosférica, sendo essa um fator de suma importância pois por meio dos processos atmosféricos é que ocorre a interação continente oceano.

Nos trópicos a precipitação possui grande influência na circulação atmosférica, pois uma parte da energia gerada de tal circulação provém do calor latente oriundo da precipitação. Os padrões de precipitação nos trópicos variam entre secas severas e cheias ocasionais, no entanto as chuvas duram cerca de horas por evento ocorrido, surgindo a necessidade de se instalar estações meteorológicas convencionais em superfície, pois estas são capazes de registrar com precisão tais eventos.

No Brasil devido sua grande extensão territorial, a sazonalidade da precipitação ocorre de maneira diferenciada em cada região, desde a região equatorial até a latitudes subtropicais. O clima possui grande variedade e características exclusivas de cada região, ao norte onde se encontra a Floresta Amazônica por exemplo, observa-se um clima equatorial chuvoso, praticamente sem estação seca, já o nordeste brasileiro a variabilidade da precipitação ocorre de

maneira particular, pois alguns anos são extremamente secos e outros extremamente chuvosos.

Por estar em uma posição geográfica ímpar, a região sudeste do país possui uma grande variedade nos regimes climáticos, portanto a distribuição da precipitação é altamente irregular tanto no tempo como no espaço pois, sofre influência dos fatores de grande escala, meso escalas e condições locais, além do uso da terra que tem grande importância na ocorrência das chuvas.

No sul do Brasil o regime de precipitação é de transição, ao norte com estação chuvosa no início da primavera e término no início do outono, considerado regime de monção, enquanto ao sul a distribuição das chuvas são uniformes ao longo do ano, característica de regime de latitudes médias, com chuvas relativamente mais fortes no inverno. Na região centro-oeste a variabilidade climática é considerada complexa devido a diversidade dos fatores geográficos, onde a quantidade de chuvas é uma das características marcantes da região, pois o verão é essencialmente quente e chuvoso, enquanto que o inverno é seco e com temperaturas amenas.

O regime de precipitação na região Amazônica é modulado por sistemas dinâmicos de microescala, convecções locais derivada do aquecimento diurno da superfície, de mesoescala como os conglomerados de nuvens *cumulonimbus* associados as linhas de instabilidades originadas pela circulação de brisa marítima na costa do Atlântico e por fim mas não menos importante os sistemas de macroescala dentre eles as zonas de convergência associadas as circulações térmicas e os aglomerados convectivos que formam a Zona de convergência do Atlântico Sul. Tais sistema proporcionam intensa variabilidade espacial e temporal na região Amazônica (CORREIA *et al.*, 2007).

A Reserva Biológica do Jaru se encontra na porção Sul da Amazônia no Estado de Rondônia, onde o regime pluviométrico é superior a 2000 mm anuais, caracterizada por chuvas concentradas no trimestre de dezembro/ janeiro/ fevereiro e a estação seca em junho/ julho/ agosto.

Diante disto, torna-se evidentes alguns problemas como, ter um número considerável de estações meteorológicas para suprir toda demanda da área de estudo e a impossibilidade de instalar estações de monitoramento em determinados locais, devido ao difícil acesso em áreas de florestas e isoladas por rios, que ainda é um

desafio para a ciência, mas que tem grande importância quando se estuda o ciclo hidrológico, surgindo assim a necessidade do uso do sensoriamento remoto, que é uma ferramenta alternativa para esses casos.

A utilização de sensores remotos na estimativa de precipitação vem mostrando ser uma alternativa importante para suprir os tais problemas encontrados. Nas últimas três décadas observaram-se avanços consideráveis no âmbito de satélites ambientais, aumentando a quantidade de informações disponíveis, incluindo estimativas de precipitação (NÓBREGA *et al.*, 2008).

A NASA (*National Aeronautics And Space Administration*) em parceria com a JAXA (*Japan Aerospace Exploration Agency*) lançou em 1997 o TRMM (Tropical Rainfall Mensuring Mission), considerado o satélite mais adequado para esse tipo de estudo, devido sua capacidade de medir a estrutura vertical das nuvens nos trópicos, onde o objetivo específico do TRMM é realizar estimativas de precipitação nos trópicos não só em regiões oceânicas, mas em regiões continentais (TRMM, 2016).

Contudo os produtos podem apresentar erros, porém vários estudos que testaram a validade de estimativa do TRMM em pesquisa científicas e modelagens hidrológicas, encontraram resultados satisfatórios estimando corretamente a precipitação para escala temporal mensal (COLLISCHONN *et al.*, 2006).

2. JUSTIFICATIVA

Devido à ausência de dados observados em superfície na região Amazônica, faz-se necessário o uso do sensoriamento remoto para suprir a escassez de dados. Assim a validação entre os dados de precipitação estimada e dados de precipitação observada em superfície pode ser uma alternativa consistente para utilização de dados estimados em locais onde não há registros

3. HIPÓTESE

Diante dos inúmeros avanços seguidos pelas atualizações tanto dos satélites quanto de seus sensores e consequentemente os produtos de estimativas oriundos de tais satélites, espera-se que as últimas versões de estimativa de precipitação do

satélite TRMM traga avanços para os estudos hidrológicos em regiões consideradas remotas. Portanto, a hipótese é de que os dados de satélites sejam representativos da realidade, tendo por referência dados de estações pluviométricas.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho consistiu em validar os dados de precipitação pluviométrica estimados pelo satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) dos produtos 3B42 (Versão 7) e 3B43 (Versão 7) diário e mensal, respectivamente, com os dados medidos de precipitação pluviométrica pela estação meteorológica da Reserva Biológica do Jaru no Estado de Rondônia, no período de 2004 a 2012.

4.2. Objetivos Específicos

Para atender o objetivo geral, tem-se os objetivos específicos:

- Caracterizar a precipitação observada em superfície diária e mensal sobre a REBIO Jaru;
- Caracterizar a precipitação mensal estimada pelo produto 3B43 V7 TRMM sobre a REBIO Jaru;
- Validar a precipitação diária estimada pelo produto 3B42 V7 TRMM;
- Validar a precipitação mensal estimada pelo produto 3B43 V7 TRMM.

5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1. A Região Amazônica

A Amazônia é a maior floresta tropical do mundo com uma área total de aproximadamente 7 milhões de km², representando 56% das florestas tropicais da Terra. Está localizada na região onde os sistemas atmosféricos complexos ocorrem de maneira intensa.

Deste modo, alterações nos ecossistemas Amazônicos podem provocar impactos na circulação atmosférica, no transporte de umidade para e da região com consequências relevantes para principalmente o ciclo hidrológico não só sobre a América do Sul, mas em outras partes do planeta (CORREIA *et al.*, 2007).

5.1.1. O Clima da Floresta Amazônia

O clima de uma região é determinado por fatores denominados controles climáticos, que atuam tanto na escala global como na regional. Os mais importantes são a circulação geral da atmosfera (CGA), a topografia local, a natureza da cobertura vegetal, o ciclo hidrológico e a influência de correntes oceânicas se a região for costeira (MOLION, 1987).

A disponibilidade de energia proveniente do Sol pelo do balanço de energia associado a outros fatores, é o mais importante na caracterização do atual clima na Amazônia. Por estar em uma localização de baixas latitudes, entre 5 N e 10 S recebe no topo da atmosfera um valor máximo de 36,7 MJ m² dia⁻¹ em dezembro/janeiro e um valor mínimo de 30,7 MJ m² dia⁻¹ em junho/julho. Estes valores são reduzidos pela transmissão atmosférica, mas são em média, da ordem de 16-18 MJ m⁻² dia⁻¹ para valores de radiação incidente a superfície (SALATI & MARQUES, 1984).

Na região central da Amazônia (Manaus, AM), observaram as maiores ocorrências de incidência de radiação na superfície nos meses de setembro/outubro,

sendo que o mínimo nos meses de dezembro a fevereiro, os autores associaram que tal distribuição foi controlada pela nebulosidade advinda da migração SE/NW da convecção Amazônica (HOREL *et al.*, 1989).

Ao analisar um conjunto de dados entre 1992 a 1996, de medidas horárias da energia solar em Rondônia, Feitosa *et al.* (1998) constataram radiação solar ao longo do dia de $18,3 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, durante a estação seca e de $17,1 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ na estação chuvosa, os autores também verificaram a diferença de incidência de radiação em áreas distintas (floresta tropical e pastagem) revelando uma atenuação da radiação solar pela atmosfera por conta dos aerossóis produzidos por fumaça de queimadas, resultando em transmissividade de 0,58 na pastagem contra valores de 0,66 em áreas de florestas, durante a estação seca.

Na estação chuvosa os valores de R_g nas duas áreas foram ligeiramente menor que na estação seca, porém com diferença mínima entre as áreas. Valores semelhantes foram encontrados por Moura *et al.* (2001) para mesma região, com uma diferença de 2% da radiação global para os dois sítios experimentais, com médias de $17,3 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ na floresta e $16,8 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ na pastagem, os autores afirmam que os dois sítios experimentais, sofre influência da nebulosidade em fevereiro e das queimadas em setembro.

A temperatura do ar na Floresta Amazônica apresenta pouca variação ao longo do ano, devido aos altos valores de energia incidente na superfície da região, a exceção de Rondônia e Mato Grosso que por estarem mais ao Sul, sofrem influência da ação dos sistemas frontais denominados localmente por friagens. A amplitude térmica sazonal é da ordem $1\text{-}2^\circ \text{ C}$, onde os valores médios encontrados situam-se entre 24 e 26° C (FISCH *et al.*, 1998).

A energia que atinge a superfície terrestre é devolvida para a atmosfera na forma de fluxo de calor sensível (aquecimento) e latente (evapotranspiração). Desta forma, o balanço de energia e a umidade são interagidos, sendo que o saldo de radiação é particionado em termos de calor sensível e/ou latente, dependendo das condições ambientais e de água disponível no solo (FIGUEROA & NOBRE, 1990; FISCH *et al.*, 1998).

Por controlar as características dos elementos do clima com temperatura, umidade relativa, ventos etc., a precipitação é um dos elementos climáticos mais

importante a ser analisado na região tropical. Entretanto, a despeito da simplicidade de sua medida, é uma das variáveis meteorológicas mais difíceis de serem medidas, uma vez que possui erros do tipo instrumental; de exposição e mesmo de localização (MOLION & DALLAROSA, 1990).

A região Amazônica possui uma precipitação média de aproximadamente 2.300 mm. Ano⁻¹, embora na fronteira entre Brasil e Colômbia e Venezuela o total anual atinge 3.500 mm. Nestas regiões não existe período de seca. Estes valores de precipitação elevada próximo à Cordilheira dos Andes devem-se à ascensão orográfica da umidade transportada pelos ventos alísios de leste da Zona de Convergência Inter-Tropical (ZCIT) (FISCH *et al.*, 1998).

Na região costeira (no litoral do Pará ao Amapá), a precipitação também é alta e sem período de seca definido, devido a influência das linhas de instabilidade que se formam ao longo da costa litorânea durante o período da tarde e que são forçadas pela brisa marítima (FIGUEROA & NOBRE, 1990).

A evapotranspiração da floresta na região Amazônica tem um papel fundamental no clima da Amazônia assim como de outras regiões, pois 50% do balanço local de vapor d' água é mantido pela evapotranspiração local, além de desempenhar importante papel no transporte de vapor d' água para latitudes maiores (WEBLER *et al.*, 2007). As estimativas são de que a evapotranspiração potencial seja entre 4,0-4,5 mm dia⁻¹, com variações sazonais decorrentes da existência ou não de chuvas (FISCH *et al.*, 1998).

Em Ji-Paraná – RO, os valores de evapotranspiração encontrados foram da ordem de 3,4 e 5,0 mm dia⁻¹ por Alves *et al.* (1999), que analisaram o ciclo sazonal da evapotranspiração real usando o modelo de Penman-Monteith. Tais análises foram obtidas com os dados provenientes do sítio experimental de floresta do Projeto ABRACOS.

5.1.2. A Precipitação na Amazônia

A floresta Amazônica possui um regime pluviométrico diferenciado das demais regiões do Brasil. O regime de precipitação é considerado heterogêneo, pois

apresenta variabilidade espacial e temporal decorrentes das condições da interação de diferentes sistemas.

A Zona de Convergência Intertropical sobre o oceano Atlântico Equatorial denominada ZCIT (MOLION & KOUSKY, 1985; ROCHA, 1991), consiste na interação de um conjunto de sistemas tais como a zona de confluência dos Alísios de SE e de NE (ZCA), o Cavado Equatorial, a zona de máxima Temperatura da Superfície do Mar (TSM), de máxima convergência e a banda de máxima cobertura de nuvens convectivas, todos atuando ao longo da faixa Equatorial dos Oceanos (UVO, 1989).

Durante agosto e setembro sua posição encontra-se mais ao norte (em torno de 14° N) e para sua posição mais ao Sul (em torno de 2° S) seu deslocamento ocorre em março e abril e sua migração sazonal está associada ao fortalecimento ou enfraquecimento dos ventos alísios de nordeste e sudeste influenciando a ocorrência de precipitação (MOLION, 1987).

Outro sistema é a atividade da Alta da Bolívia, circulação anticiclônica de grande escala que ocorre na troposfera superior, centrada, em média no platô boliviano (GUSMÃO, 1996), que se forma durante o verão do Hemisfério Sul (KOUSKY & KAYANO, 1981; MOLION, 1993), e contribui para as chuvas que ocorrem principalmente nas regiões Norte, parte do Nordeste e Centro Oeste do Brasil (CAVALCANTI *et al.*, 2009).

Os Vórtices ciclônicos de Altos Níveis (VCANs) sistemas meteorológicos que podem atuar na região Amazônica, são caracterizados por centro de pressão relativamente baixa que se originam na alta troposfera e se estendem até os níveis médios, dependendo da instabilidade atmosférica, com um centro relativamente frio, convergência de massa, movimentos verticais subsidentes no seu centro e ascendentes na periferia e nebulosidade mais intensa principalmente na direção de seu deslocamento (CAVALCANTI *et al.*, 2009).

As Linhas de Instabilidade, conjunto de nuvens cúmulos-nimbos que se desenvolvem na costa norte-nordeste da América do Sul, associadas a brisa marítima e se propagam para o interior do continente, causando grandes quantidades de precipitação (CAVALCANTI & KOUSKY, 1983; COHEN, 1989). São classificadas em: (a) Linhas de Instabilidade Costeira (LICs), onde não ultrapassam 170 km de

deslocamento horizontal no interior do continente; (b) linhas de Instabilidades com propagação do tipo 1 (LIP1), com deslocamento horizontal entre 170 e 400 km; e (c) Linhas de Instabilidade com propagação do tipo 2 (LIP2), que apresentam deslocamento horizontal acima de 400 km (COHEN, 1989).

Outro sistema que regula o regime pluviométrico é a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), sua atividade convectiva começa no oeste da bacia Amazônica no início de agosto e atinge o sudeste brasileiro nos meses subsequentes (CAVALCANTI *et al.*, 2009). Está associada a uma banda de nebulosidade e precipitação com orientação noroeste-sudeste, que se estende desde a Amazônia até a região central do Atlântico Sul (KOUSKY, 1988).

Os Jatos de Baixos Níveis (JBN) são fortes fluxos observados na baixa atmosfera ao longo de cadeias montanhosas. Esses ventos têm máxima velocidade em torno de 2.000 m. Ocorrem no lado leste da topografia elevada e são associados a movimentos de grande escala que cobrem extensas áreas. Na América do Sul os JBNs transportam umidade atmosférica da bacia Amazônica para a bacia do Paraná-Prata oriunda do fluxo dos ventos alísios que passam sobre a Amazônia (CAVALCANTI *et al.*, 2009).

As penetrações pronunciadas de sistemas frontais que organizam e intensificam a Convecção Tropical principalmente sobre a porção Centro-Sul da Amazônia (KOUSKY & FERREIRA, 1981; VIRJI & KOUSKY, 1983; OLIVEIRA, 1986) e as manifestações de sistemas de tempo de meso e escala localizada (células ou aglomerados de *cumulunimbus*) que comumente se originam devido a aquecimento da superfície pela radiação solar incidente (MOLION, 1987; FISCH, 1997; CORREA *et al.*, 2007).

A distribuição das chuvas na Amazônia é bastante irregular, apresentando variabilidade espacial e temporal (SALATI, 1983). As médias anuais de precipitações variam de mais de 6000 mm nas encostas dos Andes a aproximadamente 1600 mm na interface da Amazônia com o cerrado do Planalto Central Brasileiro, sendo a média geral da ordem de 2300 mm anuais (SALATI & VOSE, 1984; FISCH *et al.*, 1998).

Mesmo com grande variabilidade na distribuição da precipitação, toda a região Amazônica é essencialmente marcada por dois períodos – alto (cheia) e baixo

nível das águas dos rios (vazante) – que têm um papel fundamental na região e cuja dinâmica é profundamente afetada pelo regime hidrológico (FERREIRA *et al.*, 2005).

Grande parte da região Amazônica apresenta seu período chuvoso entre outubro a maio, com média de chuvas acumuladas entre 600 mm a 2100 mm, com máximos principais sobre uma grande região que abrange a porção Oeste, Centro e Sul (Amazonas, Acre, Rondônia, Mato Grosso, Tocantins e Sul do Pará) e outra na porção oriental (que inclui o sul do Amapá, Leste do Pará e Norte do Maranhão) (FIGUEROA & NOBRE, 1990).

