

Universidade de São Paulo

Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas

Departamento de Ciências Atmosféricas

**SISTEMAS METEOROLÓGICOS ATUANTES DURANTE O
EXPERIMENTO GOAMAZON2014/5 E IMPACTOS NO
CONJUNTO DE DADOS COLETADOS**

PAOLA GIMENES BUENO

São Paulo

2018

PAOLA GIMENES BUENO

**SISTEMAS METEOROLÓGICOS ATUANTES DURANTE O
EXPERIMENTO GOAMAZON2014/5 E IMPACTOS NO CONJUNTO
DE DADOS COLETADOS**

Dissertação apresentada ao
Departamento de Ciências Atmosféricas
do Instituto de Astronomia, Geofísica e
Ciências Atmosféricas da Universidade de
São Paulo como requisito parcial para a
obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Meteorologia

Orientador: Prof. Dr. Tércio Ambrizzi

Versão Corrigida. O original encontra-se disponível na Unidade.

São Paulo

2018

*À mulher da minha vida,
fonte de inspiração e força.
Minha mãe, Célia.*

AGRADECIMENTOS

À minha família pelo o apoio e confiança, principalmente aos meus pais, que sempre me deram todo o necessário para alcançar meus sonhos. Principalmente a minha mãe, sem seu apoio, suporte, força, incentivo e amor, eu não estaria onde estou.

À minha segunda mãe de coração, Nes, que sempre vibrou e torceu muito por mim e mesmo longe continua me mandando muito carinho e incentivo.

Ao meu marido Edson, um dos presentes que a meteorologia me deu, pelo apoio incondicional, pelas ajudas nos diversos scripts, pelas longas discussões meteorológicas, pelos momentos de risadas, pela eterna torcida e paciência comigo. Sua amizade e amor imensurável trazem à tona o melhor de mim.

Às minhas amigas “estranhas” de longa data, pela eterna torcida, conversas intermináveis, risadas e a amizade verdadeira. Em especial a irmã que a vida me deu, Bruna Hara.

Aos meus amigos de graduação, Mia, Victor, Léo, Rafael, Guilherme e Lucas, que fizeram desses 5 árduos anos de graduação os melhores da minha vida.

Aos amigos de mestrado, Alberto, Dámian, Jenniffer, Miguel, Victor e Gabriel, que sempre me ajudaram quando precisei e fizeram meus dias mais leves e divertidos.

Aos colegas do GrEC, pelas discussões, conversas e dicas que me ensinaram muito. Em especial à Lívia Dutra e Amanda Rehbein, pela ajuda com as máquinas, dados, scripts e por serem sempre tão gentis e estarem sempre disponíveis a qualquer coisa.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Tércio Ambrizzi, pela oportunidade, orientação e principalmente pela confiança depositada em mim.

A todos os professores do departamento de Ciências Atmosféricas do IAG. Principalmente aos professores Ricardo de Camargo e Rosmeri da Rocha, pelas contribuições, sugestões e críticas construtivas dadas em minha qualificação.

A todos os funcionários do IAG-USP, sempre muito atenciosos e prestativos. Principalmente ao Djalma Melo, que sempre que precisei me ajudou, sempre de forma atenciosa e gentil.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa.

RESUMO

BUENO, P. G. **Sistemas meteorológicos atuantes durante o experimento GoAmazon2014/5 e impactos no conjunto de dados coletados.** 155 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

A Amazônia possui grande importância para o clima, tanto regional quanto global, portanto é necessário entender sua climatologia e os principais sistemas meteorológicos que a influenciam. Para este fim, existem grandes projetos científicos que atuam na região, como o mais recente GoAmazon2014/5, que contou com um conjunto de sítios de observações instrumentais meteorológicas no entorno da cidade de Manaus, durante os anos de 2014 e 2015. Dentro do âmbito do projeto GoAmazon2014/5, este trabalho tem como objetivo analisar a variabilidade dos dados meteorológicos diários obtidos pelo projeto GoAmazon2014/5 e associar as anomalias encontradas com os sistemas atmosféricos atuantes na região e sistemas de larga escala, de forma a determinar sua influência durante a coleta de dados. Os resultados obtidos mostram que os anos de 2014 e 2015 apresentaram anomalias opostas de precipitação, com 2014 apresentando anomalias positivas de precipitação e 2015 anomalias negativas, devido ao intenso episódio de El Niño desse ano. A partir das séries de precipitação foram identificados 65 eventos chuvosos (acima do percentil diário de 90%) e 387 eventos secos (abaixo do percentil diário de 20%) para esses dois anos. As composições sinóticas desses eventos mostram que os principais elementos associados ao sistema de monção da América do Sul estão associados a ocorrência desses eventos durante o período chuvoso da região e sistemas como o Jato Subtropical e Alta Subtropical do Atlântico Sul estão associados a ocorrência desses eventos no período seco. Porém, a configuração e posicionamento desses sistemas determinam a ocorrência dos eventos chuvosos e secos. Os principais sistemas meteorológicos responsáveis pela ocorrência dos eventos chuvosos identificados foram os Sistemas Convectivos de Mesosescala, a convecção local, a Zona de Convergência do Atlântico Sul e a Zona de Convergência de Umidade. A Zona de Convergência de Umidade e Zona de Convergência do Atlântico Sul estiveram associadas a alguns dos eventos mais intensos de precipitação. A variabilidade do conjunto de dados meteorológicos (temperatura, umidade, pressão, velocidade e direção do vento) está associada não só aos sistemas meteorológicos identificados, mas é resultado da combinação dos efeitos causados por esses sistemas e as circulações locais e de grande escala que são características da região.

Palavras-chave: GoAmazon2014/5, Amazônia, Precipitação, Sistemas Meteorológicos, Meteorologia Sinótica, Eventos Extremos.

ABSTRACT

BUENO, P. G. **Active meteorological systems during the GoAmazon2014/5 experiment and impacts in the collected data.** 155 p. Master Thesis – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

The Amazon has great importance for the climate, both regionally and globally, so it is necessary to understand its climatology and the major weather systems that have an influence on it. For this purpose, there are large scientific projects operating in the region, as the latest GoAmazon2014/5, that had a few sites of instrumental weather observations around the city of Manaus, during the years of 2014 and 2015. Inside the scope of the GoAmazon2014/5 project, this study has the general objective to evaluate the variability of daily weather data during the GoAmazon2014/5 experiment and associate the observed anomalies with atmospheric systems operating in the region and large-scale systems, to determine their influence during the data collection. The results show that the years 2014 and 2015 had opposite precipitation anomalies in the region of the GoAmazon2014/5 sites, with 2014 showing positive rainfall anomalies and 2015 negative anomalies due to the intense El Niño episode of this year. From the precipitation data, 65 rainy events (above the 90th daily percentile) and 387 dry events (below the 20th daily percentile) were identified for these two years. The synoptic composites of these events show that the main elements associated to the South American monsoon system were associated with the occurrence of the events during the rainy season of the region and systems such as the Subtropical Jet and the South Atlantic Subtropical Anticyclone were associated with the occurrence of these events in the dry season. However, the configuration and position of these systems determine the occurrence of the rainy and dry events. The main meteorological systems responsible for the occurrence of the identified rainy events were Mesoscale Convective Systems, local convection, the South Atlantic Convergence Zone and the Humidity Convergence Zone. The Humidity Convergence Zone and the South Atlantic Convergence Zone were associated with some of the rainiest events. The variability of the meteorological dataset (temperature, humidity, pressure, wind speed and direction) is related with not only the meteorological systems identified but it is a result of the combination of the effects caused by those systems and the local and large-scale circulation characteristics of the region.

Keywords: GoAmazon2014/5, Amazon, Precipitation, Meteorological Systems, Synoptic Meteorology, Extreme Events.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: BIOMA DA FLORESTA AMAZÔNICA E ESTADOS QUE COMPÕE A AMAZÔNIA LEGAL (FONTE: IMAZON).....	22
FIGURA 2: BACIA AMAZÔNICA E AMAZÔNIA BRASILEIRA (FONTE: FILHO E SOUZA, 2009)....	23
FIGURA 3: CLIMATOLOGIA ANUAL DE PRECIPITAÇÃO NA AMAZÔNIA (IMAGEM DE ACERVO PESSOAL GERADA A PARTIR DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO DO CHIRPS, DE 1981 A 2014).....	26
FIGURA 4: CLIMATOLOGIA DE PRECIPITAÇÃO NA AMAZÔNIA PARA OS TRIMESTRES DE (A) DEZEMBRO-JANEIRO-FEVEREIRO,(B) MARÇO-ABRIL-MAIO,(C) JUNHO-JULHO-AGOSTO E (D) SETEMBRO-OUTUBRO-NOVEMBRO (IMAGEM DE ACERVO PESSOAL GERADA A PARTIR DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO DO CHIRPS, DE 1981 A 2014).....	28
FIGURA 5: CLIMATOLOGIA DE TEMPERATURA SOBRE A AMAZÔNIA PARA OS TRIMESTRES DE (A) DEZEMBRO-JANEIRO-FEVEREIRO, (B) MARÇO-ABRIL-MAIO,(C) JUNHO-JULHO-AGOSTO E (D) SETEMBRO-OUTUBRO-NOVEMBRO (IMAGEM DE ACERVO PESSOAL GERADA A PARTIR DOS DADOS DE TEMPERATURA DO CRU, DE 1901 A 2014).	30
FIGURA 6: MUDANÇAS NA CIRCULAÇÃO DE WALKER DURANTE EPISÓDIOS DE (A) EL NIÑO E (B) LA NIÑA (ADAPTADO DE FOLEY ET AL., 2002).....	43
FIGURA 7: ESQUEMATIZAÇÃO DA CIRCULAÇÃO MERIDIONAL ANÔMALA PROVOCADA PELOS EPISÓDIOS DE (A) DIPOLO POSITIVO E (B) NEGATIVO NO OCEANO ATLÂNTICO TROPICAL (ADAPTADO DE UVO, 1998).	46
FIGURA 8: LOCALIZAÇÃO DOS PRINCIPAIS SÍTIOS DE OBSERVAÇÃO INSTRUMENTAIS DO GOAMAZON2014/5 (FONTE: DOE, 2015).....	50
FIGURA 9: ESQUEMATIZAÇÃO E ELEMENTOS CONTIDOS NO <i>BOXPLOT</i> (FONTE: NETO ET AL, 2017).	58
FIGURA 10: EXEMPLO DE DIAGRAMA DE TAYLOR (FONTE: TAYLOR, 2001).....	62
FIGURA 11: SÉRIE DIÁRIA DE PRECIPITAÇÃO DA TORRE ATTO PARA OS ANOS DE 2014 E 2015 (EM PONTILHADO PRETO), SÉRIE DOS PERCENTIS DIÁRIOS DE 90% (EM TRACEJADO AZUL) E SÉRIE DOS PERCENTIS DIÁRIOS DE 20% (EM TRACEJADO VERMELHO).....	65
FIGURA 12: ACUMULADOS DIÁRIOS E MENSAIS OBSERVADOS PELAS ESTAÇÕES DO GOAMAZON2014/5 E ESTIMADO PELO CHIRPS PARA OS ANOS DE 2014 E 2015.....	69
FIGURA 13: ACUMULADOS DIÁRIOS E MENSAIS OBSERVADOS PELA ESTAÇÃO DO INMET E ESTIMADO PELO CHIRPS PARA OS ANOS DE 2014 E 2015.	71
FIGURA 14: <i>BOXPLOTS</i> MENSAIS DA PRECIPITAÇÃO OBTIDA PELA ESTAÇÃO ATTO (<i>BOXPLOTS</i> E PONTOS VERMELHOS) E PELO CHIRPS (<i>BOXPLOTS</i> E PONTOS AZUIS) PARA OS ANOS DE 2014 E 2015. OS <i>BOXPLOTS</i> MOSTRAM A MEDIANA, PRIMEIRO E TERCEIRO QUARTIL, AS LINHAS TRACEJADAS SE ESTENDEM DOS VALORES MÍNIMOS AOS MÁXIMOS DAS SÉRIES DIÁRIAS DE CADA MÊS, QUE SÃO 1.5 VEZES A FAIXA INTERQUARTIL ABAIXO OU ACIMA DOS QUARTIS, E OS SÍMBOLOS '+' CORRESPONDEM AOS VALORES ATÍPICOS QUE NÃO ESTÃO DENTRO DESSE INTERVALO.	73

FIGURA 15: Q-Q PLOTS DOS DADOS DIÁRIOS DE PRECIPITAÇÃO DO CHIRPS E DA ESTAÇÃO ATTO, PARA 2014 E 2015. A LINHA CONTÍNUA PRETA REPRESENTA A LINHA 1:1 E A TRACEJADA VERMELHA O AJUSTE LINEAR.	74
FIGURA 16: MATRIZ DE CONFUSÃO DOS DADOS DIÁRIOS DA ATTO E CHIRPS.....	74
FIGURA 17: ACUMULADOS MENSAIS DA ESTAÇÃO ATTO (EM VERMELHO) E DO CHIRPS (EM AZUL) E O VIÉS MENSAL PARA O ANO DE 2014.....	75
FIGURA 18: ACUMULADOS MENSAIS DA ESTAÇÃO ATTO (EM VERMELHO) E DO CHIRPS (EM AZUL) E O VIÉS MENSAL PARA O ANO DE 2015.....	76
FIGURA 19: GRÁFICO DE DISPERSÃO DOS ACUMULADOS MENSAIS DO CHIRPS PELOS ACUMULADOS MENSAIS DA ATTO PARA O ANO DE (A) 2014 E (B) 2015. A LINHA AZUL REPRESENTA A LINHA 1:1 E A VERMELHA O AJUSTE LINEAR.	76
FIGURA 20: BOXPLOTS MENSAIS DA PRECIPITAÇÃO OBTIDA PELA ESTAÇÃO MAO (BOXPLOTS E PONTOS VERMELHOS) E PELO CHIRPS (BOXPLOTS E PONTOS AZUIS) PARA OS ANOS DE 2014 E 2015. OS BOXPLOTS MOSTRAM A MEDIANA, PRIMEIRO E TERCEIRO QUARTIL, AS LINHAS TRACEJADAS SE ESTENDEM DOS VALORES MÍNIMOS AOS MÁXIMOS DAS SÉRIES DIÁRIAS DE CADA MÊS, QUE SÃO 1.5 VEZES A FAIXA INTERQUARTIL ABAIXO OU ACIMA DOS QUARTIS, E OS SÍMBOLOS '+' CORRESPONDEM AOS VALORES ATÍPICOS QUE NÃO ESTÃO DENTRO DESSE INTERVALO.	78
FIGURA 21: Q-Q PLOTS DOS DADOS DIÁRIOS DE PRECIPITAÇÃO DO CHIRPS E DA ESTAÇÃO MAO, PARA 2014 E 2015. A LINHA CONTÍNUA PRETA REPRESENTA A LINHA 1:1 E A TRACEJADA VERMELHA O AJUSTE LINEAR.	79
FIGURA 22: MATRIZ DE CONFUSÃO DOS DADOS DIÁRIOS DA MAO E CHIRPS.	79
FIGURA 23: ACUMULADOS MENSAIS DA ESTAÇÃO MAO (EM VERMELHO) E DO CHIRPS (EM AZUL) E O VIÉS MENSAL PARA O ANO DE 2014.....	80
FIGURA 24: ACUMULADOS MENSAIS DA ESTAÇÃO MAO (EM VERMELHO) E DO CHIRPS (EM AZUL) E O VIÉS MENSAL PARA O ANO DE 2015.....	81
FIGURA 25: GRÁFICO DE DISPERSÃO DOS ACUMULADOS MENSAIS DO CHIRPS PELOS ACUMULADOS MENSAIS DA MAO PARA O ANO DE (A) 2014 E (B) 2015. A LINHA AZUL REPRESENTA A LINHA 1:1 E A VERMELHA O AJUSTE LINEAR.	81
FIGURA 26: BOXPLOTS MENSAIS DA PRECIPITAÇÃO OBTIDA PELA ESTAÇÃO INMET (BOXPLOTS E PONTOS VERMELHOS) E PELO CHIRPS (BOXPLOTS E PONTOS AZUIS) PARA OS ANOS DE 2014 E 2015. OS BOXPLOTS MOSTRAM A MEDIANA, PRIMEIRO E TERCEIRO QUARTIL, AS LINHAS TRACEJADAS SE ESTENDEM DOS VALORES MÍNIMOS AOS MÁXIMOS DAS SÉRIES DIÁRIAS DE CADA MÊS, QUE SÃO 1.5 VEZES A FAIXA INTERQUARTIL ABAIXO OU ACIMA DOS QUARTIS, E OS SÍMBOLOS '+' CORRESPONDEM AOS VALORES ATÍPICOS QUE NÃO ESTÃO DENTRO DESSE INTERVALO.	82
FIGURA 27: Q-Q PLOTS DOS DADOS DIÁRIOS DE PRECIPITAÇÃO DO CHIRPS E DA ESTAÇÃO INMET, PARA 2014 E 2015. A LINHA CONTÍNUA PRETA REPRESENTA A LINHA 1:1 E A TRACEJADA VERMELHA O AJUSTE LINEAR.	83
FIGURA 28: MATRIZ DE CONFUSÃO DOS DADOS DIÁRIOS DA INMET E CHIRPS.....	84
FIGURA 29: ACUMULADOS MENSAIS DA ESTAÇÃO INMET (EM VERMELHO) E DO CHIRPS (EM AZUL) E O VIÉS MENSAL PARA O ANO DE 2014.....	84
FIGURA 30: ACUMULADOS MENSAIS DA ESTAÇÃO INMET (EM VERMELHO) E DO CHIRPS (EM AZUL) E O VIÉS MENSAL PARA O ANO DE 2015.....	85

- FIGURA 31: GRÁFICO DE DISPERSÃO DOS ACUMULADOS MENSIS DO CHIRPS PELOS ACUMULADOS MENSIS DA ATTO PARA O ANO DE (A) 2014 E (B) 2015. A LINHA AZUL REPRESENTA A LINHA 1:1 E A VERMELHA O AJUSTE LINEAR. 86
- FIGURA 32: DIAGRAMA DE TAYLOR PARA AS SÉRIES DIÁRIAS DE PRECIPITAÇÃO REFERENTES ÀS ESTAÇÕES ATTO (TRIÂNGULO AZUL), MAO (CÍRCULO VERMELHO) E INMET (LOSANGO AMARELO). AS VARIÁVEIS FORAM TODAS NORMALIZADAS PELO DESVIO PADRÃO DAS OBSERVAÇÕES. 87
- FIGURA 33: DIAGRAMA DE TAYLOR PARA AS SÉRIES MENSIS DE PRECIPITAÇÃO REFERENTES ÀS ESTAÇÕES ATTO (TRIÂNGULO AZUL), MAO (CÍRCULO VERMELHO) E INMET (LOSANGO AMARELO). AS VARIÁVEIS FORAM TODAS NORMALIZADAS PELO DESVIO PADRÃO DAS OBSERVAÇÕES. 88
- FIGURA 34: NÚMERO DE ESTAÇÕES USADAS NO PRODUTO MENSAL DO CHIRPS NO BRASIL NO PERÍODO DE 1981 A 2017 (DISPONÍVEL EM: [HTTP://CHG.GEOG.UCSB.EDU/DATA/CHIRPS/STATIONS/INDEX.HTML#_SA](http://chg.geog.ucsb.edu/data/chirps/stations/index.html#_sa))..... 91
- FIGURA 35: ANOMALIAS MENSIS DO (A) TNA, (B) TSA E (C) NIÑO 3.4 PARA OS ANOS DE 2014 E 2015..... 93
- FIGURA 36: ANOMALIA DE PRECIPITAÇÃO DO ANO DE 2014 (MM/ANO) EM RELAÇÃO A CLIMATOLOGIA DOS ANOS NEUTROS DO CHIRPS, EM TRACEJADO ESTÁ O LIMITE ESPACIAL DA BACIA AMAZÔNICA E AS ESTAÇÕES ATTO (QUADRADO), INMET (CÍRCULO) E MAO (TRIANGULO) ESTÃO REPRESENTADAS COM SÍMBOLOS PRETOS. EM DESTAQUE UM ZOOM NA REGIÃO DAS ESTAÇÕES, AS LINHAS AZUIS CORRESPONDEM AO RIO AMAZONAS E SEUS PRINCIPAIS AFLUENTES..... 95
- FIGURA 37: ANOMALIA DE PRECIPITAÇÃO DO ANO DE 2015 (MM/ANO) EM RELAÇÃO A CLIMATOLOGIA DOS ANOS NEUTROS DO CHIRPS, EM TRACEJADO ESTÁ O LIMITE ESPACIAL DA BACIA AMAZÔNICA E AS ESTAÇÕES ATTO (QUADRADO), INMET (CÍRCULO) E MAO (TRIANGULO) ESTÃO REPRESENTADAS COM SÍMBOLOS PRETOS. EM DESTAQUE UM ZOOM NA REGIÃO DAS ESTAÇÕES, AS LINHAS AZUIS CORRESPONDEM AO RIO AMAZONAS E SEUS PRINCIPAIS AFLUENTES..... 96
- FIGURA 38: ANOMALIAS MENSIS DE PRECIPITAÇÃO COM ÍNDICE SOI PARA AS ESTAÇÕES (A) ATTO, (C) MAO E (E) INMET; E ANOMALIAS TRIMESTRAIS DE PRECIPITAÇÃO COM ÍNDICE ONI PARA AS ESTAÇÕES (B) ATTO, (D) MAO E (F) INMET, PARA OS ANOS DE 2014 E 2015. 97
- FIGURA 39: NÚMERO DE EVENTOS CHUVOSOS (A) E SECOS (B) REGISTRADOS POR ANO, DE 1981 A 2015, PARA A SÉRIE DO CHIRPS DA ESTAÇÃO ATTO. A LINHA TRACEJADA PRETA REPRESENTA A MÉDIA CLIMATOLÓGICA (CLIMATOLOGIA DE 1981 A 2013) DO NÚMERO DE EVENTOS. 101
- FIGURA 40: NÚMERO DE EVENTOS CHUVOSOS (A) E SECOS (B) REGISTRADOS POR ANO, DE 1981 A 2015, PARA A SÉRIE DO CHIRPS DA ESTAÇÃO MAO. A LINHA TRACEJADA PRETA REPRESENTA A MÉDIA CLIMATOLÓGICA (CLIMATOLOGIA DE 1981 A 2013) DO NÚMERO DE EVENTOS. 102
- FIGURA 41: NÚMERO DE EVENTOS CHUVOSOS (A) E SECOS (B) REGISTRADOS POR ANO, DE 1981 A 2015, PARA A SÉRIE DO CHIRPS DA ESTAÇÃO INMET. A LINHA TRACEJADA PRETA REPRESENTA A MÉDIA CLIMATOLÓGICA (CLIMATOLOGIA DE 1981 A 2013) DO NÚMERO DE EVENTOS. 102
- FIGURA 42: COMPOSIÇÕES DOS CAMPOS SINÓTICOS PARA OS EVENTOS CHUVOSOS OCORRIDOS DURANTE O PERÍODO CHUVOSO: (A) ANOMALIA DE TSM (°C), VENTOS EM 850HPA (M/S) E CONVERGÊNCIA DE UMIDADE PRÓXIMA A SUPERFÍCIE (10⁻⁴ G/KG/S); (B) ANOMALIA DE TSM (°C), VENTO (M/S) E

	DIVERGÊNCIA DO VENTO (10-5/s) EM 250HPa; (C) ANOMALIA DE TSM (°C) E ÔMEGA EM 500HPa (Pa/s). AS ESTAÇÕES ATTO, MAO E INMET ESTÃO INDICADOS COM UM QUADRADO, TRIÂNGULO E CÍRCULO PRETO. AS ÁREAS ESTATISTICAMENTE SIGNIFICATIVAS DOS CAMPOS SOMBREADOS ESTÃO INDICADAS PELO TRACEJADO CINZA E NOS CAMPOS DE VENTO COMO LINHAS PRETAS EM NEGRITO.	104
FIGURA 43:	COMPOSIÇÕES DOS CAMPOS SINÓTICOS PARA OS EVENTOS CHUVOSOS OCORRIDOS DURANTE O PERÍODO SECO: (A) ANOMALIA DE TSM (°C), VENTOS EM 850HPa (M/S) E CONVERGÊNCIA DE UMIDADE PRÓXIMA A SUPERFÍCIE (10-4 G/KG/S); (B) ANOMALIA DE TSM (°C), VENTO (M/S) E DIVERGÊNCIA DO VENTO (10-5/s) EM 250HPa; (C) ANOMALIA DE TSM (°C) E ÔMEGA EM 500HPa (Pa/s). AS ESTAÇÕES ATTO, MAO E INMET ESTÃO INDICADOS COM UM QUADRADO, TRIÂNGULO E CÍRCULO PRETO, RESPECTIVAMENTE. AS ÁREAS ESTATISTICAMENTE SIGNIFICATIVAS DOS CAMPOS SOMBREADOS ESTÃO INDICADAS PELO TRACEJADO CINZA E NOS CAMPOS DE VENTO COMO LINHAS PRETAS EM NEGRITO.	106
FIGURA 44:	COMPOSIÇÕES DOS CAMPOS SINÓTICOS PARA OS EVENTOS SECOS OCORRIDOS DURANTE O PERÍODO CHUVOSO: (A) ANOMALIA DE TSM (°C), VENTOS EM 850HPa (M/S) E CONVERGÊNCIA DE UMIDADE PRÓXIMA A SUPERFÍCIE (10-4 G/KG/S); (B) ANOMALIA DE TSM (°C), VENTO (M/S) E DIVERGÊNCIA DO VENTO (10-5/s) EM 250HPa; (C) ANOMALIA DE TSM (°C) E ÔMEGA EM 500HPa (Pa/s). AS ESTAÇÕES ATTO, MAO E INMET ESTÃO INDICADOS COM UM QUADRADO, TRIÂNGULO E CÍRCULO PRETO, RESPECTIVAMENTE. AS ÁREAS ESTATISTICAMENTE SIGNIFICATIVAS DOS CAMPOS SOMBREADOS ESTÃO INDICADAS PELO TRACEJADO CINZA E NOS CAMPOS DE VENTO COMO LINHAS PRETAS EM NEGRITO.	108
FIGURA 45:	COMPOSIÇÕES DOS CAMPOS SINÓTICOS PARA OS EVENTOS SECOS OCORRIDOS DURANTE O PERÍODO SECO: (A) ANOMALIA DE TSM (°C), VENTOS EM 850HPa (M/S) E CONVERGÊNCIA DE UMIDADE PRÓXIMA A SUPERFÍCIE (10-4 G/KG/S); (B) ANOMALIA DE TSM (°C), VENTO (M/S) E DIVERGÊNCIA DO VENTO (10-5/s) EM 250HPa; (C) ANOMALIA DE TSM (°C) E ÔMEGA EM 500HPa (Pa/s). AS ESTAÇÕES ATTO, MAO E INMET ESTÃO INDICADOS COM UM QUADRADO, TRIÂNGULO E CÍRCULO PRETO, RESPECTIVAMENTE. AS ÁREAS ESTATISTICAMENTE SIGNIFICATIVAS DOS CAMPOS SOMBREADOS ESTÃO INDICADAS PELO TRACEJADO CINZA E NOS CAMPOS DE VENTO COMO LINHAS PRETAS EM NEGRITO.	110
FIGURA 46:	DISTRIBUIÇÃO MENSAL DOS 65 EVENTOS CHUVOSOS OCORRIDOS EM 2014 (EM CIMA) E 2015 (EMBAIXO). OS MESES QUE CORRESPONDEM AO PERÍODO CHUVOSO ESTÃO EM AZUL E OS DO PERÍODO SECO EM VERMELHO.....	113
FIGURA 47:	NÚMERO DE EVENTOS CHUVOSOS ASSOCIADO A CADA TIPO DE SISTEMA METEOROLÓGICO NO PERÍODO CHUVOSOS (EM AZUL) E NO PERÍODO SECO (EM VERMELHO).....	114
FIGURA 48:	NÚMERO DE EVENTOS CHUVOSOS OCORRIDOS EM CADA FASE DA OMJ. A QUANTIDADE DE EVENTOS DE OMJ ATIVA ESTÃO EM LARANJA E OS DE OMJ INATIVA EM CINZA.	117
FIGURA 49:	NÚMERO DE EVENTOS SECOS OCORRIDOS EM CADA FASE DA OMJ. A QUANTIDADE DE EVENTOS DE OMJ ATIVA ESTÃO EM LARANJA E OS DE OMJ INATIVA EM CINZA.	117

- FIGURA 50: CAMPOS SINÓTICOS REFERENTES AO DIA 08/03/2014 AS 06Z. (A) LINHAS DE CORRENTE E DIVERGÊNCIA (10^{-5} s^{-1}) EM 200HPA. (B) ÔMEGA (PA/S) E ALTURA GEOPOTENCIAL (GPM) EM 500 HPA. (C) DIVERGÊNCIA DE UMIDADE (10^{-4} G/KG/S) EM SUPERFÍCIE E VENTO (M/S) EM 850 HPA. (D) TEMPERATURA ($^{\circ}\text{C}$), PRNM (HPA) E VENTO (M/S) EM 1000HPA. A ATTO ESTÁ INDICADA COM UM QUADRADO PRETO, INMET COM UM CÍRCULO PRETO E O MAO COM UM TRIÂNGULO PRETO NOS MAPAS..... 119
- FIGURA 51: IMAGEM DE SATÉLITE DO CANAL DO INFRAVERMELHO EM 08/03/2014 AS 09 UTC. OS VALORES SOMBREADOS REPRESENTAM A TEMPERATURA DE BRILHO EM KELVIN. O INMET ESTÁ INDICADO COM UM CÍRCULO PRETO. 120
- FIGURA 52: VARIAÇÃO HORÁRIA DA (A) PRECIPITAÇÃO; (B) UMIDADE RELATIVA; (C) TEMPERATURA DO AR; (D) PRESSÃO; (E) VELOCIDADE DO VENTO; E (F) DIREÇÃO DO VENTO, PARA O DIA 08/03/2014 DA ESTAÇÃO INMET..... 121
- FIGURA 53: CAMPOS SINÓTICOS REFERENTES AO DIA 19/03/2014 AS 12Z. (A) LINHAS DE CORRENTE E DIVERGÊNCIA (10^{-5} s^{-1}) EM 200HPA. (B) ÔMEGA (PA/S) E ALTURA GEOPOTENCIAL (GPM) EM 500 HPA. (C) DIVERGÊNCIA DE UMIDADE (10^{-4} G/KG/S) EM SUPERFÍCIE E VENTO (M/S) EM 850 HPA. (D) TEMPERATURA ($^{\circ}\text{C}$), PRNM (HPA) E VENTO (M/S) EM 1000HPA. A ATTO ESTÁ INDICADA COM UM QUADRADO PRETO, INMET COM UM CÍRCULO PRETO E O MAO COM UM TRIÂNGULO PRETO NOS MAPAS..... 124
- FIGURA 54: IMAGEM DE SATÉLITE DO CANAL DO INFRAVERMELHO EM 19/03/2014 AS 17 UTC. OS VALORES SOMBREADOS REPRESENTAM A TEMPERATURA DE BRILHO EM KELVIN. A MAO ESTÁ INDICADA COM UM TRIÂNGULO PRETO 125
- FIGURA 55: VARIAÇÃO HORÁRIA DA (A) PRECIPITAÇÃO; (B) UMIDADE RELATIVA; (C) TEMPERATURA DO AR; (D) PRESSÃO; (E) VELOCIDADE DO VENTO; E (F) DIREÇÃO DO VENTO, PARA O DIA 19/03/2014 DA ESTAÇÃO MAO..... 126
- FIGURA 56: CAMPOS SINÓTICOS REFERENTES AO DIA 06/05/2014 AS 06Z. (A) LINHAS DE CORRENTE E DIVERGÊNCIA (10^{-5} s^{-1}) EM 200HPA. (B) ÔMEGA (PA/S) E ALTURA GEOPOTENCIAL (GPM) EM 500 HPA. (C) DIVERGÊNCIA DE UMIDADE (10^{-4} G/KG/S) EM SUPERFÍCIE E VENTO (M/S) EM 850 HPA. (D) TEMPERATURA ($^{\circ}\text{C}$), PRNM (HPA) E VENTO (M/S) EM 1000HPA. A ATTO ESTÁ INDICADA COM UM QUADRADO PRETO, INMET COM UM CÍRCULO PRETO E O MAO COM UM TRIÂNGULO PRETO NOS MAPAS..... 128
- FIGURA 57: IMAGEM DE SATÉLITE DO CANAL DO INFRAVERMELHO EM 06/05/2014 AS 04 UTC. OS VALORES SOMBREADOS REPRESENTAM A TEMPERATURA DE BRILHO EM KELVIN. A ATTO ESTÁ INDICADA COM UM QUADRADO PRETO. 129
- FIGURA 58: VARIAÇÃO HORÁRIA DA (A) PRECIPITAÇÃO; (B) UMIDADE RELATIVA; (C) TEMPERATURA DO AR; (D) PRESSÃO; (E) VELOCIDADE DO VENTO; E (F) DIREÇÃO DO VENTO, PARA O DIA 06/05/2014 DA ESTAÇÃO ATTO. 130
- FIGURA 59: CAMPOS SINÓTICOS REFERENTES AO DIA 30/06/2014 AS 12Z. (A) LINHAS DE CORRENTE E DIVERGÊNCIA (10^{-5} s^{-1}) EM 200HPA. (B) ÔMEGA (PA/S) E ALTURA GEOPOTENCIAL (GPM) EM 500 HPA. (C) DIVERGÊNCIA DE UMIDADE (10^{-4} G/KG/S) EM SUPERFÍCIE E VENTO (M/S) EM 850 HPA. (D) TEMPERATURA ($^{\circ}\text{C}$), PRNM (HPA) E VENTO (M/S) EM 1000HPA. A ATTO ESTÁ INDICADA COM UM QUADRADO PRETO, INMET COM UM CÍRCULO PRETO E O MAO COM UM TRIÂNGULO PRETO NOS MAPAS..... 132
- FIGURA 60: IMAGEM DE SATÉLITE DO CANAL DO INFRAVERMELHO EM 30/06/2014 AS 19 UTC. OS VALORES SOMBREADOS REPRESENTAM A TEMPERATURA DE BRILHO EM KELVIN. A ATTO ESTÁ INDICADA COM UM QUADRADO PRETO 133

- FIGURA 61: VARIAÇÃO HORÁRIA DA (A) PRECIPITAÇÃO; (B) UMIDADE RELATIVA; (C) TEMPERATURA DO AR; (D) PRESSÃO; (E) VELOCIDADE DO VENTO; E (F) DIREÇÃO DO VENTO, PARA O DIA 30/06/2014 DA ESTAÇÃO ATTO. 134
- FIGURA 62: CAMPOS SINÓTICOS REFERENTES AO DIA 11/03/2015 AS 06Z. (A) LINHAS DE CORRENTE E DIVERGÊNCIA (10^{-5} s^{-1}) EM 200HPA. (B) ÔMEGA (PA/S) E ALTURA GEOPOTENCIAL (GPM) EM 500 HPA. (C) DIVERGÊNCIA DE UMIDADE (10^{-4} G/KG/S) EM SUPERFÍCIE E VENTO (M/S) EM 850 HPA. (D) TEMPERATURA ($^{\circ}\text{C}$), PRNM (HPA) E VENTO (M/S) EM 1000HPA. A ATTO ESTÁ INDICADA COM UM QUADRADO PRETO, INMET COM UM CÍRCULO PRETO E O MAO COM UM TRIÂNGULO PRETO NOS MAPAS..... 137
- FIGURA 63: IMAGEM DE SATÉLITE DO CANAL DO INFRAVERMELHO EM 11/03/2015 AS 10 UTC. OS VALORES SOMBREADOS REPRESENTAM A TEMPERATURA DE BRILHO EM KELVIN. A ATTO ESTÁ INDICADA COM UM QUADRADO PRETO 138
- FIGURA 64: VARIAÇÃO HORÁRIA DA (A) PRECIPITAÇÃO; (B) UMIDADE RELATIVA; (C) TEMPERATURA DO AR; (D) PRESSÃO; (E) VELOCIDADE DO VENTO; E (F) DIREÇÃO DO VENTO, PARA O DIA 11/03/2015 DA ESTAÇÃO ATTO. 139