Já o período seco ocorre em grande parte da Amazônia durante junho, julho e agosto. Este período caracteriza-se pela baixa pluviosidade (chuvas abaixo de 50 mm mês⁻¹) e longos períodos de estiagem, onde atingem principalmente o Acre, Rondônia, Tocantins, Centro Sul do Maranhão, e sul do Amazonas e do Pará. A chuva neste período ocorre em áreas esparsas em forma de pancadas isoladas (SOUZA & AMBRIZZI, 2003).

Um estudo feito por Ribeiro (1991) na cidade de Manaus, demonstrou que no período de 1911 até 1985, a média anual de chuva foi 2107 mm, na estação chuvosa (dezembro-maio) a média foi 1546 mm (73,4%) enquanto que a estação mais seca (junho-novembro) apresentou média de 561 mm (26,6%). Albuquerque *et al.* (2010) ao analisarem o comportamento da distribuição espacial da precipitação e sua variabilidade nas mesorregiões do Estado do Pará nas últimas décadas (1978-2008), verificaram que os maiores índices pluviométricos estão concentrados nas mesorregiões do Marajó, Metropolitana de Belém e Nordeste Paraense, com precipitação anual superior a 2000 mm.

Por outro lado, os menores valores anuais de precipitação, ficam reservados as mesorregiões Sudeste e Sudoeste do Pará. O verão e o outono, seguramente, abrigam os meses mais chuvosos do estado. Em geral, a época chuvosa inicia-se em dezembro e tem duração de cinco a seis meses, sendo o mês de março o que apresenta maior índice pluviométrico. A época menos chuvosa, onde predominam as chuvas de caráter convectivo, abrangem os demais meses do ano, sendo que o período de maior estiagem ocorre entre os meses de setembro e outubro (ALBUQUERQUE *et al.*, 2010).

Em Rondônia ocorreram taxas anuais de precipitação entre 1300 a 2600 mm/ano. Franca (2015) ao analisar o comportamento climatológico da precipitação pluvial em Rondônia no período de 1981 a 2011 a partir de dados de dezoito estações pluviométricas em diferentes localidades do estado, verificaram que ao extremo sul o volume anual de chuva foi superior a 2100 mm/ano, enquanto que no vale do Mamoré, região da fronteira com Bolívia, o total anual ficou em torno de 1600 mm.

Bezerra *et al.* (2010) ao analisarem o regime pluviométrico no município de Porto Velho – RO entre 1945 a 2003, indicaram que o período chuvoso que se estende de novembro a abril, apresentou valores entre 228,9 mm e 329,6 mm e o período de estiagem de junho a setembro com precipitação mensal oscilando entre 38,7 mm a 107,7 mm, sendo os meses maio e outubro considerados de transição de um regime para o outro. Constataram ainda, que as maiores ppt mensais acima de 300 mm, concentram-se nos meses de dezembro a março.

Webler *et al.* (2007) verificaram média da precipitação anual 2192,7 mm no ano de 1999 a 2006 na REBIO Jaru, com maiores índices de precipitação no período de janeiro a maio e de setembro a dezembro, em que o mês com maior índice pluviométrico foi janeiro com 462,9 mm, e o período com menores índices de ppt foram entre os meses de junho a agosto.

Portanto, devido à grande variabilidade espacial e temporal da precipitação na região Amazônica, são necessários estudos aprofundados sobre tal variável, no intuito de conhecer seu comportamento e com isso o próprio comportamento do ambiente.

5.2. Estimativas de Precipitação Por Sensoriamento Remoto

O primeiro satélite meteorológico a iniciar o processo de estimativa de precipitação, foi o "*Television and InfraRed Observation Satellite*" (TIROS I) em abril de 1960, possibilitando obter a estimativa da ocorrência e intensidade da chuva por reposta espectral, por meio das primeiras imagens de topos de nuvem (Petty, 1994). Nesta época, observaram que a radiação refletiva dos topos das nuvens poderia ser um indicador da sua espessura e conseqüentemente do volume de água (NÓBREGA *et al.*, 2008).

Barrett (1970) foi o pioneiro em utilizar a técnica de indexação de nuvens, até então as imagens de satélite não eram em formato digitais. A metodologia era simples, baseou-se em assumir uma taxa de precipitação para cada tipo de nuvem. Ele estimou a precipitação mensal sobre a Austrália e suas vizinhanças associadas aos sistemas marítimos continentais. No final da década de 1970, as imagens passaram a ser digitais, melhorando consideravelmente a acurácia e precisão (Nóbrega *et al.*, 2008).

Em outubro de 1975, a NASA lançou o primeiro satélite da série GOES – "*Geostacionary Operational Environmental Satellite*", equipado com radiômetros no visível e infravermelho, sistema de coleta e transmissão de dados meteorológicos e outros instrumentos para mensurações de prótons, elétrons, fluxos de raios-X do sol e campos magnéticos (NASA, 2016)

A fim de quantificar a relação entre cobertura de nuvens e temperatura do topo da nuvem no intuito de quantificar o total de precipitação na superfície nos trópicos, Arkin (1979) desenvolveu um método de estimativa de precipitação utilizando o canal infravermelho do GOES. Devido sua simplicidade o método ainda é bastante utilizado, ficando conhecido como método "*Goes Precipitation Index*" (GPI) (ARKIN & MEISNER, 1987). A técnica baseia-se na alta correlação entre a fração de nuvens com temperaturas inferiores a 235 K ($\sim -38^{\circ}\text{C}$) e a área de chuva observada por radar em regiões de $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$ ao longo do mês.

Os primeiros métodos eram baseados em imagens nas bandas do visível e infravermelho, mas com o tempo começaram a utilizar imagens de sensores microondas, disponibilizadas por exemplo, pelo satélite desenvolvido pelo projeto Missão para medir chuva tropical (TRMM do inglês Tropical Rainfall Measuring Mission) (NÓBREGA *et al.*, 2008). Assim, tais técnicas poderiam ser expandidas e melhoradas para outros produtos além da precipitação (GUARIENTI, 2015).

5.3. O Projeto TRMM

A Administração Nacional Aeronáutica e Espacial (NASA¹ do inglês *National Aeronautics And Space Administration*) em parceria com a Agência de

1. Disponível em: <www.nasa.gov/> Acesso em 11 de janeiro de 2016.

Exploração Aeroespacial do Japão (JAXA² do inglês *Japan Aerospace Exploration Agency*) lançou o satélite TRMM no dia 27 de novembro de 1997 no Centro Espacial Tanegashima, com objetivo de medir a precipitação nos trópicos e servir como fonte de dados para os pesquisadores.

Diversos estudos vêm sendo realizados para se obter estimativas de precipitação para uma dada região, comparação com dados de superfície e dados de radar meteorológico, e até integração entre dados de superfície e de satélite (Nóbrega *et al.*, 2008).

O número de pesquisas para comparar os dados estimados pelo projeto e avaliar sua acurácia tem crescido exponencialmente (FRANCHITO *et al.*, 2009; ROZANTE *et al.*, 2010; FARIAS *et al.*, 2013; HUANG *et al.*, 2013). Estes trabalhos indicam que o satélite tem um satisfatório desempenho em estimar precipitação.

As estimativas geradas pelo projeto TRMM são consideradas mais confiáveis que outros satélites, pois são validados por "*Ground Validation*" (GV), que contém os valores de precipitação de várias estações localizadas na superfície terrestre (GUARIENTI, 2015).

A quantidade de trabalhos que utilizam os dados de TRMM para análise de dados de precipitação é significativa (COLLISCHONN, 2006; COLLISCHONN *et al.*, 2007; FISCH *et al.*, 2007) indicando que a estimativa de precipitação oriunda do satélite é precisa quando comparada com dados observados em superfície em bacias hidrográficas, além de dar bons resultados, podem ajudar a identificar pluviômetros com problemas na leitura ou mal localizados. Além disso, a disponibilização dos dados contribui para formação de uma base de dados de pluviosidade, tanto espacial, quanto temporal sendo utilizada em estudos climatológicos (NÓBREGA, 2008).

Inicialmente o satélite foi desenvolvido de maneira que pudesse medir os índices de precipitação das chuvas entre as latitudes 35°N e 35°S, e a influência destas no clima global (KUMMEROW *et al.*, 2000). Entretanto, devido as atualizações do satélite e/ou dos algoritmos, o satélite passou a medir entre as latitudes de 50° N e 50° S (SCHEEL *et al.*, 2011). O satélite foi projetado para ter

2. Disponível em < <http://www.jaxa.jp/>> Acesso em 11 de janeiro de 2016.

apenas três anos de vida, porém forneceu dados por 17 anos, e em 16 de junho de 2015 ele reentrou na atmosfera sobre sul do Oceano Índico (JAXA, 2016).

As observações englobam grandes áreas do oceano onde não há equipamentos para medição de precipitação. Os sensores disponíveis no satélite permitem o monitoramento de precipitação em locais de difícil acesso, sendo uma ferramenta útil para obter dados desses lugares. A figura 1 ilustra na região clara, os locais cobertos pelo satélite (COLLISCHONN *et al.*, 2007).

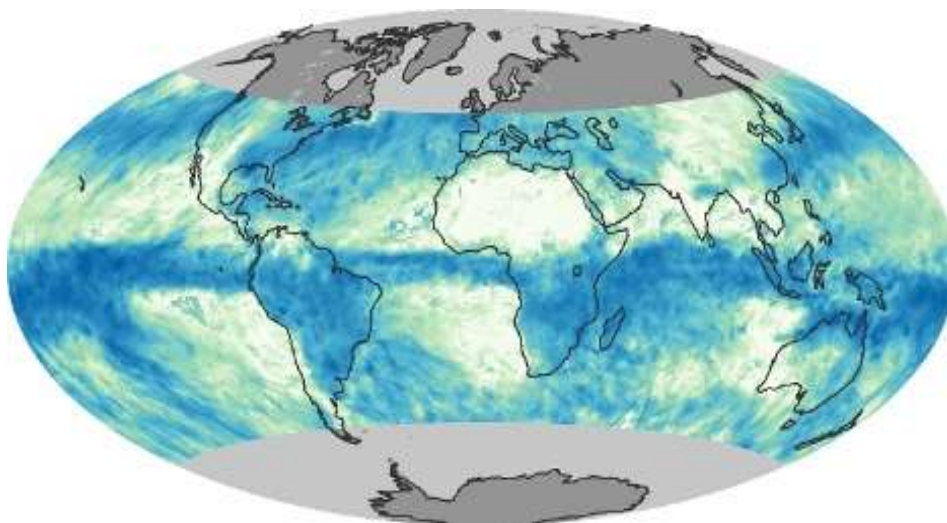


FIGURA 1 - Órbita do satélite TRMM
Fonte: TRMM, 2016.

Existem cinco instrumentos a bordo do TRMM. A Figura 2 apresenta o esquema de funcionamento dos sensores que terão dados correlacionados para estimativa de precipitação. (1) o Radar de precipitação (*Precipitation Radar - PR*), foi o primeiro instrumento espacial desenvolvido para prover mapas de estrutura de tempestade em três dimensões; (2) o imageador de microondas (*Microwave Imager - TMI*), é um sensor passivo desenvolvido para prover informação quantitativa de chuva em uma ampla faixa imageada; (3) o escaneador do visível e infravermelho (*Visible and Infrared Scanner - VIRS*), é um instrumento com sensores capturando a radiação advinda da Terra em cinco regiões espectrais, do visível ao infravermelho próximo, e entre 0,63 a 12 micrometros; (4) o sistema de energia radiante de nuvens e da Terra (*Clouds and the Earth's Radiant Energy System - CERES*), é um instrumento que operou apenas até março de 2000, e finalmente o (5) sensor

imageador de raios (*Lightning Imaging Sensor - LIS*), que detecta e localiza raios em regiões tropicais do planeta (Anderson *et al.*, 2013).

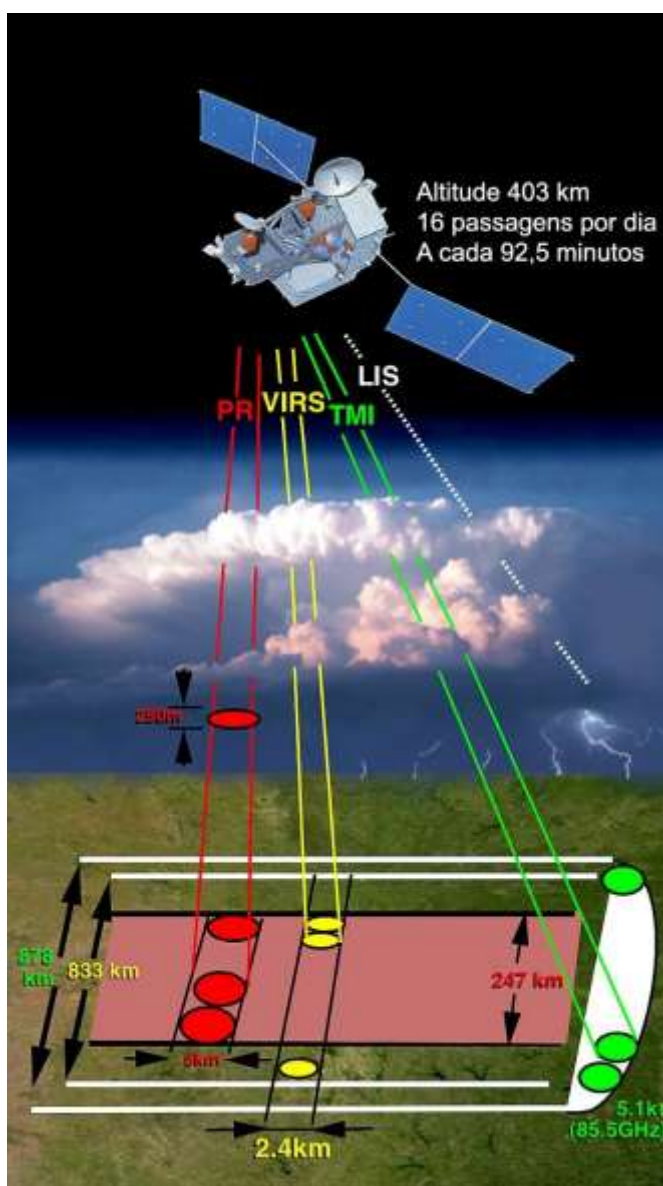


FIGURA 2- Esquema de funcionamento dos sensores.
Fonte: TRMM, 2016.

Diversos produtos (estimativas) são gerados pelo projeto TRMM, pela combinação de instrumentos usada no algoritmo de cálculo. São disponibilizados dados de precipitação com uma resolução temporal de três horas e resolução espacial de 0,25° por resultado do produto 3B42RT, para dados diários o produto 3B42 e para dados mensais 3B43 (TRMM, 2016).

O uso das estimativas de precipitação oriundas do projeto TRMM vem crescendo ao longo dos anos, pois a região de abrangência do satélite é altamente

significante sendo assim uma vantagem quanto às medidas tradicionais de precipitação em superfície (pluviômetros e pluviógrafos), que refletem apenas a chuva ocorrida exclusivamente no local que se encontra o os instrumentos, sendo estendida para todo o território com base em métodos estatísticos ou matemáticos como interpolação de dados (NÓBREGA *et al.*, 2008).

Outro fator importante está na obtenção de dados com boa qualidade, pois podem melhorar significativamente os resultados nas aplicações em estudos meteorológicos e/ou hidrológicos, onde a insuficiência de dados para representação espacial e a falta de dados nas estações pluviométricas estimulam a utilização de dados de sensoriamento remoto para representar a precipitação dessas áreas (MACEDO, 2013).

A NASA disponibiliza os dados de precipitação por padrão em formato binário, "*Hierarchical Data Format*" (HDF) ou "*Network Common Data Form*" (NetCDF) (NÓBREGA, 2008). O conjunto de dados fornecidos pelo projeto integram dados históricos, que auxiliam no monitoramento da precipitação (GUARIENTI, 2015).

6. MATERIAL E MÉTODOS

6.1. Localização e Descrição da Área de Estudo

O presente estudo teve como sítio experimental a Reserva Biológica do Jaru (REBIO Jaru), uma unidade de conservação de proteção integral, sob responsabilidade do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), localizada a leste do Estado de Rondônia, a aproximadamente 80 km do município de Ji-Paraná, entre as latitudes 09°19'52" e 10°11'46"S e longitudes 61°35'40" e 61°52'48"O (FIGURA 3).

A REBIO Jaru é definida pelo rio Ji-Paraná ou Machado no limite oeste, pelo igarapé Azul no limite sul, fazendo divisa com a Terra Indígena Igarapé Lourdes e pelo igarapé Buenos Aires ao norte. O rio Tarumã e seus afluentes cortam o interior da reserva, no sentido norte-sul. Atualmente a área possui 353.160,00 hectares.

A classificação da vegetação é floresta ombrófila aberta (CULF *et al.*, 1996; ROTTENBERGER *et al.*, 2004), sendo comumente denominada também de floresta tropical sazonalmente seca ou semidecidual (ROTTENBERGER *et al.*, 2004; ROCHA *et al.*, 2009; COSTA *et al.*, 2010). Apresenta cobertura vegetal com características de terra-firme, com altura média do dossel de aproximadamente 35 m.

O solo da reserva é classificado como podzólico vermelho-amarelo (HODNETT *et al.*, 1996). Segundo a classificação climática de Köppen, o clima predominantemente na região e entorno é do tipo Aw – Clima Tropical Chuvoso - com média climatológica da temperatura do ar durante o mês mais frio superior a 18°C (megatérmico) e um período seco bem definido durante a estação de estiagem, quando ocorre na região um moderado déficit hídrico com índices pluviométricos inferiores a 50 mm mês⁻¹ (SILVA, 2010).

De acordo com medidas no local, a temperatura média anual é 25°C, a umidade relativa média é 82% e o índice de precipitação médio anual é superior a 2000 mm (WEBLER *et al.*, 2007), sendo o período anual dividido sazonalmente em quatro estações, uma vez que o clima da região Amazônica possui como característica intrínseca, além das elevadas temperaturas, a sazonalidade.

Esse intervalo entre as estações é de fundamental importância à manutenção da umidade do solo (FITZJARRALD *et al.*, 2008), garantindo características peculiares ao funcionamento do ecossistema em estudo. Tal fato está diretamente relacionado à distribuição das chuvas com sazonalidade bem definida durante o ano.

De acordo com estudos anteriores, a precipitação média nos anos de 1999 a 2010 na REBIO Jaru foi 2001 mm ano⁻¹ (GOMES, 2011) e 2192,7 mm ano⁻¹ durante o período de 1999 a 2006 (WEBLER *et al.*, 2007).

A reserva conta com uma torre meteorológica (Figura 3) cujas coordenadas são 10°11'11,4"S e 61°52'29,9"O, com altura aproximada de 61,5 m, pertencente à rede de torres do Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (Programa LBA), e em funcionamento desde janeiro de 2004.

A torre dista aproximadamente 1240 m da margem do rio Machado ou Ji-Paraná, rio que nomeia a bacia hidrográfica em que a área em estudo está inserida. Nesta área a altitude é 120 m.

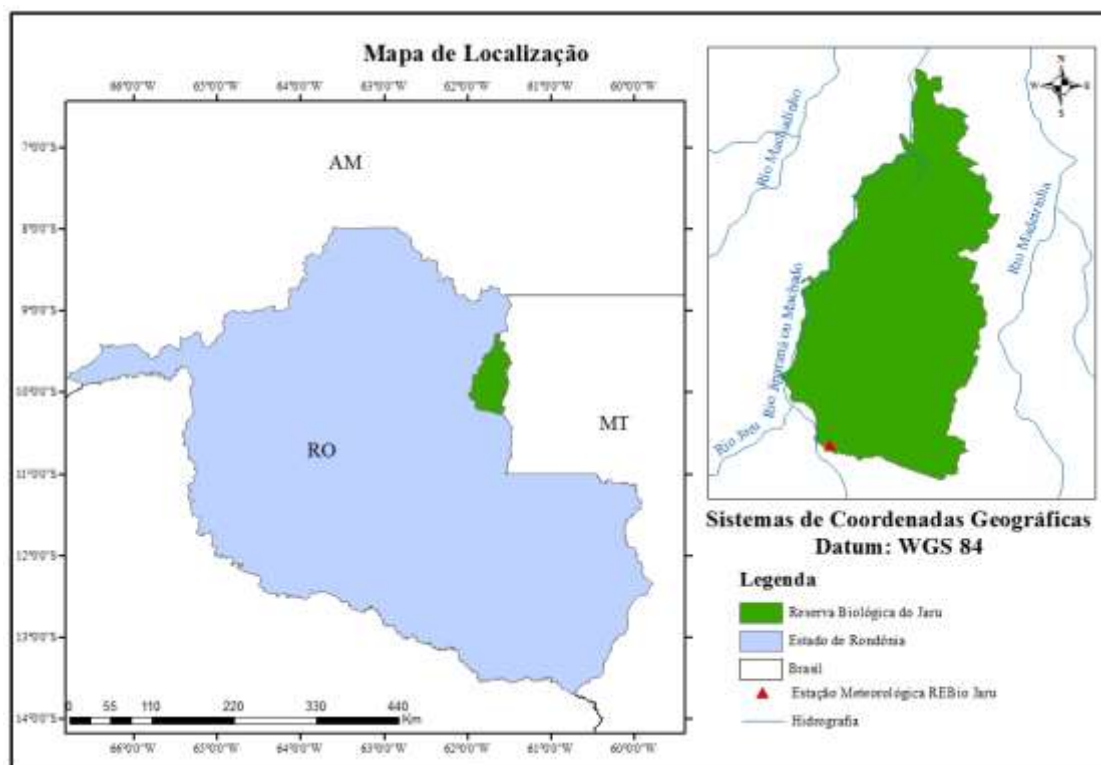


FIGURA 3 – Localização da Reserva Biológica do Jaru e Estação Meteorológica no Estado de Rondônia, Brasil.

6.2. Instrumento Utilizado na Medição da Variável Precipitação

Na torre meteorológica foram instalados sensores de medidas de variáveis climatológicas, para o presente estudo o sensor de interesse foi o de medição da precipitação pluviométrica. A precipitação foi medida por um pluviômetro (ARG-100, *Campbell Scientific*, Barcelona, Espanha) conectado a um sistema de aquisição de dados (Datalogger CR10X, *Campbell Scientific Instrument*, Utah, USA) programado para fazer uma leitura das medidas a cada 30 s e depois armazenar uma média a cada 10, 30 e 50 min. O pluviômetro estava instalado a 62 m de altura do solo.

6.3. Descrição dos Dados Observados de Precipitação

Foram utilizados dados de superfície da estação meteorológica da REBIO Jaru nas coordenadas 10°11'11,4"S e 61°52'29,9"O no período entre janeiro de 2004 a dezembro de 2012, disponibilizados pela rede de torres do Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (Programa LBA). Os maiores índices ocorrem no período chuvoso de novembro a abril e os menores no período seco de maio a outubro.

Os dados de superfície foram medidos de forma diferenciada, nos anos de 2004 e 2005 eles foram registrados a cada 10 min e a partir de 2006 até 2012 eles foram registrados a cada 30 min.

6.4. Descrição da ppt Estimada pelo Produto TRMM

Os dados estimados foram oriundos do satélite TRMM, disponibilizados gratuitamente no site da NASA³, os produtos TRMM3B42V7 "Daily" e o TRMM 3B43V7 "Monthly". O primeiro produto são estimativas de precipitação acumulada diária, derivado do produto 3B42V7 RT- 3"Hourly", que fornece estimativas de precipitação nas regiões TRMM que têm viés (quase zero) da estimativa de precipitação " TRMM Combined Instrument " e a densa amostragem dos dados de microondas de alta qualidade com preenchimento usando estimativas de microondas infravermelhas calibrado. A resolução temporal é de 3 horas e sua formulação estrutural é oriunda de vários arquivos metadados e matrizes (HUFFMAN *et al.*, 1995).

As estimativas da precipitação por satélite, pelos algoritmos são obtidas a partir da Técnica "TRMM Multisatellite Precipitation Analysis" (TMPA)⁴. Tal técnica consiste de uma combinação de estimativas de precipitação do canal de microondas provenientes do "TRMM Microwave Imager" (TMI), "Special Sensor Microwave Imager" (SSM/I), "Advanced Microwave Scanning Radiometer" (AMSR-E), "Advanced Microwave Sounding Radiometer" (AMSU-B), canal infravermelho (IR) através do "Goes Precipitation Index" (GPI) e com informações

3. Disponível em: <www.nasa.gov/> Acesso em 18 de agosto de 2016.

4. Disponíveis em: <<http://trmm.gsfc.nasa.gov/3b42.html>> e <<http://trmm.gsfc.nasa.gov/3b43.html>> Acesso em 18 de agosto de 2016.

de precipitação mensais de superfícies, provenientes do "Global Precipitation Climatology Center" (GPCC) (HUFFMAN *et al.*, 2007).

O produto 3B42RT V7 não pode ser confundido com o 3B42 V7, pois ele disponibiliza os dados em tempo real, o produto 3B42 V7 disponibiliza os dados de precipitação estimada diária, onde seu processamento é projetado para maximizar a qualidade dos dados, então 3B42 V7 é altamente recomendável para qualquer trabalho de pesquisa não especificamente orientado para aplicações em tempo real (HUFFMAN & BOLVIN 2014).

O segundo produto fornece uma estimativa de precipitação mais satisfatória numa banda de latitude cobrindo 50° N a 50° S, uma expansão da região TRMM, de todas as fontes de dados globais, nomeadamente dados de microondas de alta qualidade, dados de infravermelho e análises de indicadores de chuva. A resolução temporal é de um mês.

Ambos produtos possuem uma resolução espacial 0,25°x0,25° para latitudes 50°N e 50°S e longitudes 180°O e 180°E, com dados a partir de 1998 até o presente e foram lançados em 2012. De acordo com o desenvolvedor do algoritmo, várias mudanças importantes estão presentes nos produtos versão 7 TMPA (HUFFMAN *et al.*, 2015).

Os dados de precipitação do projeto TRMM utilizados no presente trabalho estão em formato binário NetCDF dispostos em forma de matriz, portanto para executar buscas temporais com maior facilidade foi realizado o tratamento dos dados e armazenados no banco de dados. A figura 4 ilustra a grade do TRMM que sobrepõe a REBIO Jaru.

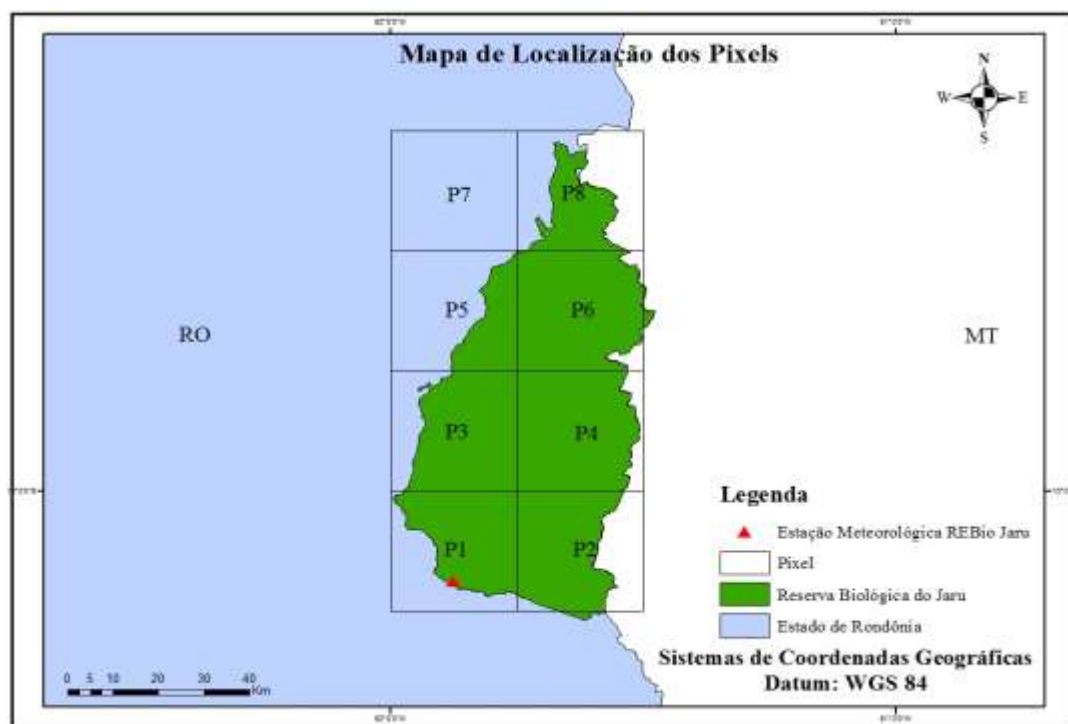


FIGURA 4 – Grade de pixel do TRMM sobre a REBIO Jaru nomeados P1 ... P8, Localização da estação meteorológica (triângulo fechado) e área de estudo.

6.5. Tratamento dos Dados Observados em campo e dos Dados Estimados pelo TRMM.

Para o desenvolvimento deste estudo a precipitação pluviométrica foi acumulada em dados diários e mensais. No entanto, os dados observados apresentaram falhas em quase todos os anos, o único ano em que os dados foram medidos sem falhas foi o ano 2008 (tabela 1).

Assim, para que o dia ou o mês fosse considerado como dado satisfatório para as análises, adotou-se dois critérios no tratamento dos dados. O primeiro foi selecionar apenas os dias em que não houvesse nenhuma falha de ppt nos horários medidos para posteriormente acumular os valores e totalizar a ppt diária, o segundo critério foi considerar apenas os meses em que não houvessem dias com falhas para que a precipitação mensal fosse acumulada.

TABELA 1- Número de Dias e de Meses com ppt acumulada da Estação Meteorológica da REBIO Jaru com suas Porcentagens de Falhas nos Anos de 2004 a 2012.

Ano	Nº de Dias com ppt	(%) Falha Dia	Nº de Meses com ppt	(%) Falha Mês
2004	270	26,23	4	58,33
2005	324	11,23	7	41,67
2006	346	5,20	7	41,67
2007	214	41,37	1	91,67
2008	366	0	12	0
2009	336	7,94	8	33,33
2010	302	17,26	4	66,67
2011	213	41,64	6	50,00
2012	138	62,29	4	66,67
Total	2509		53	

Quanto a apresentação desses dados, houve a necessidade de diferenciá-los, pois os anos que apresentaram falhas nos meses também tiveram meses em que a precipitação foi igual a zero confundindo assim tais meses. Para que não houvesse semelhança entre dados em que não se tinha registros e os dados em que a precipitação fosse zero, diferenciou-se os meses sem registros com asterisco tanto nos gráficos de dados diários quanto nos gráficos de dados de precipitação acumulada mensal.

Em decorrência de muito meses com falha de registro ao longo dos anos, houve dificuldade na identificação do ciclo anual de precipitação de cada ano, assim tal fenômeno pode ser analisados com os dados de precipitação estimada pelo satélite TRMM, em que os valores não se diferem muito do que foi observado em superfície.

Quanto aos dados do TRMM utilizou-se ferramentas computacionais, que auxiliaram na extração e sintetização espaço-temporal dos dados diários e mensais de precipitação provenientes dos produtos 3B42 V7 e 3B43 V7 do projeto TRMM.

O *download* dos dados dos produtos com resolução temporal diária e mensal e resolução espacial de 0,25°, em formato NetCDF segundo Guarienti (2015), por conta do formato NetCDF em que os dados são disponibilizados, sua manipulação utilizando banco de dados, planilhas eletrônicas, programas estatísticos e Sistemas de Informação Geográfica (SIG) torna-se uma atividade complicada.

Assim foi feita a conversão dos dados de precipitação disponibilizados em arquivos NetCDF em forma de matriz em um arquivo CSV⁵, utilizando uma rotina em R Studio (TEAM, 2012). Transformando os dados matriciais em uma tabela que contém os atributos data, latitude, longitude e a precipitação em milímetros.

6.6. Validação do Produto TRMM

Os resultados obtidos foram analisados de acordo com alguns parâmetros estatísticos afim de avaliar a qualidade das estimativas obtidas pelo pixel que sobrepõe a estação meteorológica e verificar se as estimativas detectam corretamente o regime de precipitação de acordo com o que a estação meteorológica registra no período de estudo.

As validações dos produtos foram feitas de maneira individual, primeiramente aplicou-se os índices apenas para os dados de precipitação diária e nessa etapa os dados de precipitação estimada foram selecionados de maneira a coincidir com os dados observados, ou seja, foram utilizados os dados estimados somente nos dias em que houve registros de precipitação observada.

A segunda etapa foi desenvolvida semelhante a primeira com a ressalva que agora os dados foram de precipitação mensal, ou seja, foram selecionados os dados de precipitação estimada, apenas os meses que coincidissem com os meses em que houveram registros de precipitação observada.

Ao analisar a ppt na reserva, foram necessários oito pixels no total, e apenas um pixel sobrepôs à região em que a estação meteorológica encontra-se instalada, sendo esse o pixel utilizado para validação dos dados, considerado o pixel referência para nomeação de cada um deles. Assim, para melhor entendimento o referido pixel foi o pixel 1 e descolando-se na imagem no sentido Oeste-Leste e Sul-Norte tem-se os pixels seguintes.

Para delineamento das análises foi feito o teste de normalidade de Shapiro-Wilk com grau de significância de 95%. Segundo o teste os dados não apresentaram uma distribuição normal onde o p-valor = 0,001. Desta forma alguns índices

5. *Comma-Separated Values* (CSV) é um formato de arquivo que armazena dados tabelados, separados por um delimitador, geralmente vírgulas e a quebra de linha para separar os valores.

específicos foram utilizados: coeficiente de correlação de Spearman (ρ) (equação 1), que descreve a relação entre duas variáveis, sem fazer suposições sobre a distribuição de frequências das variáveis, a raiz quadrada do erro médio quadrático normalizado pela média dos valores observados ou NRMSE (equação 2) foi utilizado para avaliar a magnitude dos erros da estimativa de satélite, calculada a partir do erro médio quadrático (RMSE) (equação 3).