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: MATRIZ DE CONFUSÃO PARA UM EXEMPLO DE DUAS CLASSES.	59
TABELA 2: ANOS NEUTROS E DE EL NIÑO DA SÉRIE CLIMATOLÓGICA DO CHIRPS, UTILIZADOS PARA FAZER A CLIMATOLOGIA DOS EVENTOS NEUTROS E DE EL NIÑO. SÓ FORAM CONSIDERADOS EL NIÑOS MODERADOS OU FORTES.	64
TABELA 3: EVENTOS CHUVOSOS E SECOS REGISTRADOS NA SÉRIE DA ATTO, CHIRPS E EVENTOS QUE FORAM REGISTRADOS POR AMBAS.	99
TABELA 4: EVENTOS CHUVOSOS E SECOS REGISTRADOS NA SÉRIE DE MANACAPURU, CHIRPS E EVENTOS QUE FORAM REGISTRADOS POR AMBAS.	99
TABELA 5: EVENTOS CHUVOSOS E SECOS REGISTRADOS NA SÉRIE DO INMET, CHIRPS E EVENTOS QUE FORAM REGISTRADOS POR AMBAS.	99
TABELA 6: TABELA DE DESCRIÇÃO DOS 65 EVENTOS CHUVOSOS IDENTIFICADOS.	155

LISTA DE ABREVIATURAS

AB	Alta da Bolívia
ASAN	Alta Subtropical do Atlântico Norte
ASAS	Alta Subtropical do Atlântico Sul
CCM	Complexo Convectivo de Mesoescala
CFSv2	<i>Climate Forecast System Version 2</i>
CHIRPS	<i>Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations</i>
CHPClim	<i>Climate Hazards Precipitation Climatology</i>
COR	Coeficiente de Correlação
CPC	<i>Climate Prediction Center</i>
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DOE	<i>Department of Energy of U.S</i> (Departamento de Energia dos EUA)
ENOS	El Niño Oscilação Sul
GFS	<i>Global Forecast System</i>
GoAmazon2014/5	<i>Green Ocean Amazon</i>
HL	Hora Local
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPA	Instituto Nacional de Pesquisas Amazônicas
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IR	Infravermelho
JBN	Jatos de Baixos Níveis
LBA	<i>Large-Scale Biosphere-Atmosphere programme</i>
LI	Linha de Instabilidade
MPV	Método dos Percentis Variáveis
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NCEP	<i>National Centers for Environmental Prediction</i>
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
NOAA OI SST V2	<i>NOAA Optimum Interpolation Sea Surface Temperature V2</i>
OISST	<i>Optimum Interpolation Sea Surface Temperature</i>
OMJ	Oscilação de Madden-Julian
ONI	<i>Oceanic Niño Index</i> (Índice Oceânico do Niño)
PRNM	Pressão Reduzida ao Nível médio do Mar
RMSD	Raiz do Erro Médio Quadrático
SCM	Sistema Convectivo de Mesoescala
SOI	<i>Southern Oscillation Index</i> (Índice Oscilação Sul)
STD	<i>Standard Deviation</i> (Desvio Padrão)
TRMM	<i>The Tropical Rainfall Measuring Mission</i>
TNA	<i>Tropical Northern Atlantic</i> (Atlântico Tropical Norte)

TSA	<i>Tropical Southern Atlantic</i> (Atlântico Tropical Sul)
TSM	Temperatura de Superfície do Mar
UTC	<i>Universal Time Coordinated</i>
VCAN	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZCOU	Zona de Convergência de Umidade

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	20
1.1 OBJETIVOS	21
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1 CLIMA AMAZÔNICO	24
2.1.1 SISTEMAS METEOROLÓGICOS	32
2.1.1.1 ZONA DE CONVERGÊNCIA INTERTROPICAL	32
2.1.1.2 ALTA DA BOLÍVIA.....	33
2.1.1.3 ZONA DE CONVERGÊNCIA DO ATLÂNTICO SUL E ZONA DE CONVERGÊNCIA DE UMIDADE	34
2.1.1.4 FRENTES FRIAS	36
2.1.1.5 SISTEMAS CONVECTIVOS DE MESOESCALA	38
2.1.1.6 BRISA FLUVIAL.....	40
2.1.2 PADRÕES DE TELECONEXÕES ATMOSFÉRICAS.....	42
2.2 GOAMAZON2014/5	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
3. DADOS E METODOLOGIA.....	52
3.1 DADOS	52
3.2 VERIFICAÇÃO E COMPARAÇÃO DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO.....	57
3.3 ANÁLISE DE TELECONEXÕES OCEÂNICAS.....	63
3.4 DETERMINAÇÃO DE EVENTOS CHUVOSOS E SECOS.....	64
3.5 TÉCNICA DE COMPOSIÇÕES.....	66

3.6 IDENTIFICAÇÃO DOS SISTEMAS METEOROLÓGICOS.....	67
3.7 ANÁLISE NO IMPACTO NO CONJUNTO DE DADOS COLETADOS	68
4. RESULTADOS.....	69
4.1 VERIFICAÇÃO DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO	69
4.2 COMPARAÇÃO DAS ESTAÇÕES <i>VERSUS</i> CHIRPS.....	72
4.3 INFLUÊNCIA DOS OCEANOS ATLÂNTICO E PACÍFICO TROPICAIS.....	91
4.5 COMPOSIÇÃO DOS EVENTOS CHUVOSOS E SECOS	103
4.6 IDENTIFICAÇÃO DOS SISTEMAS METEOROLÓGICOS ATUANTES.....	112
4.7 IMPACTO NOS DADOS METEOROLÓGICOS COLETADOS	118
5 CONCLUSÕES	141
6 REFERÊNCIAS	146
7 ANEXO.....	155

1. INTRODUÇÃO

A Amazônia exerce um importante papel, tanto em âmbito regional quanto global, por abrigar a maior floresta tropical do planeta, contendo cerca de 30% da biomassa total do mundo (Barry e Chorley, 2013) e por ser o maior bioma brasileiro (Oeco, 2014). A floresta amazônica possui grande variedade de ecossistemas, abrigando quase metade da biodiversidade do planeta (Viana et al., 2014), além de reter ampla disponibilidade hídrica a partir de seus diversos canais fluviais. Devido a sua localização ao norte da América do Sul, situada na faixa equatorial, apresenta um clima predominantemente quente e úmido, característicos de clima tropical, onde a convecção é o principal elemento que rege o clima local. Essa intensa e constante convecção amazônica é uma importante fonte troposférica de calor para a circulação geral atmosférica.

Devido a sua grande extensão territorial (extensão latitudinal de 5°N a 18°S e longitudinal de 42°O a 74°O), a bacia amazônica possui diferentes características de tempo e clima ao longo de seu território (Santos et al., 2015a; Santos et al, 2015b). Essas características são regidas por uma combinação de processos físicos e dinâmicos complexos, que vão desde fatores locais (como o aquecimento radiativo, topografia, presença de corpos d'água, vegetação, desmatamento e áreas urbanas) até grandes sistemas sinóticos e padrões de teleconexões atmosféricas.

A fim de compreender a complexidade do clima amazônico diversos experimentos de pesquisa e coleta de dados, de parcerias nacionais e internacionais, atuam nessa região. Dentre os mais recentes desses projetos tem-se o *Green Ocean Amazon* (GoAmazon2014/5) (Martin et al., 2016), que atuou durante os anos de 2014 e 2015, principalmente nas áreas adjacentes a cidade de Manaus. Projeto de parceria internacional entre instituições do Brasil e Estados Unidos cujo principal objetivo é o de obter um melhor entendimento das interações dos aerossóis no ciclo de vida das nuvens e precipitação da região.

1.1 Objetivos

Dentro do âmbito do projeto GoAmazon2014/5, que propõe entender melhor a formação de precipitação na região amazônica, esse estudo tem como objetivo principal avaliar a variabilidade dos dados meteorológicos diários obtidos durante o experimento GoAmazon2014/5 (anos 2014 e 2015), coletados nos cinco sítios fixos de coleta de dados distribuídos próximos a cidade de Manaus. Pretende-se também, associar anomalias encontradas nos sítios com sistemas atmosféricos atuantes na região e de larga escala, de forma a determinar sua influência durante a coleta de dados. Em termos específicos:

⇒ Avaliar os dados meteorológicos coletados pelas cinco estações do GoAmazon2014/5, nos anos de 2014 e 2015;

⇒ Verificar o impacto de sistemas sinóticos sobre a variabilidade diária dos dados meteorológicos coletados nas estações;

⇒ Verificar se ou quais sistemas atmosféricos (ZCIT, AB, ZCAS, ZCOU, Frentes Frias, SCMs e Brisa Fluvial – ver Seção 2.1.1) estiveram presentes e como afetaram os dados coletados;

⇒ Tendo em vista que o ano de 2015 foi um ano de El Niño e o ano de 2014 foi anômalo em termos de precipitação, avaliar como os dados coletados nas estações variaram em relação à média climatológica;

⇒ Avaliar os impactos de padrões atmosféricos de grande escala tanto em termos interanuais quanto intrasazonais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A floresta amazônica ocupa uma grande área no continente sul-americano, estando distribuída por oito países da América do Sul. Cerca de 60% de seu bioma está situado em território brasileiro (Marengo e Nobre, 2009), distribuída entre os estados do Amazonas, Pará, Rondônia, Acre, Amapá, Roraima, Tocantins, Maranhão e Mato Grosso. Esses estados formam a região denominada de Amazônia Legal (Figura 1). A Amazônia Legal abriga cerca de 40% de toda a floresta tropical remanescente do mundo (Kirby et al., 2006), floresta que ocupa 64% do território da Amazônia Legal, o resto do território é dividido em formações vegetais não-florestais, como o cerrado e campos naturais (Imazon, 2015).



Figura 1: Bioma da floresta Amazônica e estados que compõe a Amazônia Legal (Fonte: IMAZON).

Já a bacia amazônica é a região que envolve todo o sistema hídrico de canais fluviais que convergem no rio Amazonas (Figura 2). Essa possui uma área de aproximadamente 6.3 milhões de quilômetros quadrados, sendo que 5 milhões estão em território brasileiro, e o restante está dividido entre outros países da

América do Sul como, Bolívia, Peru, Equador e Colômbia (Fisch et. al, 1998), ocupando 35% do território total da América do Sul (Sousa, 2003). Geograficamente ela está limitada ao norte pelo Planalto das Guianas, ao sul pelo Planalto Central, ao oeste pela Cordilheira dos Andes e ao leste pelo oceano Atlântico, onde o rio Amazonas deságua (Figura 2), e é formada por mais de mil rios, contendo cerca de 70% da disponibilidade de água doce do mundo (Marengo, 2008). Seu principal rio, o rio Amazonas, possui uma extensão de aproximadamente 6992 km, sendo um dos rios mais longos do mundo, e sua largura varia ao longo do ano, atingindo, no seu ponto mais largo, 11 km no período seco e 40 km no período chuvoso (Marengo et al., 2012), além disso sua descarga no oceano Atlântico corresponde a 18% de toda a descarga fluvial de água doce nos oceanos (Marengo e Nobre, 2009).



Figura 2: Bacia Amazônica e Amazônia brasileira (Fonte: Filho e Souza, 2009).

Ao longo das últimas décadas, principalmente a partir de 1970, a região amazônica passa por uma intensa e crescente urbanização, apresentando taxas de crescimento populacional superiores às médias nacionais (Sathler et al., 2009). A região que chama mais atenção é a região metropolitana de Manaus, localizada na Amazônia Central, com 517 km² aproximadamente (Santos et al., 2014), sendo

a sétima cidade mais populosa do país e a cidade mais populosa da região Norte (IBGE, 2017). Esse grande centro urbano é responsável por grandes alterações na cobertura do solo e propriedades atmosféricas, criando perturbações na circulação atmosférica regional. Essas perturbações estão associadas aos efeitos da ilha de calor urbana, que altera a temperatura da superfície criando um gradiente de temperatura entre a cidade e a floresta adjacente, e também aos grandes volumes de poluentes atmosféricos emitidos. Ambos acabam por afetar o ciclo de formação de nuvens e precipitação na região.

A intensa convecção tropical gerada pelo clima quente e úmido da Amazônia, principalmente durante o verão do Hemisfério Sul, é uma importante fonte de calor latente para a atmosfera. Esse calor é transportado para a alta troposfera através da convecção profunda e passa a ser um importante elemento na circulação geral atmosférica (Raupp e Silva Dias, 2004). Além disso, a floresta, por meio de seu processo de evapotranspiração, também emite grandes quantidades de calor latente para a atmosfera. Portanto, ambos os fatores são importantes fontes troposféricas de calor, contribuindo tanto para a circulação regional de verão austral quanto para a circulação global (Nobre et al., 2009). Dessa forma, alterações em seu clima e circulações locais podem acarretar em alterações climáticas de maior escala.

2.1 Clima Amazônico

A convecção atmosférica (precipitante ou não precipitante) é o elemento que domina as condições do tempo e clima da Amazônia, influenciando o comportamento de outras variáveis meteorológicas, como temperatura, umidade, pressão e vento, e por esse motivo é a variável que melhor caracteriza as variabilidades climáticas da região (Fisch et al., 1998; Sousa, 2003).

De acordo com Molion (1987 e 1993) os principais mecanismos atmosféricos que podem promover convecção e precipitação na Amazônia podem

ser divididos em 3 grupos: 1) convecção diurna originada pelo aquecimento da superfície, favorecidas pelas condições de larga escala; 2) linhas de instabilidade que se formam na costa norte e nordeste do Brasil e 3) aglomerados convectivos de meso e larga escala associados com a penetração de sistemas frontais vindos das regiões Sul e Sudeste do Brasil.

No geral, a bacia amazônica apresenta grandes volumes de precipitação durante todo o ano, com uma média anual de 2300 mm (Marengo e Nobre, 2009), porém possui uma grande heterogeneidade tanto espacial quanto temporal. Em relação à distribuição espacial da precipitação, através dos valores pluviométricos anuais de toda a bacia (Figura 3) é possível notar a existência de quatro núcleos de precipitação: o primeiro encontra-se no noroeste da bacia, com valores pluviométricos acima de 3000 mm/ano, valores que estão associados ao levantamento orográfico que os ventos de leste sofrem devido aos Andes; o segundo fica na Amazônia central, com valor de 2500 mm/ano, que pode estar associado a penetração de sistemas frontais, que interagem e se alinham com a convecção local; o terceiro está situado na porção sul e possui os menores valores de precipitação, acima de 1750 mm/ano; e o quarto núcleo localiza-se no litoral do estado do Amapá, na foz do rio Amazonas, e apresenta os maiores valores pluviométricos da região, com valores acima de 4000 mm/ano, sendo fortemente influenciado pela formação Linhas de Instabilidade (LIs) na costa e pela presença e atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (Fisch et al, 1998; Marengo e Nobre, 2009; Reboita et al., 2010).

Para grande parte da Amazônia a estação chuvosa ocorre durante os meses de verão austral e a estação seca durante os meses de inverno austral. O período de maior atividade convectiva (período chuvoso) na região ocorre entre os meses de novembro a março, e o período de menor atividade convectiva (período seco) ocorre entre os meses de maio a setembro, os meses de abril e outubro são os meses de transição entre esses períodos (Fisch et al., 1998). Marengo et al. (2001) verificaram através de dados de precipitação que, fazendo uma média para toda a bacia amazônica, o início climatológico do período chuvoso ocorre na

pêntada centrada em 25 de setembro e o término na pêntada centrada em 2 de junho. Entretanto, observa-se uma defasagem de cerca de 6 meses em relação ao período de máxima precipitação entre a porção norte (mais próxima a linha do equador) e sul da bacia. Na parte norte os máximos ocorrem entre os meses de abril e junho, enquanto que no sul ocorrem entre os meses de dezembro e março (Foley et al., 2002; Marengo e Nobre, 2009). Dessa forma, o início da estação chuvosa parece progredir da porção sul ao norte da bacia, de forma que no sul o início ocorre entre o equinócio de setembro até o começo do verão austral e na porção norte o início ocorre após o equinócio de março (Liebmann e Marengo, 2001).

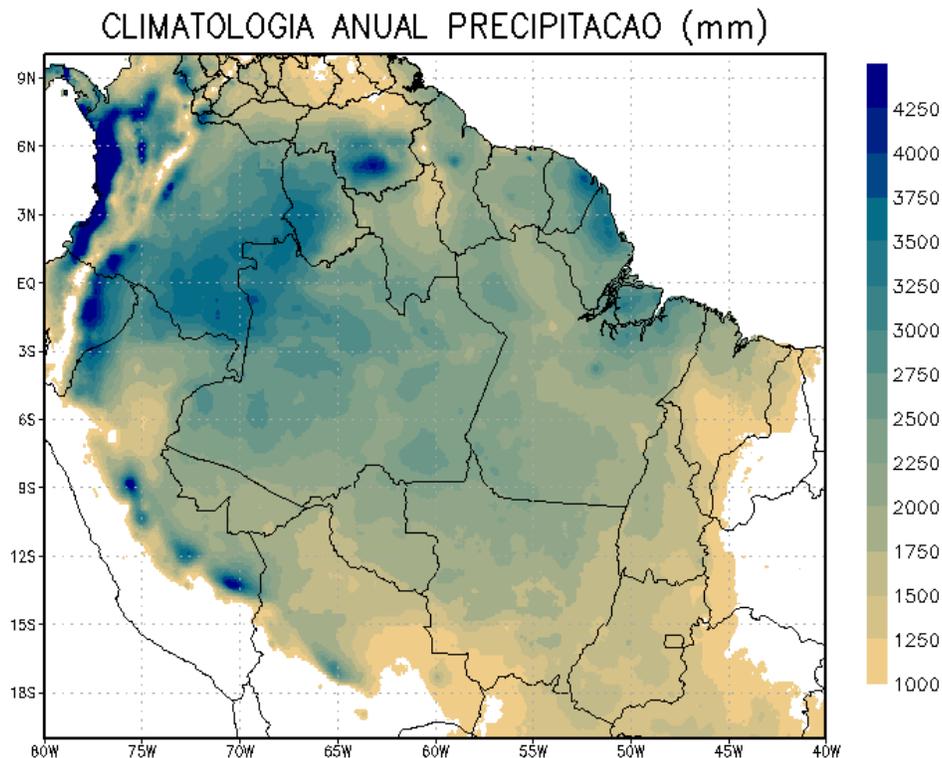


Figura 3: Climatologia anual de precipitação na Amazônia (Imagem de acervo pessoal gerada a partir dos dados de precipitação do CHIRPS, de 1981 a 2014).

A distribuição sazonal de precipitação mostrada na Figura 4 evidencia essa sazonalidade e migração da precipitação ao longo do ano na bacia

amazônica. No noroeste e região central da bacia a precipitação é bem distribuída ao longo do ano, porém a Amazônia central ainda apresenta certa diferença entre estação chuvosa e seca (Marengo et al., 2001). Durante os meses de verão austral (Figura 4a) os maiores valores de precipitação estão sobre o sul da bacia, orientados de noroeste para sudeste, devido à configuração da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

No outono austral (Figura 4b) a precipitação sobre a parte sul é reduzida e os máximos se deslocam para norte, concentrando-se na região central e principalmente no setor leste, na foz do rio Amazonas, isso devido ao posicionamento mais a sul da ZCIT. Durante esse trimestre, cerca de 60% do total anual de precipitação ocorre na região da foz do Rio Amazonas (Marengo et al., 2001).

Os meses de inverno austral (Figura 4c) caracterizam a estação seca de grande parte da bacia amazônica, principalmente na porção mais sul da bacia, onde o volume de precipitação é baixo por estar sob influência do ramo descendente da célula de Hadley. Já para o extremo norte da bacia, esse é o período de maiores acumulados de precipitação, isso devido ao aquecimento continental e posicionamento da ZCIT mais a norte da linha do Equador.

Os meses de primavera austral são caracterizados pelo início da estação chuvosa e retorno da precipitação sobre grande parte da bacia (Figura 4d), principalmente nas regiões mais ao sul, associado ao reaparecimento da Alta da Bolívia (AB) e formação das ZCAS. Horel et al (1989) notaram que este início de estação chuvosa ocorre de forma relativamente rápida, normalmente ocorrendo dentro do período de um mês e podendo as vezes ocorrer em um período de apenas 5 dias.

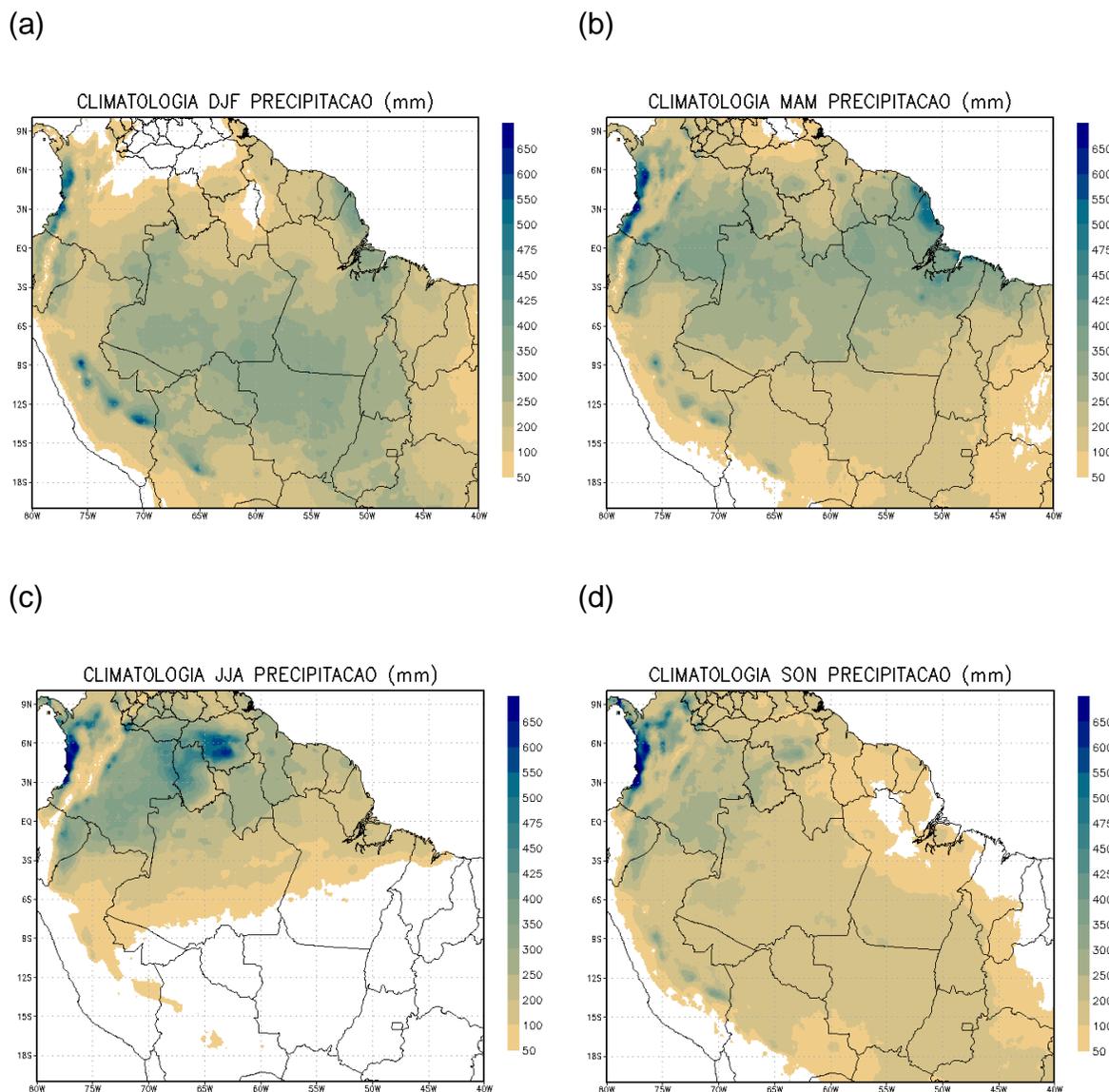


Figura 4: Climatologia de precipitação na Amazônia para os trimestres de (a) Dezembro-Janeiro-Fevereiro, (b) Março-Abril-Maio, (c) Junho-Julho-Agosto e (d) Setembro-Outubro-Novembro (Imagem de acervo pessoal gerada a partir dos dados de precipitação do CHIRPS, de 1981 a 2014).

Correlacionada com a variabilidade sazonal do regime de precipitação os valores de radiação solar incidente a superfície também apresentam uma variabilidade sazonal bem definida, pois estão diretamente ligadas com a formação de chuva e nebulosidade. Dessa forma, durante os meses chuvosos têm-se menores valores de radiação solar incidente na superfície, enquanto que

nos meses mais secos têm-se os maiores valores de radiação na superfície. Em média, para a região amazônica, durante a estação seca a insolação média (número de horas de exposição solar) atinge valores de 9.5 horas diárias, enquanto que na estação chuvosa esse valor é de cerca de 2.5 horas diárias (SUDAM, 1984).

Diferentemente da variabilidade de radiação solar incidente na superfície a disponibilidade de energia solar no topo da atmosfera é alta durante todo o ano, sem apresentar uma variabilidade anual significativa, pela região estar situada na porção equatorial da América do Sul. Os valores máximos são observados nos meses de dezembro e janeiro (cerca de $36.7 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$) e mínimos nos meses de junho e julho (cerca de $30.7 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$) (Salati e Marques, 1984).

Devido aos altos valores de radiação solar incidente, a temperatura média do ar mostra uma pequena variação ao longo do ano, com exceção da parte mais ao sul da bacia (Estados de Rondônia e Mato Grosso) que apresenta um ciclo anual de temperatura mais pronunciado devido à forçante solar e a penetração de sistemas frontais extratropicais (que são responsáveis pelos eventos denominados localmente de “friagens”) (Marengo e Nobre, 2009; Nobre et al., 2009). Os valores de temperatura média do ar situam-se entre 24 e 26°C (Figura 5), com temperatura mínima média de 22°C e máxima média de 32°C, e a amplitude térmica sazonal é de 1-2°C (SUDAM, 1984; Marengo e Nobre, 2009). Entretanto para a parte sul da bacia a amplitude é maior, podendo atingir 3 a 4°C (Nobre et al., 2009).

A Amazônia central equatorial é a região que apresenta as temperaturas mais elevadas (Figura 5), com valores de temperatura média que ultrapassam os 26-28°C (Marengo e Nobre, 2009). Citando alguns exemplos de cidades, Belém (PA) apresenta uma temperatura média mensal máxima de 26.5°C em novembro e a mínima de 25.4°C em março. Por outro lado, Manaus (AM) registra sua temperatura média mensal máxima de 27.9°C em setembro e mínima de 25.8°C em abril (Fisch et al, 1998).

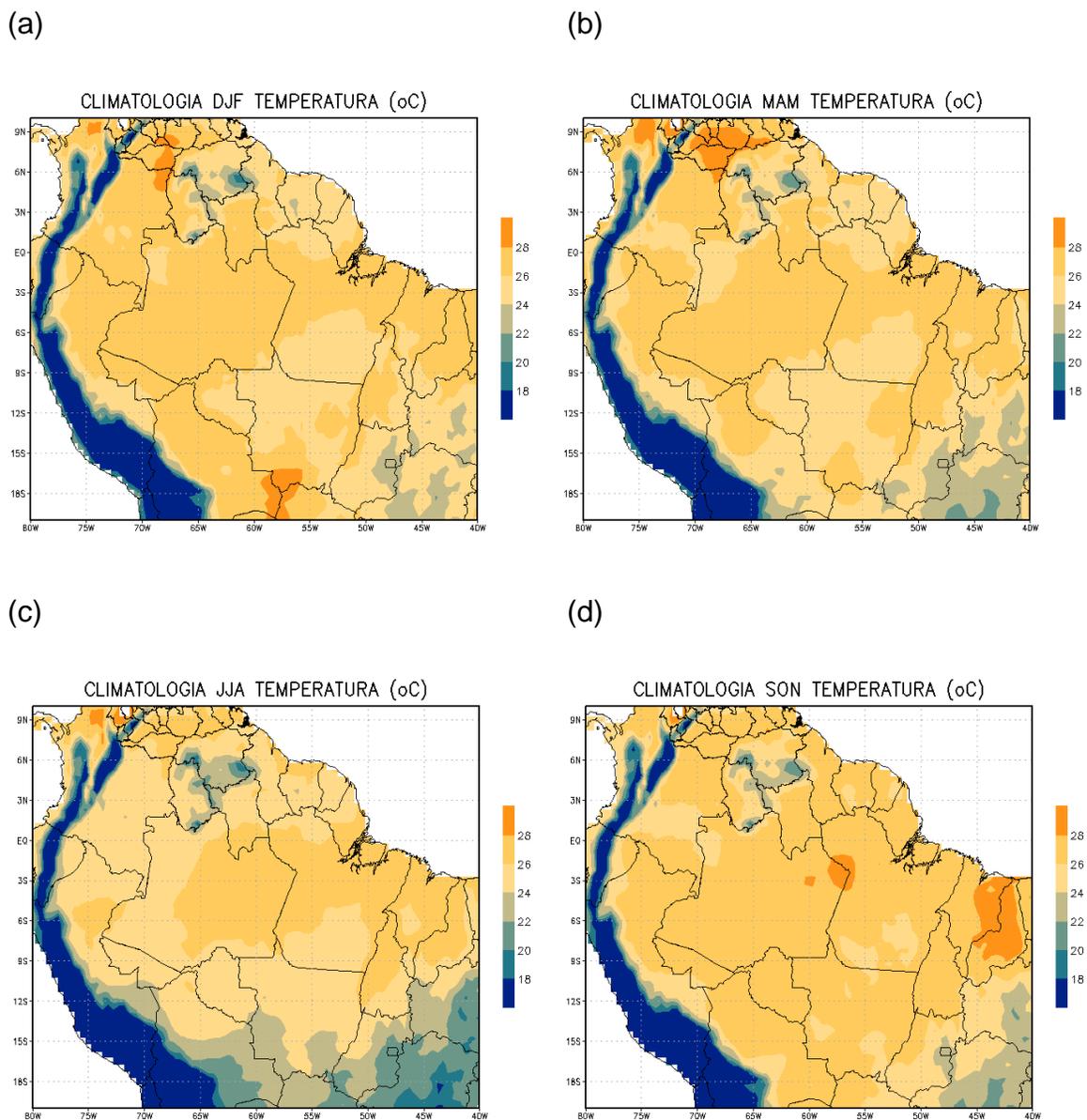


Figura 5: Climatologia de temperatura sobre a Amazônia para os trimestres de (a) Dezembro-Janeiro-Fevereiro, (b) Março-Abril-Maio, (c) Junho-Julho-Agosto e (d) Setembro-Outubro-Novembro (Imagem de acervo pessoal gerada a partir dos dados de temperatura do CRU, de 1901 a 2014).

Outro elemento associado ao ciclo hidrológico amazônico também apresenta uma variabilidade sazonal associada à radiação solar incidente, a evapotranspiração. Rocha et al (2004), através de um estudo observacional feito no leste da Amazônia, no estado do Pará, estimaram que durante a estação seca,

período com maior radiação incidente, o valor médio de evapotranspiração é de 3.96 ± 0.65 mm/dia enquanto que durante a estação chuvosa esse valor cai para 3.18 ± 0.76 mm/dia. Entretanto, Rocha et al (2009) verificaram que para outras partes da bacia amazônica esses valores mudam, como na porção mais a sul e leste da bacia, que apresenta um clima mais seco e, portanto, um maior decréscimo da evapotranspiração. E no norte e oeste da bacia, onde a evapotranspiração não apresenta uma sazonalidade bem definida, com altos valores durante todo o ano devido aos altos valores pluviométricos.

A evapotranspiração, vinda do bioma amazônico, exerce fundamental papel no regime de precipitação local, através da reciclagem de precipitação. O termo reciclagem de precipitação se refere à proporção da quantidade de precipitação que vem através da evapotranspiração local, ou seja, ela mede a contribuição da evapotranspiração local no total de precipitação desse mesmo local (Drumond et al., 2014). Estudos mais recentes (Satyamurty et al., 2013; Rocha et al., 2015) indicam que a reciclagem de precipitação na Amazônia é da ordem de 20 a 35%, mostrando que a floresta contribui significativamente no total anual de precipitação da região, porém, não é a principal fonte de geração de precipitação.

A principal fonte de umidade da bacia amazônica é o oceano Atlântico Tropical, e os ventos alísios vindos de leste são os responsáveis pelo transporte dessa umidade para a região (Satyamurty et al., 2013). Esse transporte é dependente do posicionamento e força dos centros de altas pressões subtropicais, portanto durante os meses de inverno austral (entre junho e agosto), quando a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) está mais intensa, o fluxo de umidade vem predominantemente do oceano Atlântico Tropical Sul. E, durante os meses de verão, o fluxo de umidade vem predominantemente do oceano Atlântico Tropical Norte (Satyamurty et al., 2013; Drumond et al., 2014).

Além disso, Drumond et al. (2014) também mostraram que, durante o ano, a bacia amazônica também recebe umidade oriunda do Oceano Pacífico e de sistemas frontais vindos de latitudes subtropicais da América do Sul. Outros

estudos (Uvo et al., 1998; Liebmann e Marengo, 2001; Ronchail et al., 2002; Satyamurty et al., 2013;), mostraram que anomalias de temperatura de superfície do mar (TSM), principalmente nos oceanos Atlântico e Pacífico, estão associados a variabilidades no transporte de umidade e, conseqüentemente, no regime de precipitação na bacia amazônica. Isso evidencia que o clima amazônico é resultado de uma complexa combinação de processos físicos e dinâmicos, tanto de larga escala, como a influência dos oceanos Atlântico e Pacífico, quanto de processos e mecanismos de escalas regionais e locais, como a atuação de sistemas meteorológicos e a interação da atmosfera com o ecossistema local.

2.1.1 Sistemas Meteorológicos

Os sistemas meteorológicos que atuam na região amazônica vão desde sistemas de escala sinótica (ZCIT e ZCAS), até sistemas de escala local (brisa fluvial). A seguir serão brevemente descritos esses sistemas e qual sua influência no clima amazônico.

2.1.1.1 Zona de Convergência Intertropical

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) corresponde a uma banda de nebulosidade, mais nítida e bem organizada sobre os oceanos, formada pela confluência dos ventos alísios de nordeste, vindos do Hemisfério Norte, e os de sudeste, vindos do Hemisfério Sul, associada ao ramo ascendente da célula de Hadley (Molion 1987; Reboita et al., 2010).

Ao longo do ano, a ZCIT migra de sua posição mais a norte (14°N), durante os meses de agosto-setembro, para sua posição mais a sul (2°S), durante os meses de março-abril (Melo et al., 2009). Durante este período de outono austral, por estar em seu posicionamento máximo a sul, ela exerce grande influência sobre, principalmente, o nordeste da bacia amazônica, estando relacionada com os máximos de precipitação observados neste período. O contrário ocorre durante os meses de primavera austral, onde são observados os

valores mínimos de precipitação devido ao seu posicionamento a norte da América do Sul (Espinoza et al., 2009).

Estudos observacionais (Moura e Shukla, 1981) mostraram que a posição da ZCIT está estritamente associada com as regiões de maiores TSM, com sua estrutura formada sempre próxima ou sobre as regiões de temperaturas mais quentes do oceano. Desse modo, a intensidade e deslocamento desse sistema são afetados quando existem anomalias de TSM no oceano, como no caso do dipolo de anomalias no oceano Atlântico Tropical, onde se tem duas regiões de anomalias de sinais opostos sobre as bacias norte e sul do oceano Atlântico Tropical, o que afeta o posicionamento da ZCIT na costa do Brasil e, conseqüentemente a precipitação nas regiões Norte e Nordeste (Melo et al., 2009). Anomalias no oceano Pacífico Equatorial, associada ao El Niño Oscilação Sul (ENOS), também afetam a intensidade da ZCIT sobre o norte do continente sul-americano, através das anomalias geradas nas circulações de Hadley e Walker (Souza e Ambrizzi, 2002).

A atuação da ZCIT em conjunto com outros sistemas atuantes nas regiões Norte e Nordeste, como o cavado de altos níveis e a formação de LIs, pode ocasionar grandes acumulados de precipitação, tanto na costa quanto no interior do continente (Melo et al., 2009). Os eventos extremos de precipitação acima da média que ocorreram em 2009 no estado do Pará são um exemplo de impacto destes sistemas, onde a maioria dos eventos estiveram associados a ZCIT, sua interação com a ZCAS e formação de LIs (Loureiro et al., 2014)

2.1.1.2 Alta da Bolívia

A grande liberação de calor latente devido a intensa convecção da região amazônica nos meses de verão austral é o principal fator para o desenvolvimento do anticiclone em altos níveis (200 hPa) próximo a região do Altiplano da Bolívia, denominado de Alta da Bolívia (AB) (Silva Dias et al., 1983; Figueroa et al., 1995; Zhou e Lau, 1998). Por estar associada à convecção

tropical, sua posição oscila de acordo com a variação das zonas de máxima precipitação, posicionando-se a sudoeste dessas zonas (Lenters e Cook, 1997; Reboita et al., 2010).