O algoritmo é confiável em estimar a precipitação quando o NRMSE é menor que 50% (ADEYEWA & NAKAMURA, 2003). O RMSE, indica o quanto de erro os dados que estão sendo estimados pelo satélite apresentam em relação aos dados observados, e o erro relativo (Errv(%)) equação (4) que nesse caso indica se o TRMM superestima ou subestima a precipitação.

$$\rho \equiv 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{(n^3 - n)} \quad \text{Equação 1}$$

Em que, $d_i = rg(x_i) - rg(y_i)$, que é a diferença entre cada posto de valor correspondentes de x e y, sendo que *rg* significa que as variáveis x e y foram ranqueadas e *n* é o número dos pares dos valores.

$$NRMSE = \frac{RMSE}{\bar{y}} \quad \text{Equação 2}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2} \quad \text{Equação 3}$$

$$Errv(\%) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)}{\sum_{i=1}^n y_i} \quad \text{Equação 4}$$

Em que, x é a precipitação estimada pelo TRMM; y é a precipitação observada na estação meteorológica; $\bar{y}$ é a média da precipitação observada nos postos pluviométricos.

Para verificação quanto à eficácia do produto do satélite em registrar tanto os dias quanto os meses em que foram observados precipitação foram selecionados três índices categóricos.

A probabilidade de detecção (POD) (equação 5), que indica a razão entre o número de meses com precipitação detectados pelo satélite e o número de meses com precipitações observadas a partir dos postos pluviométricos. Se o satélite detectar corretamente os dias e meses em que houve precipitação observada pelo pluviômetro o resultado será igual a 1.

Outro índice é o alarme falso (FAR) (equação 6), que mensura a fração de precipitação que é falsamente detectada pelo satélite, quando o resultado é igual a 0 indica que todas as precipitações detectadas pelo satélite foram observadas pelos pluviômetros, e quando o resultado é igual a 1 as detecções são falsas, ou seja, nos períodos em que o satélite detectou precipitação não houve registro no pluviométrico.

E por fim, o índice de sucesso (CSI) (equação 7), indica a fração total de eventos que são corretamente detectados, seu pressuposto é que se CSI for igual a 1, significa que a série de dados que foram detectadas pelo satélite são as mesmas observadas pelos pluviômetros e ao mesmo tempo não produzir nenhum alarme falso.

$$POD = \frac{H}{H + F} \quad \text{Equação 5}$$

$$FAR = \frac{F}{H + F} \quad \text{Equação 6}$$

$$CSI = \frac{H}{H + M + F} \quad \text{Equação 7}$$

Em que; H é a precipitação pluviométrica observada pela estação meteorológica e detectada pelo satélite TRMM; M é a precipitação observada pela estação meteorológica, mas não detectada pelo satélite; F é a precipitação detectada pelo satélite, mas não observada pela estação meteorológica.

A figura 5 representa o delineamento da metodologia, desde a aquisição dos dados, seus processamentos até as análises realizadas.

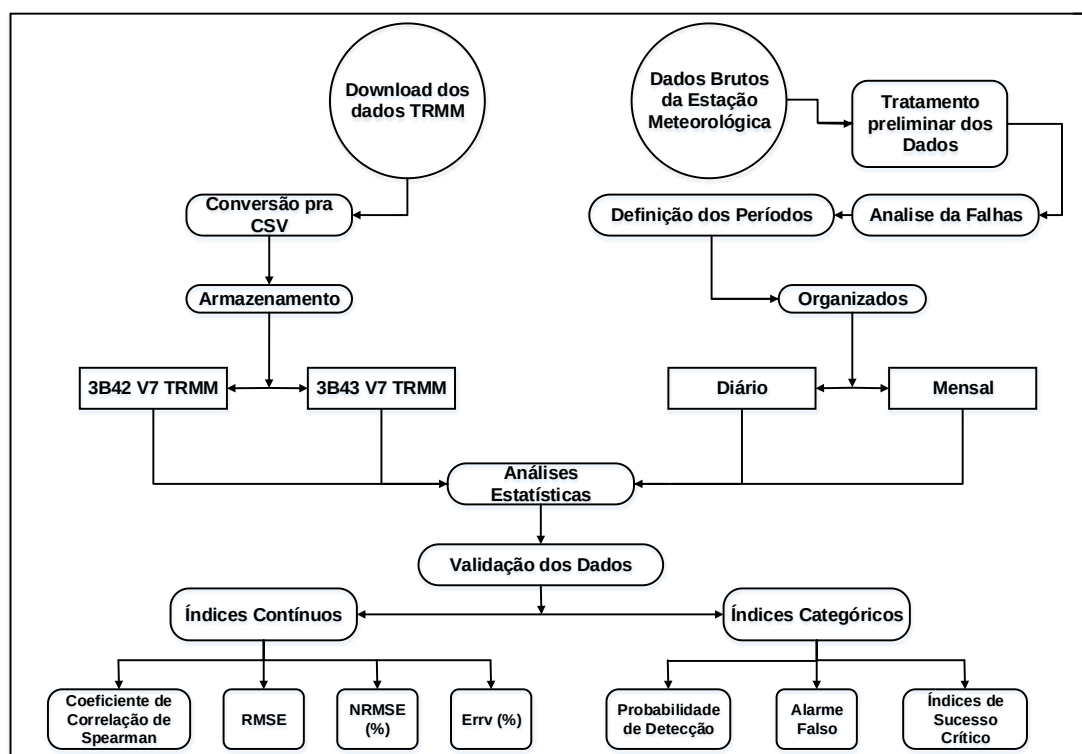


FIGURA 5 - Fluxograma da metodologia utilizada para validação dos dados do TRMM.

7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados foram divididos em três etapas:

1º Etapa: consiste em descrever e discutir sobre os dados observados em campo (diários e mensais), assim como a descrição e discussão dos dados estimados pelo TRMM, porém foram considerados apenas o produto 3B43 (dados mensais) devido ao número de falha dos dados mensais observados.

2º Etapa: foram feitas as análises estatísticas, primeiramente com a série histórica completa do produto 3B42 com ppt observada e posteriormente agrupando os dados de ppt por período chuvoso e período seco.

3º Etapa: foram feitas as análises estatísticas do produto 3B43 com a série histórica completa e posteriormente agrupando os dados de ppt por período chuvoso e período seco.

7.1. Caracterização da ppt Observada em Superfície Diária e Mensal Sobre a REBIO Jaru

A figura 6 apresenta a precipitação acumulada diária na REBIO Jaru. Nota-se que os maiores índices pluviométricos ocorreram no período que vai de novembro a abril e os menores índices de maio a outubro, em que alguns dias não houve ppt. Considerando como referência o ano de 2008, pois foi o único ano com registro de ppt sem falhas, o valor máximo de ppt foi 60 mm dia^{-1} .

Considerando os demais anos que apresentaram falhas de dados de ppt, em alguns anos os índices de ppt diária ultrapassaram o valor máximo em 2008; por exemplo, 2005 houve ppt superior a 120 mm dia^{-1} considerado como um evento extremo, associado a configuração de um episódio de uma ZCAS (CPTEC, 2017a). Esses eventos também ocorreram em fevereiro de 2009, quando houve ppt com $115,2 \text{ mm dia}^{-1}$, em fevereiro e março de 2010 com 96 mm dia^{-1} e $83,6 \text{ mm dia}^{-1}$, respectivamente e em março de 2011 com $115,2 \text{ mm dia}^{-1}$.

Tais fenômenos são considerados eventos extremos devido à alta intensidade em baixa duração não ocorrendo com frequência, mas quando ocorrem causam bastante prejuízos para a região afetada tais como inundações bruscas em áreas urbanas ou desastres naturais em áreas não antropizadas (MARENGO, 2009).

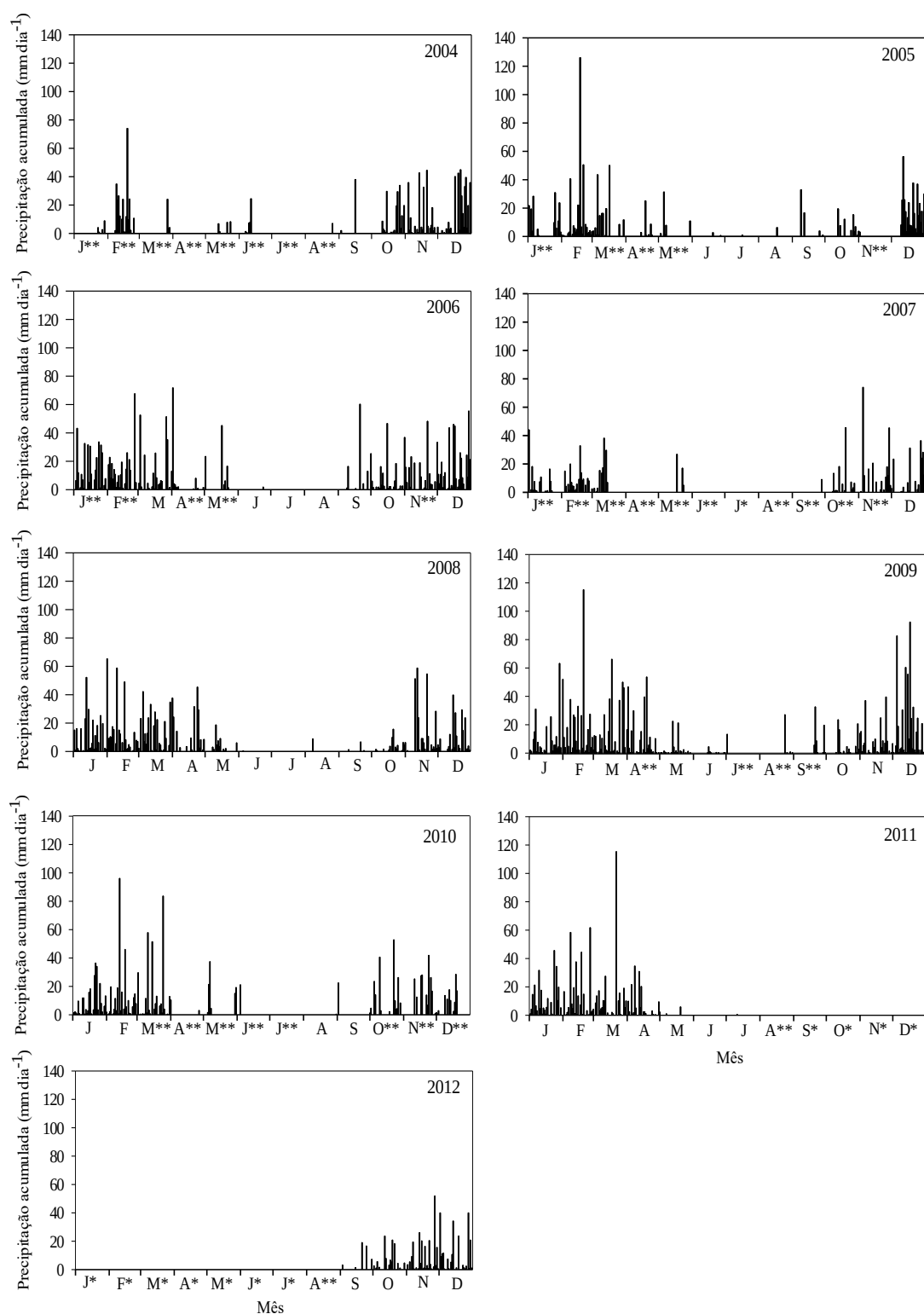


FIGURA 6- Distribuição da precipitação diária acumulada sobre a Reserva Biológica do Jaru, anos de 2004 a 2012. (*) Mês inteiro sem dados diários. (**) Mês com falha de dados diários.

Conforme a figura 7 o evento ocorrido em fevereiro de 2009 está associado a dois sistemas a AB e um VCANs (figura 7a). Em fevereiro de 2010 o grande volume de ppt foi consequência da atuação das ZCAS (figura 7b) e em março do mesmo ano foi a AB e um VCANs que favoreceu a ocorrência de grande volume de ppt (figura 7c). Em março de 2011 os altos índices de ppt estão associados a atuação da circulação anticiclônica da AB (figura 7d). Esses sistemas podem ser observados nas cartas de análises sinóticas (Anexos), na alta troposfera (CPTEC, 2017b).

O regime pluviométrico na Amazônia é regulado conforme a atuação dos sistemas dinâmicos de microescala, mesoescala e de escala sinótica, e nesse caso a convecção local, devida ao aquecimento diurno da superfície, contribui com a formação de nuvens de verão resultando em grandes volumes pluviométricos diários no período chuvoso e contribui com uma intensa variabilidade espaço-temporal no ciclo hidrológico na Amazônia (CORREIA *et al.*, 2007).

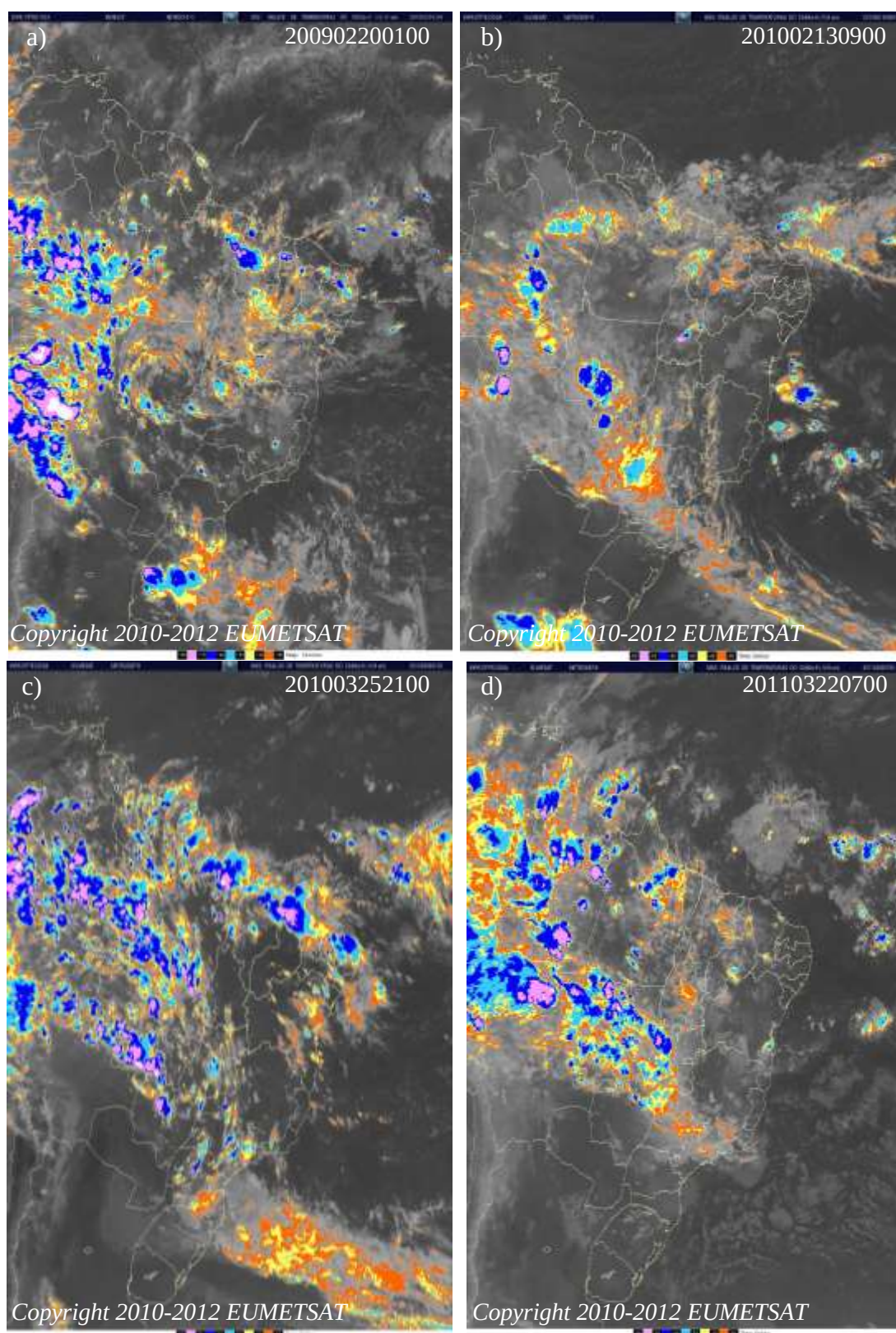


FIGURA 7 - Imagem realçada do canal infravermelho do satélite METEOSAT - 9 para 01Z do dia 20 de janeiro de 2009 (a), 09Z do dia 13 de fevereiro de 2010 (b), 21Z do dia 25 de março de 2010 (c) e 07Z do dia 22 de março de 2011(d).

Fonte: (CPTEC, 2017c).

Considerando a ppt acumulada mensal sobre a reserva biológica do Jarú, houve um ciclo sazonal definido, com maiores índices de no período chuvoso (novembro a abril) e menores no período seco (maio a outubro) (Figura 8). Considerando o ano 2008 no período chuvoso os valores máximos de ppt foi 332,4 mm mês⁻¹, nos outros anos em que se tem registros de precipitação observada os valores máximos no período chuvoso foram aproximadamente 500 mm mês⁻¹. No período seco os valores máximos de ppt foram inferiores a 50 mm mês⁻¹.

Alves *et al.* (1999) e Webler *et al.* (2007) ao analisarem a ppt de 1992 a 1993 e 1999 a 2006 respectivamente, encontraram valores semelhantes ao analisarem a ppt no mesmo sítio experimental desse estudo, onde os maiores índices de chuva foram de outubro a abril ultrapassando 150 mm mês⁻¹ e no período seco os índices pluviométricos não ultrapassaram 50 mm mês⁻¹, ou seja, as sazonalidades apresentadas em tais estudos corroboram o presente estudo.