Sua variabilidade sazonal, tanto em posição quanto em intensidade, segue a sazonalidade da precipitação da bacia amazônica (Molion, 1987; Lenters e Cook, 1997). Portanto, durante o outono e inverno austral a alta se enfraquece e se desloca para norte, juntamente com a precipitação, e começa a se intensificar na primavera, atingindo um máximo no verão (Molion, 1987; Reboita et al., 2010).

Geralmente a AB está acompanhada de um cavado em altos níveis posicionado mais a leste (Lenters e Cook, 1997), e ambos estão associados à organização da banda convectiva que forma a ZCAS.

2.1.1.3 Zona de Convergência do Atlântico Sul e Zona de Convergência de Umidade

A ZCAS, juntamente com a convecção amazônica, é um dos principais elementos que caracterizam o Sistema de Monção da América do Sul. Definida como uma banda de nebulosidade e precipitação com orientação noroeste-sudeste, que se estende desde a Amazônia até o Sudeste brasileiro e, frequentemente, se estendendo sobre o oceano Atlântico Subtropical. Essa zona de convergência está associada a grandes acumulados de precipitação, durante a primavera e verão austral, no sul e sudoeste da Amazônia, Centro-Oeste e Sudeste do Brasil (Carvalho et al., 2004; Carvalho e Jones, 2009).

Sua formação é resultado da combinação de vários fenômenos meteorológicos: a AB, que quase sempre está presente; um cavado em altos níveis na costa do Nordeste ou oceano adjacente, que às vezes configura-se como um vórtice ciclônico; a penetração de sistemas frontais oriundos do sul, que se alinham à convecção amazônica, organizando a convecção desde a Amazônia

até o Sudeste do Brasil; os ventos alísios de nordeste, que trazem a umidade do oceano Atlântico Tropical para a bacia amazônica; e a ASAS, que com sua circulação anticiclônica colabora com a convergência de umidade em superfície, principalmente no sudeste do Brasil (Quadro, 1994; Pallotta e Nakazato, 2010).

Nos campos meteorológicos, a ZCAS é caracterizada pela convergência de umidade em baixos e médios níveis, principalmente no nível de 850hPa, onde também é observada a presença dos Jatos de Baixos Níveis (JBN), responsável pelo fluxo de umidade direcionado desde a região amazônica até o oceano Atlântico Subtropical. Em médios níveis, no nível de 500hPa, há um cavado a oeste da convergência de umidade em superfície, que dá o suporte dinâmico para a persistência da convecção, e ainda é observado o intenso levantamento vertical associado a essa convecção através dos valores negativos de ômega. Esse campo de ômega ascendente (negativo) em 500hPa aparece praticamente em fase com a convergência de umidade no campo de 850hPa. Já em altos níveis, são identificadas as circulações da AB e o cavado na costa do Nordeste, às vezes configurado na forma de Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN), o que caracteriza um episódio clássico de ZCAS. Para que um evento de ZCAS seja estabelecido, todas as características mencionadas devem permanecer por no mínimo quatro dias. Para os casos em que a zona de convergência persiste por menos de quatro dias, o Grupo de Previsão do Tempo do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) criaram o conceito de Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) (Quadro, 1994; Pallotta e Nakazato, 2010; Sacramento et al., 2010; Ambrizzi e Ferraz, 2015).

Outro aspecto da ZCAS é sua ampla variabilidade espacial e temporal, que muitas vezes estão associados a importantes padrões de variabilidade atmosféricos. Na escala intrassazonal (de 30 a 60 dias), o principal sistema que modula a ZCAS é a Oscilação de Madden-Julian (OMJ) (Carvalho e Jones, 2009). Carvalho et al. (2004) verificaram que a OMJ pode modular a longa persistência de episódios de ZCAS intensas, em sua fase que favorece a convecção no Norte e Nordeste do Brasil. Souza e Ambrizzi (2006) e Cunningham e Cavalcanti (2006)

notaram que essa mesma fase da OMJ auxilia na formação da ZCAS em uma posição mais a norte de sua climatologia, fazendo com que a convecção associada a ZCAS se associe a ZCIT favorecendo as anomalias positivas de precipitação no leste da Amazônia e Nordeste do Brasil.

Em escala de tempo interanual, o ENOS exerce grande influência na variabilidade da ZCAS. Estudos mostraram que durante a fase quente do ENOS (El Niño) há o favorecimento da persistência de ZCAS oceânicas, ligeiramente deslocada para oeste, o que favorece a precipitação no sudeste do Brasil e diminui a precipitação no Brasil central, enquanto que na fase fria (La Niña) há o favorecimento da ZCAS continental, favorecendo a precipitação no Brasil central (Carvalho et al., 2004; Ferreira et al., 2004).

2.1.1.4 Frentes Frias

Durante todo o ano as frentes frias afetam o tempo sobre a América do Sul. Geralmente são facilmente identificadas em imagens de satélite como uma banda de nebulosidade que se desloca de sudoeste para nordeste sobre o continente sul americano e oceano Atlântico adjacente (Cavalcanti e Kousky, 2009).

Apesar de atuantes durante todo o ano, Cavalcanti e Kousky (2009) verificaram que existe uma sazonalidade na ocorrência das frentes frias, que são mais frequentes entre os meses de maio e setembro e menos frequentes nos meses de verão austral. Além disso, também mostraram que há uma diminuição de incursões de frentes frias em direção ao equador, sendo mais raras a norte de 20°S, principalmente durante os meses de verão austral, onde em média, uma a cinco frentes frias alcançam o oeste da Amazônia a cada ano (Cavalcanti e Kousky, 2009).

Mesmo sendo menos frequentes na bacia amazônica, esses sistemas transientes podem afetar o tempo na região ao longo do ano. Durante o verão austral, quando as frentes frias avançam para norte, às vezes elas interagem com a convecção tropical da região amazônica. Essa interação se dá na forma da banda de nebulosidade, geralmente direcionada de noroeste para sudeste, que dá origem a ZCAS.

Oliveira (1986) estabeleceu a climatologia da interação entre os sistemas frontais e a convecção tropical sobre a Amazônia para 10 anos (1975 a 1984) a partir de imagens de satélite geoestacionário. Neste estudo foi verificado que os sistemas frontais interagem com a convecção tropical durante todo o ano, principalmente quando estes sistemas se localizam entre as latitudes de 35°S a 20°S, porém essa interação é mais frequente entre outubro a março, ou seja, entre a primavera e outono austral, quando a convecção tropical é mais intensa. Através de uma comparação do regime de precipitação de algumas estações na Amazônia central e as variações anuais da interação entre os sistemas frontais com a convecção tropical, Oliveira (1986) observou também que essa interação é um dos responsáveis pelos máximos climatológicos de precipitação nos setores central e sul da Amazônia.

No inverno austral, algumas frentes frias com grande deslocamento meridional, acompanhadas de massas de ar de latitudes altas, atingem a bacia amazônica, produzindo as chamadas “friagens” (Cavalcanti e Kousky, 2009; Marengo e Nobre, 2009; Reboita et al., 2010). Estes eventos são mais comuns nos meses entre maio e setembro (Marengo e Nobre, 2009) e estão relacionados com significativas quedas de temperatura, de 15 a 20°C, e tem duração média de 3 a 5 dias (Kousky e Molion, 1985).

A região mais afetada na bacia amazônica é a região sudoeste, onde são mais perceptíveis os efeitos causados por este evento (Longo et al., 2004), que tem como características a queda abrupta da temperatura do ar e umidade do ar; o aumento da pressão atmosférica; a mudança de quadrante do vento para sul, após a passagem da frente fria; e a diminuição da radiação incidente, devido ao

aumento da nebulosidade associada à passagem da frente (Longo et al., 2004; Oliveira et al., 2004). De acordo com Marengo et al. (1997) estas variáveis meteorológicas demoram cerca de 5 a 6 dias para voltar aos seus valores habituais.

2.1.1.5 Sistemas Convectivos de Mesoescala

Os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCMs) são responsáveis por grandes acumulados de precipitação na América do Sul, inclusive na região tropical, onde esses sistemas possuem características diferentes dos observados em latitudes médias. Esses sistemas são formados geralmente por nuvens Cumulonimbus aglomeradas e organizadas. As diferentes formas com que essas nuvens se organizam, assim como seu tamanho e tempo de vida, fizeram com que fossem criadas classificações desses sistemas. Entre as principais classes de SCMs tem-se os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs), que são os SCMs que possuem forma circular, e as Linhas de Instabilidade (LIs), que são os SCMs que se organizam de forma linear.

Muitos estudos já foram feitos para investigar os SCMs na bacia amazônica, alguns fizeram estudos específicos para uma de suas classes e outros estudaram os SCMs de forma generalizada. Por exemplo, Salio et al (2007) estudaram as diferenças entre SCMs tropicais e subtropicais na América do Sul e inferiram que os SCMs tropicais são menores, com menor tempo de vida e são regidos pelo ciclo diurno de radiação incidente, com maior frequência de ocorrência no período de verão austral.

Pereira Filho et al (2015) estudaram a precipitação convectiva na faixa de latitude entre 0° e 15°S na América do Sul, que abrange grande parte da bacia amazônica, para 6.5 anos através de dados de satélite. Entre os resultados obtidos foi observado que a maioria dos sistemas de convecção organizada se propagam para oeste durante todo o ano, com alguns episódios que duram mais de 3 dias, atravessando toda a bacia amazônica. Esses sistemas tendem a ser

mais organizados e durar mais entre os meses de março a junho, enquanto que entre outubro e fevereiro eles tendem a ser mais estacionários e com menor tempo de duração. Os sistemas que se propagam para leste possuem uma frequência de ocorrência bem menor comparado aos que se propagam para oeste e geralmente estão associados ao deslocamento meridional de sistemas frontais vindos de latitudes mais altas da América do Sul, que auxiliam na organização da convecção amazônica (Pereira Filho et al., 2015)

Em um estudo recente, Rehbein et al (2018) utilizou 14 anos (2000 a 2013) de imagens de satélite do canal infravermelho de alta resolução (resolução espacial de 4km e temporal de 30 minutos) para compilar uma climatologia de SCMs na bacia amazônica, diferenciando-os entre aqueles que se originaram no continente (SCMs continentais) e no oceano (SCMs oceânicos). Durante o período de estudo, cerca de 7200 SCMs ocorreram na bacia amazônica por ano, sendo 7181 continentais e 49.7 oceânicas. Cerca de 64% desses sistemas tiveram um período de vida curto (entre 3 e 5.5 horas) e somente 0.7% duraram mais que 24 horas. Rehbein et al (2018) verificaram que o período de vida médio das SCMs continentais é de 6 horas enquanto que o das oceânicas é de 11.8 horas, e que as SCMs oceânicas ocorreram preferencialmente nos meses de outono e inverno, período no qual os SCMs, tanto continentais quanto oceânicos, apresentaram maior deslocamento.

Em relação aos estudos que analisaram classes específicas de SCMs, Velasco e Fritsch (1987) é um exemplo. Nesse estudo os autores focaram nos CCMs das Américas e concluíram que apesar da bacia amazônica apresentar uma grande atividade convectiva, muito pouco CCM se forma na região onde, na maioria dos dias, eram observadas grandes quantidades de pequenas células convectivas, que não atingiam o tamanho e longevidade característicos de CCM.

Por serem menos frequentes na bacia amazônica, poucos estudos foram feitos acerca dos CCMs amazônicos. Em contrapartida, LIs tem fundamental importância no ciclo de precipitação anual da bacia amazônica, sendo responsáveis por grandes acumulados de chuva, principalmente na costa

dos estados do Pará e Amapá (Fisch et al., 1998), por estarem associadas a circulação de brisa marítima. Segundo Cohen et al. (1989), as LIs são responsáveis por 45% da precipitação durante a época chuvosa no leste do estado do Pará. Estas linhas muitas vezes propagam para o interior do continente, chegando até a parte oeste da bacia amazônica.

A propagação das LIs para oeste depende do escoamento médio dos ventos em 850hPa, que, segundo Kousky (1980), ocorre quando este escoamento está perpendicular à costa e direcionado para o continente. Mas se o escoamento está paralelo à costa ou até mesmo direcionado para o oceano, essas linhas permanecem na costa. Essas linhas podem se propagar com velocidades de cerca de 45 a 55 km/h (Molion, 1987) e em sua maturação atingem comprimentos de cerca de 1000 a 2000 km e largura de 100 a 300 km (Greco et al., 1994).

As LIs ocorrerem durante todo o ano, mas são mais frequentes entre os meses de abril a julho que correspondem a parte da estação chuvosa e transição da estação chuvosa para a seca na região. Os meses de abril e maio são os que possuem maior número de ocorrências, e isso está associado com a maior frequência de jatos em 850hPa, que, como mencionado anteriormente, está diretamente associado a propagação dessas linhas (Alcântara et al., 2011).

2.1.1.6 Brisa Fluvial

Na bacia amazônica é comum serem observadas circulações locais de brisa fluvial, isso devido a sua grande malha hidrográfica composta pelo rio Amazonas e seus afluentes. Este tipo de circulação é mais evidente nas margens de grandes rios, como o rio Amazonas, Negro, Solimões e Tapajós e em suas confluências, como na confluência dos rios Negro e Solimões (próximo à cidade de Manaus, AM), a confluência dos rios Tapajós e Amazonas (na cidade de Santarém, PA) e na foz do rio Amazonas (na cidade de Belém, PA) (Fisch et al., 1998).

A circulação de brisa fluvial é gerada pela diferença de temperatura de superfície entre o continente e o rio, semelhante à circulação de brisa marítima. Sobre o corpo mais quente forma-se uma região de baixa pressão e convergência em baixos níveis, gerando movimento ascendente sobre esta região e movimento descendente sobre o corpo mais frio, o que define a estrutura vertical da célula de circulação de brisa fluvial (Silva Dias et al., 2004). Durante o dia o continente é mais quente que o rio, portanto a circulação na superfície será no sentido rio/continente, e durante a noite o rio é mais quente que o continente, o que reverte o sentido da circulação (Fisch et al., 1998). Imagens de satélite durante o dia evidenciam essa circulação, mostrando as nuvens formadas sobre o continente à margem dos grandes rios.

Diversos trabalhos identificaram e estudaram a atuação da circulação de brisa fluvial em várias localizações da bacia amazônica. Por exemplo, o estudo recente de Santos et al. (2014) que, usando 35 anos de dados meteorológicos de dois aeroportos da cidade de Manaus e 15 anos de dados de estimativa de precipitação por satélite, identificaram que durante o dia (entre as 9h e 18h locais) há o predomínio dos ventos vindos do Rio Negro na cidade de Manaus, que trazem a umidade do rio para a cidade, e durante a noite e início da manhã os ventos sopram da cidade para o rio, levando ar mais seco da cidade para a área do rio. Além disso, foi verificado que durante a tarde e início da noite os máximos valores de precipitação são observados sobre o continente, devido ao aquecimento da superfície e a circulação vinda do rio, e durante a noite e início da manhã os valores máximos de precipitação são observados sobre os rios, principalmente sobre o rio Amazonas, que apresenta uma temperatura mais elevada durante a noite (Santos et al., 2014).

Esse tipo de circulação local ocorre durante todo o ano, porém, parece ser mais intensa nos meses da estação seca, o que pode estar relacionado ao maior contraste térmico entre o rio e o continente (Oliveira e Fitzjarrald, 1993).

2.1.2 Padrões de Teleconexões Atmosféricas

Teleconexão, na meteorologia, é o termo utilizado para explicar a associação de anomalias observadas em uma região com anomalias de outras regiões (Cavalcanti e Ambrizzi, 2009). Padrões de teleconexões atmosféricas de baixa frequência estão associados a uma significativa variabilidade climática nas regiões tropicais, dentre elas a bacia amazônica, que é extremamente influenciada por estes fenômenos, principalmente em relação ao seu regime de precipitação e nebulosidade.

Dentre os diversos padrões de teleconexões, os de escala interanual, apesar de apresentar menor contribuição na variabilidade dos padrões meteorológicos comparado aos de variabilidade sinótica e intrasazonal, contribuem significativamente na variabilidade de precipitação no Brasil (Grimm, 2009). O principal deles é o El Niño Oscilação Sul (ENOS) que é uma oscilação oceano – atmosfera acoplada, associada a anomalias de TSM no oceano Pacífico Equatorial que alteram o padrão de ventos e pressão, alterando a célula de circulação zonal de Walker. Sua fase quente, denominada de El Niño, está associada a anomalias positivas de TSM no oceano Pacífico Equatorial que geram um enfraquecimento na célula de Walker, fazendo com que haja um deslocamento do centro de convecção principal para o Pacífico Equatorial central e do seu ramo descendente, que fica posicionado sobre a região amazônica, inibindo a convecção na região (Figura 6a). Sua fase negativa, denominada de La Niña, está associada a anomalias negativas no Oceano Pacífico Equatorial e a um fortalecimento da célula de Walker, que conseqüentemente intensifica o ramo ascendente sobre a Amazônia, favorecendo a formação de convecção (Figura 6b) (Foley et al., 2002; Nobre et al., 2009).

Logo, de modo geral, durante episódios de El Niño há um déficit de precipitação em grande parte da Amazônia, enquanto que em La Niña há um excesso de precipitação (Grimm et al., 1998; Foley et al., 2002; Marengo, 2006). Conseqüentemente, o mesmo é observado em relação à cobertura de nuvens,

onde em anos de La Niña há uma cobertura de nuvens acima da média e em anos de El Niño abaixo da média (Alves et al., 2007).

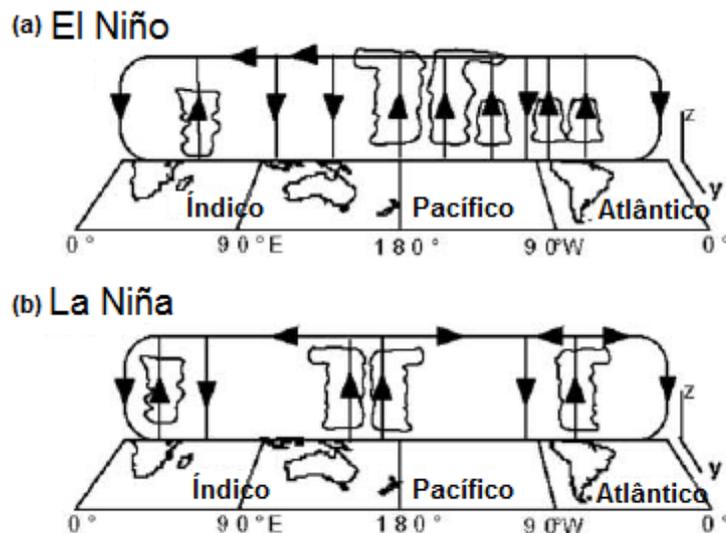


Figura 6: Mudanças na circulação de Walker durante episódios de (a) El Niño e (b) La Niña (Adaptado de Foley et al., 2002).

Entretanto, as anomalias associadas às duas fases do ENOS não ocorrem de forma homogênea na bacia amazônica, apresentando uma variabilidade tanto espacial quanto temporal. As anomalias negativas de precipitação associadas ao El Niño são observadas em quase toda a bacia amazônica, porém com maior intensidade nos setores norte, nordeste e leste, ao longo de quase todo o ano, mas principalmente nos meses de verão e outono austral, que correspondem ao período de maiores acumulados de precipitação. Já as anomalias positivas de precipitação associadas ao La Niña ficam restritas na porção nordeste da bacia, sendo mais observadas nos períodos chuvosos (Ronchail et al., 2002).

Foley et al. (2002) mostraram que as anomalias de precipitação são mais intensas na porção norte da bacia amazônica, com uma diminuição de 120 mm/ano (4.8%) durante um evento de El Niño e com um aumento de 215 mm/ano (8.5%) durante um evento de La Niña. Por outro lado, na porção sul da bacia, há

uma pequena diminuição da precipitação durante a estação chuvosa para ambos os casos de El Niño e La Niña (Foley et al., 2002).

Liebmann e Marengo (2001), através de mapas de correlações entre a precipitação da Amazônia e os índices de TSM do ENOS (Niño 1+2, Niño 3, Niño 4, Niño 3.4), encontraram que as correlações mais significativas são entre a TSM da porção central a leste do Pacífico e a precipitação na porção equatorial leste e norte-noroeste da Amazônia, sendo que as maiores correlações foram observadas durante os meses de verão austral. Também foi observado que os valores de correlação da porção norte-noroeste diminuíam conforme a correlação era feita com índices localizados mais para leste do Pacífico (Niño 1+2 e Niño 3), enquanto que os valores de correlação eram semelhantes na porção central leste quando correlacionada com o Niño 3, mas eram mais fracas quando correlacionados com o Niño 4, mostrando que esses valores diminuem quando correlacionados com a porção mais oeste do Pacífico (Liebmann e Marengo, 2001).

Essa questão de haver uma variação espacial das anomalias de precipitação na Amazônia quando relacionadas a anomalias de TSM em diferentes localizações do Pacífico equatorial foi recentemente explorada por Jiménez-Muñoz et al. (2016), devido ao último episódio de El Niño ocorrido entre 2015 e 2016. Neste estudo os autores sugerem que existem dois tipos de eventos de El Niño, um em que a região de máximo aquecimento está localizada no Pacífico Leste e outro em que a região de máximo aquecimento está localizada no Pacífico Central. Esses dois tipos de El Niño possuem diferentes impactos na Amazônia, para mostrar isso os autores compararam 3 eventos de El Niño, o de 1982/83, 1997/98 e 2015/16, avaliando os padrões de TSM e os padrões de anomalias de precipitação associados a cada um. Para os eventos de 1982 e 1997 a contribuição do Pacífico Leste foi bem forte, com uma fraca contribuição do Pacífico Central, já para o evento de 2015 a contribuição do Pacífico Leste também foi significativa, porém menos intensa que a do central. Dessa forma, o padrão espacial da seca associada ao El Niño de 2015/16 se diferiu do padrão típico observado nos eventos anteriores, onde a seca era menos severa e mais

distribuída e generalizada sobre a Amazônia. O que foi observado nesse último evento foi um dipolo chuvoso-seco atípico, entre o sudoeste e nordeste da Amazônia, com as condições mais secas concentradas em uma região menor na porção nordeste. Isso pode estar associado ao forte aquecimento observado no Pacífico Central (Jiménez-Muñoz et al. 2016).

Além do ENOS, outra importante fonte de variabilidade climática interanual para a Amazônia é o oceano Atlântico Tropical. O padrão de anomalias de TSM entre o oceano Atlântico Tropical Sul (*Tropical Southern Atlantic –TSA*) e Atlântico Tropical Norte (*Tropical Northern Atlantic – TNA*) forma um gradiente meridional de TSM entre os dois hemisférios, uma espécie de dipolo, que altera o padrão de ventos que cruzam a linha do equador e, conseqüentemente, no posicionamento da ZCIT, que se localiza sobre a região de águas mais quentes (Nobre e Shukla, 1996; Drummond et al., 2014).

Esse dipolo é caracterizado pela ocorrência simultânea de anomalias de TSM opostas entre o TNA e TSA (Souza et al., 2000). A fase positiva desse dipolo corresponde a águas anormalmente quentes no TNA e frias no TSA, isso faz com que haja uma intensificação da ASAS e conseqüentemente uma intensificação dos ventos alísios de sudeste, o que corrobora com o deslocamento da ZCIT mais a norte de sua posição climatológica (Figura 7a), o que desfavorece o transporte de umidade e formação de convecção no Norte e Nordeste do Brasil. Na fase negativa o padrão de anomalias se inverte, e dessa forma há uma intensificação da Alta Subtropical do Atlântico Norte (ASAN) juntamente com os ventos alísios de nordeste, o que faz com que a ZCIT se desloque mais a sul (Figura 7b) e haja um maior transporte de umidade na região Norte e Nordeste, favorecendo a ocorrência de precipitação na região (Souza e Nobre, 1998; Souza et al., 2000).

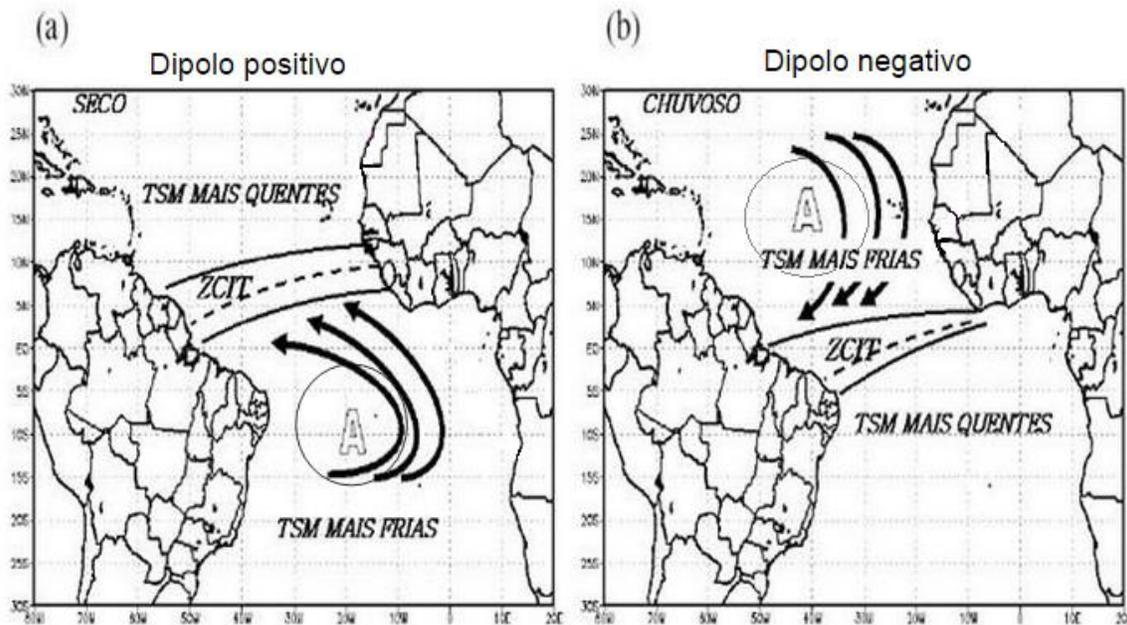


Figura 7: Esquematisação da circulação meridional anômala provocada pelos episódios de (a) dipolo positivo e (b) negativo no oceano Atlântico Tropical (Adaptado de Uvo, 1998).

Portanto, de modo geral, os episódios de secas na Amazônia estão associados ao El Niño e/ou ao dipolo positivo do Atlântico Tropical, e os episódios de precipitação excessiva estão associadas a La Niña e/ou ao dipolo negativo do Atlântico Tropical. Os efeitos combinados das anomalias de TSM dos oceanos Pacífico e Atlântico Tropical explicam cerca de 53% da variabilidade interanual de precipitação da bacia amazônica, com uma contribuição equivalente de ambos (Uvo et al., 1998; Nobre et al., 2009).

Reboita e Santos (2015) fizeram uma revisão sobre a influência do fenômeno ENOS e das anomalias de TSM no oceano Atlântico Tropical, e de sua influência conjunta no regime de precipitação da região Norte e Nordeste do Brasil. Dentre os principais resultados, foi mostrado que nem sempre na ocorrência de um El Niño há déficit de precipitação na região amazônica e nem sempre há excesso de precipitação na ocorrência de um La Niña. Por exemplo, durante os meses de primavera austral as condições secas associadas ao El Niño são enfraquecidas quando há anomalias quentes no TSA, com excesso de precipitação no sudoeste da Amazônia, e quando há anomalias quentes no TNA

chega a ocorrer um excesso de precipitação na porção oeste da bacia e no estado do Amazonas. Além disso, também foi mostrado que em eventos de La Niña com anomalias negativas de TSM no TSA, há um déficit de precipitação na região norte, com excesso somente no sul do estado o Pará e Tocantins, mostrando condições contrárias a aquelas esperadas em um típico episódio de La Niña (Reboita e Santos, 2015).

Além dos padrões de teleconexões de escala interanual, alguns outros de menor escala temporal também exercem grande influência na modulação do regime de precipitação da Amazônia, como a Oscilação de Madden-Julian (OMJ). Essa oscilação possui uma variabilidade intrasazonal, com uma escala de tempo de 30 a 60 dias, e é resultado de uma célula de circulação zonal de larga escala orientada no plano equatorial e que se propaga para leste, do oceano Índico para o Oceano Pacífico Central, e subsequentemente para a América do Sul e África (Madden e Julian, 1994; Matthews e Kiladis, 1999).

Diversos estudos investigaram a influência da OMJ no clima amazônico como, por exemplo, Souza e Ambrizzi (2006), que através de uma análise de ondeletas de séries temporais de precipitação, identificaram picos significativos centrados em um período de 30 – 70 dias, principalmente na parte leste e sudeste da Amazônia e nordeste do Brasil, e mostraram que, em uma escala global, a OMJ é o principal mecanismo atmosférico modulador das variações pluviométricas na escala intrasazonal no leste da Amazônia e Nordeste do Brasil.

Como já mencionado anteriormente, uma forma de contribuição da OMJ na precipitação amazônica é através do estabelecimento de uma banda de convecção profunda quase-estacionária desencadeada pela atividade simultânea da ZCAS e ZCIT. O estudo de Carvalho et al. (2004) foi um dos que inferiram que OMJ modula os eventos intensos ZCAS com persistência maior que 3 dias. Além disso, também verificaram que a fase da OMJ caracterizada pela supressão de convecção sobre a Indonésia e intensificação sobre o Pacífico Central aumenta o percentil chuvoso de 95% da precipitação diária sobre o Norte e Nordeste do Brasil, enquanto que a fase caracterizada pela intensificação da convecção sobre

a Indonésia e supressão sobre o Pacífico Central está associada a condições opostas, desfavorecendo a convecção nessas regiões.

Pesquisas mais recentes investigaram os efeitos conjuntos do ENOS e da OMJ na América do Sul, principalmente para as regiões Norte e Nordeste do Brasil. Como Shimizu e Ambrizzi (2016), que através da análise de composições, mostraram que os padrões de anomalia de precipitação e temperatura observadas durante eventos de ENOS podem ser intensificados ou enfraquecidos durante a ocorrência simultânea da OMJ. Sobre a Amazônia a resposta geral, sem a ocorrência da OMJ, durante eventos de El Niño é de uma atmosfera mais quente e seca que o normal e durante eventos de La Niña é mais fria e chuvosa, porém, a resposta durante eventos de La Niña é oposta ao esperado durante as fases 3 a 6 da OMJ (fases em que a convecção está localizada sobre o oceano Índico Leste e Indonésia) e também é oposta durante eventos de El Niño na fase 8 da OMJ, fase em que a convecção é mais fraca sobre a Austrália e Indonésia e mais intensa sobre o norte da América do Sul. Quando a convecção está localizada sobre o oceano Índico (fases 3 e 4) há uma diminuição da precipitação tanto para eventos de El Niño quanto La Niña.

Shimizu et al. (2017) estudando a ocorrência de eventos extremos de precipitação também mostraram que a convecção associada a OMJ pode intensificar ou enfraquecer a resposta dos eventos extremos durante os anos de ENOS. Eles mostraram que tanto para os eventos extremos chuvosos quanto secos, o seu número de ocorrências é 60% maior durante as fases ativas da OMJ comparado a fase inativa. De acordo com estes autores, para a Amazônia os eventos extremos secos normalmente ocorrem durante anos de El Niño e são favorecidos quando a convecção está situada sobre a Indonésia (fases 3,4 e 5 da OMJ), enquanto que a maioria dos eventos extremos chuvosos ocorre durante anos de La Niña e ainda são mais frequentes quando a convecção tropical está situada sobre o oceano Índico e há supressão de convecção sobre a Austrália (fases 1,2, 7 e 8 da OMJ).

2.2 GoAmazon2014/5

Em função da complexidade e importância do clima amazônico, diversos estudos e experimentos têm atuado nessa região na coleta e análise de dados. O mais recente deles foi o projeto GoAmazon2014/5, que atuou na Amazônia Central, nas áreas adjacentes a cidade de Manaus, entre janeiro de 2014 e dezembro de 2015, feito através de uma parceria internacional entre o Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE, sigla em inglês), a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM).

A proposição desse estudo foi motivada pela necessidade de obter um melhor entendimento das interações entre aerossóis, formação de nuvens e precipitação sobre a floresta amazônica e de melhor compreender o funcionamento dos ciclos químico, hidrológico, energético e do ecossistema amazônico, e como estes podem evoluir sob cenários de estresse hídrico e poluição urbana (Martin et al., 2016). Portanto, o objetivo principal desse projeto consiste em investigar como os aerossóis e os fluxos de superfície de umidade e calor, influenciam no ciclo de vida de nuvens e chuva, quando se considera uma atmosfera limpa e outra poluída, devido a presença da capital Manaus (DOE, 2011; Chambers, 2013; Martin et al., 2016).

Este projeto contou com uma rede de sítios de observação instrumental, além da coleta de dados feitos através de aviões, radares e sondagens. Os sítios de coleta de dados estiveram localizados no entorno da cidade de Manaus, de forma em que fosse possível analisar a pluma de poluição oriunda da cidade (Figura 8). Os principais sítios são (Martin et al., 2016):

T0 – Observatório Torre Alta da Amazônia (ATTO): Localizada a 150 km a nordeste de Manaus, esta torre foi equipada com uma estação automática que coleta os principais dados meteorológicos, fluxos de energia, concentrações de dióxido de carbono, aerossóis e outros gases, em diferentes níveis de altura.

T1 – Instituto Nacional de Pesquisas Amazônicas (INPA): Localizado na cidade de Manaus, este sítio é equipado com uma estação meteorológica que coleta dados das principais variáveis atmosféricas e de poluição;

T2 – Iranduba (T2): Localizado próximo à cidade de Iranduba, entre as cidades de Manaus e Manacapuru, este sítio possui equipamentos para medições de concentrações de aerossóis e gases;

T3 – ARM *Mobile Facility* (MAO): Localizado próximo à cidade de Manacapuru, cerca de 84 km ao sul da cidade de Manaus, este sítio possui diversos instrumentos para as medições necessárias para analisar o ciclo de chuvas e a poluição oriunda da região metropolitana de Manaus;

ZF2 – Reserva do Cuieras (ZF2): Localizado a 50 km a norte de Manaus, este sítio possui equipamentos para medições de fluxos de superfície, providenciados pelo programa *Terrestrial Ecosystem Science measurements* do DOE.

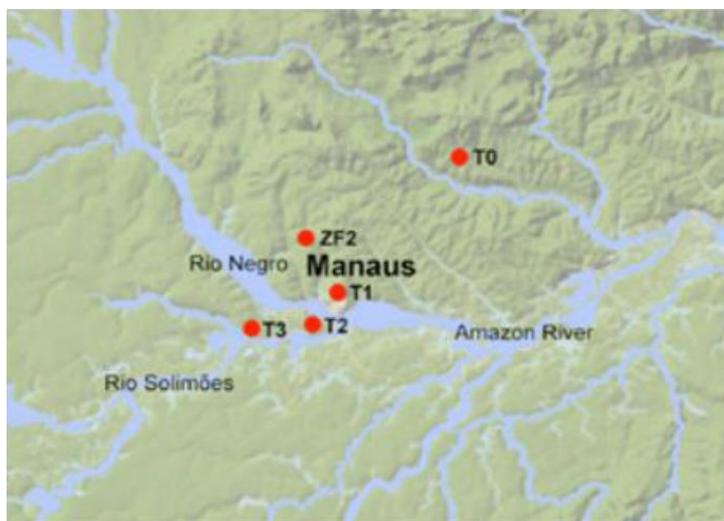


Figura 8: Localização dos principais sítios de observação instrumentais do GoAmazon2014/5 (Fonte: DOE, 2015).

Os resultados e estudos gerados a partir dos dados coletados nesse projeto auxiliarão no aprimoramento e validação de modelos climatológicos de alta resolução, através da elaboração de melhores parametrizações de nuvens e

convecção, e dos fluxos de aerossóis na região amazônica, impulsionando estudos que investigarão o futuro clima da Amazônia.

Dentro desse contexto, o presente trabalho visa avaliar a variabilidade dos dados meteorológicos coletados por estas cinco estações, a fim de auxiliar na compreensão do impacto dos sistemas meteorológicos atuantes da região amazônica sobre a coleta dos dados. E assim, auxiliar os demais estudos dentro do projeto GoAmazon2014/5, colaborando com objetivo geral de melhor entender o complexo ciclo de formação de nuvens e precipitação da região amazônica.