No período com maiores índices pluviométricos existe a atuação das massas de ar, ou seja, ocorre a intensificação e expansão da Massa de Ar Continental sobre a América do Sul e oscilação para sul da Zona de Convergência Intertropical e a atuação da Alta da Bolívia, responsáveis pela produção de chuvas na Amazônia. Já no trimestre mais seco ocorre a atuação da Alta Subtropical do Atlântico Sul, nessa época ocorre forte subsidência atmosférica, decorrente dos anticiclones formados sobre o continente, inibindo a formação de nuvens chuvas na região central do Brasil (FRANCA 2015).

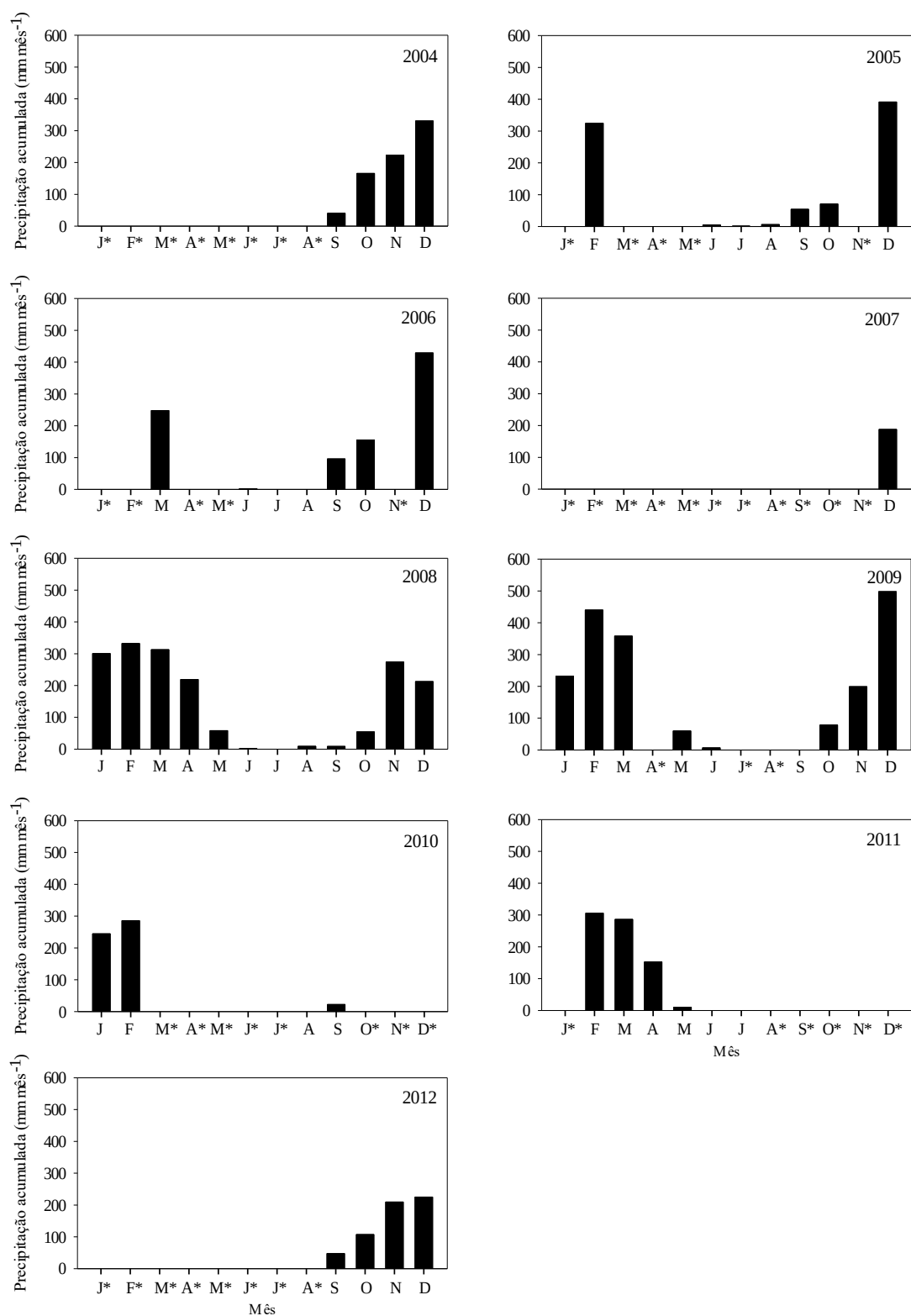


FIGURA 8- Distribuição da precipitação mensal acumulada da Reserva Biológica do Jarú, anos de 2004 a 2012. (*) Mês desconsiderado por não ter dados ou por ser um mês com falha.

7.2. Caracterização da ppt Mensal Estimada Pelo Produto 3B43 V7 TRMM Sobre a REBIO Jaru

A figura 9 apresenta o *box-plot* da precipitação mensal dos pixels 1 a 8 estimado pelo produto 3B43 de 2004 a 2012. Considerando a ppt estimada mensal, os maiores índices foram no período chuvoso de novembro a abril, com valores entre 250 e 573 mm mês⁻¹ e menores índices no período seco de maio a outubro, com valores máximos inferior a 77 mm mês⁻¹, sendo que para todos os pixels a precipitação foi maior que 80% no período chuvoso e inferior a 19% no período seco (tabela 2).

TABELA 2 - Porcentagem da precipitação estimada pelo produto 3B43 V7, para o período chuvoso e período seco dos pixels 1 a 8 de 2004 a 2012.

Pixel	(%) ppt Período chuvoso	(%) ppt Período seco
1	83,77	16,33
2	82,93	17,07
3	84,11	15,89
4	83,20	16,80
5	82,45	17,55
6	82,66	17,34
7	81,38	18,62
8	81,42	18,58

Na região Amazônica o regime pluviométrico varia de ano para ano principalmente no período chuvoso por se tratar de grandes volumes de chuva, já no período seco o regime tende a ser mais homogêneo.

No pixel 1 o mês de março apresentou amplitude de precipitação com valores de 179 a 573mm mês⁻¹ entre 2004 a 2012. Observa-se que esse comportamento de maior amplitude ocorre para todos os pixels sempre no primeiro trimestre do ano. Com relação ao trimestre mais seco (junho a agosto) variação foi mínima em todos os pixels, pois os valores de precipitação são inferiores a 70 mm mês⁻¹, muito abaixo da média interanual (figura 9).

O período considerado de transição entre a estação cheia e a estação seca (abril e março) a maior oscilação foi semelhante para os pixels 5, 6, 7 e 8. Esse comportamento demonstrou que na região norte da reserva a distribuição interanual

da precipitação no período de transição fim da estação chuvosa início da seca há uma influência maior dos meses chuvosos sobre essa transição.

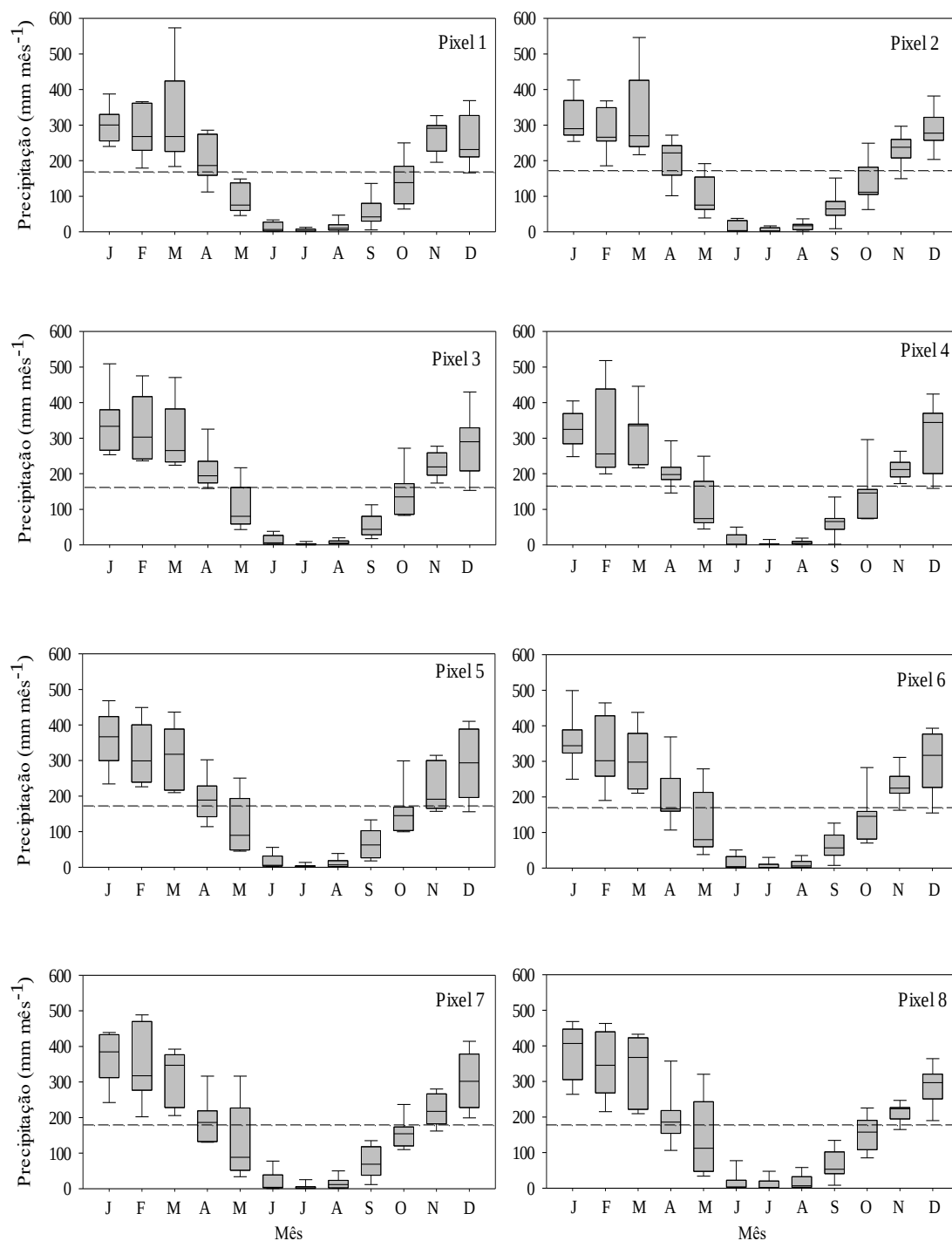


FIGURA 9 - Box-Plot da precipitação mensal dos pixels 1 a 8 pelo produto 3B43 V7 de 2004 a 2012. A linha central do box-plot representa a média do conjunto

de dados, a caixa representa o intervalo interquartil que contém 50% dos dados, e os extremos representam valores máximo e mínimo. A linha tracejada representa a média interanual dos pixels.

Em comparação a região mais ao sul da reserva essa influência da precipitação foi maior no fim da estação seca para o início da estação chuvosa. Já o período considerado transição da estação seca para chuvosa (setembro e outubro) a variação foi maior nos pixels 1,2 e 3, porém grande parte dos dados de ppt nesse período ficaram abaixo da média interanual, indicando que os meses mais secos tiveram mais influência na transição entre a estação seca e chuvosa (Figura 10).

Obregon & Nobre (2006), ao analisarem a variabilidade interanual na Amazônia, constataram que em regiões que apresentam o menor número de dias sem chuva, há relativamente maior variabilidade interanual que nas regiões com maiores dias de estiagem.

Franca (2015), ao analisar a variabilidade interanual no Estado de Rondônia não encontrou nenhuma tendência de aumento ou redução das chuvas ao longo do período compreendido de 1981 a 2011, porém o estado exhibe heterogeneidade na distribuição espacial das chuvas, suas análises permitiram concluir que o extremo norte do Estado ocorre maiores concentrações de chuva e quanto mais ao sul os volumes de precipitação são menores.

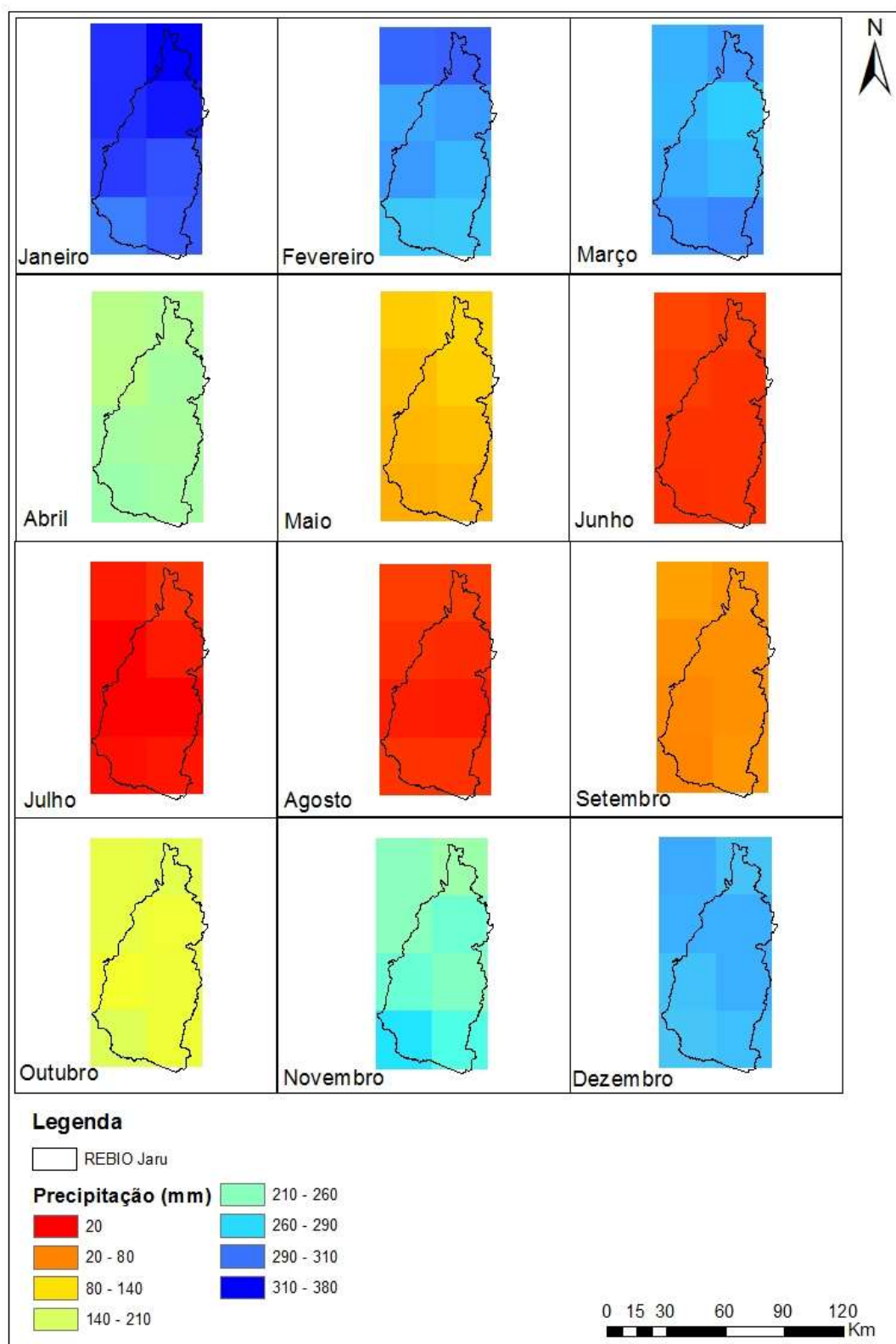


FIGURA 10 - Precipitação média mensal do produto 3B43 V7 TRMM nos anos 2004 a 2012 sobre a REBIO Jaru.

7.3. Validação da ppt Diária Estimada Pelo Produto 3B42 V7 TRMM

O índice de coeficiente de correlação de Spearman realizado entre os dados de ppt estimada pelo produto TRMM e os dados ppt observada em superfície foi 0,54 a 0,69 (tabela 3), constatando baixa correlação entre os dados, ou seja, a intensidade de associação entre os postos da variável estimada e medida foi relativamente baixa. A partir da dispersão dos dados, nota-se discrepância entre os dados estimados com relação aos dados observados (figura 11), podendo ser confirmado tanto pelos índices estatísticos de variáveis contínuas quanto pelos índices categóricos.

Soares *et al.* (2016) explicam que para as melhores correlações entre os dados de chuvas do satélite e os valores observados em pluviômetros, o período temporal de acumulação de chuva deve ser maior.

A raiz quadrada do erro médio quadrático normalizado demonstrou que o nível de confiabilidade do satélite em estimar a precipitação diária é muito baixo para os períodos de análise, não detectando corretamente a precipitação e isso pode ser observado nos valores de NRMSE que ficaram em média 256,59%. Estes resultados são semelhantes aos de Viana *et al.* (2008) para a região Sul do Brasil, inferindo que os baixos valores em magnitude de precipitação diária fazem com que tais valores sejam relativamente alto.

TABELA 3 - Índices de Correlação de Spearman (ρ), Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático (RMSE), Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático Normalizado Pela Média dos Valores Observados (NRMSE), Erro Relativo (Errv), Probabilidade de Detecção (POD), Falso Alarme (FAR) E Índice de Sucesso (CSI) na Validação Por Pixel do Produto 3B42 V7 TRMM. Os asteriscos indicam o nível de significância dos coeficientes: p-valor $\leq 0,05$ (*); (**) p-valor $\leq 0,01$; (***) p-valor $\leq 0,001$.