3. DADOS E METODOLOGIA

3.1 Dados

Os cinco sítios de observações do GoAmazon2014/5 dispunham de instrumentações para coleta de dados meteorológicos. Os dados referentes a cada sítio foram obtidos via plataforma online ou via comunicação pessoal. Por provirem de diferentes fontes, apesar de todos estarem inseridos no contexto do projeto GoAmazon2014/5, os conjuntos de dados das estações se diferenciaram em relação às variáveis coletadas, frequência temporal e período de coleta.

Os dados coletados pela torre ATTO foram passados pela pesquisadora Amanda Rehbein, coordenadora do Grupo de Estudos Climáticos (GrEC) do IAG-USP, que os obteve com o Grupo de Micrometeorologia do *Large-Scale Biosphere-Atmosphere Programme* (LBA) do INPA. Esses dados consistem em observações de algumas variáveis meteorológicas como temperatura, umidade relativa, velocidade e direção do vento em diferentes níveis de altura, que vão de 0.4m até 81m acima da superfície. Além de dados em alturas fixas como pressão atmosférica, precipitação e informações de radiação. O período de coleta dessa estação foi de janeiro de 2014 até dezembro de 2015, com uma frequência temporal de coleta de 1 minuto.

Os dados de Manacapuru (MAO) foram obtidos pela plataforma do *Atmospheric Radiation Measurement (ARM) Climate Research Facility* (<https://www.archive.arm.gov/discovery/>) do DOE. Esses dados foram medidos por um sensor Vaisala WXT-520, instalado na plataforma *Mobile Aerosol Observing System-Aerosol* (MAOS-A) a 10 m do nível de superfície. As medidas consistem em dados de temperatura, pressão atmosférica, umidade relativa, precipitação, velocidade e direção do vento, em uma frequência temporal de 1 segundo. O período de coleta foi de dezembro de 2013 a novembro de 2015.

Para a estação de Iranduba (T2) foram obtidos os dados de duas estações meteorológicas, HOBO (operada pela Universidade do Estado do Amazonas) e Luft (operada pelo Laboratório de Física Atmosférica da USP), que foram cedidos pela Profa. Dra. Luciana V. Rizzo, da Universidade Federal de São Paulo. Entretanto, optou-se por usar somente os dados coletados pela estação HOBO, pois a estação Luft não continha dados de precipitação. Os dados da estação HOBO consistem em medidas de temperatura do ar, umidade relativa, temperatura do ponto de orvalho, pressão atmosférica, precipitação, velocidade de rajada, direção e velocidade do vento, em uma frequência temporal de 5 minutos. Esses dados foram coletados em dois períodos, o primeiro entre os dias 23/02/2014 e 12/08/2014, e o segundo entre os dias 03/09/2014 e 04/03/2015.

Os dados do sítio experimental localizado na Reserva do Cuieiras (K34), também cedidos pela Profa. Dra. Luciana V. Rizzo, foram coletados por sensores instalados na torre K34, que possui uma altura de 50m e está inserida no programa LBA. Esses sensores coletaram dados de temperatura do ar, umidade relativa, precipitação, radiação fotossinteticamente ativa, velocidade e direção do vento em uma altura de aproximadamente 51 m, além de pressão atmosférica a 32 m, e medições de radiação de onda curta e longa a 45 m de altura, em uma frequência temporal de 30 minutos. O período de coleta se restringiu ao ano de 2014, entre 1/1/2014 e 1/1/2015.

Já as medições realizadas no INPA foram feitas por uma estação meteorológica automática instalada na torre de 30 m, situada dentro do Bosque de Ciência do INPA. Esses dados foram cedidos pelo Prof. Dr. Rodrigo Souza da Universidade do Estado do Amazonas e possuem medições de precipitação, radiação solar, radiação fotossinteticamente ativa, temperatura do ar, umidade relativa, temperatura do ponto de orvalho, pressão atmosférica, velocidade de rajada, direção e velocidade do vento, em uma frequência temporal de 5 minutos. As medições foram feitas em três períodos: entre os dias 13/10/2013 a 16/05/2015, entre os dias 27/07/2015 a 13/08/2015 e entre 09/10/2015 e 19/12/2015.

Além dos dados coletados pelas cinco estações do GoAmazon2014/5, também foram utilizados dados das estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) de Manaus. Os dados obtidos foram os de precipitação diária da estação convencional (82331), através de uma solicitação feita a Seção de Observação e Meteorologia Aplicada do Distrito de Meteorologia de Manaus (SEOMA 1º DISME AM), e também dados horários coletados pela estação automática (A101) de temperatura do ar, umidade relativa, temperatura do ponto de orvalho, pressão, velocidade de rajada, radiação, precipitação, velocidade e direção do vento, para todo o ano de 2014 e 2015, que foram cedidos pelo Laboratório de Meteorologia Aplicada a Sistemas de Tempo Regionais (MASTER) do IAG-USP.

Com o intuito de obter uma climatologia de precipitação da região de estudo e uma série de referência para realizar comparações com os dados observados pelas estações foi escolhida a base de dados de precipitação diária do *Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Station data* (CHIRPS) (disponível em <http://chg.geog.ucsb.edu/data/chirps/>). O CHIRPS é um produto recente de estimativa de precipitação quase global (de 50°S a 50°N e todas longitudes) de alta resolução espacial (0.05°), com dados de 1981 até o presente próximo, desenvolvido por pesquisadores do U.S. Geological Survey e do CHG (*Climate Hazards Group*) da Universidade da Califórnia, financiados pela Agência de Desenvolvimento Internacional dos Estados Unidos, a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) (Funk *et al.*, 2015).

A estimativa de precipitação feita pelo CHIRPS é fruto da combinação de diversas bases de dados: (1) a climatologia mensal de precipitação do *Climate Hazards Precipitation Climatology* (CHPCLim); (2) observações de satélites geoestacionários quase-globais do canal do infravermelho, de duas fontes da NOAA, o *Climate Prediction Center* (CPC) (de resolução temporal de 0.5 hora e espacial de 4km, de 2000 até o presente) e o *National Climatic Data Center* (de resolução temporal de 3 horas, espacial de 8km, de 1981 a 2008); (3) o produto

Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) 3B42 da NASA; (4) campos de precipitação oriundos do modelo atmosférico *Climate Forecast System version 2* (CFSv2) da NOAA; e (5) dados de precipitação *in situ*, obtidas a partir de serviços meteorológicos regionais e nacionais (Funk *et al.*, 2014).

A fim de analisar as condições meteorológicas de larga escala, utilizou-se dados de análise do modelo *Global Forecast System* (GFS) do *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) da NOAA, de resolução espacial de 0.5° e temporal de 6 horas para os anos de estudo, 2014 e 2015 (<https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/global-forecast-system-gfs>). As variáveis utilizadas desses campos de análise foram: componentes u e v do vento (em 1000, 850 e 250hPa), umidade específica a 2 metros acima da superfície, ômega em 500hPa, altura do geopotencial em 500hPa, temperatura em superfície e pressão reduzida ao nível médio do mar (PRNM). Além dos campos de variáveis meteorológicas do modelo GFS, os campos de anomalia diária de TSM do NOAA *Optimum Interpolation Sea Surface Temperature V2* (NOAA OI SST V2), de resolução espacial de 0.25° (<https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noaa.oisst.v2.highres.html>), também foram incorporadas as análises de condições de larga escala, sendo interpolados para uma resolução menor, de 0.5°, para se igualar aos campos do GFS.

Como citado anteriormente, o clima da região de estudo é influenciado pelos padrões de teleconexões dos oceanos Pacífico e Atlântico Tropicais. Dessa forma, foram obtidos, para os anos de 2014 e 2015, os índices climáticos correspondentes a esses padrões: as anomalias mensais de TSM da região do Niño 3.4 do Pacífico Equatorial (www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.indices); o índice TNA, que corresponde às anomalias mensais de TSM do Atlântico Tropical Norte, de 5.5°N a 23.5°N e 15°O a 57.5°O (www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation/tna.data); e o índice TSA, que corresponde às anomalias mensais de TSM do Atlântico Tropical Sul, do equador a 20°S e 15°O a 57.5°O

(www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation/tsa.data). Além do Índice Oscilação Sul (SOI, sigla em inglês), que é uma série temporal que mede a diferença dos dados mensais de pressão ao nível do mar da estação de Taiti e Darwin (<https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso/indicators/soi/data.csv>), e o Índice Oceânico do Niño (ONI, sigla em inglês), que calcula a média móvel de 3 meses da TSM na região do Niño 3.4 (http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php), ambos indicadores do ENOS.

Também foram considerados índices referentes à OMJ. Esses índices consistem nas fases e amplitudes diárias da OMJ, para os anos de 2014 e 2015, referentes ao diagrama de fase que é feito com base nas séries temporais dos componentes principais dos dois modos predominantes da EOF (Função Ortogonal Empírica) aplicada na combinação de dados de radiação de onda longa, componente zonal do vento em 850hPa e 200hPa (Wheeler e Hendon, 2004). Esses índices são disponibilizados pela agência Bureau de Meteorologia, do governo da Austrália, no site: <http://www.bom.gov.au/climate/mjo/graphics/rmm.74toRealtime.txt>.

Por fim, para complementar as análises das condições sinóticas do período de estudo, foram usadas cartas sinóticas de superfície elaboradas pelo CPTEC do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), disponíveis em <http://img0.cptec.inpe.br/~rgptimg/Produtos-Pagina/Carta-Sinotica/Analise/Superficie/>. Além disso, também foram usadas imagens de satélite na banda do infravermelho que foram desenvolvidas e descritas por Janowiak et al. (2001). Essas imagens são resultado de uma composição de satélites geoestacionários americanos (GOES-8 e GOES-10), satélite europeus (Meteosat 5 e Meteosat 7) e um satélite japonês (GMS-5), com uma resolução espacial de 4 km e temporal de 30 minutos. Estas imagens estão disponíveis em: https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/GPM_MERGIR_V1/summary?keywords=merged.

3.2 Verificação e comparação dos dados de precipitação

Como a precipitação é uma variável importante e influencia o comportamento das outras variáveis meteorológicas, ela será a principal variável utilizada nesse trabalho. Sendo assim, para iniciar os estudos da variabilidade dos dados coletados no GoAmazon2014/5, primeiramente foram feitas análises das séries de precipitação coletadas pelas estações juntamente com as séries estimadas pelo CHIRPS.

Para fazer essa verificação e comparação com os dados do CHIRPS, foram calculados os acumulados diários e mensais de precipitação para cada uma das 5 estações. As séries diárias de precipitação do CHIRPS foram extraídas para as coordenadas de cada estação, através da interpolação dos pontos de grade do entorno. E, assim como feito para as estações, também foram calculados os acumulados mensais das séries extraídas pelo CHIRPS, para os anos de 2014 e 2015.

As análises exploratórias e comparações das séries se basearam em recursos gráficos e estatísticos. Um dos recursos utilizados foi a construção de *boxplots*. O *boxplot* é um recurso gráfico usado para sumarizar e analisar a distribuição de uma amostra de dados, exibindo a tendência central (mediana), dispersão (quartis), simetria da amostra (valores máximos e mínimos) e valores atípicos e extremos (Neto et al., 2017) (Figura 9). A base inferior da caixa é o 1º quartil (Q1) da amostra, de 25%, e a base superior é o 3º quartil (Q3), de 75%, o segundo quartil de 50% (mediana) é representada pelo traço no interior da caixa (Figura 9), portanto a caixa identifica o posicionamento de 50% dos dados da amostra. A amplitude da caixa representa o intervalo interquartil (IQR), que é a diferença entre o Q3 e Q1, e a partir desse valor são determinados os limites inferior (Li) e superior da amostra (Ls), dados por:

$$Li = Q1 - 1,5.IQR$$

$$Ls = Q3 + 1,5.IQR$$

Os valores pontuais que estão fora desses limites são chamados de *outliers*, que são valores que estão muito afastados da grande parte dos dados que compõe a amostra. Nessa pesquisa os *boxplots* foram feitos para analisar e comparar as séries diárias de precipitação, separadas por mês, dos dados observados pelas estações e extraídos pelo CHIRPS.

Gráficos de quantis por quantis (*q-q plot*), destinados à comparação do comportamento de duas amostras aleatórias (Xavier et al., 2017), foram construídos para comparar as séries diárias de precipitação das estações contra as séries do CHIRPS. Os *q-q plots* representam a dispersão dos quantis de uma amostra contra os quantis da outra. Se as duas amostras provem da mesma população (são iguais), os pontos desse gráfico ficam alinhados sobre uma reta 1:1. Entretanto, se os pontos se afastarem muito dessa reta 1:1 isso mostra que provavelmente as duas amostras não poderão ser consideradas provindas da mesma população (Xavier et al., 2017).

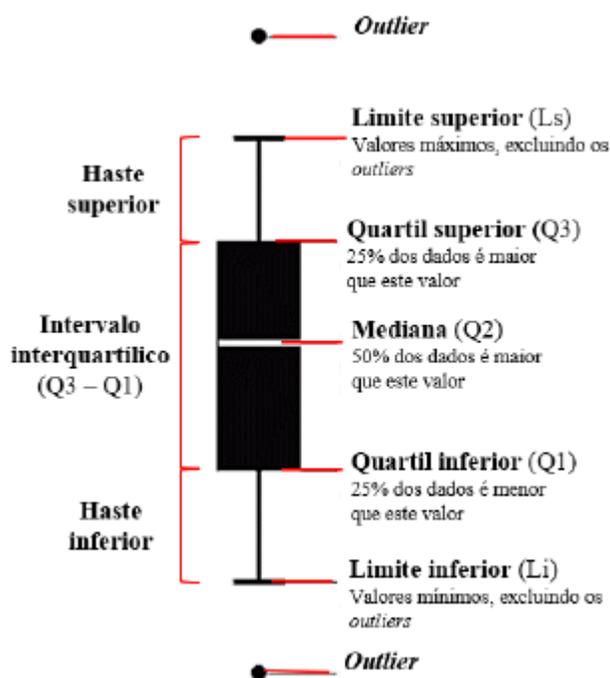


Figura 9: Esquematização e elementos contidos no *boxplot* (Fonte: Neto et al., 2017).

Para avaliar o desempenho do CHIRPS na estimativa de precipitação diária foi utilizada uma ferramenta muito usada para avaliação de modelos e verificação de imagens de sensoriamento remoto, chamada de matriz de classificação (ou matriz de confusão). No caso do uso para validação de modelos, a matriz de classificação mostra o número de classificações verdadeiras *versus* as classificações previstas para cada classe, sobre um conjunto de amostras. Nesse estudo, ao invés de validar as previsões de um modelo foram avaliadas as estimativas de precipitação diária do CHIRPS para cada estação *versus* os valores reais observados pelas estações. A esquematização da matriz de classificação usada é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Matriz de classificação para um exemplo de duas classes.

		Valor Real		
		Classes	C ₁	C ₂
Valor Estimado	C ₁	VC ₁ TVC ₁	FC ₁ TFC ₁	PC ₁ TFEC ₁
	C ₂	FC ₂ TFC ₂	VC ₂ TVC ₂	PC ₂ TFEC ₂
		TAC ₁ TEC ₁	TAC ₂ TEC ₂	ACC ERRO

A Tabela 1 mostra o exemplo de uma matriz de classificação feita para um conjunto de amostras (estimada e real) de N elementos classificados em duas classes (C₁ e C₂), onde VC₁ é o número de elementos corretamente classificados como C₁, FC₁ é o número de elementos erroneamente classificados como C₁, VC₂ é o número de elementos corretamente classificados como C₂ e FC₂ é o número

de elementos erroneamente classificados como C_2 . Outras métricas também são indicadas na matriz, como:

$$TVC_i \text{ (Taxa de Verdadeiras Classes } i) = \frac{VC_i}{N}$$

$$TFC_i \text{ (Taxa de Falsas Classes } i) = \frac{FC_i}{N}$$

$$PC_i \text{ (Precisão da Classe } i) = \frac{VC_i}{VC_i+FC_i}$$

$$TFEC_i \text{ (Taxa de Falsas Estimativas da Classe } i) = \frac{FC_i}{VC_i+FC_i}$$

$TAC_i \text{ (Taxa de Acerto da Classe } i) = \frac{VC_i}{VC_i+FC_{i\pm 1}}$ (se $i=1$, vale $i+1$ e se $i=2$, vale $i-1$)

$TEC_i \text{ (Taxa de Erro da Classe } i) = \frac{VC_i}{VC_i+FC_{i\pm 1}}$ (se $i=1$, vale $i+1$ e se $i=2$, vale $i-1$)

$$ACC \text{ (Acurácia)} = \frac{\sum VC_i}{N}$$

$$ERRO \text{ (Taxa de Erro)} = \frac{\sum FC_i}{N}$$

Dessa forma, a diagonal principal da matriz mostra o número de acertos para cada classe, os demais elementos da matriz representam os erros na classificação. Portanto, uma matriz de classificação de um classificador/modelo ideal possui todos os elementos fora da diagonal principal iguais a zero, com uma acurácia de 100%.

Outra ferramenta bastante útil utilizada para a avaliação da performance de vários conjuntos de dados (modelados ou estimados, por exemplo) em relação a uma informação de referência (dados de observação, por exemplo), é o Diagrama de Taylor (Taylor, 2001). Esse diagrama é um meio gráfico de sumarizar as estatísticas que medem a semelhança e proximidade

entre os conjuntos de dados avaliados e as observações de referência. As estatísticas representadas nesse diagrama são o desvio padrão (STD, sigla em inglês), coeficiente de correlação (COR) e a raiz do erro quadrático médio (RMSD, sigla em inglês), dadas pelas fórmulas:

$$STD = \sqrt{\frac{\sum(C - \bar{C})^2}{N}}$$

$$COR = \frac{\sum[(C - \bar{C})x(Cr - \bar{Cr})]}{N x STD(C)x STD(Cr)}$$

$$RMSD = \sqrt{\frac{\sum[(C - \bar{C}) - (Cr - \bar{Cr})]^2}{N}}$$

Onde C é a série a ser avaliada, Cr é a série de referência e N o número de elementos das séries.

A Figura 10 apresenta um exemplo de Diagrama de Taylor, onde o X representa a série a ser avaliada e o círculo a série de referência. A distância radial do ponto de origem é proporcional ao valor de desvio padrão (representado pelos semicírculos pontilhados radiais com centro na origem), a posição azimutal representa o valor de correlação entre as duas séries (representado pelas linhas retas que partem da origem e alcançam o semicírculo mais externo do diagrama) e os semicírculos tracejados com centro no ponto de referência representam os valores de diferença da raiz do valor quadrático médio. Quanto mais próximo do ponto de referência melhor é a correspondência entre o dado avaliado e o observado (Taylor, 2001).

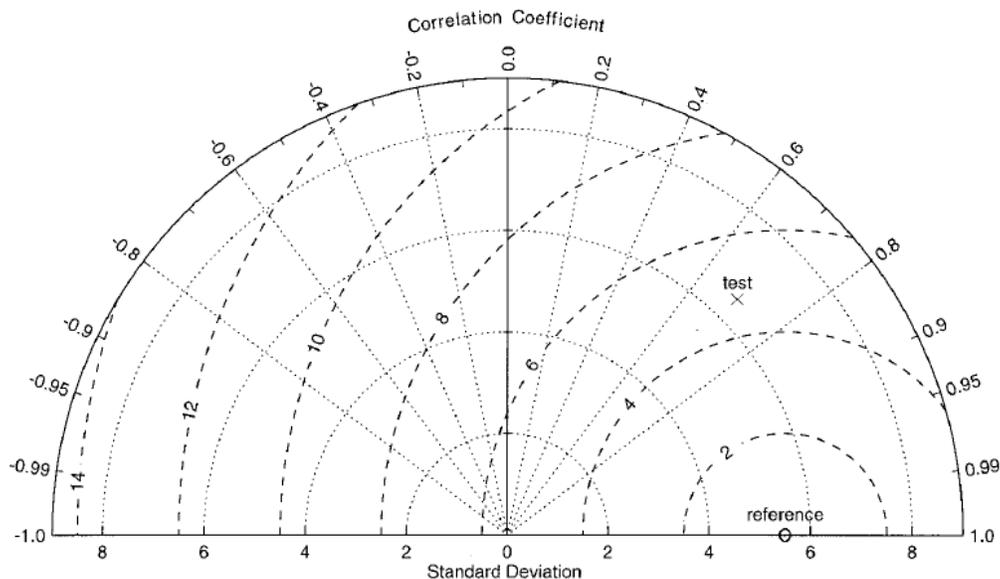


Figura 10: Exemplo de Diagrama de Taylor (Fonte: Taylor, 2001).

Nesse trabalho o Diagrama de Taylor foi feito para avaliar os dados diários e mensais estimados pelo CHIRPS em relação aos dados observados pelas estações. Para que fosse possível colocar em um mesmo diagrama a comparação entre as diferentes séries das estações, as variáveis RMSD e STD foram normalizadas pelos STDs das séries observadas.

Com os acumulados mensais de precipitação observados pelas estações e extraídos pelo CHIRPS, dos anos de 2014 e 2015, foram feitos gráficos desses acumulados observados *versus* aqueles do CHIRPS. Para complementar essa comparação gráfica, também foram calculados os vies mensais entre as séries estimadas do CHIRPS e das estações, que permite quantificar a subestimação ou superestimação das observações pelo CHIRPS.

$$VIES = \text{Acumulado mensal CHIRPS} - \text{Acumulado mensal observado}$$

Gráficos de dispersão são usados para examinar a associação entre duas variáveis. Através deles pode-se verificar se dois conjuntos de dados estão relacionados e inferir o nível de intensidade dessa relação. Dessa forma, esses gráficos foram feitos com a intenção de avaliar a relação entre os acumulados mensais do CHIRPS e os das estações. A dispersão dos pontos nesse gráfico

indica o quão correlacionadas as duas séries estão. Para facilitar a visualização da relação entre as séries, a reta 1:1, representativa de uma situação ideal onde os dados são completamente compatíveis, e a reta de regressão linear, que representa a reta de melhor ajuste linear feito a partir da dispersão dos dados, também foram colocadas nos gráficos.

3.3 Análise de Teleconexões Oceânicas

Com o intuito de identificar anomalias de TSM nos oceanos Atlântico e Pacífico Tropicais, que poderiam indicar a atuação de algum padrão de teleconexão durante os anos de 2014 e 2015, foram feitos gráficos da variação mensal dos índices Nino 3.4, que indica a presença de uma das fases do ENOS, e dos índices TNA e TSA, que juntos inferem a ocorrência do Dipolo do Atlântico Tropical.

Nesses dois anos observou-se no Pacífico Equatorial uma transição de fases em relação ao ENOS, mostrando indícios do estabelecimento de um El Niño em 2014 que não se estabeleceu e que ressurgiu e se consolidou de forma intensa em 2015. Portanto, para avaliar a possível relação entre esse evento de El Niño e a precipitação observada pelas estações do GoAmazon2014/5, foram analisados conjuntamente em gráficos o índice SOI e ONI com as anomalias de precipitação mensais e trimestrais das estações, respectivamente. Essas anomalias foram calculadas a partir da climatologia de precipitação do CHIRPS, do ano de 1981 a 2013, extraídas para cada estação.

Posteriormente, para avaliar a anomalia de precipitação não só da região das estações do GoAmazon2014/5, mas também de toda a bacia amazônica para estes dois anos, foram determinados os anos de fase neutra e de El Niño da climatologia anual do CHIRPS (1981 a 2013), com base na listagem de eventos históricos disponível em <http://ggweather.com/enso/oni.htm> (Tabela 2),

para então obter uma climatologia de anos neutros e anos de El Niño para comparar com o ano de 2014, dado como neutro, e com 2015, ano de El Niño.

Tabela 2: Anos neutros e de El Niño da série climatológica do CHIRPS, utilizados para fazer a climatologia dos eventos neutros e de El Niño. Só foram considerados El Niños moderados ou fortes. Fonte: GGWeather.

Neutros	1981	1984	1985	1990	1993	1994	1995	1996	2001	2003	2004
					2005	2006	2012	2013			
El Niño		1982	1983	1986	1987	1991	1992	1997	1998	2002	2009

3.4 Determinação de Eventos Chuvosos e Secos

O método escolhido neste estudo para avaliar a variabilidade diária dos dados de precipitação coletados foi o Método dos Percentis Variáveis (MPV). Baseado no trabalho de Pampuch (2014), que utilizou esse método para identificar os eventos secos ocorridos no Sudeste do Brasil no período de 1982 a 2009.

O MPV consiste em calcular para cada dia do ano o percentil de precipitação, no caso o percentil de 20% (percentil seco) e de 90% (percentil chuvoso), com base no período de dados disponíveis. O cálculo desses percentis para cada estação foi feito a partir da série climatológica de dados diários do CHIRPS (1981 a 2013) extraídos para cada estação. Portanto, para um determinado dia do ano, por exemplo, o dia 1 de janeiro, que dispõe de 33 valores de precipitação referentes aos anos de 1981 a 2013, essa série de 33 valores é então ordenada de forma crescente de forma a obter a posição e valores dos percentis de 20% e 90% para esse dia. Dessa forma, ao final, obtém-se uma série de 365 percentis secos e 365 percentis chuvosos (o dia 29 de fevereiro foi desconsiderado) para cada estação do GoAmazon2014/5. A Figura 11 mostra o

exemplo da torre ATTO, indicando a série de precipitação diária observada pela estação (pontilhado preto) para os anos de 2014 e 2015, a série de percentis chuvosos (pontilhado azul) e secos (pontilhado vermelho). É possível observar que a série dos percentis apresenta um ciclo anual, principalmente no caso dos percentis chuvosos, com os maiores percentis ocorrendo durante a estação chuvosa e os menores na estação seca.

Com essas séries diárias de percentis, os eventos chuvosos da série diária de precipitação observada pelas estações, dos anos de 2014 e 2015, foram identificados como os dias que tiveram acumulados iguais ou maiores que o percentil chuvoso de 90% e os eventos secos como aqueles que tiveram acumulados iguais ou menores que o percentil seco de 20%.

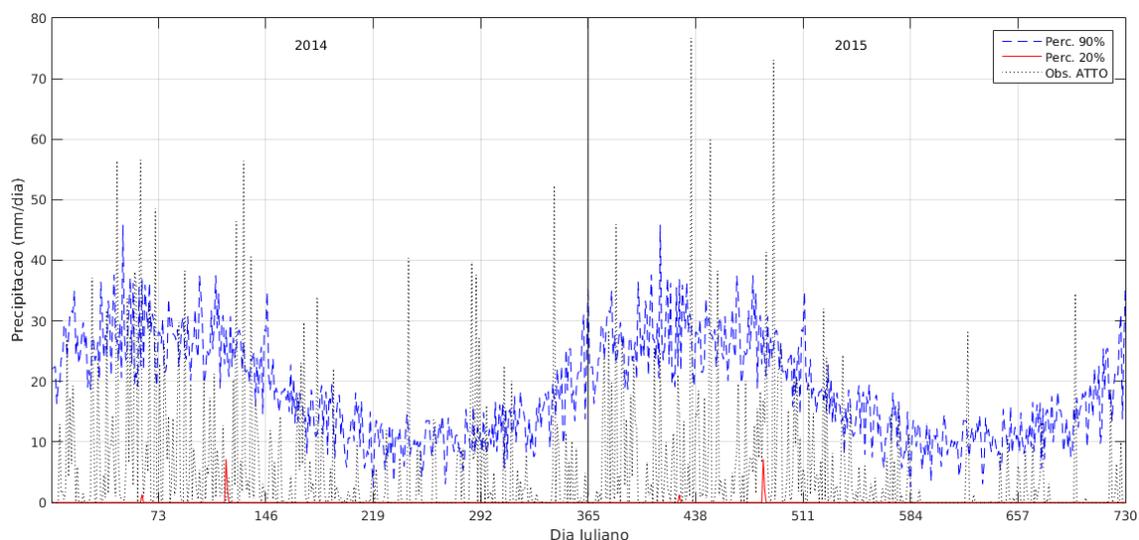


Figura 11: Série diária de precipitação da torre ATTO para os anos de 2014 e 2015 (em pontilhado preto), série dos percentis diários de 90% (em tracejado azul) e série dos percentis diários de 20% (em tracejado vermelho).

Além de obter os eventos chuvosos e secos das séries observadas pelas estações, o mesmo foi feito para as séries extraídas pelo CHIRPS para cada estação, com o intuito de verificar se os eventos identificados em uma estação também foram identificados na série extraída do CHIRPS para aquela estação. Desta forma, foram contabilizados e identificados os eventos que foram definidos em ambas as séries (estação e CHIRPS).

3.5 Técnica de Composições

Para caracterizar as condições sinóticas associadas aos eventos chuvosos e secos detectados, foi empregada a técnica de composições, devido a sua eficiência em identificar padrões médios e principais características de um determinado fenômeno meteorológico (Santos et al., 2015b).

O campo de composição de uma variável genérica ($\bar{\Phi}$) é dado por:

$$\bar{\Phi}(x, y, z) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \Phi(x, y, z, j)$$

Onde Φ é a variável a ser analisada, (x, y, z) é o campo espacial da variável, N é o número total de eventos e j é a variável que representa cada evento (Santos et al., 2015b). Nesse trabalho as variáveis utilizadas para compor os campos de composições foram aquelas obtidas a partir do GFS, assim como as anomalias de TSM do NOAA OI SST V2, citados na seção 3.1.

Sabendo que as circulações atmosféricas dos meses de estação chuvosa e seca são bem distintas entre si, os campos de composições, dos eventos secos e chuvosos, foram feitos separadamente para aqueles que ocorreram dentro do período chuvoso (meses de novembro, dezembro, janeiro, fevereiro, março e abril) e do período seco (meses de maio, junho, julho, agosto, setembro e outubro) da região de estudo.

Após obter os campos de composições, os valores de $\bar{\Phi}$ foram testados a fim de avaliar a significância estatística dos valores encontrados. O teste de significância estatística escolhido foi o teste T-Student, que examina a hipótese nula de que uma amostra de média $\bar{\Phi}$ tenha sido extraída de uma população de média μ (Wilks, 2011). Esse teste é obtido através da seguinte fórmula:

$$t = \frac{\bar{\Phi} - \mu}{\left[\frac{S^2}{N}\right]^{1/2}}$$

onde $\bar{\Phi}$ é o campo de composição de determinada variável, μ é a média dessa variável de todo o período estudado (2014 e 2015) e S^2/n representa a variância dos membros da composição, onde S é o desvio padrão da amostra e N o número de membros. Para que a diferença entre o campo de composição e a média do período seja estatisticamente significativa, o valor calculado de t deve ser igual ou maior que o valor de t na tabela de distribuição T-Student, definido a partir de $n-1$ graus de liberdade e do nível de significância definido, que neste estudo foi o nível de 90% (Silva, 2009; Pampuch, 2014).

3.6 Identificação dos Sistemas Meteorológicos

Após a caracterização dos padrões sinóticos gerais associados aos eventos chuvosos e secos, uma análise individual e mais detalhada foi feita para cada evento chuvoso detectado, com a intenção de identificar qual sistema atmosférico daqueles citados na seção 2.1.1 esteve associado a cada evento.

Essas análises foram feitas através de campos sinóticos feitos a partir dos dados de análise do GFS, de todos os eventos chuvosos para os 4 horários disponíveis (00, 06, 12 e 18Z). Através dos campos de baixos, médios e altos níveis atmosféricos construídos foi possível inferir a presença de alguns dos sistemas citados anteriormente (p. ex., AB, ZCAS, ZCOU, ZCIT e Frentes Frias). Porém, para confirmar a presença de sistemas como ZCIT, ZCAS e ZCOU, foram utilizadas as cartas de superfície do CPTEC.

A identificação de outros sistemas como SCMs e convecção local foi feita de forma subjetiva, baseada nas imagens de satélite no canal do infravermelho (veja seção 3.1), pois, como esses sistemas são compostos por nuvens de convecção profunda que atingem a alta troposfera, apresentam temperaturas de brilho menores, tendo destaque nas imagens desse canal.

Para verificar a possível influência da OMJ na ocorrência desses eventos, extraiu-se para cada data de evento (nesse caso dos eventos chuvosos e secos) as informações de fase e amplitude (que indica a atividade/inatividade e intensidade) da OMJ.

Por fim, para cada evento chuvoso foram obtidos os acumulados de precipitação observados pelas estações onde esse evento foi identificado e, a partir da climatologia diária de precipitação feita com os dados do CHIRPS de 1981 a 2013, calculados os valores de anomalia associados a esse evento. Para identificar os eventos que tiveram maior impacto foram calculados os acumulados e anomalias de precipitação médias em relação às estações onde esse evento foi identificado, ou seja, se um evento foi identificado em duas estações ou mais foi feita a média das anomalias registradas por essas estações, para assim obter um único valor de anomalia referente àquele evento. Com esses valores de anomalias médias foi possível classificar os eventos chuvosos de acordo com sua intensidade e inferir os eventos mais impactantes ocorridos nesses dois anos (2014 e 2015) de projeto GoAmazon2014/5.

3.7 Análise no Impacto no Conjunto de Dados Coletados

Enfim, após a identificação de todos os sistemas meteorológicos associados aos eventos chuvosos, foram feitas as análises do impacto desses sistemas no conjunto de dados meteorológicos coletados pelas estações. Para isso foram calculadas as médias horárias de todas as variáveis meteorológicas coletadas pelas estações (veja seção 3.1) e, com isso, foram construídos os gráficos de variação horária dessas variáveis para as datas dos eventos chuvosos detectados.

Tendo então os campos sinóticos, as imagens de satélite e os gráficos de variação horária das variáveis meteorológicas coletadas, foi possível inferir o impacto desses sistemas sob a variação desses dados coletados.

4. RESULTADOS

4.1 Verificação dos dados de precipitação

O primeiro passo desse estudo foi avaliar os dados de precipitação coletados pelas cinco estações do GoAmazon2014/5 nos anos de 2014 e 2015, comparando-as com as séries de precipitação extraídas pelo CHIRPS, obtendo assim uma primeira visão acerca da qualidade e continuidade dos dados coletados. A Figura 12 mostra os gráficos de acumulados diários e mensais de cada estação do GoAmazon2014/5 juntamente com as séries estimadas pelo CHIRPS.

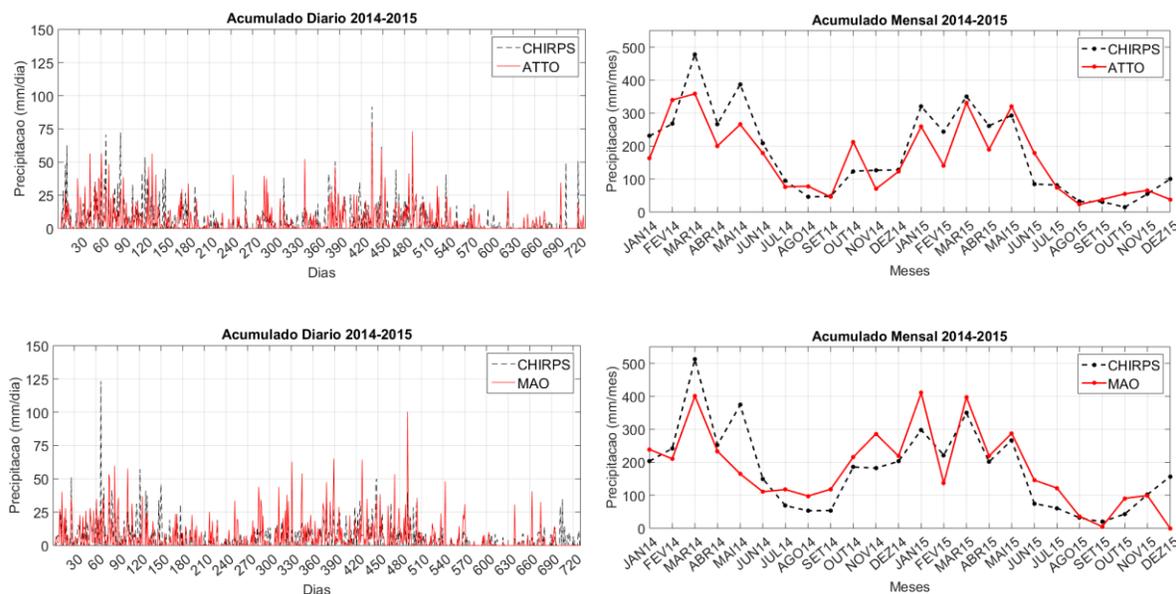


Figura 12: Acumulados diários e mensais observados pelas estações do GoAmazon2014/5 e estimado pelo CHIRPS para os anos de 2014 e 2015.

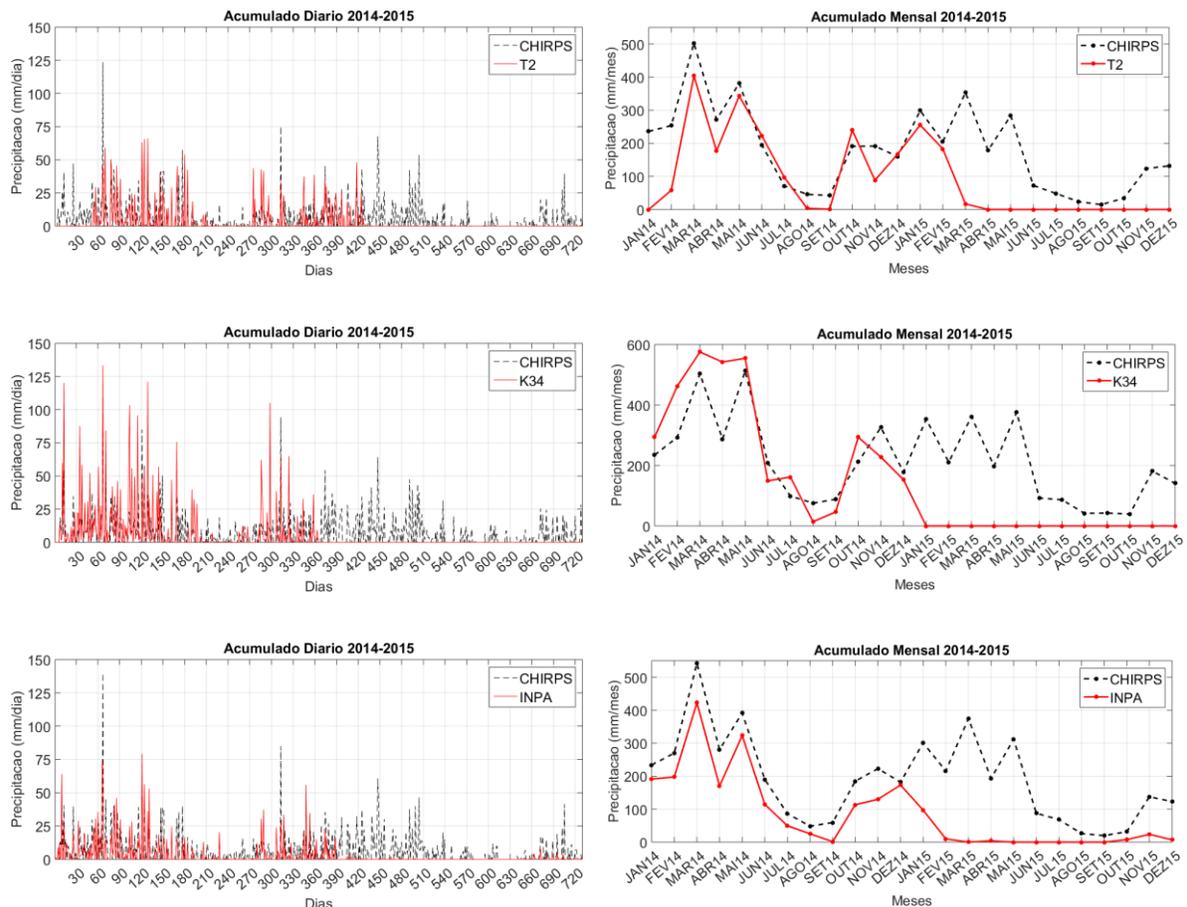


Figura 12: Continuação.

Através desses gráficos notou-se que somente duas estações do GoAmazon2014/5 apresentaram uma regularidade na coleta dos dados de precipitação para os dois anos de projeto, as estações de Manacapuru (MAO) e da torre ATTO (ATTO), apesar da estação MAO não possuir dados para o mês de dezembro de 2015. As estações do INPA de Manaus, Iranduba (T2) e Reserva do Cueiras (K34), além de apresentarem grandes descontinuidades na coleta de dados durante esses dois anos (veja seção 3.1) também apresentaram falhas e falta de dados durante o período de coleta. Por este motivo, como este estudo tem como objetivo analisar a variabilidade dos dados dos dois anos do projeto

GoAmazon2014/5, optou-se por não utilizar essas três estações nas análises seguintes, portanto foram considerados somente os dados da estação ATTO e MAO, do projeto GoAmazon2014/5.

Entretanto, para não limitar o estudo para somente duas estações, foram usados os dados de precipitação do INMET de Manaus, já que uma das estações do GoAmazon2014/5 (INPA) também está situada na cidade de Manaus. Os dados da estação convencional do INMET apresentaram uma boa continuidade ao longo desses dois anos, mostrando grande compatibilidade com os dados extraídos do CHIRPS, principalmente em relação aos acumulados mensais desses dois anos, como mostrado na Figura 13. Essa compatibilidade dos valores observados pela estação do INMET e o CHIRPS pode ser explicada pelo fato de que essa estação é utilizada na interpolação dos dados do CHIRPS, pois, como dito anteriormente (veja seção 3.1), o CHIRPS é resultado da combinação de dados de satélite e observações *in situ*. Durante os anos de 2014 e 2015, a estação do INMET só não foi usada na interpolação do CHIRPS no mês de setembro de 2014, mês que mostrou a maior discrepância entre o valor observado pelo CHIRPS e pela a estação (verificação feita através da listagem de estações usadas por mês pelo CHIRPS, disponível em: ftp://ftp.chg.ucsb.edu/pub/org/chg/products/CHIRPS-2.0/diagnostics/list_of_stations_used/monthly/).

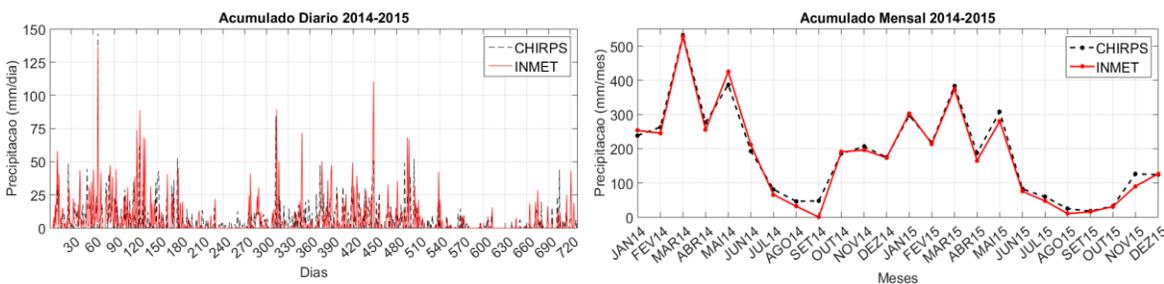


Figura 13: Acumulados diários e mensais observados pela estação do INMET e estimado pelo CHIRPS para os anos de 2014 e 2015.

4.2 Comparação das Estações *versus* CHIRPS

Definidas as estações que serão utilizadas para as próximas análises (ATTO, MAO e INMET), a próxima etapa consiste nas comparações gráficas e estatísticas entre os valores de precipitação observados por essas três estações e os dados de precipitação estimados pelo CHIRPS, com o intuito de verificar a concordância entre as séries e verificar o desempenho do CHIRPS na estimativa de precipitação para cada estação.

As primeiras comparações foram em relação aos dados diários coletados pela estação ATTO. A Figura 14 mostra os boxplots mensais de ambas as séries (ATTO e CHIRPS) para os anos de 2014 e 2015. A discrepância mais nítida observada é em relação a amplitude interquartil das séries diárias de precipitação, onde o CHIRPS em alguns meses apresentou o quartil de 75% mais elevado que o observado pela estação ATTO, isso foi visto principalmente no ano de 2014. Em 2015 a amplitude dos dados, tanto da ATTO quando do CHIRPS, foi menor que a observada em 2014, a partir da segunda metade do ano. Ademais, é interessante destacar que foram vistos *outliers* maiores que os registrados em 2014 na primeira metade do ano de 2015, com destaque para o mês de março de 2015.

Os q-q *plots* dos anos de 2014 e 2015 (Figura 15) indicam uma tendência de superestimação dos quantis por parte do CHIRPS. Isso fica mais evidente no q-q *plot* de 2015, onde fica mais nítida a superestimação do CHIRPS para quantis de maior valor (acima de 30mm). Já para o ano de 2014 os pontos estão mais próximos da reta 1:1, o que indica uma melhor concordância entre as séries de precipitação.

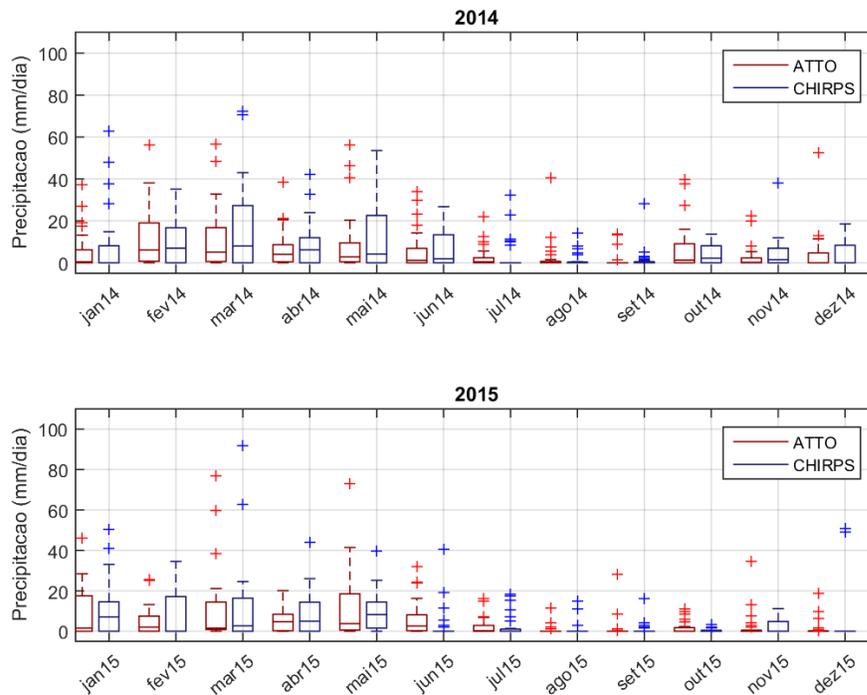


Figura 14: Boxplots mensais da precipitação obtida pela estação ATTO (boxplots e pontos vermelhos) e pelo CHIRPS (boxplots e pontos azuis) para os anos de 2014 e 2015. Os boxplots mostram a mediana, primeiro e terceiro quartil, as linhas tracejadas se estendem dos valores mínimos aos máximos das séries diárias de cada mês, que são 1.5 vezes a faixa interquartil abaixo ou acima dos quartis, e os símbolos '+' correspondem aos valores atípicos que não estão dentro desse intervalo.

A matriz de classificação (Figura 16) indica que, no geral, o CHIRPS apresentou uma boa estimativa da precipitação diária para a ATTO, apresentando uma acurácia de 54.7% e uma taxa de erro de 45.3%. Apesar de ter apresentado um maior número de acertos do que erros, a taxa de erro é elevada. E, ao observar a precisão e taxa de falsas estimativas de classe (última coluna da matriz), nota-se que os erros de falsas estimativas do CHIRPS se concentraram nas maiores classes de precipitação diária (acima de 10mm), onde a taxa de falsa estimativa passa a ser maior que a precisão de cada classe.

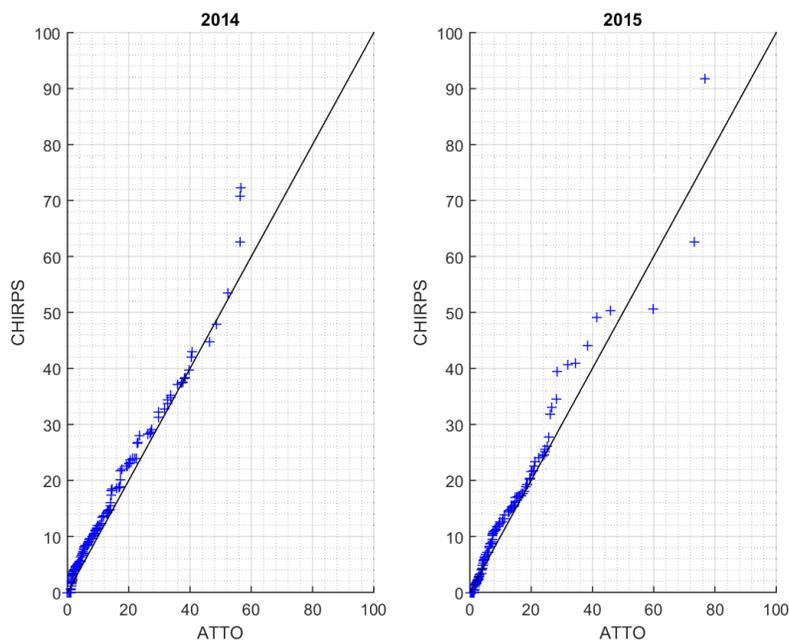


Figura 15: Q-q plots dos dados diários de precipitação do CHIRPS e da estação ATTO, para 2014 e 2015. A linha contínua preta representa a linha 1:1.

CHIRPS	$p=0$	249 34.1%	149 20.4%	22 3.0%	0 0.0%	0 0.0%	59.3% 40.7%
	$0 < p \leq 10$	37 5.1%	88 12.1%	28 3.8%	1 0.1%	0 0.0%	57.1% 42.9%
	$10 < p \leq 50$	13 1.8%	71 9.7%	60 8.2%	4 0.5%	0 0.0%	40.5% 59.5%
	$50 < p \leq 100$	0 0.0%	1 0.1%	5 0.7%	2 0.3%	0 0.0%	25.0% 75.0%
	$p > 100$	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	NaN% NaN%
		83.3% 16.7%	28.5% 71.5%	52.2% 47.8%	28.6% 71.4%	NaN% NaN%	54.7% 45.3%
	$p=0$	$0 < p \leq 10$	$10 < p \leq 50$	$50 < p \leq 100$	$p > 100$		ATTO

Figura 16: Matriz de classificação dos dados diários da ATTO e CHIRPS.

Comparando os acumulados mensais das duas séries de precipitação para os dois anos (Figuras 17 e 18), é possível observar uma superestimação por parte do CHIRPS em relação aos acumulados observados pela ATTO na maioria dos meses, principalmente no ano de 2014. Isso também é observado nos gráficos de dispersão dos acumulados mensais das séries para os dois anos (Figura 19), onde a reta de melhor ajuste linear à dispersão dos pontos do gráfico indica a superestimação dos valores estimados do CHIRPS, principalmente para o ano de 2014 (Figura 19a).

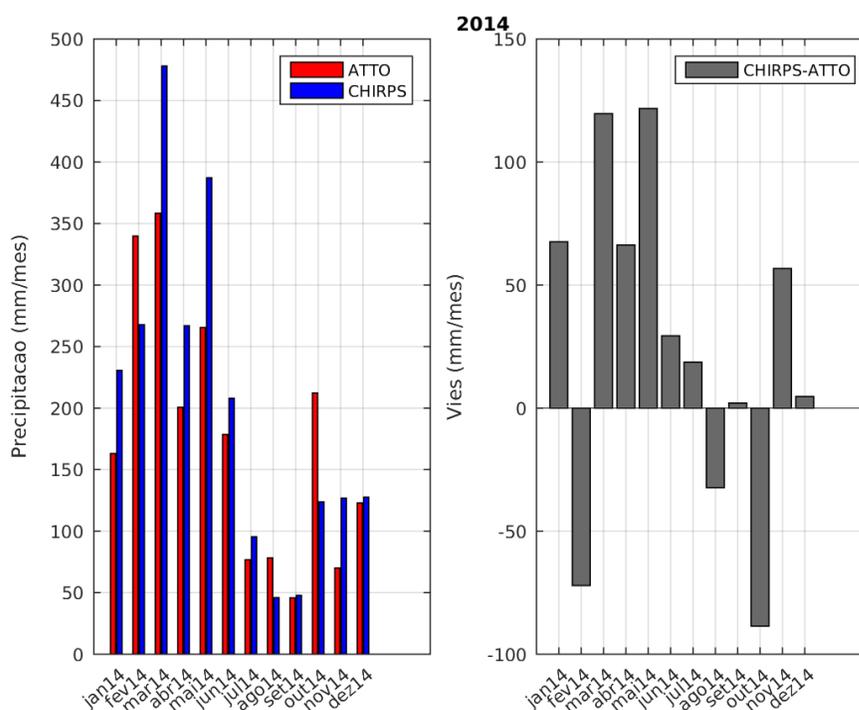


Figura 17: Acumulados mensais da estação ATTO (em vermelho) e do CHIRPS (em azul) e o viés mensal para o ano de 2014.

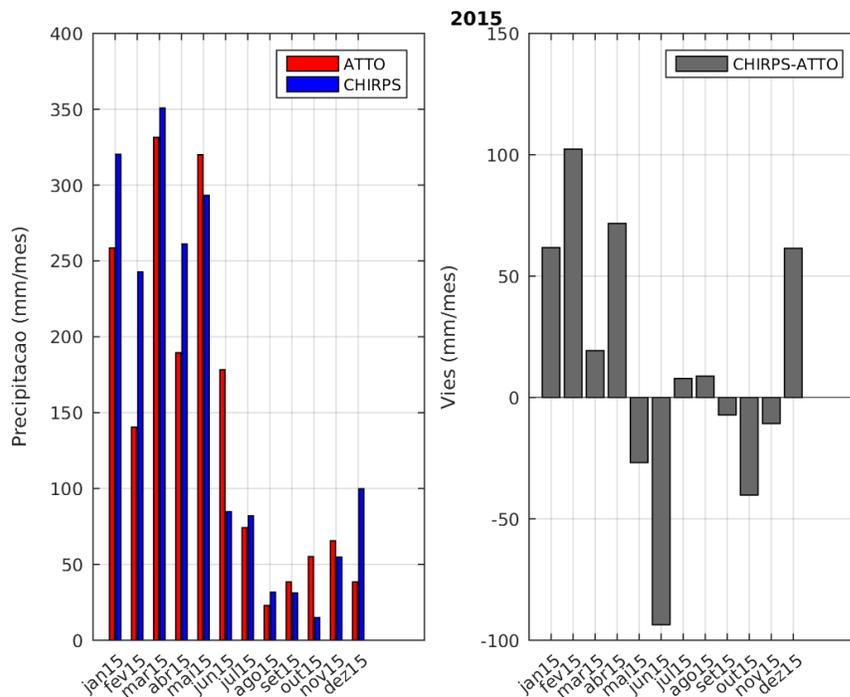


Figura 18: Acumulados mensais da estação ATTO (em vermelho) e do CHIRPS (em azul) e o viés mensal para o ano de 2015.

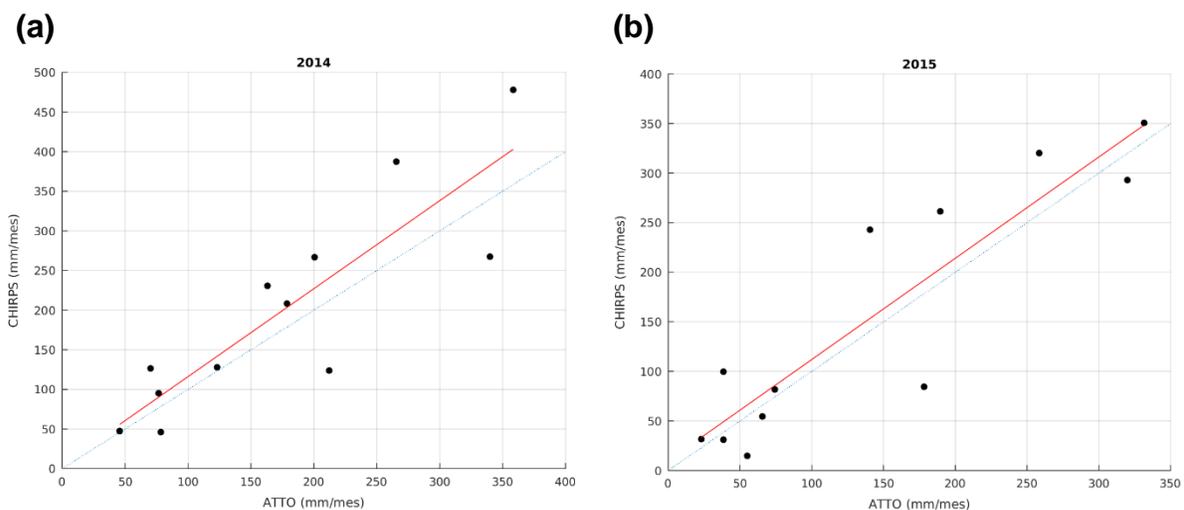


Figura 19: Gráfico de dispersão dos acumulados mensais do CHIRPS pelos acumulados mensais da ATTO para o ano de (a) 2014 e (b) 2015. A linha azul representa a linha 1:1 e a vermelha o ajuste linear.

Os *boxplots* mensais para as séries de precipitação diária da estação MAO e do CHIRPS (Figura 20) mostram que, para os dois anos, a distribuição e dispersão dos dados diários mensais se mostraram bem parecidas entre as séries, sem grandes diferenças entre o tamanho dos *boxplots* para maioria dos meses. As diferenças mais significativas foram em relação aos máximos e *outliers* observados pelas séries. É importante lembrar que não houve coleta de dados na estação MAO no mês de dezembro de 2015, por isso não existe um *boxplot* para a estação nesse mês. Para as próximas análises comparativas os dados de dezembro de 2015 da série do CHIRPS foram desconsiderados para equiparar as séries.

Os q-q *plots* (Figura 21) dos dois anos indicam uma tendência de superestimação por parte do CHIRPS, observando a dispersão dos pontos do gráfico em relação a reta 1:1, para os quantis de menores valores, principalmente no ano de 2014. Porém, para os quantis de maiores valores o que ocorre é uma subestimação por parte do CHIRPS, em relação aos dados observados pela MAO, que fica mais evidente no q-q plot de 2015.

De acordo com a matriz de classificação feita (Figura 22), o CHIRPS novamente mostra uma deficiência em estimar valores de precipitação acima de 10 mm diários. E, no geral, sua acurácia foi menor que a observada para a estação ATTO, com um valor de 52.5%, e uma elevada taxa de erro de 47.5%.

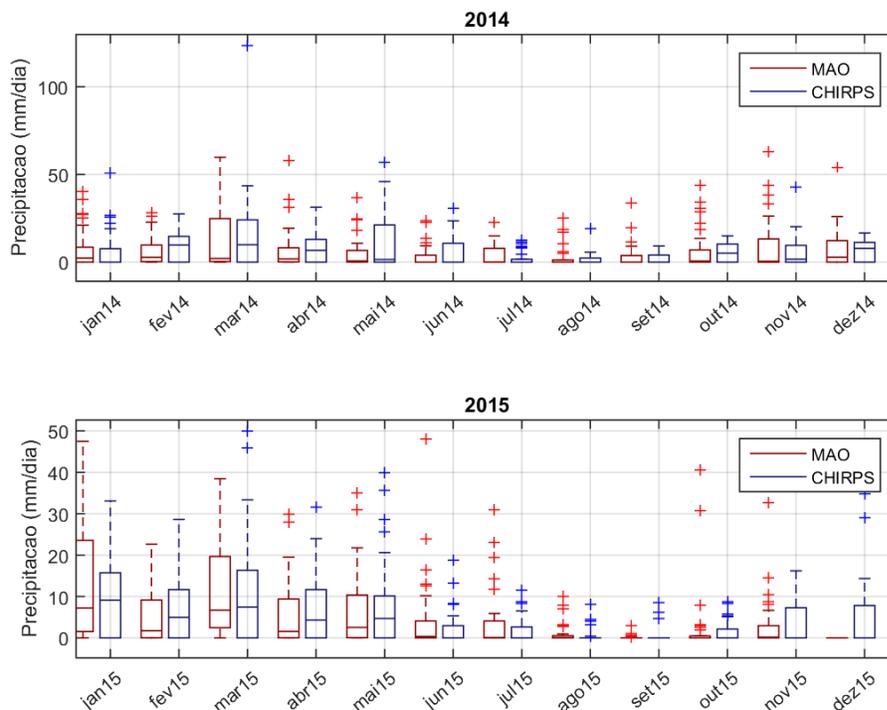


Figura 20: Boxplots mensais da precipitação obtida pela estação MAO (boxplots e pontos vermelhos) e pelo CHIRPS (boxplots e pontos azuis) para os anos de 2014 e 2015. Os boxplots mostram a mediana, primeiro e terceiro quartil, as linhas tracejadas se estendem dos valores mínimos aos máximos das séries diárias de cada mês, que são 1.5 vezes a faixa interquartil abaixo ou acima dos quartis, e os símbolos '+' correspondem aos valores atípicos que não estão dentro desse intervalo.

Na comparação dos acumulados mensais de 2014 e 2015 (Figuras 23 e 24), diferentemente do caso da ATTO, o CHIRPS na maioria dos meses subestimou os acumulados observados pela MAO, principalmente em 2015. Entretanto, houve meses em que o CHIRPS superestimou consideravelmente o acumulado mensal observado pela MAO, como em maio de 2014 onde o CHIRPS superestimou em mais de 200 mm a precipitação observada pela estação.

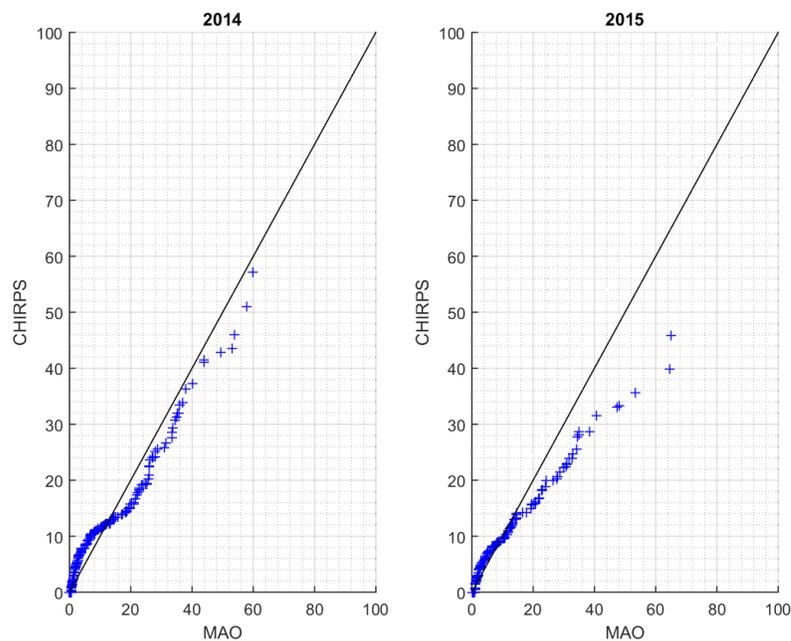


Figura 21: Q-q plots dos dados diários de precipitação do CHIRPS e da estação MAO, para 2014 e 2015. A linha contínua preta representa a linha 1:1.

	$p=0$	$0 < p \leq 10$	$10 < p \leq 50$	$50 < p \leq 100$	$p > 100$	
$p=0$	185 26.5%	163 23.3%	13 1.9%	0 0.0%	0 0.0%	51.2% 48.8%
$0 < p \leq 10$	29 4.1%	105 15.0%	43 6.2%	1 0.1%	0 0.0%	59.0% 41.0%
$10 < p \leq 50$	6 0.9%	65 9.3%	77 11.0%	7 1.0%	1 0.1%	49.4% 50.6%
$50 < p \leq 100$	0 0.0%	1 0.1%	2 0.3%	0 0.0%	0 0.0%	0.0% 100%
$p > 100$	0 0.0%	0 0.0%	1 0.1%	0 0.0%	0 0.0%	0.0% 100%
	84.1% 15.9%	31.4% 68.6%	56.6% 43.4%	0.0% 100%	0.0% 100%	52.5% 47.5%
	$p=0$	$0 < p \leq 10$	$10 < p \leq 50$	$50 < p \leq 100$	$p > 100$	
	Manacapuru					

Figura 22: Matriz de classificação dos dados diários da MAO e CHIRPS.

Já nos gráficos de dispersão dos acumulados mensais (Figura 25), para o ano de 2014 (Figura 25a) parece não haver uma tendência clara de subestimação ou superestimação, no geral, observando a dispersão dos pontos, parece que houve uma subestimação do CHIRPS nos acumulados mensais, porém houve dois meses em que o CHIRPS mostrou uma alta superestimação do acumulado mensal observado, o que influenciou o ajuste linear. No ano de 2015 (Figura 25b) a tendência de subestimação ficou mais evidente, o que concorda com o gráfico de viés mensal desse ano (Figura 24).

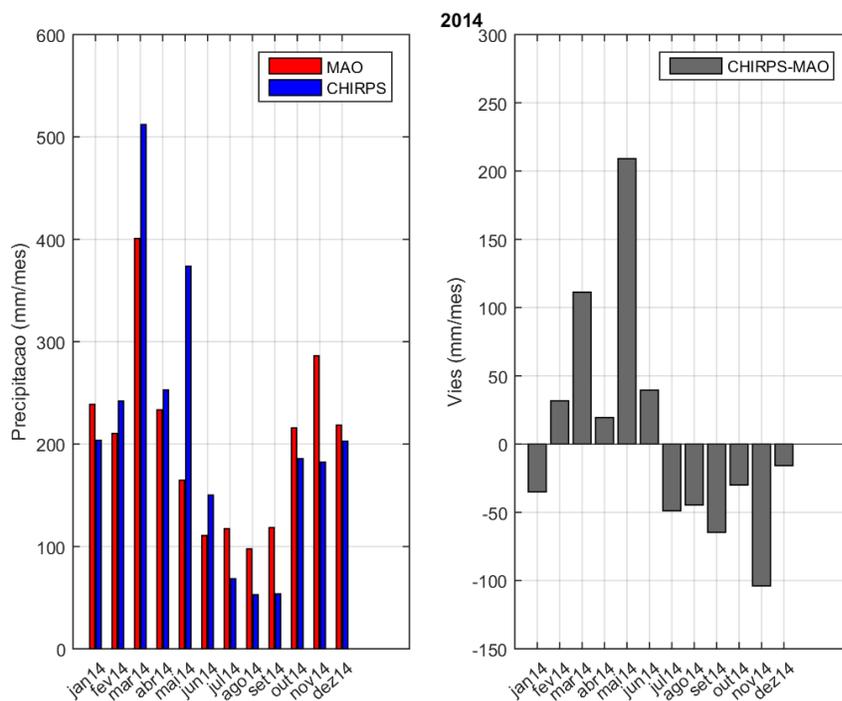


Figura 23: Acumulados mensais da estação MAO (em vermelho) e do CHIRPS (em azul) e o viés mensal para o ano de 2014.

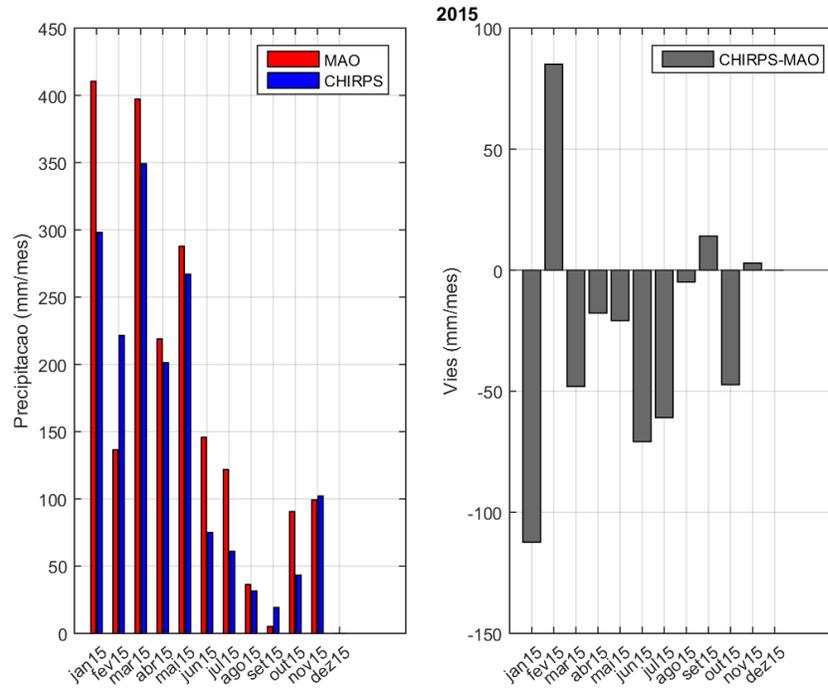
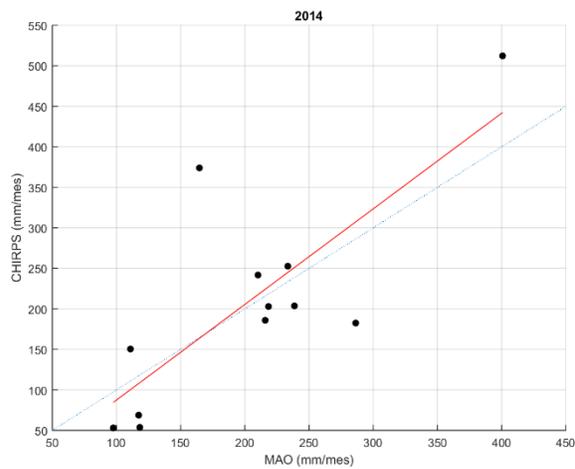


Figura 24: Acumulados mensais da estação MAO (em vermelho) e do CHIRPS (em azul) e o viés mensal para o ano de 2015.

(a)



(b)

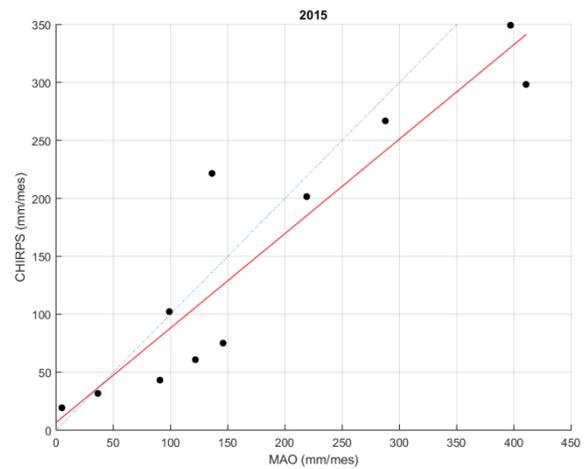


Figura 25: Gráfico de dispersão dos acumulados mensais do CHIRPS pelos acumulados mensais da MAO para o ano de (a) 2014 e (b) 2015. A linha azul representa a linha 1:1 e a vermelha o ajuste linear.

Para o caso do INMET os *boxplots* mensais (Figura 26) mostram que para maioria dos meses a distribuição dos dados diários entre as duas séries apresentaram significativas diferenças. Na maioria dos meses os *boxplots* referentes ao CHIRPS apresentaram uma amplitude interquartílica maior e maiores valores máximos que os observados na série do INMET, principalmente durante o ano de 2015.

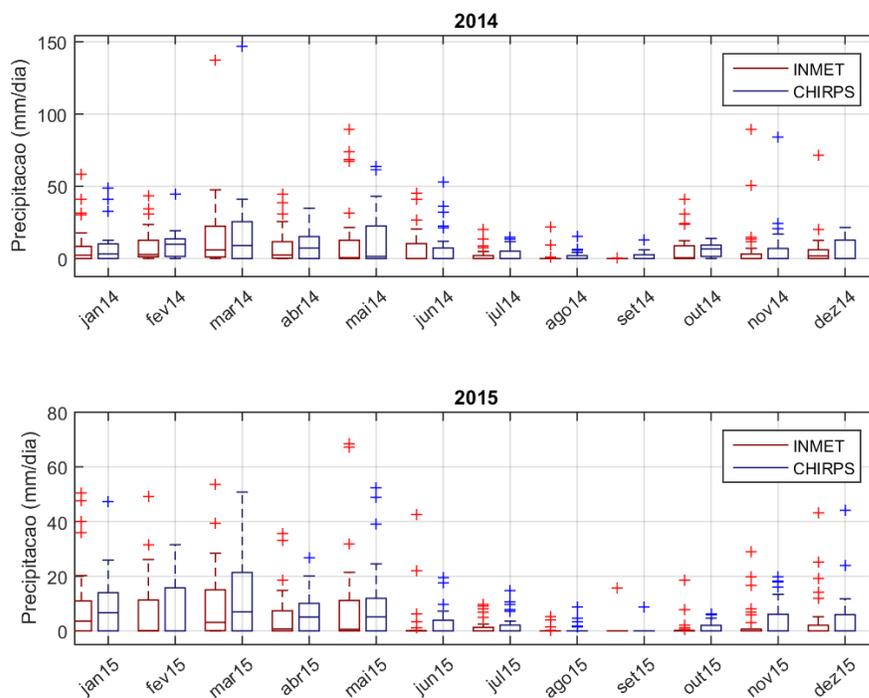


Figura 26: *Boxplots* mensais da precipitação obtida pela estação INMET (*boxplots* e pontos vermelhos) e pelo CHIRPS (*boxplots* e pontos azuis) para os anos de 2014 e 2015. Os *boxplots* mostram a mediana, primeiro e terceiro quartil, as linhas tracejadas se estendem dos valores mínimos aos máximos das séries diárias de cada mês, que são 1.5 vezes a faixa interquartil abaixo ou acima dos quartis, e os símbolos '+' correspondem aos valores atípicos que não estão dentro desse intervalo.