Período	ρ	RMSE	NRMSE (%)	Errv (%)	POD	FAR	CSI
Anual	0,69***	11,23	223,35	9,2	0,8	0,23	0,66
Chuvoso	0,54***	15,08	171,67	5,56	0,9	0,17	0,74
Seco	0,58***	5,48	374,74	30,02	0,65	0,35	0,48

O satélite não apresentou um bom desempenho em detectar a quantidade de dias com chuvas observados em superfície, da mesma maneira que detectou precipitação, porém sem ocorrência em superfície. Nesse caso constatou-se que o satélite foi ineficiente tanto em detectar precipitações observadas, ou seja, ocorreu precipitação em superfície, porém o satélite não detectou (variações nos valores dos pontos do eixo horizontal e valor 0 no eixo vertical), quanto nos erros de ocorrência

de precipitação estimada, mas que na verdade não foi observada pelo pluviômetro (variações nos valores dos pontos do eixo vertical e valor igual a 0 no eixo horizontal).

Apesar do satélite não ter apresentado um bom desempenho em detectar a precipitação condizente com o que foi observado em superfície, o RMSE dos dados não foram relativamente alto, entre 5,48 mm e 15,08 mm o erro do satélite em estimar a precipitação. Nesse caso o período chuvoso teve maior valor de RMSE, pois é o período concentrado com maiores volumes de chuva.

Anderson *et al.* (2013), constataram que maiores diferenças entre as estimativas do satélite e das estações de campo foram encontradas na região central da Amazônia, extremo oeste e sul, sendo que em pontos muito próximos são encontrados valores da raiz do erro médio quadrático (REMQ) baixos.

Já o erro relativo demonstrou que o satélite não possui tendência em subestimar a precipitação, pois os valores encontrados foram positivos, assim a tendência do satélite é de superestimar os dados diários em 9,2% para os nove anos de análise para o período anual, porém no período seco a superestimativa do satélite foi maior 30%. Estes resultados corroboram com Collischonn *et al.* (2007), que encontraram viés 8% positivo na bacia do Paraguai no estado de Mato Grosso e de Viana *et al.* (2008) que encontraram viés positivo em torno de 7% na região Sul do Brasil, em que afirmam que o produto 3B42 tende a superestimar a precipitação.

Quanto aos índices categóricos (Tabela 3), o satélite apresentou bons resultados em detectar o número de dias em que houve precipitação estimada e que também foram observados em superfície apenas para o período anual e o período chuvoso, pois o índice POD apresentou valores satisfatórios 0,8 e 0,9 de detecção, já para o período seco o satélite não foi eficiente em detectar corretamente a mesma quantidade de eventos de chuva estimada e que foram observadas em superfície.

De acordo com o alarme falso o satélite teve um bom desempenho quanto a não detectar falsamente a precipitação para o período anual e período chuvoso, pois os índices apresentaram valores baixos, o satélite não estimou precipitação que não foi observada em superfície. Com relação ao período seco o índice de alarme falso foi maior indicando que nesse período o satélite estimou precipitação, porém sem ocorrência em superfície.

Esse fato pode estar relacionado a quantidade e intensidade de precipitação que ocorre nessa época que são mínimas, e nesse caso os eventos de ppt estão associados aos processos convectivos que podem se desenvolver em questão de horas. Ebert *et al.* (2007) demonstraram que os produtos TRMM integrados a partir da intensidade de precipitação instantânea exibiam grandes incertezas porque o satélite não conseguia medir as chuvas convectivas rápidas com a mesma precisão dos métodos terrestres.

Com relação ao CSI o satélite não possui ótima capacidade de detectar corretamente os dias com chuvas pois nesse caso os valores para tal índices são considerados insatisfatórios, no entanto observa-se que no período chuvoso o índice melhora, indicando períodos com maiores volumes de chuva o satélite detecta melhor as ocorrências de ppt. Nesse caso o ideal é que quanto mais próximo de 1, os dias seriam detectados corretamente e ao mesmo tempo sem alarme falso, o que ocorreu apenas para período chuvoso.

Apesar do desempenho do satélite em estimar a precipitação diária pelo produto 3B42 não ser ruim, como mostra os índices RMSE e Errv que foram baixos, com exceção do período seco, não é viável a utilização de tal produto, pois de acordo com os valores de NRSME o nível de confiabilidade do satélite em detectar a precipitação é considerado insatisfatório confirmado pelos índices categóricos.

Mesmo que o satélite não detecta falsamente a precipitação ainda assim ele não detecta os dias corretos com precipitação que também é observada em superfície pelo pluviômetro. Assim para um estudo em que o objetivo fosse identificar eventos diários extremos é provável que tal identificação não seja possível utilizando o produto 3B42.

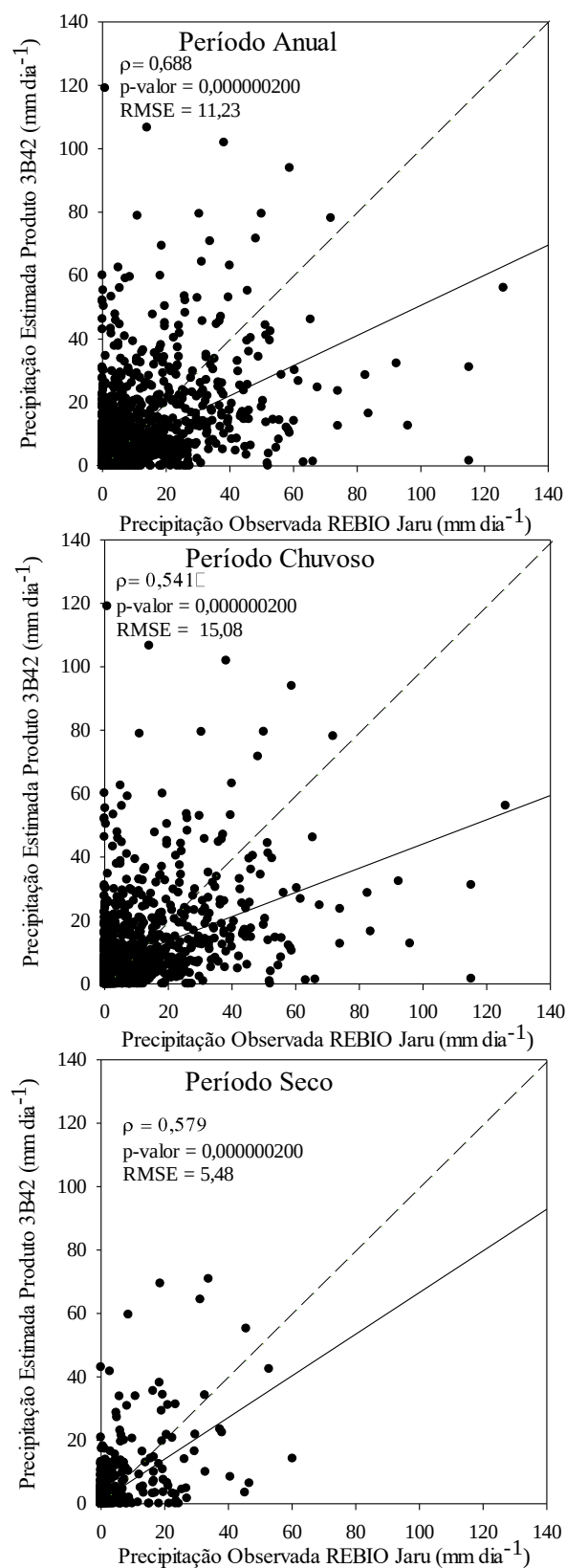


FIGURA 11 - Regressão entre os dados estimados pelo produto 3B42 V7 TRMM e os dados diários observados na estação meteorológica na REBIO Jaru no período anual, período chuvoso e período seco nos anos 2004 a 2012.

7.4. Validação da ppt Mensal Estimada Pelo Produto 3B43V7 TRMM

Analizando o produto 3B43 o coeficiente de correlação foi ótimo nos três períodos analisados (tabela 4), variando de 0,72 a 0,91, indicando uma significativa correlação entre os dados, porém a melhor correlação foi com o período anual. A partir da dispersão dos dados, nota-se que os dados estimados com relação aos dados observados, se mantiveram próximos a linha de tendência (figura 12).

Soares *et al.* (2016) afirmam que quanto maiores os períodos temporais de acumulação, melhores são as correlações entre os dados de chuva do satélite e os valores observados em pluviômetros, pois um maior período de tempo permite que erros temporais nas estimativas de chuva ao longo desse período, se compensem de forma que o total acumulado seja mais próximo do observado.

Nastos *et al.* (2016) avaliaram a estimativa de precipitação pelo produto 3B43 TRMM sobre a Grécia e constataram maiores correlações (0,9) quando validado o produto onde e quando pelo menos um pluviômetro coincidiu com um pixel da grade, melhorando o desempenho do satélite em estimar a precipitação sobre a maioria do País.

TABELA 4 - Índices de Correlação Spearman (ρ), Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático (RMSE), Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático Normalizado Pela Média dos Valores Observados (NRMSE), Erro Relativo (Errv), Probabilidade de Detecção (POD), Falso Alarme (FAR) E Índice de Sucesso (CSI) na Validação do Produto 3B43 na REBIO Jaru de 2004 a 2012. Os asteriscos indicam o nível de significância dos coeficientes: p-valor $\leq 0,05$ (*); (**) p-valor $\leq 0,01$; (***) p-valor $\leq 0,001$.

Período	ρ	RMSE	NRMSE (%)	Errv (%)	POD	FAR	CSI
Anual	0,91***	59,1	37,80	3,13	1	0,06	0,92
Chuvoso	0,72***	77,02	26,65	-2,63	1	0,06	1
Seco	0,84***	35,80	95,48	43,03	0,96	0,11	0,86

Para a média do NRMSE o resultado foi 51,31 % (pelo menos 5 vezes inferior ao valor encontrado para o produto 3B42) considerados dentro do limite para que os dados sejam utilizados com segurança (ADEYEWA & NAKAMURA, 2003). Considerando a diferença entre os períodos, ocorreu uma relação inversa entre os índices de variáveis contínuas (tabela 4).

No período chuvoso a correlação entre os dados foi menor enquanto que o RMSE indicou que o erro do satélite em estimar a ppt foi maior, porém a magnitude

desse erro não foi significativa (NRMSE > 50%). Para o período seco a relação foi inversa, existe boa correlação entre os dados, porém o RMSE foi menor e o NRMSE foi maior 93%, indicando que apesar do erro que foi estimado pelo satélite ter sido menor com relação ao período chuvoso, a magnitude desse erro foi maior no período seco. O RMSE no período seco aproximou-se da média da ppt, levando o valor de NRMSE próximo a 100%, uma vez que média do período seco foi 4,13 vezes a média interanual da ppt.

Clarke *et al.* (2011) ao analisarem criteriosamente uma serie de ppt entre 1998 a 2005 na Amazônia Legal, reportam um erro padrão da diferença de médias de ± 21 mm, e quando se leva em consideração o padrão espacial de auto correlação devido à proximidade das estações meteorológicas utilizadas, o erro padrão aumenta em ordem de quatro vezes, passando a ± 84 mm.

Com relação ao erro relativo, para o conjunto de dados totais, o produto superestimou a ocorrência da ppt, não sendo significativo, pois o erro foi de apenas 3,13%. No entanto a análise por período, mostrou que o 3B43 TRMM tende a subestimar a ppt no período chuvoso (novembro a abril), enquanto que no período seco (maio a outubro) os valores de ppt estimada são maiores que a ppt observada pelo pluviômetro. Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Collischonn *et al.* (2008) quando analisaram a bacia do rio Tapajós entre 1998 a 2006, no entanto, afirmam que para conclusões precisas sobre o porquê de tal comportamento do satélite, são necessários estudos mais específicos.

Possíveis fatores podem estar relacionados ao fato do produto TRMM superestimar consideravelmente a ppt no período seco. Os menores valores de ppt nesse período associados ao aumento de queimadas e consequentemente aumento de emissões de aerossóis para atmosferas podem ser a causa da superestimação da ppt. Isso pode ser confirmado pelos índices de alarme falso e o CSI que foram ruins se comparado ao período chuvoso.

A maior fonte de aerossóis para a atmosfera na América do Sul são as emissões por queimadas de florestas e cerrados, que ocorrem principalmente na estação seca na região amazônica (FREITAS *et al.*, 2005). Em estudo em Ji-Paraná (Rondônia) durante o período de 1998 a 2006, Oliveira *et al.* (2006) avaliaram a espessura ótica de aerossóis na atmosfera e constaram que as maiores emissões

ocorrem na estação seca devido ao aumento de queimadas e a um grande período de estiagem.

Afirmam ainda que o ciclo hidrológico pode estar se alterando devido à emissão de grandes quantidades de partículas que atuam como núcleos de condensação de nuvens, e propriedades de micro-física de nuvens estão sendo alteradas. Possivelmente, estas alterações na micro-física de nuvens podem estar alterando o padrão de precipitação na região Amazônica, levando a ocorrência de nuvens altas, e a supressão da formação de nuvens rasas (OLIVEIRA *et al.*, 2006).

Os índices categóricos também tiveram melhores resultados comparados ao encontrados pelo produto 3B42 TRMM, além de uma boa probabilidade de detecção de ppt, o satélite também detectou corretamente os eventos de ppt, confirmados pelos valores de CSI de 0,82 a 1 e ao mesmo tempo não detectou falsamente a ocorrência de ppt, o que pode ser comprovado pelos ótimos valores obtidos pelo índice FAR (com exceção o período seco).

Leivas *et al.* (2009) ao analisarem comparativamente os dados de precipitação estimada via satélite TRMM e os dados observados de superfície em Manaus (AM), constataram que as estimativas de precipitação mensal oriundas do TRMM foram consistentes, e com boa acurácia com o regime pluviométrico da região. Esses resultados também encontrados por Conti (2002), Araújo & Guetter (2005), que fizeram comparações de estimativas de satélite de órbita baixa com medições de solo em pequenas e médias bacias do Estado do Paraná e concluíram que existe uma boa aderência das estimativas.

Um estudo feito por Collischonn *et al.* (2006) na bacia do alto São Francisco, demonstrou que as estimativas de precipitação do TRMM foi bastante precisa, quando comparada com dados de superfície e além de dar bons resultados, as estimativas podem auxiliar na identificação de pluviômetros possíveis problemas de leitura ou que se encontram mal localizados, sendo uma boa ferramenta para consistência de dados.

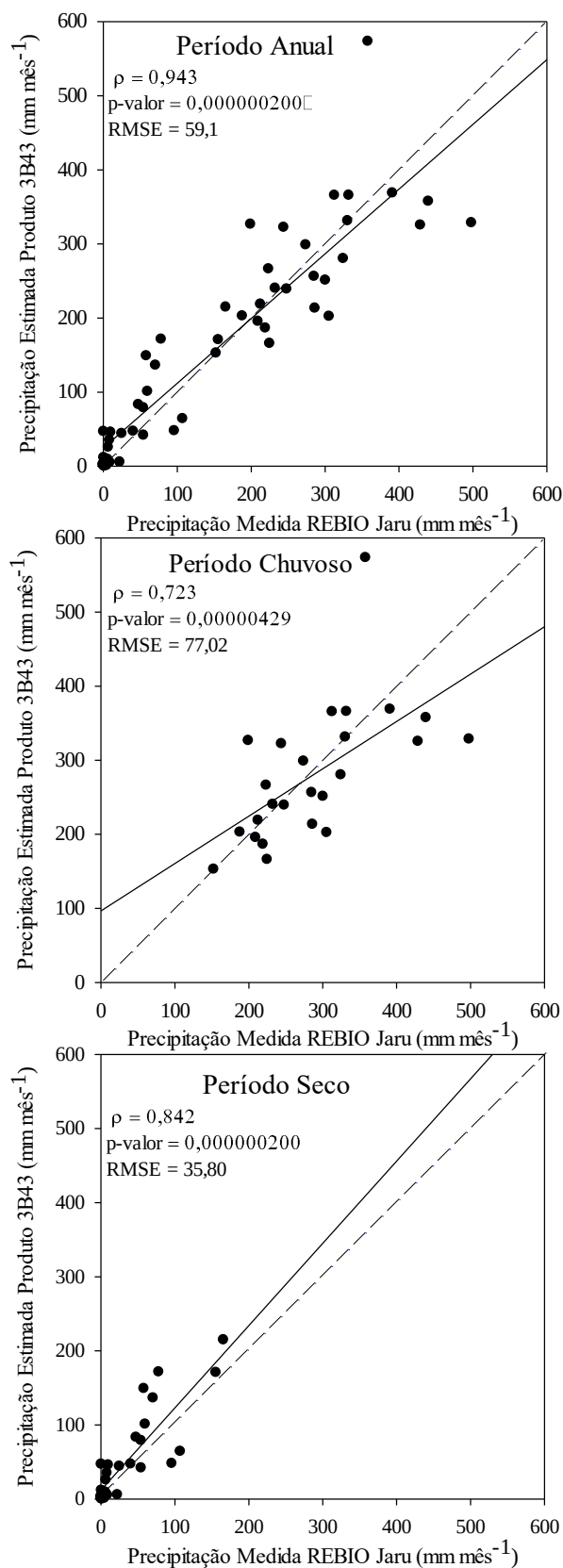


FIGURA 12 - Regressão entre dados estimados pelo produto 3B43 V7 TRMM e os dados mensais observados na estação meteorológica na REBIO Jaru no período anual, período chuvoso e período seco nos anos 2004 a 2012.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que os resultados encontrados para o produto 3B43 V7 indicaram que as estimativas de precipitação foram representativas quando comparadas com as observações em superfície. Já o produto 3B42 V7 não representa satisfatoriamente a ppt que ocorre em superfície. No entanto, a qualidade dos resultados depende da forma que as estimativas serão utilizadas.

Ao analisar a precipitação na REBIO Jarú com os dados observados em superfície, foi possível compreender que existem vários sistemas atmosféricos que podem influenciar no regime pluviométrico ao longo dos anos e conforme a atuação desses sistemas dinâmicos podem ocorrer eventos extremos de ppt.

Com relação a ppt mensal estimada foi possível concluir que existe variação entre os anos conforme as análises dos box-plots. No entanto as maiores variações ocorreram no período chuvoso, devido aos grandes volumes pluviométricos nessa época. Em contrapartida no período seco não houve grandes variações, pois nesse período a ocorrência da precipitação foi mais homogênea.

A estimativa do produto 3B42 não foi satisfatória em detectar corretamente os dias com chuva e dias sem chuva. O motivo do mal desempenho, pode estar relacionado com a incapacidade de os sensores de satélites meteorológicos com precisão de até 24 horas estimar a quantidade precipitada. Nesse caso os piores resultados foram para o período seco, onde tanto os índices de variáveis contínuas quanto os índices categóricos foram os mais ruins para a validação do produto.

Já a precipitação estimada pelo produto 3B43 detectou corretamente os meses com chuva para as análises do período anual. No entanto a partir das análises por período chuvoso e seco, os resultados apontaram que no período chuvoso o produto 3B43 V7 apresentou uma tendência em subestimar a ppt e no período seco a tendência do produto foi de superestimar a ppt.

Mesmo apresentando essa diferença entre o período chuvoso e seco, os índices de avaliação de desempenho e de eficácia do produto, foram melhores se comparados ao produto 3B42. Portanto, conclui-se que ao aumentar o período de acumulo de precipitação para escala mensal, os erros temporais são compensados de forma que o total acumulado seja mais próximo do observado em superfície.

9. SUGESTÕES

Considerando os resultados obtidos neste trabalho, recomenda-se a continuação da metodologia, porém com a agregação de uma rede pluviométrica maior, conseqüentemente aumentando a quantidade de dados superficiais de precipitação na área da reserva e assim realizar a validação de maneira que pelo menos um pluviômetro coincida com um pixel, com a intenção de melhorar os resultados encontrados principalmente para o produto diário.

Outra proposta é aumentar o período de acumulação de precipitação gradualmente, tanto para precipitação observada quanto para precipitação estimada. Testando inicialmente dados de três dias, uma semana, para quinze dias, até os 30 dias, aplicar a metodologia para cada situação no intuito de se verificar uma melhora por parte do produto de estimativa 3B42.

Em caso da impossibilidade de se aumentar a rede pluviométrica, outra alternativa seria fazer uma relação da precipitação estimada com outras variáveis do ciclo hidrológico, como medidas de rede hidrográficas (acompanhamento dos níveis dos rios), a evapotranspiração, a taxa de infiltração e umidade do solo, entre outras, e verificar o comportamento do balanço hídrico da Reserva Biológica do Jarú.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEYEWA, Z. D.; NAKAMURA, K. Validation of TRMM Radar Rainfall Data over Major Climatic Regions in Africa. *Journal of Applied Meteorology*, 42 (2), p. 331 – 347, 2003.

ALBUQUERQUE, M. F.; SOUZA, E. B.; OLIVEIRA, M. D. C. F.; SOUZA JÚNIOR, J. A. Precipitação nas mesorregiões do estado do Pará: climatologia, variabilidade e tendências nas últimas décadas (1978-2008). *Revista Brasileira de Climatologia*, v.6, 2010.

ALVES, F. S. M.; FISCH, G. & VENDRAME, I. F. Modificações do microclima e regime hidrológico devido ao desmatamento na Amazônia: estudo de um caso em Rondônia (RO), Brasil. *Acta Amazonica*, v.29 n.3, p.395-409, 1999.

ANDERSON, L.; ARAGÃO, L. & ARAI, E. 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. *Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto*, v.16, p. 6743-6750, 2013.

ARAÚJO, A. & GUETTER, A. Avaliação hidrológica da técnica CMORPH de estimativa de chuva por satélite sobre a bacia do Iguaçu. In: *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (SBRH)*, João Pessoa. Anais...CD-ROM. V. 16, 2005.

ARKIN, P. A. & MEISNER, B. N. The relationship between large: scale convective rainfall and cold cloud over the Western Hemisphere during 1982:84. *Mon. Wea.* v. 115 p.51-74, 1987.

ARKIN, P. A. The relationship between fractional coverage of high cloud and rainfall accumulations during GATE over the B-scale array, *Mon. Wea.* v.107, p. 1382-1387, 1979.

BARRETT, E. C. The estimation of monthly rainfall from satellite data. *Monthly Weather Review*, v. 98, n 04, p. 322:327, 1970.

BEZERRA, R. B.; DANTAS, R. T.; TRINDADE, A. G. Caracterização temporal da precipitação pluvial do município de Porto Velho/RO no período de 1945 a 2003. *Sociedade & Natureza*, v. 22, n. 3, p. 609-623, 2010.

CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J. & DIAS, M. A. F. *S. Tempo e clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, p-463, 2009.

CAVALCANTI, I. F. A. & KOUSKY, V. E. Influências de circulações de escala sinótica na circulação de brisa marítima na costa norte-nordeste da América do Sul. São José dos Campos, INPE, (INPE-2573-TDL/097), 1983.

CLARKE, R. T.; BUARQUE, D. C.; DE PAIVA, R. C. D. & COLLISCHONN, W. Issues of spatial correlation arising from the use of TRMM rainfall estimates in the Brazilian Amazon. *Water Resources Research*, v.47, n.5, 2011.

COHEN, J. C. P. Um estudo observacional de linhas de instabilidades na Amazônia. 1989. 174f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São Paulo, 1989.

COLLISCHONN, B.; ALLASIA, D.; COLLISCHONN, W. & TUCCI, C. E. M. Estimativas de precipitação por sensoriamento remoto passivo: desempenho do satélite TRMM na bacia do alto Paraguai até Descalvados. *Simpósio de Geotecnologias no Pantanal*, v.1, 2006.

COLLISCHONN, B.; ALLASIA, D.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Desempenho do satélite TRMM na estimativa de precipitação sobre a bacia do Paraguai superior. *Revista Brasileira de Cartografia*, v.59, n.1, p. 93-99, 2007.

COLLISCHONN, B., COLLISCHONN, W., & TUCCI, C. E. M. Daily hydrological modeling in the Amazon basin using TRMM rainfall estimates. *Journal of Hydrology*, v. 360, v.1, p. 207-216, 2008.

COLLISCHONN, B. Uso de precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo hidrológico distribuído. Dissertação de mestrado, IPH-UFRGS, Porto Alegre, 2006.

CONTI, G. N. Estimativa da precipitação através de técnicas de sensoriamento remoto: Estudo de caso para o estado do Rio Grande do Sul. Dissertação de mestrado, IPH-UFRGS, Porto Alegre, 2002.

CORREIA, F. W. S.; MANZI, A. O.; CÂNDIDO, L. A.; SANTOS, R. M. N. D. & PAULIQUEVIS, T. Balanço de umidade na Amazônia e sua sensibilidade às mudanças na cobertura vegetal. *Ciência e Cultura*, v.59 n.3, p. 39-43, 2007.

COSTA, M. H.; BIAJOLI, M. C.; SANCHES, L.; MALHADO, A. C. M.; HUTYRA, L. R.; ROCHA, H. R.; AGUIAR, R. G. & ARAÚJO, A. C. Atmospheric versus vegetation controls of Amazonian tropical rain forest evapotranspiration: Are the wet and seasonally dry rain forests any different? *Journal of Geophysical Research*, v. 115, p. 1-9, 2010.

CPETC: Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Previsão Climática elaborada em Fórum de Consenso entre o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPETC). Disponível em: <http://infoclima1.cptec.inpe.br/>. Acesso em 30 de janeiro de 2017a.

CPETC: Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Boletim Técnico. Disponível em <http://tempo.cptec.inpe.br/boletimtecnico/pt>. Acesso em 12 de janeiro de 2017b.

CPETC: Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Boletim Técnico. Disponível em <http://satelite.cptec.inpe.br/home/index.jsp>. Acesso em 12 de janeiro de 2017c.

CULF, A. D.; ESTEVES, J. L.; MARQUES FILHO, A. O. & ROCHA, H. R. Radiation, temperature and humidity over forest and pasture in Amazonia. In: Gash, J. H. C.; NOBRE, C. A.; ROBERTS, J. M.; VICTORIA, R. L. (Eds). *Amazonian Deforestation and Climate*, John Wiley & Sons, Chichester, England, p. 175 - 191. 1996.

EBERT, E. E.; JANOWIAK, J. E. & KIDD, C. Comparison of near-real-time precipitation estimates from satellite observations and numerical models. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 88, n. 1, p. 47-64, 2007.

FARIAS, S. E. M.; ARANTES, A. E.; FERREIRA JUNIOR, L. G.; SANO, E. E.; BARROS, J. R. Avaliação das Estimativas de Precipitação do satélite TRMM para o Estado de Goiás: uma abordagem climatológica. *Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, p. 1938 – 1944, 2013.

FEITOSA, J. R. P.; FERREIRA, R. C.; FISCH, G.; SOUZA, S. D. & NOBRE, C. A. Radiação solar global em áreas de floresta e pastagem na Amazônia. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 6, n.1, p.1 – 7, 1998.

FERREIRA, S. J. F.; LUIZÃO, F. J. & DALLAROSA, R. L. G. Precipitação interna e interceptação da chuva em floresta de terra firme submetida à extração seletiva de madeira na Amazônia Central. *Acta Amazonica*, v. 35, n. 1, p. 55-62, 2005.

FIGUEROA, S. N. & NOBRE, C. A. Precipitations distribution over Central and Western Tropical South América. *Climanálise. Boletim de Monitoramento e Análise Climática*, v.5, n. 6, p. 36-45. 1990.

FISCH, G.; MARENGO, J. M. & NOBRE, C. A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. *Acta Amazonica*, v.28, n.2, p.101-126. 1998.

FISCH, G.; VENDRAME, I. F. & HANAOKA, P. D. M. Variabilidade espacial da chuva durante o experimento LBA/TRMM 1999 na Amazônia. *Acta Amazonica*, v. 37, n.4, p. 583-590, 2007.

FISCH, J. E. Retroactivity and legal change: An equilibrium approach. *Harvard Law Review*, p. 1055-1123, 1997.

FITZJARRALD, D. R.; SAKAI, R. K.; MORAES, O. L. L.; OLIVEIRA, R. C.; ACEVEDO, O. C.; CZIKOWSKY, M. J. & BELDINI, T. Spatial and temporal rainfall variability near the Amazon-Tapajós confluence. *Journal of Geophysical Research*, v. 113, p.162-187, 2008.

FRANCA, R. R. Climatologia das chuvas em Rondônia–período 1981-2011. *Revista Geografias*, v. 1, n. 20, p. 44-58, 2015.

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

FREITAS, S. R.; LONGO, K. M.; DIAS, M. A. F. S. & DIAS, P. L. S. Emissões de queimadas em ecossistemas da América do Sul. *Estud. av.* [online], v. 19, n. 53, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142005000100011&lng=en&nrm=iso>. ISSN 0103-4014. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142005000100011>. Acesso em 17 de Janeiro de 2017.

GOMES, J. B. CONVERSÃO DE FLORESTAS TROPICAIS EM SISTEMAS PECUÁRIOS NA AMAZÔNIA: quais são as implicações no microclima da região? 62f. Monografia (Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Rondônia, Ji-Paraná, 2011.

GUARIENTI, G, S, S. Desenvolvimento de uma técnica computacional de processamento espaço-temporal aplicada em séries de precipitação. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, p.120. 2015.

GUSMÃO, A. M. "Alta da Bolívia." *Revista climanálise*. Cachoeira paulista, ed. Especial. p. 143-146, 1996.

HODNETT, M. G.; OYAMA, M. D.; TOMASELLA, J.; MARQUES FILHO, A. O. Comparisons of long-term soil water storage behaviour under pasture and forest in three areas of Amazonia. In: *Amazonian deforestation and climate* (eds. J.H.C. GASH, C. A. NOBRE, J. M. ROBERTS, R. L. VICTORIA). Chichester: John Wiley, p. 57-77, 1996.

HOREL, J. D.; HAHMANN, A. N.; GEISLER, J. E. An investigation of the annual cycle of convective activity over the tropical Americas. *Journal of Climate*, v. 2, n.11, p. 1388 1403, 1989.

HUANG, Y.; CHEN, S.; CAO, Q.; HONG, Y.; WU, B.; HUANG, M. & YANG, X. Evaluation of version-7 TRMM multi-satellite precipitation analysis product during the Beijing extreme heavy rainfall event of 21 July 2012. *Water*, v.6, n.1, p. 32-44, 2013.

HUFFMAN, G. J.; ADLER, R. F.; BOLVIN, D. T.; GU, G.; NELKIN, E. J.; BOWMAN, K.; HONG, Y.; STOCKER, E. F.; WOLFF, D. B. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimative at fine scales. *Journal of Hydrometeorology*, v. 8, p. 38-55, 2007.

HUFFMAN, G.; ADLER, R. F.; RUDOLF, B.; SCHNEIDER, U.; KEEHN, P. Global precipitation estimates based on a technique for combining satellite based estimates, rain gauge analysis, and NWP model precipitation information. *Journal of Climate*, 8 (5), 1284–1295, 1995.

HUFFMAN, G. J., & BOLVIN, D. T. TRMM and other data precipitation data set documentation, Global Change Master Directory, NASA, p 40, 2014.

HUFFMAN, G. J.; BOLVIN, D. T.; NELKIN, E. J. Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM (IMERG) technical documentation. Tech. Doc., NASA GSFC, 2015.

KOUSKY, V. E. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. *Rev. Brasileira de Meteorologia*, v 3, p 217-231, 1988.

KOUSKY, V. E. & KAYANO, M.T. A climatological study of the tropospheric circulation over the Amazon region. *Acta Amazonica*, v. 11, p. 743-758. 1981.

KOUSKY, V.E. & FERREIRA, N.J. Interdiurnal surface pressure variation in Brazil: Their spatial distribution, origins and effects. *Monthly Weather Review*, n. 109, p. 1999-2008, 1981.

LEIVAS, J. F.; RIBEIRO, G. G.; SOUZA, M. B.; ROCHA FILHO, J. Análise comparativa entre os dados de precipitação estimados via satélite TRMM e dados observados de superfície em Manaus. *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, Brasil, INPE, v. 25 p. 1611-1616. 2009.

MACEDO, M. J. H. Aplicações De Redes Neurais Artificiais e Satélite TRMM na Modelagem Chuva-Vazão da Bacia Hidrográfica do Rio Paraguaçu/BA.2013. [s.l.] Tese. Universidade Federal de Campina Grande, junho 2013.

MARENGO, J. A. Mudanças climáticas, condições meteorológicas extremas e eventos climáticos no Brasil. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS). Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil. v. 24, 2009. Disponível em: <http://www.fbds.org.br/fbds/IMG/pdf/doc-504.pdf>, Acesso em 5/10/2016.

MOLION, L. C. B. Climatologia dinâmica da Região Amazônica: mecanismos de precipitação. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.2, p.107-117. 1987.

MOLION, L. C. B. Amazonian rainfall and its variability. *Hydrology and water management in the humid tropics*. Cambridge: Cambridge University Press, p.99-111, 1993.

MOLION, L. C. B. & DALLAROSA, R. L. G. Pluviometria da Amazônia; são os dados confiáveis? *Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática*, v. 5, n.3, p. 40-42, 1990.

MOLION, L. C. B. & KOUSKY, V. E. Climatologia dinâmica da troposfera sobre uma tropical da Amazônia. INPE-3560-RPE/480, São José dos Campos, São Paulo, Brazil, 1985.

MOURA, M.; LYRA, R.; BENNINCASA, M.; TENÓRIO, R. & NASCIMENTO-FILHO, M. F. Comparação da radiação solar global em áreas de floresta e pastagem na Amazônia. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 16, n. 1, p. 91-99, 2001.

NASA – National Aeronautics and Space Administration. GOES 1 NSSDCA/COSPAR ID: 1975-100A. Disponível em: <http://nssd.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftDisplay.do?id=1975-100A>. Acesso em: março de 2016.

NASTOS, P. T.; KAPSOMENAKIS, J.; PHILANDRAS, K. M. Evaluation of the TRMM 3B43 gridded precipitation estimates over Greece. *Atmospheric Research*, v.169, p. 497-514, 2016.

NÓBREGA, R. S. Modelagem de impactos do desmatamento nos recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Jamari (RO) utilizando dados de superfície e do TRMM. Tese. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

NÓBREGA, R. S.; SOUZA, Ê. P. & GALVÍNCIO, J. D. Análise da estimativa de precipitação do TRMM em uma sub-bacia da Amazônia Ocidental. *Revista de Geografia (Recife)*, v. 25, n. 1, p. 06-20, 2008.