Assim como observado na comparação da estação MAO e o CHIRPS, os *q-q plots* feitos para as séries do INMET e CHIRPS (Figura 27) também mostram que há uma tendência de superestimação para os quantis de menores valores, enquanto que para os quantis de maiores valores há uma subestimação dos valores estimados pelo CHIRPS.

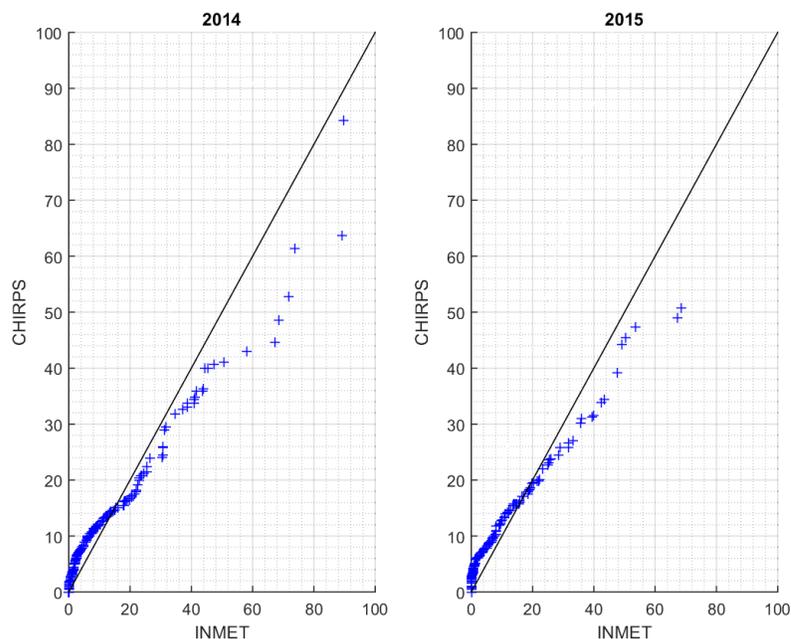


Figura 27: Q-q *plots* dos dados diários de precipitação do CHIRPS e da estação INMET, para 2014 e 2015. A linha contínua preta representa a linha 1:1.

A matriz de classificação feita entre a série do INMET e CHIRPS (Figura 28) mostra que em relação às estimativas de precipitação diária, o CHIRPS teve uma menor taxa de acerto com a série do INMET do que com as outras duas estações, com uma acurácia de somente 52.3% e taxa de erro de 47.7%. O CHIRPS mostrou melhor desempenho somente na primeira classe (precipitação igual a zero) e para as demais classes, de precipitação diferente de zero, as taxas de falsas estimativas foram superiores às precisões de classe.

No caso dos acumulados mensais (Figuras 29 e 30), diferentemente do observado nos casos da estação ATTO e MAO, nos dois anos os valores da estação INMET e do CHIRPS apresentaram uma boa concordância, com valores de viés mensais menores do que os observados para as outras estações. É interessante destacar que o mês que apresentou o maior viés, de cerca de 50 mm, foi o mês de setembro de 2014, único mês que o CHIRPS não usou a estação do INMET na interpolação de seus dados de precipitação.

CHIRPS	p=0	262 35.9%	91 12.5%	33 4.5%	5 0.7%	0 0.0%	67.0% 33.0%
	0<p<=10	79 10.8%	71 9.7%	28 3.8%	1 0.1%	0 0.0%	39.7% 60.3%
	10<p<=50	48 6.6%	53 7.3%	47 6.4%	5 0.7%	0 0.0%	30.7% 69.3%
	50<p<=100	2 0.3%	2 0.3%	0 0.0%	1 0.1%	1 0.1%	16.7% 83.3%
	p>100	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	1 0.1%	100% 0.0%
			67.0% 33.0%	32.7% 67.3%	43.5% 56.5%	8.3% 91.7%	50.0% 50.0%
	INMET	p=0	0<p<=10	10<p<=50	50<p<=100	p>100	

Figura 28: Matriz de classificação dos dados diários da INMET e CHIRPS.

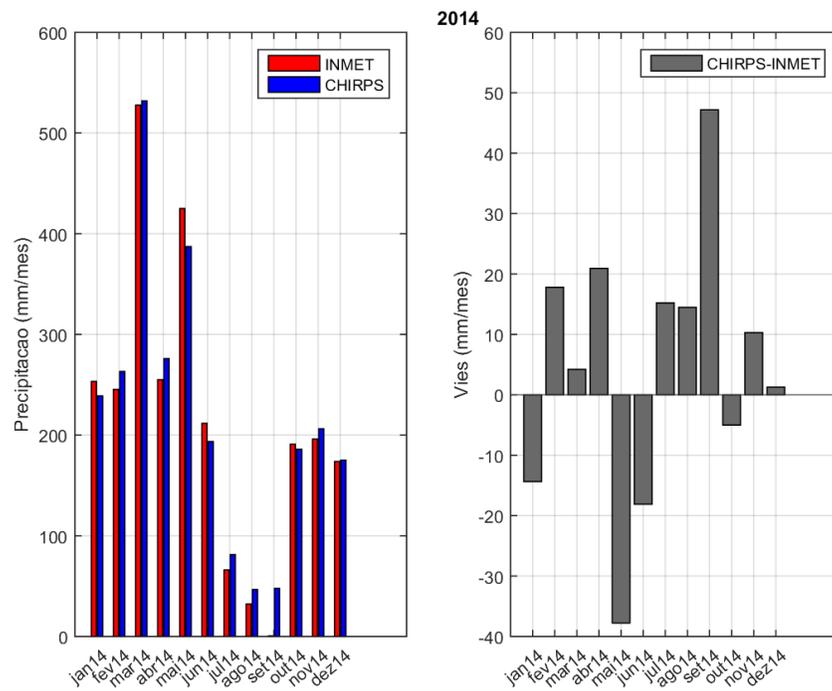


Figura 29: Acumulados mensais da estação INMET (em vermelho) e do CHIRPS (em azul) e o viés mensal para o ano de 2014.

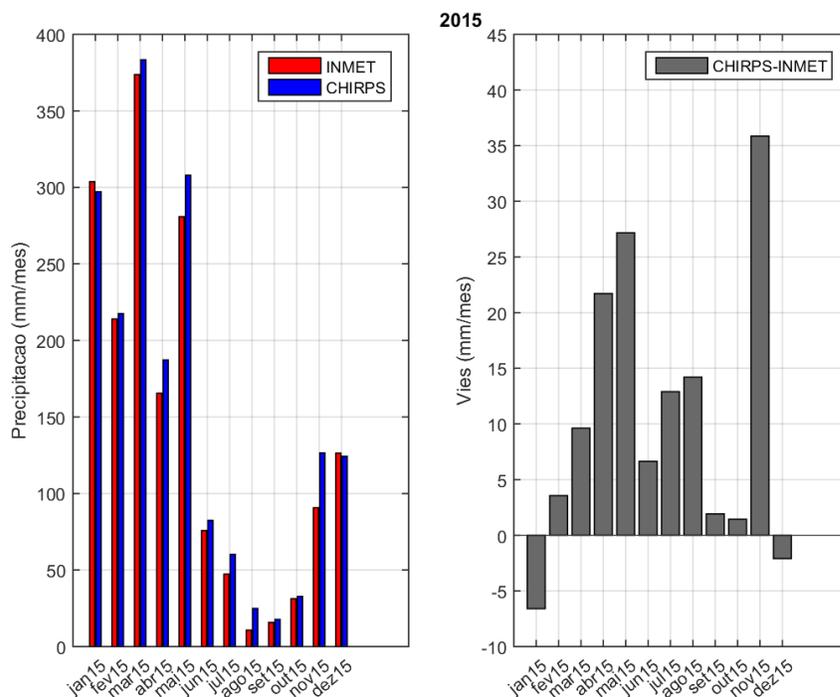


Figura 30: Acumulados mensais da estação INMET (em vermelho) e do CHIRPS (em azul) e o viés mensal para o ano de 2015.

Essa boa concordância dos acumulados mensais do INMET e CHIRPS também é observada nos gráficos de dispersão dos acumulados mensais de 2014 e 2015, onde nos dois anos o ajuste linear ficou próximo da linha de ajuste ideal (Figura 31). Entretanto, tanto nos gráficos de viés mensal (Figuras 29 e 30) quanto os de dispersão (Figura 31), é possível observar uma pequena superestimação dos acumulados por parte do CHIRPS, principalmente para o ano de 2015.

Apesar do CHIRPS utilizar em sua interpolação de dados de precipitação aqueles coletados pela estação convencional do INMET, as comparações das séries diárias coletadas por esta estação mostraram um pior desempenho nas estimativas dos valores diários comparados as outras estações, MAO e ATTO. Porém, para os valores de acumulados mensais o CHIRPS mostrou um melhor desempenho para o INMET do que para as outras estações. Isso se deve ao fato de que o produto primário de precipitação gerado pelo CHIRPS é

composto de pântadas de precipitação, os demais produtos de diferentes frequências temporais são agregados (mensais ou em decêndios) ou desagregados (diários) do produto primário. Portanto, para criar o produto diário de precipitação os valores das pântadas são desagregados com base nos campos diários de precipitação do CFSv2, ou seja, para cada pixel o total da pântada estimada pelo CHIRPS é redistribuído proporcionalmente com base nos valores diários do CFSv2 (comunicação pessoal com Pete Peterson; Funk et al., 2015). Isso acaba diminuindo a qualidade e confiabilidade dos dados, pois modelos numéricos também possuem dificuldades na estimativa de dados diários de precipitação.

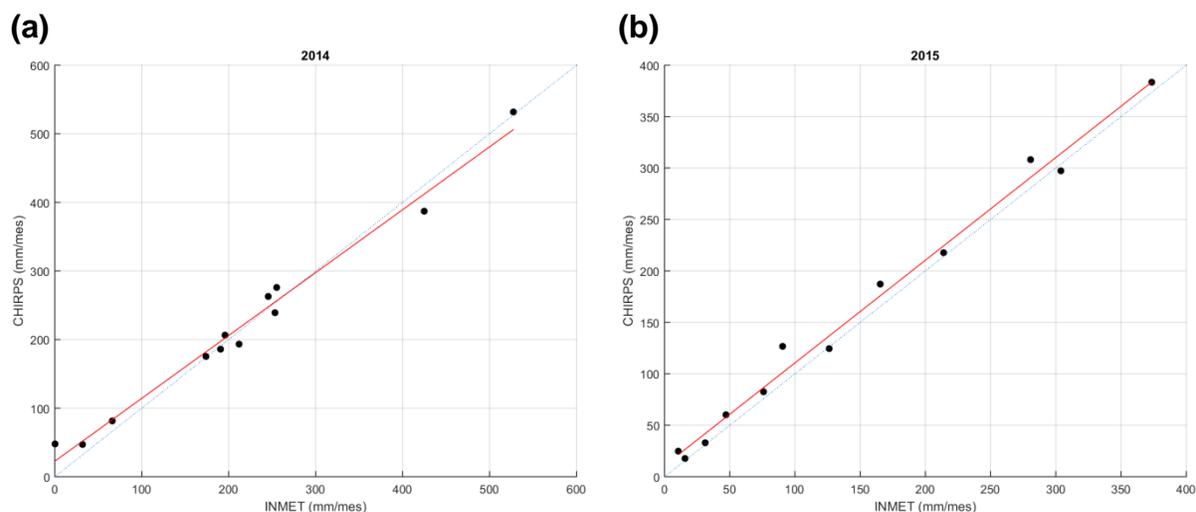


Figura 31: Gráfico de dispersão dos acumulados mensais do CHIRPS pelos acumulados mensais da ATTO para o ano de (a) 2014 e (b) 2015. A linha azul representa a linha 1:1 e a vermelha o ajuste linear.

O Diagrama de Taylor (Figura 32), feito a partir das séries diárias de precipitação, confirma o que foi observado nas comparações anteriores: o melhor desempenho de estimativa de precipitação diária pelo CHIRPS foi para a estação ATTO e o pior foi para o INMET. No diagrama, o ponto referente à estação ATTO é o que apresenta a melhor correlação (cerca de 0.6) e desvio padrão mais próximo de 1, com um valor de 1.09, o que indica uma pequena tendência de superestimação da variabilidade observada. Para MAO, o único parâmetro

estatístico que se mostrou melhor que o das outras estações foi a raiz do erro quadrático médio, que registrou o menor valor, de aproximadamente 0.9. Já o INMET teve o pior desempenho nos três parâmetros estatísticos representados no diagrama, com uma correlação baixa de 0.4, raiz do erro médio quadrático próximo a 1 e desvio padrão de 0.84, o que indica que a estimativa do CHIRPS tendeu a subestimar a variabilidade observada pela estação INMET.

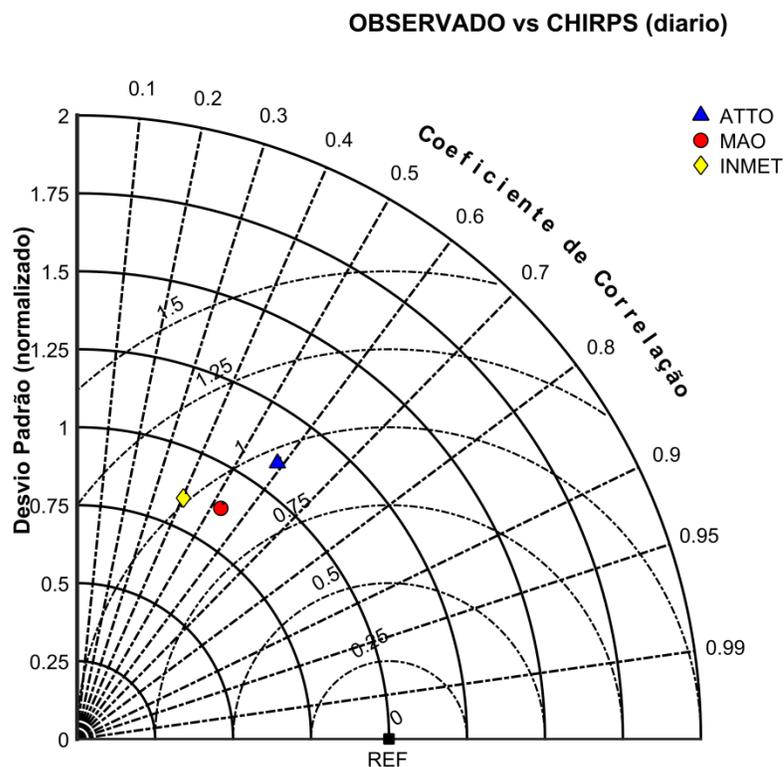


Figura 32: Diagrama de Taylor para as séries diárias de precipitação referentes às estações ATTO (triângulo azul), MAO (círculo vermelho) e INMET (losango amarelo). As variáveis foram todas normalizadas pelo desvio padrão das observações.

O Diagrama de Taylor feito a partir dos dados mensais de precipitação (Figura 33) mostra a diferença do desempenho do CHIRPS na estimativa dos acumulados mensais para as estações. Nesse caso, o melhor desempenho de estimativa pelo CHIRPS foi para a estação do INMET e o pior foi para MAO. Como ponto referente, temos que a estação do INMET está bem próximo ao ponto de referência no diagrama, com uma correlação acima de 0.99, raiz do erro médio

quadrático próximo de zero (0.13) e desvio padrão normalizado de 0.95, o que indica uma ligeira subestimação da variabilidade dos dados pelo CHIRPS. Para as estações ATTO e MAO os valores de desvio padrão normalizado ficaram acima de 1 (1.2 e 1.07, respectivamente) o que indica a superestimação da variabilidade dos dados. A estação MAO foi a que apresentou o menor valor de correlação (0.79) e maior raiz do erro médio quadrático (0.67), de qualquer forma, todos os parâmetros foram bem melhores do que os encontrados para as estimativas diárias de precipitação (Figura 32), indicando o melhor desempenho do CHIRPS para a estimativa de dados mensais de precipitação.

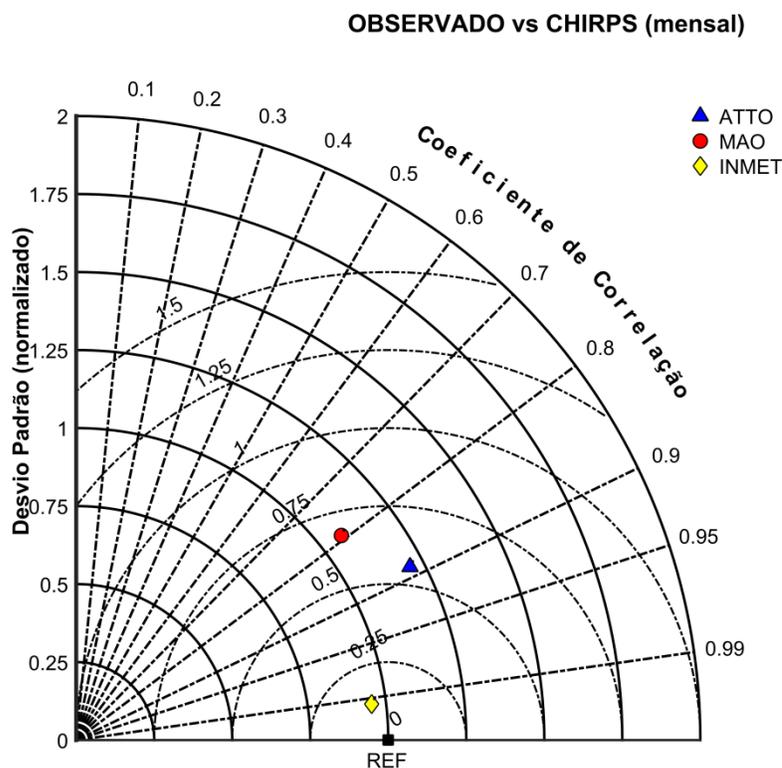


Figura 33: Diagrama de Taylor para as séries mensais de precipitação referentes às estações ATTO (triângulo azul), MAO (círculo vermelho) e INMET (losango amarelo). As variáveis foram todas normalizadas pelo desvio padrão das observações.

Apesar de ser um produto recente, lançado em 2014, alguns estudos também já fizeram comparações dos produtos de precipitação do CHIRPS com outros produtos de estimativa de precipitação ou com dados observados. Toté et

al. (2015) compararam três produtos de precipitação por satélite, um deles o CHIRPS, com dados de estações em Moçambique e mostraram que, em relação aos outros produtos, o CHIRPS foi o que mostrou o melhor desempenho, apesar de superestimar os valores mais baixos de precipitação por decêndios e subestimar os valores mais altos. Funk et al. (2015) fizeram algumas comparações dos valores de precipitação do CHIRPS com outros produtos derivados de satélite, reanálises de modelos e observados por estação, para todo o mundo durante os meses mais chuvosos, e verificaram que o CHIRPS mostra um menor viés para a estação chuvosa e correlações mais altas, comparado aos outros produtos, em várias regiões do mundo. As regiões que apresentaram menores valores de correlação não possuíam dados observados.

Para a América do Sul Funk et al. (2015), dentro de sua análise de desempenho global do CHIRPS, fizeram uma breve validação desses dados para Colômbia e Peru e verificaram uma queda do desempenho do CHIRPS em relação a estimativa de precipitação na Colômbia, provavelmente devido à complexidade do terreno e topografia, e um bom desempenho para o Peru.

Paredes-Trejo et al. (2016) validaram os acumulados mensais estimados pelo CHIRPS sobre a Venezuela e inferiram que o CHIRPS tende a superestimar menores valores de acumulados mensais e subestimar altos valores (≥ 100 mm/mês), e que seu desempenho foi melhor durante a estação chuvosa na região (abril a setembro), porém apresentando uma grande deficiência na habilidade de diferenciar eventos chuvosos de não chuvosos, superestimando significativamente a frequência de eventos chuvosos durante a estação chuvosa.

Urrea et al. (2016), diferente dos estudos anteriores, realizaram uma validação não só dos acumulados mensais do CHIRPS, mas também dos diários e anuais sobre a Colômbia, e concluíram que o CHIRPS apresenta um bom desempenho nas escalas mensais e anuais, apresentando menores valores de erro e uma boa concordância com os dados de estações. Porém, uma significativa piora de seu desempenho é observada para a escala diária, o que concorda com os resultados obtidos nas comparações feitas neste trabalho.

Em um trabalho recente, Paredes-Trejo et al (2017) fizeram o primeiro estudo de validação do CHIRPS sobre o Brasil, focado na região Nordeste. Assim como observado na validação sobre a Venezuela, o CHIRPS mostra uma tendência de superestimação dos valores mensais mais baixos (entre 0 e 100 mm/mês) e uma subestimação dos valores mais altos (acima de 100 mm/mês). Em relação à detecção de eventos chuvosos o CHIRPS mostrou um desempenho não tão bom, sendo melhor entre os meses de junho a agosto (meses correspondentes ao final da estação chuvosa na região) e pior durante a estação seca. Além disso, Paredes-Trejo et al. (2017) também avaliaram as diferenças espaciais em relação ao desempenho do CHIRPS e concluíram que o CHIRPS tem um bom desempenho na região costeira e amazônica do Nordeste, enquanto que um pior desempenho é visto na região do sertão nordestino.

Todos esses estudos e as comparações feitas nessa seção mostram que o CHIRPS é um bom produto de precipitação, principalmente em relação aos acumulados mensais, porém ainda possui grandes incertezas, assim como diversos outros produtos que são feitos a partir de estimativas de satélite e/ou dados observacionais. Na escala diária o CHIRPS não possui um desempenho tão bom, e isso deve ser principalmente pelo fato de depender do modelo CFSv2 para estimar os valores diários a partir do produto primário de pântadas. Ademais, é importante destacar que produtos de estimativa de satélite ainda possuem grandes dificuldades na estimativa de precipitação na presença de orografia e de nuvens quentes ou frias. Como o caso da nuvem *cirrus*, que é frequentemente confundida com nuvens convectivas como *cumulunimbus* em imagens de satélite do infravermelho, por possuir temperatura de brilho semelhante. Também vale destacar que os produtos que também englobam dados observacionais às suas estimativas têm seu desempenho correlacionado positivamente com o número de estações disponíveis para a assimilação de dados (Funk et al., 2015), portanto, se uma região possui poucas estações disponíveis, o desempenho da estimativa de precipitação sobre essa região será menor. Como visto na Figura 34, o número de estações utilizadas sobre o Brasil na assimilação de dados do CHIRPS caiu significativamente, principalmente a partir de 2012, e provavelmente o número de

estações utilizadas na região amazônica deve ser ainda menor, por ser uma região de difícil acesso e de manutenção de estações de operação contínua.

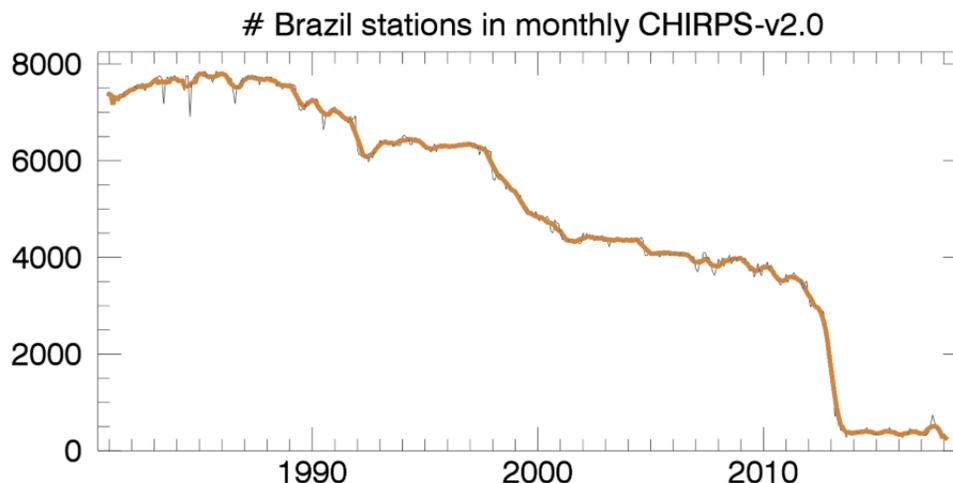


Figura 34: Número de estações usadas no produto mensal do CHIRPS no Brasil no período de 1981 a 2017 (Disponível em: http://chg.geog.ucsb.edu/data/chirps/stations/index.html#_sa).

Apesar do CHIRPS possuir considerável quantidade de incertezas acerca de suas estimativas de precipitação, principalmente na escala diária, ele é um dos produtos de mais alta resolução espacial e com grande período de dados disponíveis para a América do Sul, apresentando um bom desempenho para essa região, e por esses motivos, ele foi escolhido para ser a série de precipitação que servirá de base para as próximas análises. As breves comparações feitas nessa seção servem como incentivo à realização de análises comparativas mais robustas do desempenho do CHIRPS para todo o território brasileiro

4.3 Influência dos oceanos Atlântico e Pacífico Tropicais

Os anos de 2014 e 2015 foram marcados por diferentes regimes de precipitação na bacia amazônica. O ano de 2014 foi marcado por intensas anomalias positivas de precipitação em quase toda a bacia, mas principalmente na

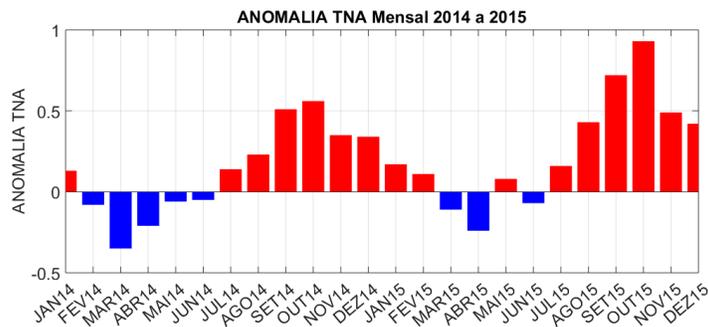
porção sudoeste, enquanto que no ano de 2015 foram observadas anomalias negativas de precipitação, principalmente no nordeste da bacia (Espinoza et al., 2014; Jiménez-Muñoz et al., 2016). Essas anomalias geralmente estão associadas a padrões de teleconexões oriundos dos oceanos Pacífico e Atlântico Tropicais (veja seção 2.1.2), o ENOS e o dipolo do Atlântico Tropical.

Em relação ao oceano Atlântico Tropical, para os anos de 2014 e 2015, os índices correspondentes ao dipolo do Atlântico Tropical, TNA e TSA (Figuras 35a e 35b) não indicaram o estabelecimento e persistência de um dipolo de anomalias entre si, no geral, ambos apresentaram anomalias ligeiramente acima da média na maioria dos meses.

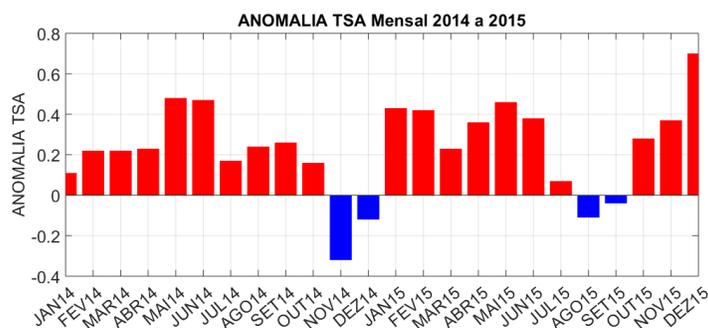
A evolução mensal das anomalias da região do Niño 3.4 (Figura 35c) mostra que no início do período de estudo essa região apresentava anomalias negativas de TSM, porém, em abril de 2014 as condições passaram a ser de neutralidade e a partir de setembro de 2014 começaram a haver indícios do estabelecimento de um El Niño. Entretanto, a partir de novembro de 2014 as anomalias positivas de TSM do Niño 3.4 começaram a enfraquecer, o que indicava uma volta à condição de neutralidade, mas em março de 2015 as anomalias positivas voltaram a se intensificar e continuaram ao longo dos meses, atingindo seu máximo em novembro de 2015, configurando o evento do El Niño de 2015.

Logo, nesses dois anos de GoAmazon2014/5 o padrão de teleconexão que se destacou foi o El Niño durante o ano de 2015, não sendo observado um dipolo no oceano Atlântico Tropical. Esse evento de El Niño foi o mais intenso registrado desde o início dos registros meteorológicos e com o maior período de duração, se iniciando em setembro de 2014 e terminando em maio de 2016. Esse evento foi o que registrou as anomalias positivas de TSM mais intensas no oceano Pacífico Equatorial Central desde o princípio do século 20, e esse aquecimento gerou grandes anomalias climáticas globais, também contribuindo para que o ano de 2015 registrasse a maior temperatura média global, cerca de 0.76°C acima da média do período entre 1961 e 1990 (Zhou e Shao, 2017).

(a)



(b)



(c)

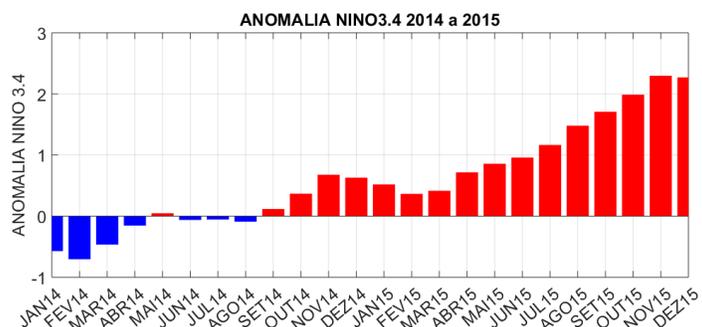


Figura 35: Anomalias mensais (°C) do (a) TNA, (b) TSA e (c) Niño 3.4 para os anos de 2014 e 2015.

Apesar do ano de 2014 ter apresentado no princípio anomalias ligeiramente negativas na região do Niño 3.4 e indicar o início do evento de El Niño, a partir de setembro de 2014, esse ano foi dado como neutro em relação ao ENOS. Porém, mesmo não tendo indícios de uma atuação de ENOS ou dipolo do

Atlântico Tropical, esse ano foi marcado por anomalias positivas de precipitação acima da média em quase toda a bacia amazônica (Figura 36), com exceção do estado de Roraima, uma pequena parte ao norte do estado do Pará, o norte de Rondônia e uma pequena parte ao sul do estado do Amazonas. A região mais afetada foi a porção sudoeste da bacia, onde várias cidades e regiões ficaram isoladas devido a inundações históricas do Rio Madeira, como a cidade de Rio Branco no Acre. Mas a porção central e leste da bacia também foram afetadas, e em junho de 2014 a cidade de Manaus declarou estado de emergência devido ao nível de 29.5m atingido pelo Rio Negro (Espinoza et al., 2014). Inclusive as estações de estudo, ATTO, MAO e INMET também estiveram em regiões de anomalias positivas de precipitação (Figura 36).

Diferente do que é comumente observado na região amazônica, esse ano de 2014 teve as anomalias associadas a outro padrão de teleconexão, diferente do ENOS e dipolo do Atlântico Tropical. De acordo com Espinoza et al. (2014) as anomalias de precipitação acima da média na Amazônia estiveram associadas com anomalias quentes no Pacífico Oeste, próximo ao oceano Índico, e anomalias positivas de TSM no oceano Atlântico Subtropical Sul, que geraram um padrão que foi responsável por um transporte de umidade anormalmente mais intenso do oceano Atlântico Tropical para a bacia amazônica. Coelho et al (2016) mostraram que o padrão de ondas gerado por essas anomalias acarretou em uma circulação anticiclônica anômala posicionada próxima a costa da região Sudeste do Brasil, o que impediu a passagem de sistemas frontais na região Sudeste e intensificou o transporte de umidade para a Amazônia, fazendo com que o Sudeste do Brasil enfrentasse uma grave situação de seca e a Amazônia uma situação contrária, com intensas chuvas e inundações.

Já no ano de 2015 as condições em relação ao regime de precipitação foram opostas as observadas em 2014, para algumas regiões da Amazônia. Nesse ano a parte central, leste e nordeste da bacia registraram um déficit de precipitação, o que possivelmente foi efeito do intenso evento de El Niño ocorrido nesse ano. Esse evento de El Niño se diferiu de eventos passados, como

mostrado por Jiménez-Muñoz et al. (2016), mostrando um padrão de anomalias de precipitação atípico para um evento El Niño na Amazônia, com anomalias positivas de precipitação no oeste e sudoeste da bacia, e anomalias negativas na porção leste e central da bacia amazônica, onde estavam localizadas as estações de estudo (Figura 37). Esse padrão de anomalias observado esteve associado possivelmente ao intenso aquecimento da TSM do Pacífico Equatorial Central durante esse El Niño, o que não foi observado em outros eventos como os de 1982/83 e 1997/98 (Jiménez-Muñoz et al., 2016).

PRECIP. 2014 – CLIMATOLOGIA NEUTROS

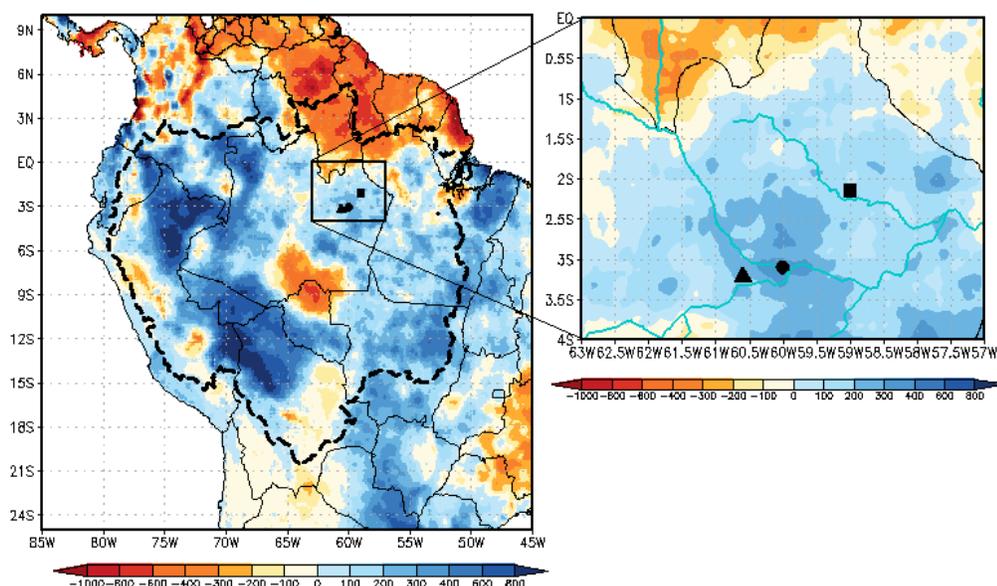


Figura 36: Anomalia de precipitação do ano de 2014 (mm/ano) em relação a climatologia dos anos neutros do CHIRPS, em tracejado está o limite espacial da bacia amazônica e as estações ATTO (quadrado), INMET (círculo) e MAO (triângulo) estão representadas com símbolos pretos. Em destaque um zoom na região das estações, as linhas azuis correspondem ao Rio Amazonas e seus principais afluentes.