OBREGON, G. O. & NOBRE, C. A. Variabilidade da estação seca na Amazônia. INPE, 2006.

OLIVEIRA, A. S. Interações entre Sistemas Frontais e a atividade convectiva na Amazônia. 1986. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - INPE, São José dos Campos, 1986.

PETTY, G. W. Physical retrievals of over: ocean rain rate from ultichannel microwave imager. Part I: Theoretical characteristics of normalized polarizations and scattering indices. *Meteorology and Atmospheric Physics*, v. 54, p.79:99, 1994.

RIBEIRO, A. Análise das variações climáticas observadas na região de Manaus (AM). Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 131pp, Universidade de São Paulo. Piracicaba. 1991.

ROCHA, E.J.P da. Balanço de Umidade na Amazonia durante o Flumazon.1991. p. 121. Dissertação de Mestrado, Departamento de Meteorologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

ROCHA, H. R.; MANZI, A. O.; CABRAL, O. M.; MILLER, S. D.; GOULDEN, M. L.; SALESKA, S. R.; COUPE, N. R.; WOFSY, S. C.; BORMA, L. S.; ARTAXO, P.; VOURLITS, G., NOGUEIRA, J. S.; CARDOSO, F. L.; NOBRE, A. D.; KRUIJT, B.; FREITAS, H. C.; VON RANDOW, C.; AGUIAR, R. G. & MAIA, J. F. Patterns

of water and heat flux across a biome gradient from tropical forest to savanna in Brazil. *Journal of Geophysical Research*, v. 114, p. 1-8, 2009.

ROTTENBERGER, S.; KUHN, U.; WOLF, A.; SCHEBESKE, G.; OLIVA, S.T.; TAVARES, T.M.; KESSELMEIER, J. Exchange of short-chain aldehydes between Amazonian vegetation and the atmosphere at a remote forest site in Brazil. *Ecological Applications*, v. 14, n. 4, p. 247-262, 2004.

ROZANTE, J. R.; MOREIRA, D. S.; GONÇALVES, L. G. G. & Vila, D. Combining TRMM and surfasse observation of precipitation: technique and validation over South America. *Weather and Forecasting*, p. 885-894, 2010.

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

SALATI, E. & MARQUES, J. Climatology of the Amazon region. In: SIOLI, H. *The Amazon - Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin*. Dr. W. Junk Publishers, Bonn, Alemanha, p. 85-126, 1984.

SALATI, E. & VOSE, P. B. Amazon Basin: a system in equilibrium. *Science*, v. 225 n. 4658, p.129-138, 1984.

SCHEEL, M. L. M.; ROHRER, M.; HUGGEL, C.; SANTOS VILLAR, D.; SILVESTRE, E. & HUFFMAN, G. J. Evaluation of TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA) performance in the Central Andes region and its dependency on spatial and temporal resolution. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 15, n. 8, p. 2649-2663, 2011.

SILVA, M. J. G. Uso e cobertura do solo e a variabilidade do clima de Porto Velho - RO. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional), Núcleo de Ciência e Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento regional, UNIR. 2010.

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

SOUZA, E. B.; AMBRIZZI, T. Pentad precipitation climatology over Brazil and the associated atmospheric mechanisms. *Climanálise*. 2003. Disponível em: <http://cptec.inpe.br/products/cliamanalise/artigos/artcien2.shtml/>. Acesso em: 30 de janeiro 2017.

TEAM, R. C. R: A language and environment for statistical computing (r foundation for statistical computing, vienna, 2012). URL: [http:// www.R-project.org](http://www.R-project.org), 2012.

TRMM. Mission Overview. Disponível em: www.trmm.gsfc.nasa.gov. Acesso em 23 de outubro de 2016.

UVO, C. R. B. A zona de convergência intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação na região norte e nordeste brasileiro. 1989, 215f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). São José dos Campos, INPE, São Paulo. 1989.

VIANA, D. R.; FERREIRA, N. J. & CONFORTE, J. C. Avaliação das estimativas de precipitação 3B42 e 3B43 do satélite TRMM na Região Sul do Brasil. In Congresso Brasileiro de Meteorologia (CBMet), XVI, 2008.

VIRJI, H. & KOUSKY, V. E. Regional and global aspects of a low latitude frontal penetration in Amazonas and associated tropical activity. In Preprints, First International Conference on Southern Hemisphere Meteorology, Sao José dos Campos, pp. 215-220, 1983.

WEBLER, A. D.; AGUIAR, R. G. & AGUIAR, L. J. Características da precipitação em área de floresta primária e área de pastagem no Estado de Rondônia. Revista Ciência e Natura, v. especial, p. 55-58, 2007.

11. ANEXOS

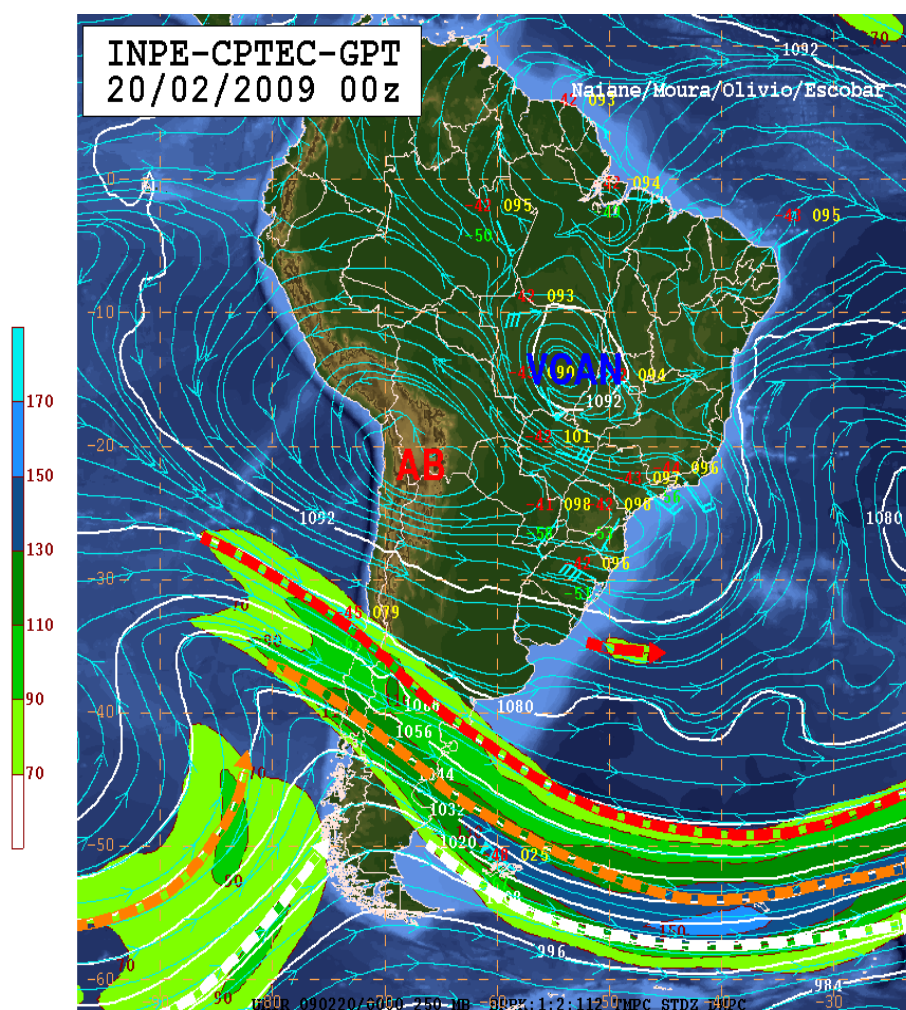


FIGURA 13 - Carta da análise sinótica da circulação atmosférica ao Nível 250 HPA do satélite GOES 13 no dia 20 de fevereiro de 2009 – 00Z.

Fonte: CPTEC, 2017b.

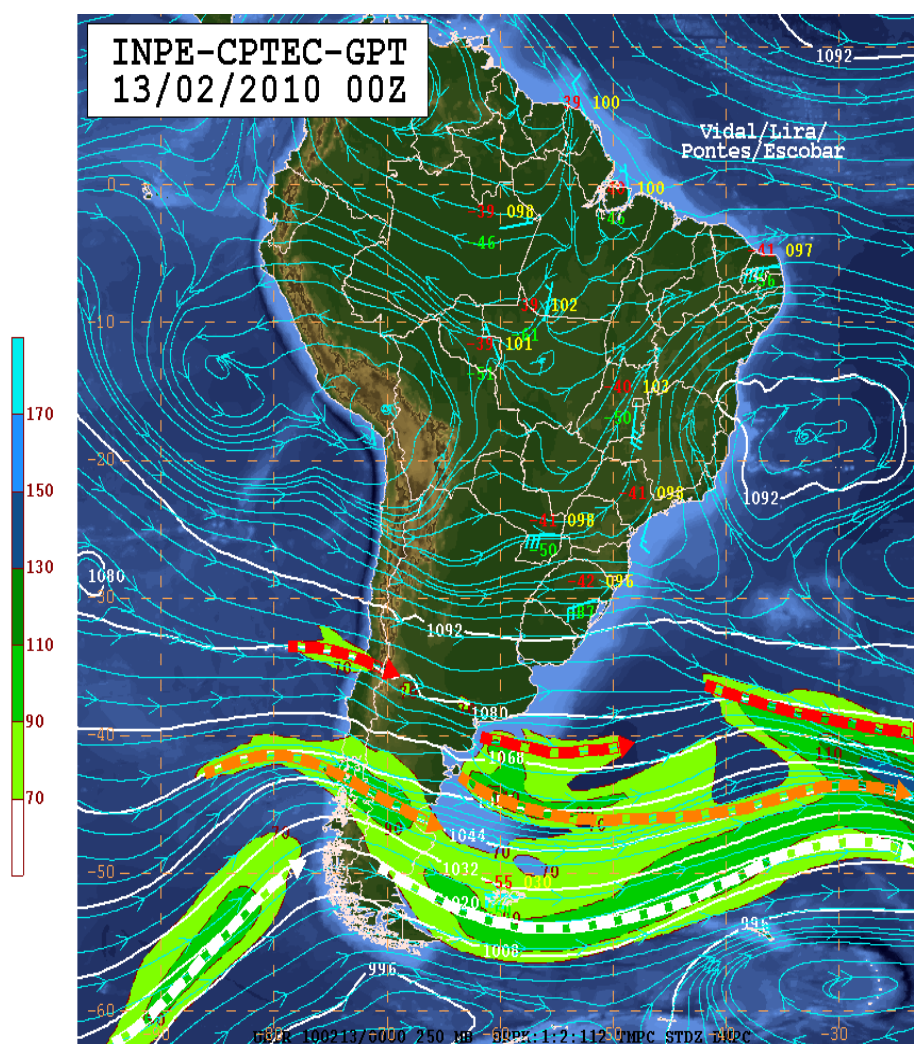


FIGURA 14 - Carta da análise sinótica da circulação atmosférica ao Nível 250 HPA do satélite GOES 13 no dia 13 de fevereiro de 2010 – 00Z.

Fonte: CPTEC, 2017b.

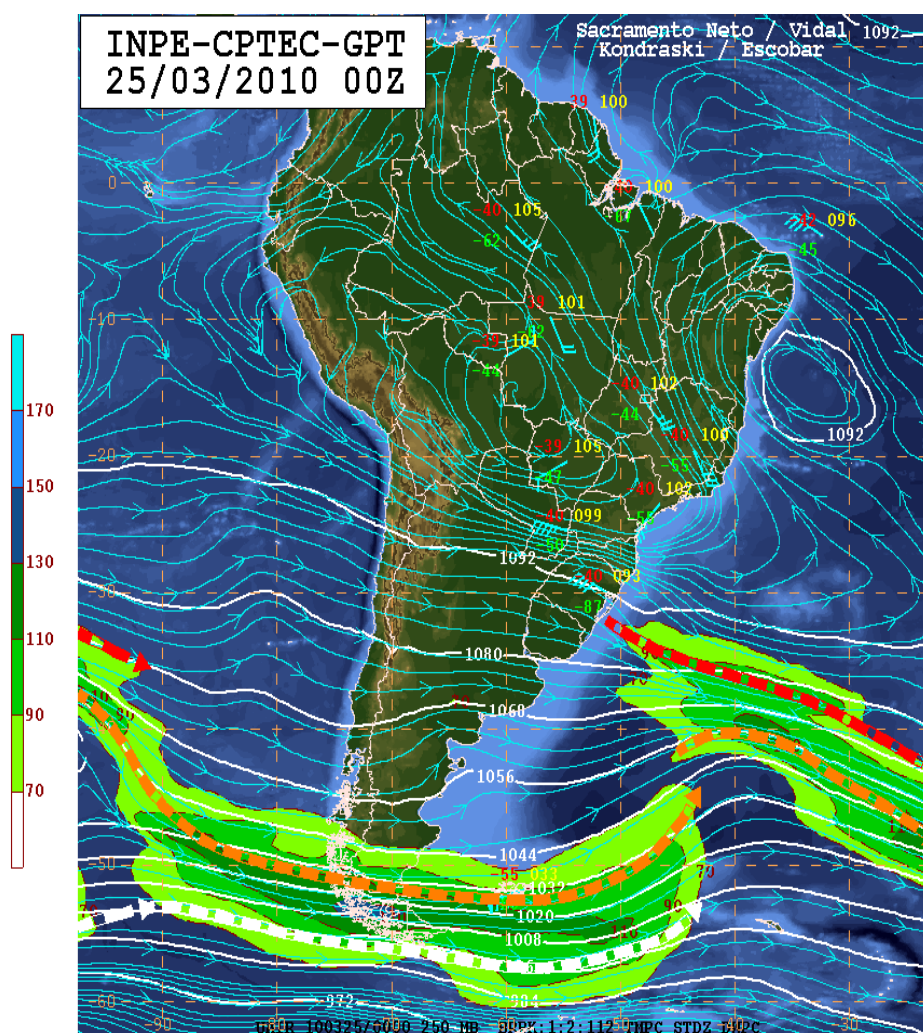


FIGURA 15 - Carta da análise sinótica da circulação atmosférica ao Nível 250 HPA do satélite GOES 13 no dia 25 de março de 2010 – 00Z.

Fonte: CPTEC, 2017b.

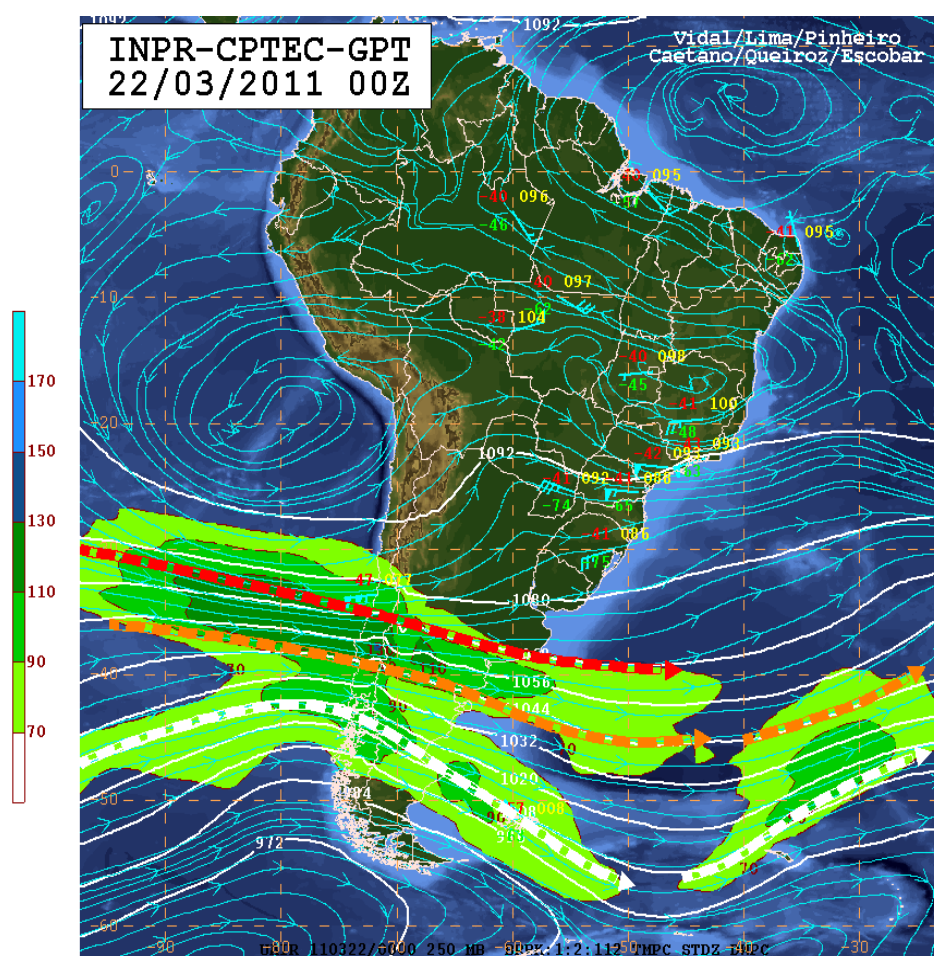


FIGURA 16 - Carta da análise sinótica da circulação atmosférica ao Nível 250 HPA do satélite GOES 13 no dia 22 de março de 2011 – 00Z.

Fonte: CPTEC, 2017b.