PRECIP. 2015 — CLIMATOLOGIA NINOS

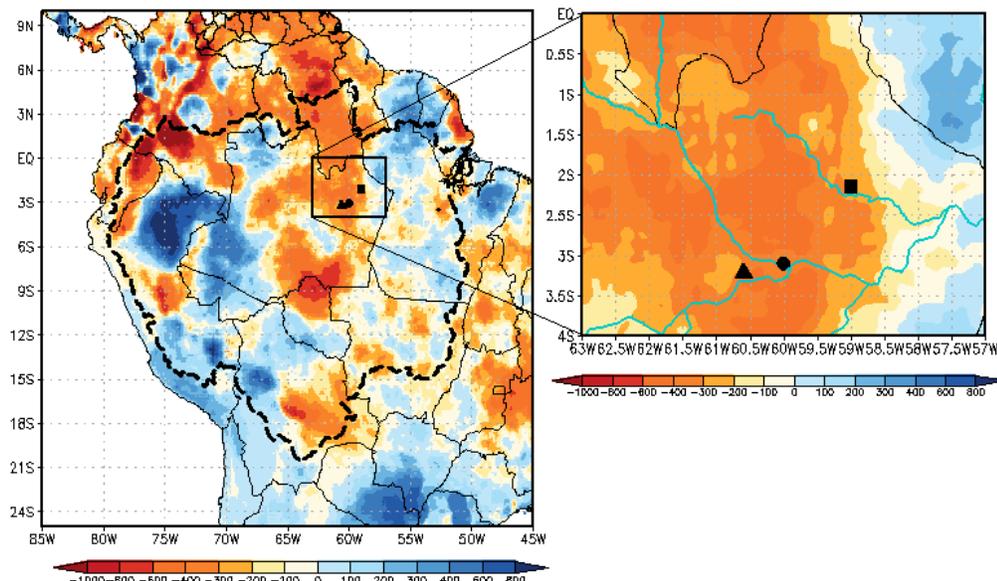


Figura 37: Anomalia de precipitação do ano de 2015 (mm/ano) em relação a climatologia dos anos neutros do CHIRPS, em tracejado está o limite espacial da bacia amazônica e as estações ATTO (quadrado), INMET (círculo) e MAO (triângulo) estão representadas com símbolos pretos. Em destaque um zoom na região das estações, as linhas azuis correspondem ao Rio Amazonas e seus principais afluentes.

Nos gráficos de variações mensais e trimestrais das anomalias de precipitação das três estações com as variações dos índices SOI e ONI, indicadores do fenômeno ENOS para os anos de 2014 e 2015 (Figura 38), é possível verificar o impacto do El Niño nas anomalias de precipitação das estações, principalmente para a ATTO e INMET. A estação ATTO esteve na maior parte dos meses destes dois anos com anomalias negativas de precipitação, principalmente quando os índices SOI e ONI começaram a indicar o estabelecimento do El Niño a partir de setembro de 2014 (Figuras 38a e 38b). Para a estação MAO a influência do El Niño não foi tão clara, com uma grande quantidade de meses com precipitação acima da média climatológica, principalmente em 2014 e somente a partir de agosto de 2015 notou-se uma possível influência do El Niño nas anomalias negativas de precipitação consecutivas (Figuras 38c e 38d). Para a estação do INMET os efeitos do El Niño

foram observados no início de 2015 e, assim como a ATTO, a partir da metade do ano as anomalias negativas de precipitação se intensificaram juntamente com os valores dos índices SOI e ONI (Figuras 38e e 38f), indicando o período de máxima intensidade do El Niño nesse ano. Em 2014 o INMET registrou alguns meses com anomalia de precipitação muito acima da média, como os meses de março e maio, com anomalias acima de 200 e 150 mm, respectivamente.

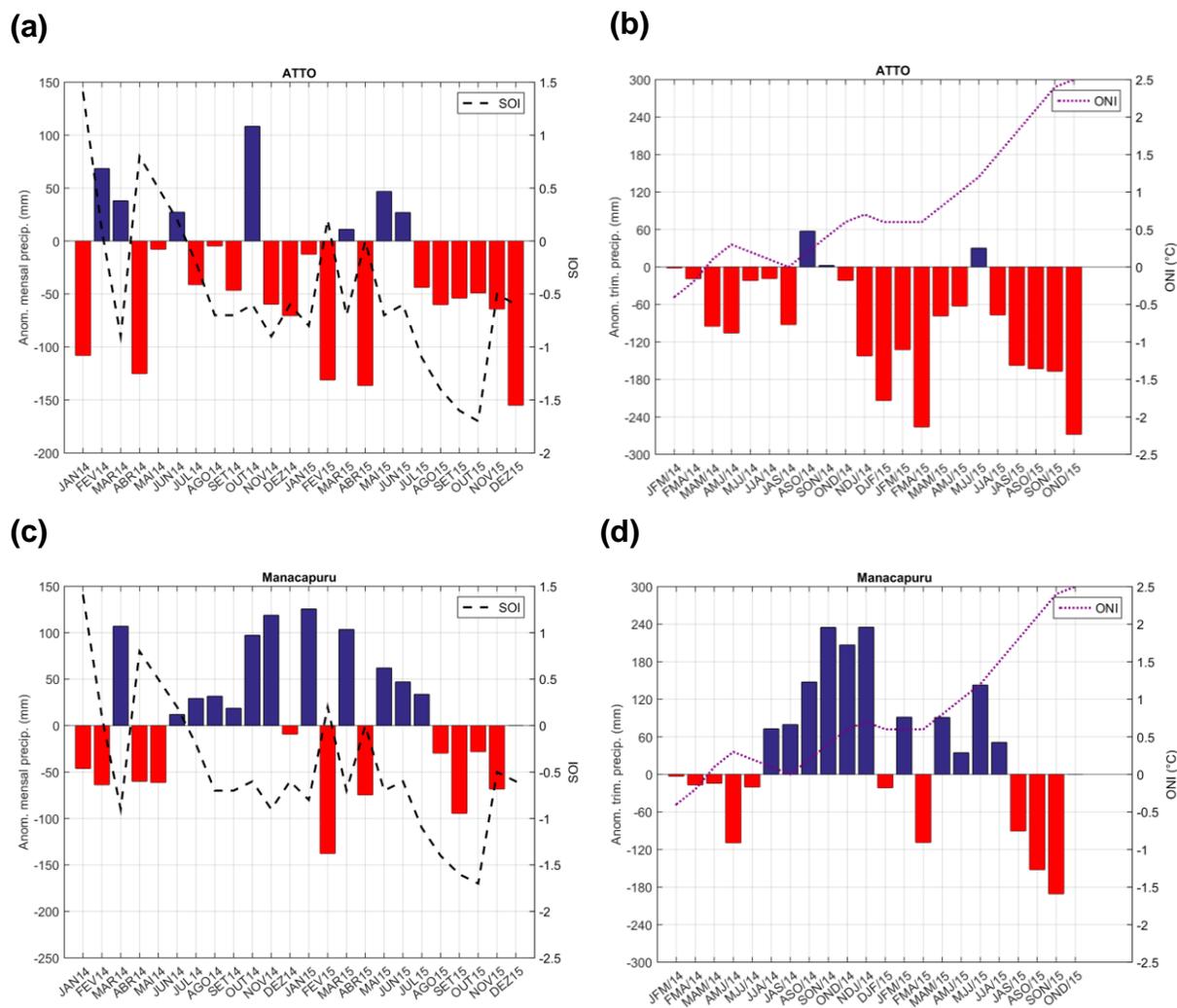


Figura 38: Anomalias mensais de precipitação com índice SOI para as estações (a) ATTO, (c) MAO e (e) INMET; e Anomalias trimestrais de precipitação com índice ONI para as estações (b) ATTO, (d) MAO e (f) INMET, para os anos de 2014 e 2015.

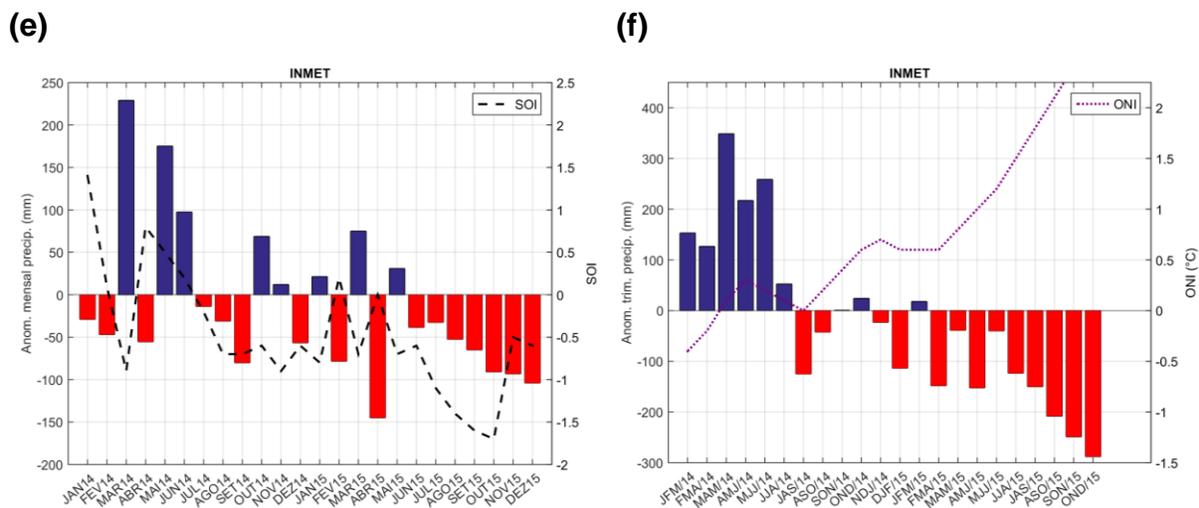


Figura 38: Continuação.

No geral, os dois anos de projeto GoAmazon2014/5 tiveram um déficit de precipitação para a estação ATTO, com o ano de 2014 registrando uma anomalia de -220 mm e 2015 com uma anomalia de -620 mm. Já para as estações MAO e INMET o ano de 2014 foi de precipitação acima da média, com anomalias de 174 mm e 270 mm, respectivamente, e o ano de 2015 com precipitação abaixo da média, com a estação MAO registrando uma anomalia de -288 mm e o INMET de -573 mm.

4.4 Identificação dos Eventos Chuvosos e Secos

Após a avaliação e comparação dos dados de precipitação, e a avaliação dos padrões de anomalias de precipitação associados aos eventos de teleconexão ocorridos nos anos de 2014 e 2015, através da aplicação do MPV (veja seção 3.4) foi feita uma análise da variabilidade dos dados diários de precipitação, extraindo dela o número de eventos chuvosos e secos ocorridos durante esses dois anos para as séries referentes a cada estação (ATTO, MAO e INMET).

As tabelas a seguir (Tabela 3, 4 e 5) mostram os números de eventos chuvosos (igual ou acima do percentil chuvoso de 90%) e secos (igual ou abaixo

do percentil seco de 20%) identificados nas séries diárias de precipitação observadas pelas estações, nas séries extraídas pelo CHIRPS para cada estação e os números de eventos que foram identificados tanto na série observada pela estação quanto na série extraída pelo CHIRPS, para os anos de 2014 e 2015, separadamente.

Tabela 3: Eventos chuvosos e secos registrados na série da ATTO, CHIRPS e eventos que foram registrados por ambas.

	Eventos chuvosos	Eventos secos
ATTO	2014: 38 dias 2015: 22 dias	2014: 134 dias 2015: 166 dias
CHIRPS	2014: 43 dias 2015: 25 dias	2014: 197 dias 2015: 223 dias
ATTO e CHIRPS	2014: 17 dias 2015: 11 dias	2014: 109 dias 2015: 141 dias

Tabela 4: Eventos chuvosos e secos registrados na série de Manacapuru, CHIRPS e eventos que foram registrados por ambas.

	Eventos chuvosos	Eventos secos
MAO	2014: 58 dias 2015: 29 dias	2014: 110 dias 2015: 141 dias
CHIRPS	2014: 47 dias 2015: 26 dias	2014: 175 dias 2015: 203 dias
MAO e CHIRPS	2014: 24 dias 2015: 11 dias	2014: 89 dias 2015: 113 dias

Tabela 5: Eventos chuvosos e secos registrados na série do INMET, CHIRPS e eventos que foram registrados por ambas.

	Eventos chuvosos	Eventos secos
INMET	2014: 44 dias 2015: 29 dias	2014: 179 dias 2015: 216 dias
CHIRPS	2014: 47 dias 2015: 30 dias	2014: 180 dias 2015: 211 dias
INMET e CHIRPS	2014: 14 dias 2015: 6 dias	2014: 113 dias 2015: 152 dias

De forma geral, os resultados indicam que para as três estações houve uma queda no número de eventos chuvosos de 2014 para 2015, juntamente com um aumento do número de eventos secos. Isso mais uma vez indica o possível impacto do El Niño de 2015 sob a variabilidade dos dados de precipitação das estações.

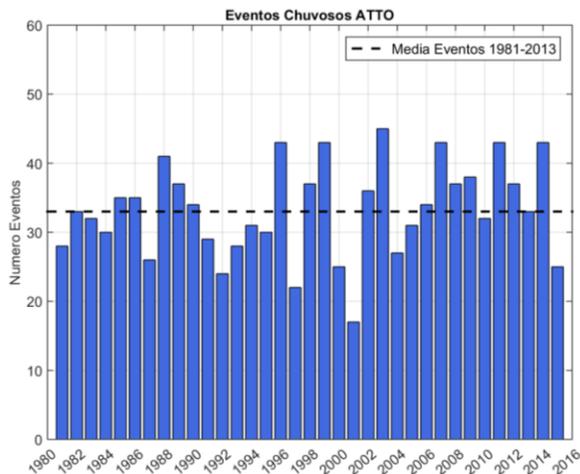
A estação MAO foi a que apresentou o maior número de eventos chuvosos e menor número de eventos secos nos dois anos, para os três casos indicados na tabela: eventos identificados na série observada da estação, na série extraída pelo CHIRPS e identificados em ambas (Tabela 4). A estação do INMET foi a que apresentou o maior número de eventos secos nesses dois anos e, de acordo com o número de eventos identificados em ambas as séries, esta foi a estação que registrou o menor número de dias chuvosos em 2014 e 2015 (Tabela 5). Entretanto, observando o número de eventos chuvosos identificados na série observada pela estação INMET e na série do CHIRPS (primeira e segunda linhas da Tabela 5) essa não foi a estação que identificou o menor número de eventos chuvosos, identificando até mesmo mais eventos que as outras no ano de 2015. Porém o que é observado no caso do INMET é uma alta incompatibilidade nos eventos vistos pela estação e pelo CHIRPS, onde cerca de 70% dos eventos identificados pela estação e pelo o CHIRPS no ano de 2014 não coincidiram entre si e cerca de 80% no ano de 2015. Isso pode estar associado ao pior desempenho do CHIRPS na estimativa de dados diários para essa estação, comparado às demais, como mostrado na seção 4.2.

Para as futuras análises acerca desses eventos, os eventos utilizados foram aqueles identificados em ambas as séries, estação e CHIRPS, das 3 estações estudadas (terceira linha das Tabelas 3, 4 e 5), totalizando 65 eventos chuvosos e 387 eventos secos nos dois anos de 2014 e 2015 (esses números não são a soma simples dos eventos das tabelas, os eventos que foram vistos em mais de uma estação foram contados só uma vez).

Além disso, a fim de verificar se esses números de eventos chuvosos e secos de 2014 e 2015 foram anômalos em relação a climatologia (1981 a 2013), o

MPV foi aplicado para toda a série histórica de precipitação diária do CHIRPS, de 1981 a 2015, para cada estação (Figuras 39, 40 e 41). Em relação ao número de eventos chuvosos, as três estações mostraram um número de eventos chuvosos acima da média climatológica para o ano de 2014 e abaixo da média para o ano de 2015 (Figuras 39a, 40a e 41a). Em 2015 as três estações apresentaram um número de eventos secos acima do normal, já para o ano de 2014 as estações MAO e INMET (Figuras 40b e 41b) mostraram um número de eventos secos dentro da média e somente a estação ATTO apresentou um número de eventos ligeiramente acima da média para esse ano (Figura 39b).

(a)



(b)

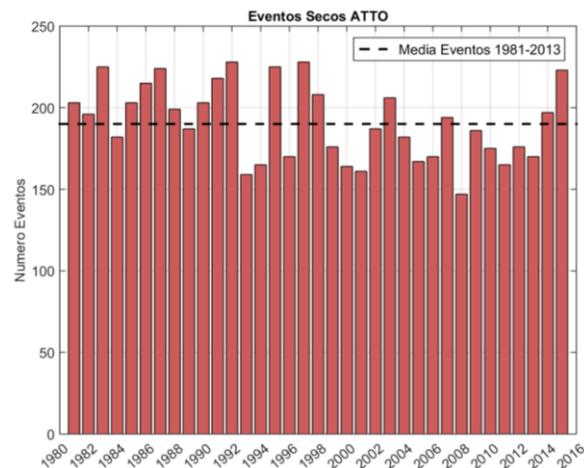


Figura 39: Número de eventos chuvosos (a) e secos (b) registrados por ano, de 1981 a 2015, para a série do CHIRPS da estação ATTO. A linha tracejada preta representa a média climatológica (climatologia de 1981 a 2013) do número de eventos.

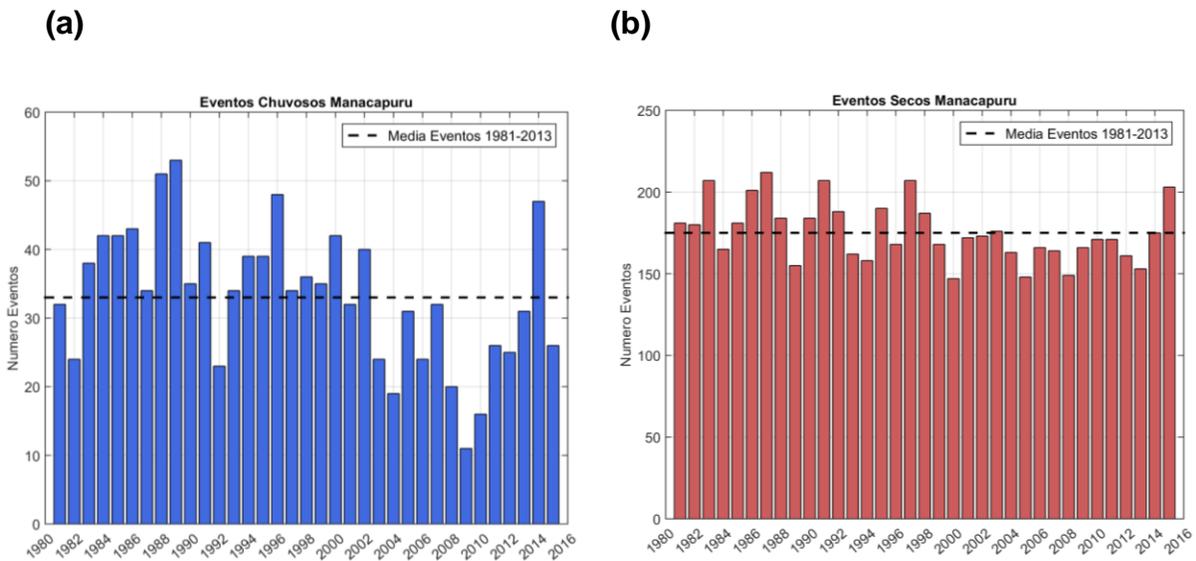


Figura 40: Número de eventos chuvosos (a) e secos (b) registrados por ano, de 1981 a 2015, para a série do CHIRPS da estação MAO. A linha tracejada preta representa a média climatológica (climatologia de 1981 a 2013) do número de eventos.

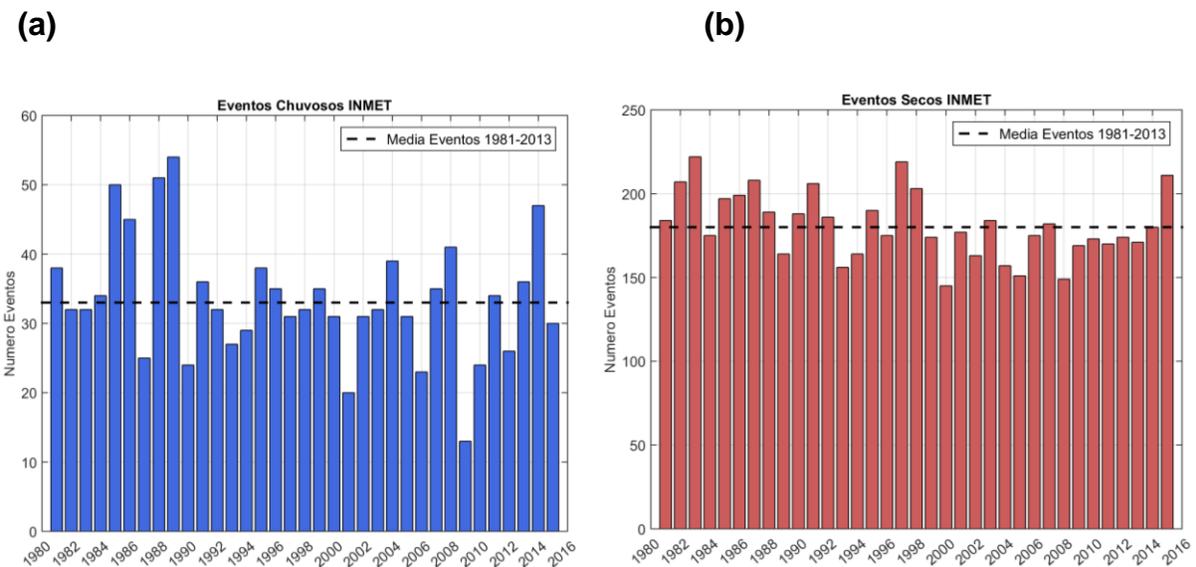


Figura 41: Número de eventos chuvosos (a) e secos (b) registrados por ano, de 1981 a 2015, para a série do CHIRPS da estação INMET. A linha tracejada preta representa a média climatológica (climatologia de 1981 a 2013) do número de eventos.

4.5 Composição dos Eventos Chuvosos e Secos

Identificados os 65 eventos chuvosos e 387 eventos secos ocorridos nos dois anos do projeto GoAmazon2014/5, através da aplicação da técnica de composições a partir dos campos meteorológicos do GFS (veja seção 3.5), foram caracterizadas as condições sinóticas associadas a ocorrência desses eventos, separando os eventos que ocorreram no período chuvoso (novembro a abril) e seco (maio a outubro). Dos 65 eventos chuvosos, 32 ocorreram no período chuvoso e 33 no período seco, e dos 387 eventos secos, 155 ocorreram no período chuvoso e 232 no período seco.

Primeiramente foram analisados os padrões sinóticos associados a ocorrência dos eventos chuvosos. A primeira composição, feita para os 32 eventos que ocorreram no período chuvoso, mostra um intenso escoamento de nordeste no nível de 850hPa (Figura 42a), responsável pelo transporte de umidade vindo do oceano Atlântico Tropical, sobre maior parte da bacia, inclusive sobre as estações ATTO, MAO e INMET. Associado a esse escoamento há convergência de umidade próxima a superfície sobre a região das estações (Figura 42a).

Em altos níveis (Figura 42b), a circulação associada à AB está bem definida e centrada sobre o norte da Bolívia, posicionada a sudoeste de uma extensa área de divergência de massa em 250hPa sobre grande parte da Amazônia, inclusive sobre as estações de estudo, o que infere que ela está posicionada a sudoeste da região de máxima convecção, como descrito em estudos anteriores (Lenters e Cook, 1997; Hastenrath, 1997, Reboita et al., 2010). Além da divergência de massa sobre as estações, também há uma difluência do escoamento em 250hPa sobre essa região, o que favorece a convecção local. A leste da costa do Nordeste brasileiro nota-se a presença de um cavado em altos níveis (Figura 42b) e, como mencionado anteriormente (veja seção 2.1.1.3), esse cavado e a AB são elementos associados a formação da ZCAS, que por sua vez está associada a grandes acumulados de precipitação na região amazônica. Em médios níveis (Figura 42c), o campo de ômega indica fortes movimentos

ascendentes sobre a porção nordeste e central da bacia amazônica, incluindo a região das estações.

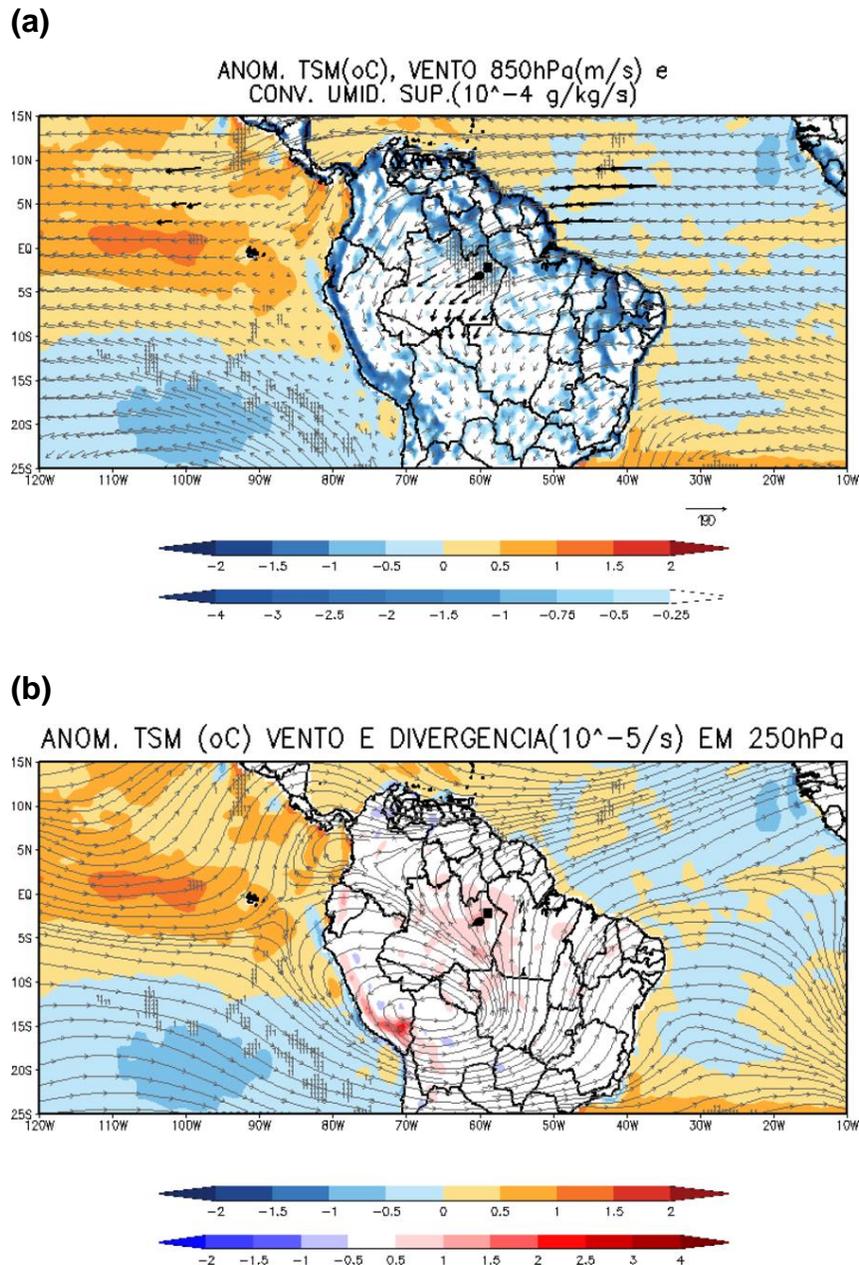


Figura 42: Composições dos campos sinóticos para os eventos chuvosos ocorridos durante o período chuvoso: (a) Anomalia de TSM ($^{\circ}$ C), ventos em 850hPa (m/s) e convergência de umidade próxima a superfície (10^{-4} g/kg/s); (b) Anomalia de TSM ($^{\circ}$ C), vento (m/s) e divergência do vento (10^{-5} /s) em 250hPa; (c) Anomalia de TSM ($^{\circ}$ C) e ômega em 500hPa (Pa/s). As estações ATTO, MAO e INMET estão indicados com um quadrado, triângulo e círculo preto. As áreas

estatisticamente significativas dos campos sombreados estão indicadas pelo tracejado cinza e nos campos de vento como linhas pretas em negrito.

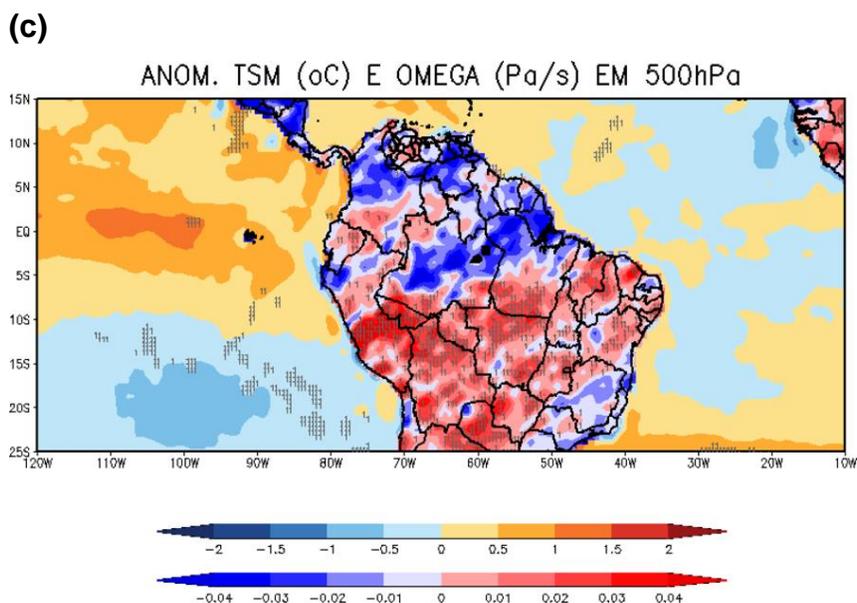


Figura 42: Continuação.

No caso dos 33 eventos chuvosos ocorridos dentro do período seco, o escoamento predominante em 850hPa passa a ser de leste sobre grande parte da Amazônia e sobre a região das estações (Figura 43a). Na parte leste da bacia amazônica e sobre a região Nordeste do Brasil nota-se o predomínio de um intenso escoamento de sudeste em 850hPa, sendo que esse escoamento é responsável por intensa convergência de umidade na costa do Nordeste e transporte de umidade para a bacia amazônica, vinda do oceano Atlântico Tropical Sul. Em altos níveis não há a presença da AB e nem do cavado do Nordeste, em grande parte do Brasil, incluindo o sul da bacia amazônica, predomina o escoamento zonal de oeste associado ao deslocamento anual do Jato Subtropical, mais a norte durante os meses de inverno austral (Figura 43b). Entretanto, sobre o nordeste e centro da região amazônica existe um escoamento de curvatura anticiclônica vindo de nordeste, que diflui sobre as estações. Além da difluência do escoamento de altos níveis sobre as estações, assim como no caso dos eventos de precipitação ocorridos no período chuvoso, também há uma pequena área de

divergência de massa no nível de 250hPa. Essa divergência de massa juntamente com a difluência do escoamento, colaboram com a formação de convecção.

Diferentemente do período chuvoso, o campo de 500hPa (figura 43c) mostra uma pequena área restrita de movimentos ascendentes próxima as estações do INMET e MAO, cercada por áreas de movimentos subsidentes, que desfavorecem a formação de nuvens convectivas.

(a)

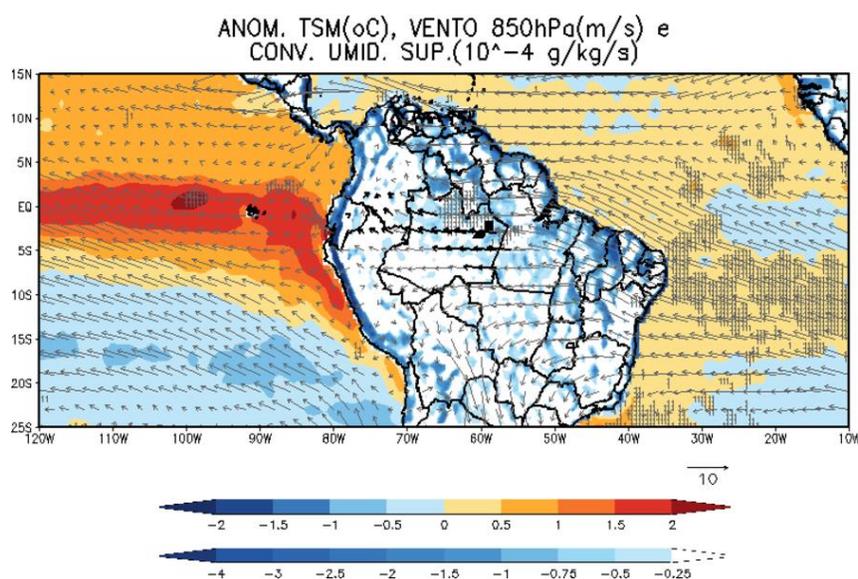
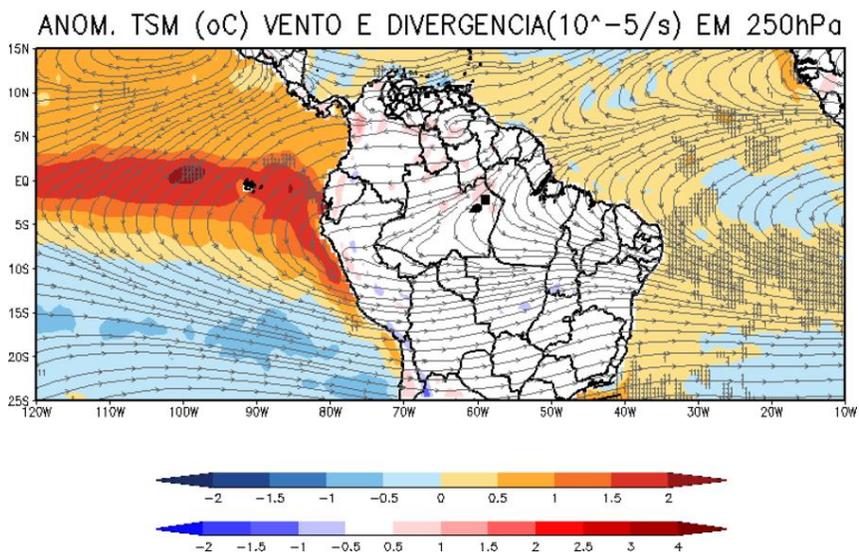
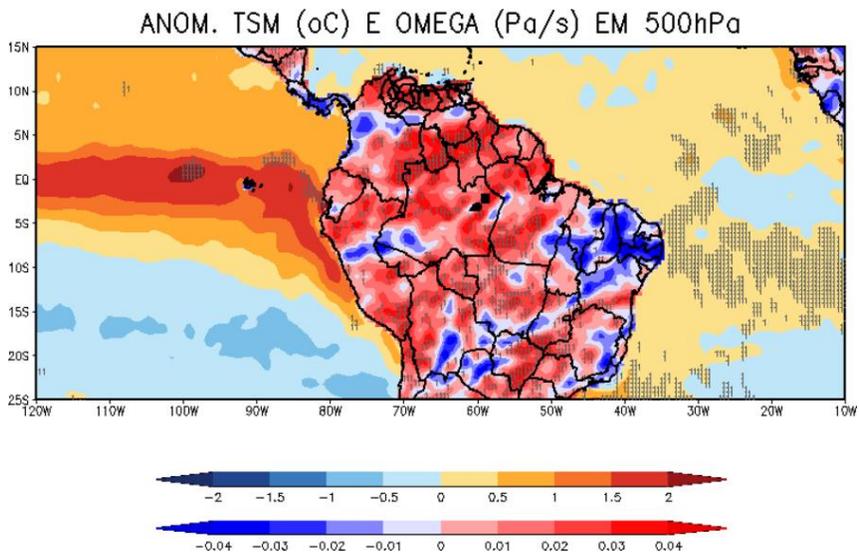


Figura 43: Composições dos campos sinóticos para os eventos chuvosos ocorridos durante o período seco: (a) Anomalia de TSM ($^{\circ}$ C), ventos em 850hPa (m/s) e convergência de umidade próxima a superfície (10^{-4} g/kg/s); (b) Anomalia de TSM ($^{\circ}$ C), vento (m/s) e divergência do vento (10^{-5} /s) em 250hPa; (c) Anomalia de TSM ($^{\circ}$ C) e ômega em 500hPa (Pa/s). As estações ATTO, MAO e INMET estão indicados com um quadrado, triângulo e círculo preto, respectivamente. As áreas estatisticamente significativas dos campos sombreados estão indicadas pelo tracejado cinza e nos campos de vento como linhas pretas em negrito.

(b)**(c)****Figura 43:** Continuação.

Dos 387 eventos secos, 155 ocorreram no período chuvoso. As composições sinóticas desses 155 eventos apresentam algumas similaridades com as composições dos eventos de chuva ocorridos no período chuvoso, como na composição de baixos níveis (Figura 44a), onde nota-se novamente a presença do escoamento de nordeste em 850hPa com convergência de umidade próxima a

superfície nas regiões adjacentes as estações, porém ligeiramente menos intensa que a observada para os eventos de chuva.

Em 250hPa (Figura 44b), as diferenças em relação a composição dos eventos chuvosos são mais perceptíveis. A circulação da AB se mostra mais contraída na porção sudoeste da bacia e o cavado do Nordeste apresenta um eixo mais inclinado em direção ao continente, essa configuração acaba gerando um escoamento quase meridional de sul sobre as estações, sem difluência das linhas de corrente e divergência de massa, o que desfavorece o desenvolvimento convectivo. No campo de 500hPa (Figura 44c) as condições desfavoráveis à convecção são marcadas pelos valores de ômega positivo (subsidiência) sobre as estações de estudo e grande parte da bacia amazônica, com exceção da região sudoeste.

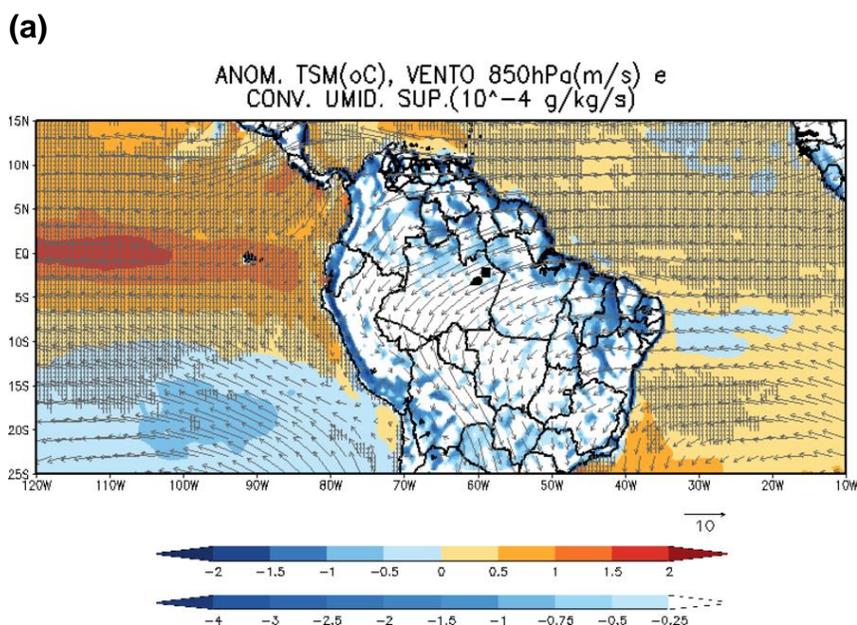
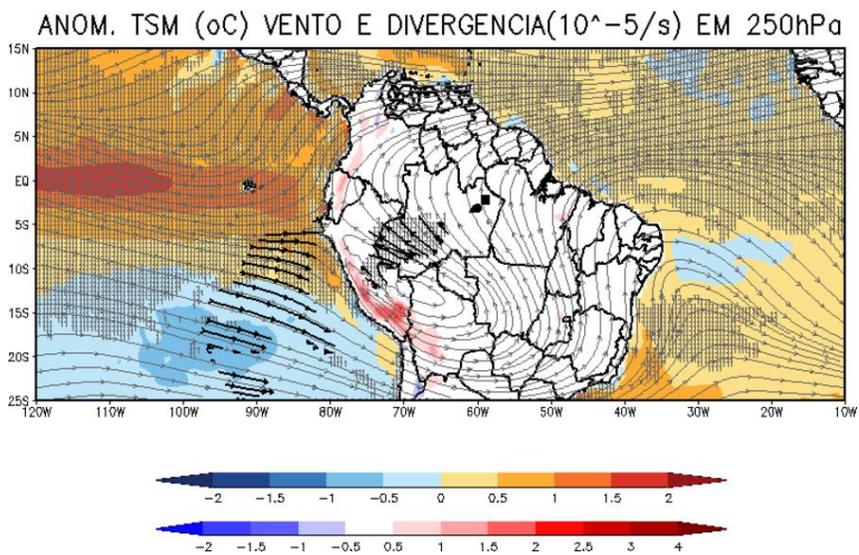
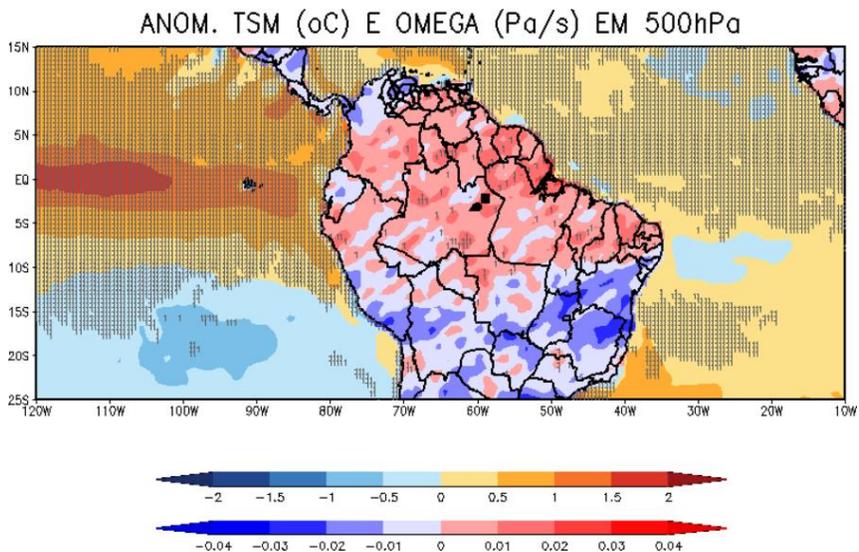


Figura 44: Composições dos campos sinóticos para os eventos secos ocorridos durante o período chuvoso: (a) Anomalia de TSM ($^{\circ}$ C), ventos em 850hPa (m/s) e convergência de umidade próxima a superfície (10^{-4} g/kg/s); (b) Anomalia de TSM ($^{\circ}$ C), vento (m/s) e divergência do vento (10^{-5} /s) em 250hPa; (c) Anomalia de TSM ($^{\circ}$ C) e ômega em 500hPa (Pa/s). As estações ATTO, MAO e INMET estão indicados com um quadrado, triângulo e círculo preto, respectivamente. As áreas estatisticamente significativas dos campos sombreados estão indicadas pelo tracejado cinza e nos campos de vento como linhas pretas em negrito.

(b)**(c)****Figura 44:** Continuação.

Para os 232 eventos secos ocorridos no período seco (Figura 45), assim como para os casos chuvosos no período seco, o campo de 850hPa também mostra a alteração do escoamento durante esse período, que passa a ser de sudeste/leste sobre a bacia amazônica (Figura 45a), indicando a influência da ASAS nesse período, que passa a atuar mais próxima ao continente.

No nível de 250hPa o escoamento de oeste predomina sobre quase todo o Brasil, com exceção do noroeste do Amazonas onde há uma pequena circulação anticiclônica (Figura 45b). Isso mostra que há uma grande diferença entre os escoamentos de altos níveis na ocorrência de eventos chuvosos e secos no período seco da região, pois para os eventos chuvosos o escoamento de oeste estava presente somente na parte sul da bacia, e mais a norte havia um escoamento de nordeste que adquiria uma curvatura anticiclônica e difluía sobre as estações ATTO, MAO e INMET, criando condições favoráveis a convecção (Figura 43b). Porém, para os eventos secos o escoamento de oeste aparece mais deslocado para norte, atuando sobre quase toda a bacia, e sem nenhuma divergência de massa associada (Figura 45b). E, assim como o campo de altos níveis, o campo de ômega em 500hPa (Figura 45c) também mostra condições desfavoráveis à convecção em quase toda a Amazônia.

(a)

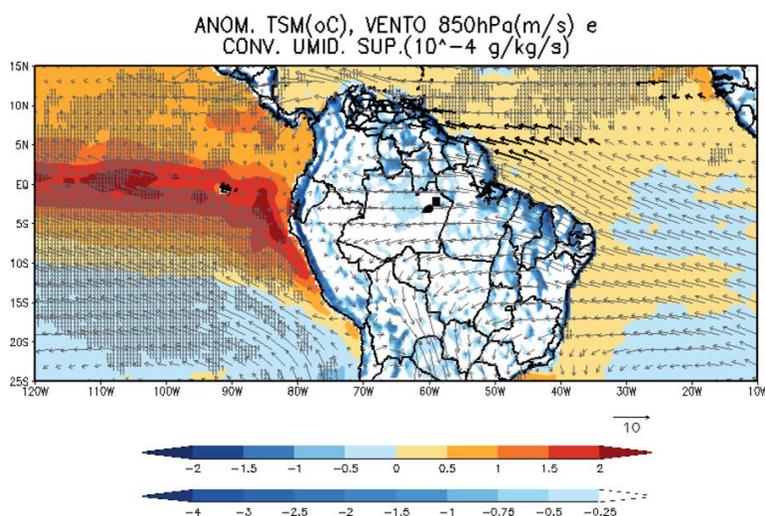
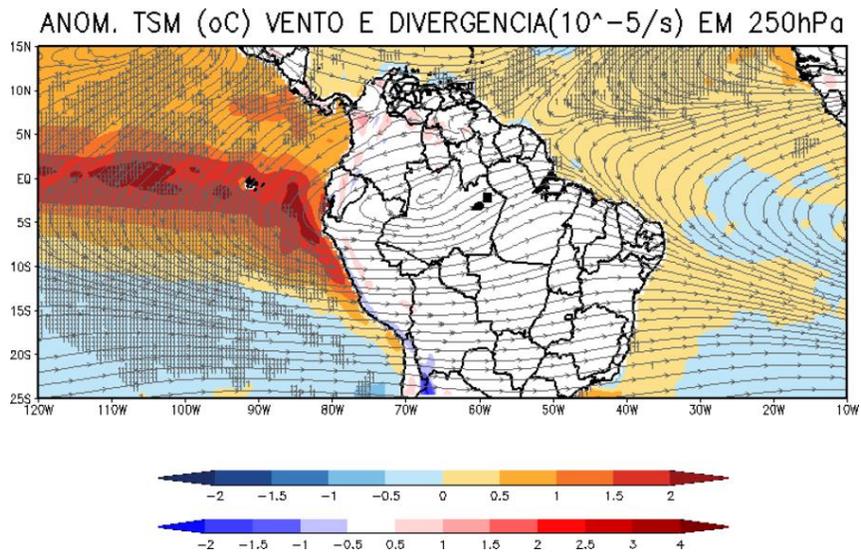


Figura 45: Composições dos campos sinóticos para os eventos secos ocorridos durante o período seco: (a) Anomalia de TSM (°C), ventos em 850hPa (m/s) e convergência de umidade próxima a superfície (10⁻⁴ g/kg/s); (b) Anomalia de TSM (°C), vento (m/s) e divergência do vento (10⁻⁵/s) em 250hPa; (c) Anomalia de TSM (°C) e ômega em 500hPa (Pa/s). As estações ATTO, MAO e INMET estão indicados com um quadrado, triângulo e círculo preto, respectivamente. As áreas estatisticamente significativas dos campos sombreados estão indicadas pelo tracejado cinza e nos campos de vento como linhas pretas em negrito.

(b)



(c)

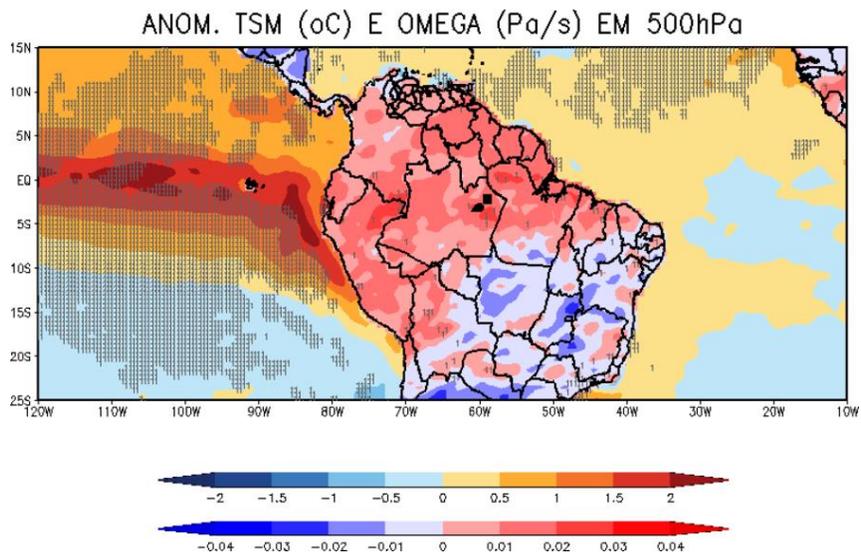


Figura 45: Continuação

4.6 Identificação dos Sistemas Meteorológicos Atuantes

A partir da caracterização dos padrões sinóticos médios associados a ocorrência dos eventos chuvosos e secos em ambos os períodos (chuvoso e seco), feita através da técnica de composições, uma análise mais detalhada e individual foi realizada para os 65 eventos chuvosos ocorridos nas estações ATTO, MAO e INMET nos anos de 2014 e 2015. Essas análises foram feitas a partir de campos sinóticos gerados com os dados do GFS, cartas de superfície do CPTEC e imagens de satélite no canal infravermelho (veja seção 3.6).

Para cada um desses 65 eventos foram inferidas as seguintes informações: data do evento, estações que identificaram esse evento; período em que ocorreu (chuvoso ou seco); sistema associado; posição da ZCIT; fase da OMJ; amplitude da OMJ; acumulado médio e anomalia média (veja seção 3.6). Todas essas informações foram resumidas na Tabela 6 do Anexo. Nessa tabela, os eventos foram classificados de acordo com seus valores de anomalia média e, dessa forma, foram definidos os dez eventos mais chuvosos.

As observações feitas acerca da posição da ZCIT na ocorrência de cada evento foram colocadas, pois estudos anteriores (Cunningham e Cavalcanti 2006; Souza e Ambrizzi, 2006; Melo et al., 2009; Loureiro et al, 2014) mostraram que, dependendo do posicionamento da ZCIT, seu acoplamento com outros sistemas que geram convecção na Amazônia (ZCAS e LIs, por exemplo) podem causar grandes acumulados de chuva na região.

Dos 65 eventos identificados, 42 ocorreram no ano de 2014 e 23 no ano de 2015. A distribuição mensal desses eventos, para cada ano separadamente, está representada na Figura 46. Em 2014, 20 eventos ocorreram nos meses do período chuvoso e 22 nos meses do período seco, enquanto que no ano de 2015, 12 eventos ocorreram no período chuvoso e 11 no período seco (Figura 46).

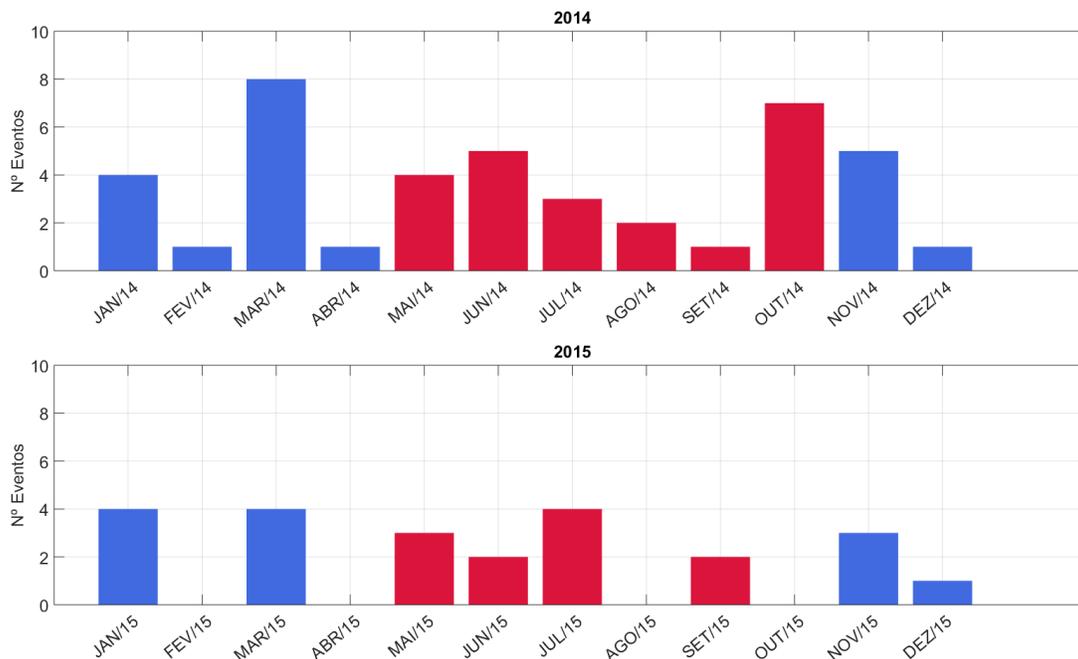


Figura 46: Distribuição mensal dos 65 eventos chuvosos ocorridos em 2014 (em cima) e 2015 (embaixo). Os meses que correspondem ao período chuvoso estão em azul e os do período seco em vermelho.

O mês com maior número de ocorrências foi o mês de março de 2014, com 8 eventos identificados (Figura 46). Desses 8 eventos do mês de março, 5 estão entre os dez mais chuvosos (veja Tabela 6 no Anexo), inclusive o evento mais chuvoso da série, ocorrido em 08/03/2014 no INMET, que registrou uma anomalia de 124 mm. Esses intensos eventos chuvosos ocorridos no mês de março de 2014 podem ter colaborado com as anomalias positivas de precipitação registradas nas três estações (ATTO, MAO e INMET) nesse mês (Figuras 38a, 38c e 38e), e o evento mais chuvoso ocorrido no dia 08/03/2014 colaborou com a elevada anomalia, acima de 200 mm, registrada no INMET nesse mês (Figura 38e).

No ano de 2015 (Figura 46), não houve um mês com maior número de ocorrências, porém o mês de março desse ano também ganha destaque, pois dos 4 eventos registrados nesse mês, 3 estão entre os dez mais chuvosos. Isso novamente pode estar associado as anomalias positivas registradas nas três estações durante esse mês (Figuras 38a, 38c e 38e).

Através das análises dos campos sinóticos e imagens de satélite foi possível identificar os sistemas meteorológicos (citados na seção 2.1.1) associados a cada evento chuvoso. Os principais sistemas meteorológicos responsáveis pela ocorrência dos 65 eventos chuvosos foram: SCMs, ZCAS/ZCOU, frente estacionária e convecção local. A Figura 47 mostra o número de eventos associado a cada sistema, separando aqueles que ocorreram no período chuvoso e seco.

Os SCMs foram os responsáveis pelo maior número de eventos, 29 eventos chuvosos, seguido pela convecção local, responsável por 20 eventos, e ZCAS/ZCOU, que juntas foram responsáveis pela ocorrência de 15 eventos. Somente um evento, o registrado em 30/06/2014, esteve associado a uma frente estacionária que atingiu o sudoeste do estado do AM e que pode ter auxiliado na organização da convecção que atingiu a estação ATTO.

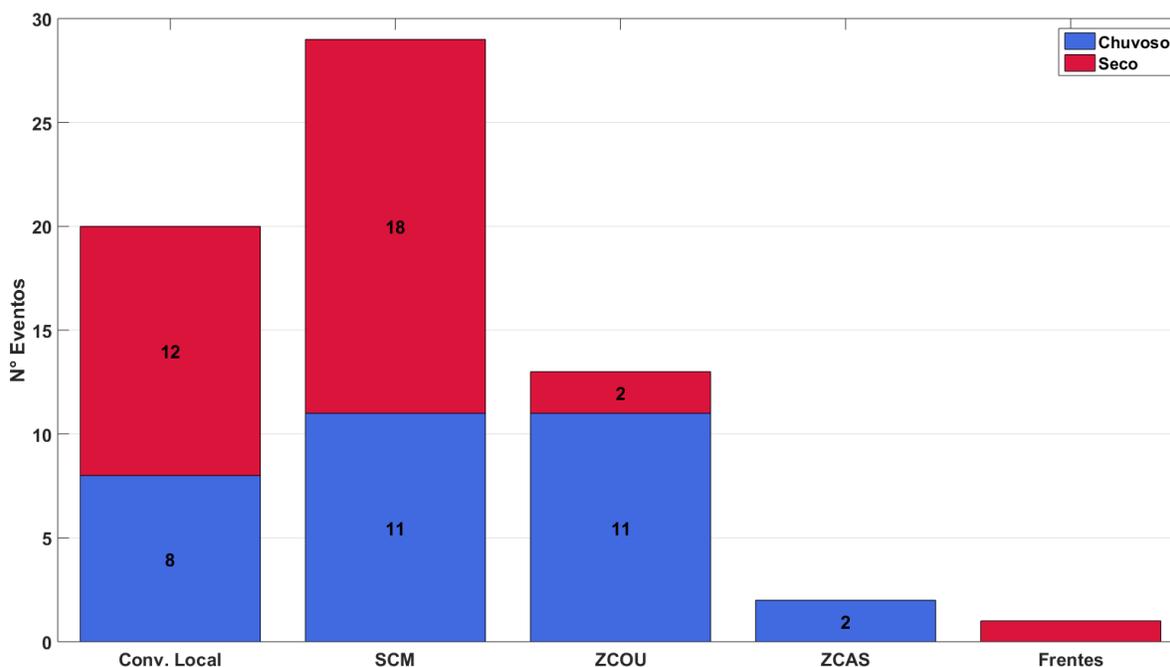


Figura 47: Número de eventos chuvosos associado a cada tipo de sistema meteorológico no período chuvosos (em azul) e no período seco (em vermelho).

Dos 29 eventos de SCMs, 18 foram identificados como LIs, de acordo com a análise visual das imagens de satélite do canal do infravermelho. A maior parte

desses SCMs ocorreram no período seco (entre maio e outubro), com uma contagem de 18 eventos, sendo que 14 deles foram classificados com LI, enquanto que no período chuvoso foram contabilizados 11 eventos de SCMs, com 4 deles sendo Lis. Essa maior frequência de SCMs observada no período seco condiz com as análises de climatologia de SCMs e Lis feitas para a Amazônia (Cohen et al., 1989; Cohen et al., 2009; Pereira Filho et al., 2015), que mostram que esses sistemas tendem a ocorrer com maior frequência entre os meses de abril a agosto. Além disso, os SCMs atingem mais a região das estações durante esse período devido ao escoamento de baixos níveis, que favorece a propagação para oeste desses sistemas.

Em relação aos eventos chuvosos associados a convecção local, existe uma frequência ligeiramente maior de ocorrência no período seco, com 12 eventos contra 8 ocorridos no período chuvoso. Porém não há uma tendência clara de período de preferência, como no caso dos SCMs (principalmente as Lis). Isso porque a convecção local é comum durante todo o ano na região amazônica, devido ao grande aporte de umidade e calor, sendo originada pelo aquecimento diurno da superfície.

Para os eventos de ZCAS e ZCOU há um evidente predomínio de ocorrência desses eventos nos meses de período chuvoso (novembro a abril), por serem sistemas característicos do sistema de monção da América do Sul durante o verão austral. Somente dois eventos de ZCOU ocorreram fora do período chuvoso, sendo que ambos ocorreram nos primeiros dias de maio de 2015 (veja Tabela 6 no Anexo).

É interessante ressaltar que dos 10 eventos mais chuvosos, 6 estiveram associados a sistemas de ZCOU e ZCAS (5 de ZCOU e 1 de ZCAS), o restante foi devido a SCMs (3 eventos) e convecção local (1 evento). Alguns estudos já haviam mostrado que eventos de ZCAS são responsáveis por grandes acumulados de precipitação na Amazônia (Carvalho et al., 2004; Cunningham e Cavalcanti, 2006; Souza e Ambrizzi, 2006; Oliveira et al., 2013), principalmente no setor sul e sudoeste da bacia, entre o final da primavera e durante o verão austral.

Porém, frequentemente parte desses sistemas se deslocam para norte, o que gera grandes acumulados de precipitação nos setores mais a leste da bacia. Nesses casos, geralmente ocorre um acoplamento da ZCAS com a ZCIT, com o suporte da AB e o VCAN, o que pode causar precipitação intensa e tempestades com atividade elétrica sobre grande parte da porção leste da bacia amazônica (Santos et al., 2015b).

A influência intrasazonal da OMJ foi verificada a partir da fase e amplitude que a oscilação esteve em cada evento identificado, tanto dos 65 eventos chuvosos quanto dos 387 secos. As Figuras 48 e 49 mostram a quantidade de eventos chuvosos e secos, respectivamente, que ocorreram em cada fase da OMJ e a quantidade de eventos nessas fases em que a OMJ estava ativa ou inativa. Para verificar se a OMJ estava ativa ou não foi analisado o valor de sua amplitude. Um evento de OMJ é considerado inativo quando seu valor de amplitude é menor que 1 e ativa quando é maior que 1, onde quanto maior o valor de amplitude maior a intensidade do evento.

Em relação aos eventos chuvosos (Figura 48), para cerca de 60% dos eventos a OMJ esteve em suas fases 1,2,7 e 8, fases em que a convecção é favorecida pela OMJ sobre o nordeste da América do Sul (veja seção 2.1.2). Portanto a OMJ nessas fases pode ter favorecido a ocorrência desses eventos chuvosos sobre as estações ATTO, MAO e INMET nesses dois anos de GoAmazon2014/5.

Já para os eventos secos (Figura 49), 54.5% dos eventos ocorreram nas fases 3,4,5 e 6, fases que desfavorecem a convecção na região amazônica, e 45.5% nas fases 1,2,7 e 8. Nesse caso houve uma maior distribuição de eventos nas diferentes fases da OMJ, com uma ligeira diferença entre o número de eventos que ocorreram na fase de supressão e na fase de favorecimento da convecção na região das estações de estudo.

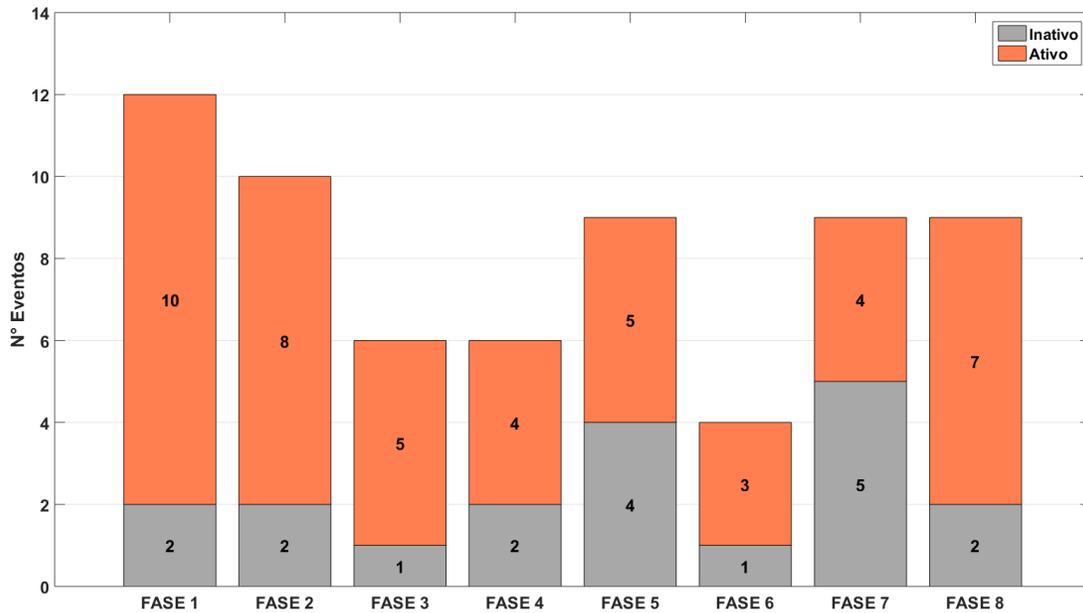


Figura 48: Número de eventos chuvosos ocorridos em cada fase da OMJ. A quantidade de eventos de OMJ ativa estão em laranja e os de OMJ inativa em cinza.

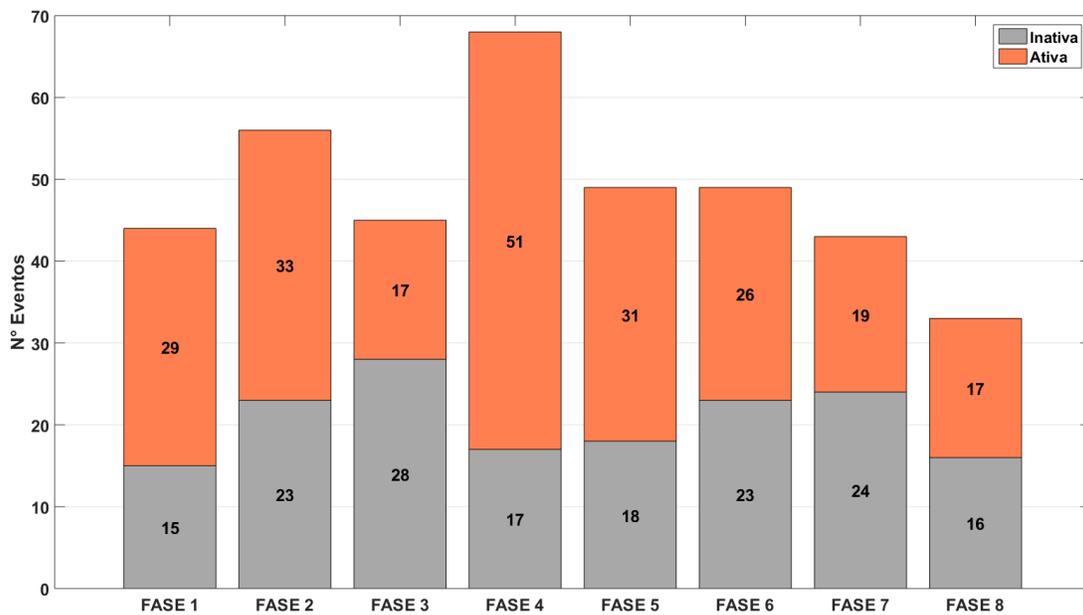


Figura 49: Número de eventos secos ocorridos em cada fase da OMJ. A quantidade de eventos de OMJ ativa estão em laranja e os de OMJ inativa em cinza.

4.7 Impacto nos Dados Meteorológicos Coletados

Alguns dos eventos chuvosos citados na seção anterior foram escolhidos para exemplificar as análises individuais que foram feitas e avaliar os possíveis impactos desses sistemas na variação horária de outros dados meteorológicos coletados pelas estações ATTO, MAO e INMET. Um evento dentro de cada categoria de sistema meteorológico identificado (Figura 47) foi escolhido, ou seja, um evento de ZCAS, ZCOU, SCM, convecção local e frente estacionária.

a) Evento em 08/03/2014

O evento ocorrido no dia 08/03/2014 foi identificado como evento chuvoso pela estação do INMET, que registrou um acumulado de 137 mm e uma anomalia de 124 mm, o que fez desse evento o mais intenso da série, estando associado a diversos transtornos na cidade de Manaus e inclusive a morte de duas pessoas (G1, 2014). Esse evento esteve associado a uma ZCOU, que se estabeleceu desde o sudeste do estado do Amazonas até o Rio de Janeiro e oceano Atlântico adjacente.

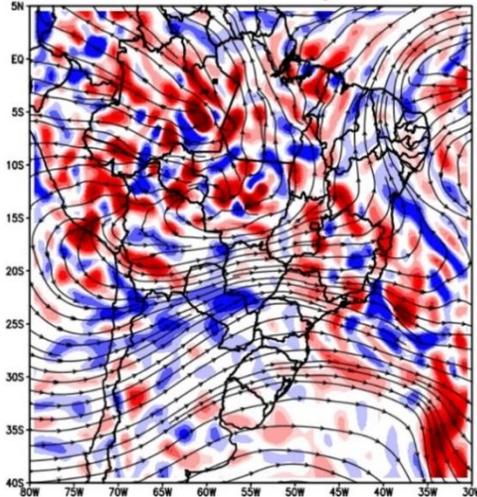
O campo de altos níveis das 06 UTC desse dia mostra uma grande circulação anticiclônica não muito bem configurada, centrada sobre o estado do Mato Grosso, gerando um escoamento de sudeste que diflui sobre as estações de estudo (Figura 50a). Associada a difluência desse escoamento também há uma intensa divergência de massa sobre o INMET nesse horário. Ainda no nível de 200hPa (Figura 50a) também se verifica a presença de um cavado na costa do NE, mais deslocado e centrado no oceano Atlântico. O campo de ômega em 500hPa (Figura 50b) mostra a região de movimentos ascendentes (ômega negativo) que caracteriza a banda convectiva associada à ZCOU, inclusive sobre as três estações de estudo. Essa configuração permaneceu em todos os horários sinóticos (não mostrados).

No nível de 850hPa há uma convergência dos intensos ventos de nordeste que chegam a região, associada a uma intensa convergência de umidade sobre a

estação INMET (Figura 50c). No campo de PRNM nota-se o ciclone associado a essa ZCOU, posicionado na costa do Rio de Janeiro (Figura 50d).

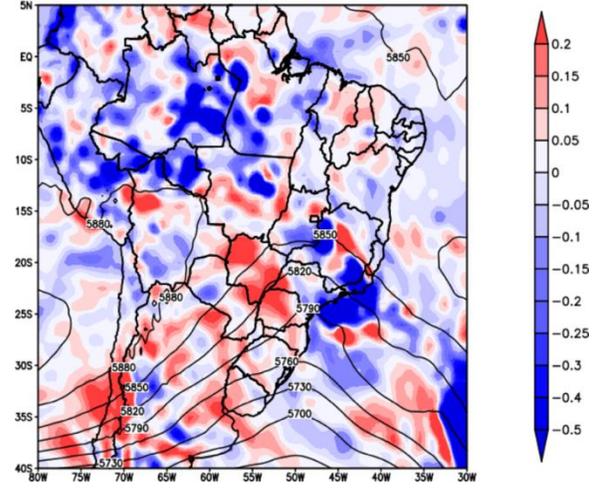
(a)

06Z08MAR2014– Vento e Divergencia em 200hPa



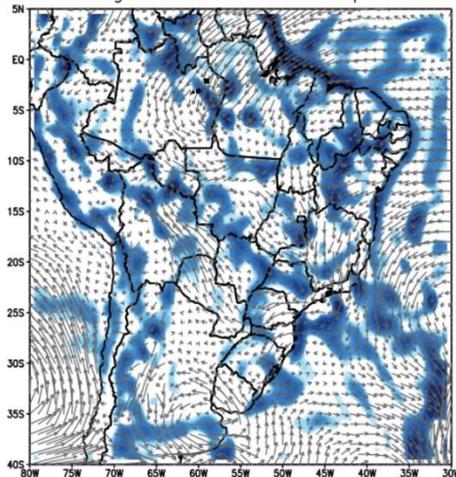
(b)

Z08MAR2014– Omega e Alt. Geop. em 500hPa



(c)

06Z08MAR2014–Divergencia umidade em sup. e Vento em 850hPa



(d)

06Z08MAR2014– Temperatura, PRNM e Vento em 1000hPa

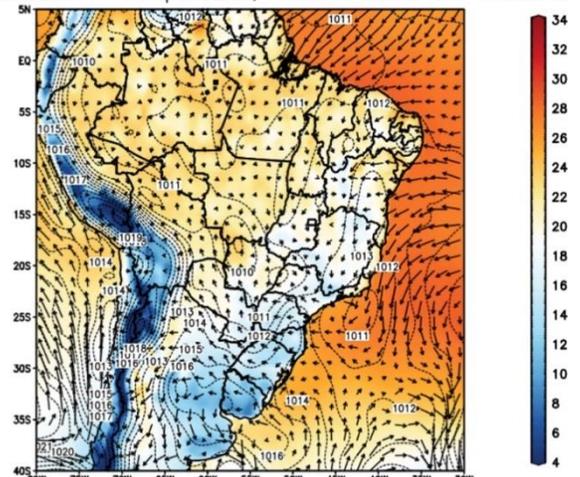


Figura 50: Campos sinóticos referentes ao dia 08/03/2014 as 06Z. (a) Linhas de corrente e divergência (10^{-5} s^{-1}) em 200hPa. (b) Ômega (Pa/s) e altura geopotencial (gpm) em 500 hPa. (c) Divergência de umidade (10^{-4} g/kg/s) em superfície e vento (m/s) em 850 hPa. (d) Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), PRNM (hPa) e vento (m/s) em 1000hPa. A ATTO está indicada com um quadrado preto, INMET com um círculo preto e o MAO com um triângulo preto nos mapas.

A imagem de satélite no canal do infravermelho das 09 UTC (Figura 51) mostra um núcleo convectivo se aproximando de Manaus. Ao longo de todo dia núcleos como esse se formaram, intensificaram e dissiparam nas regiões entorno da estação.

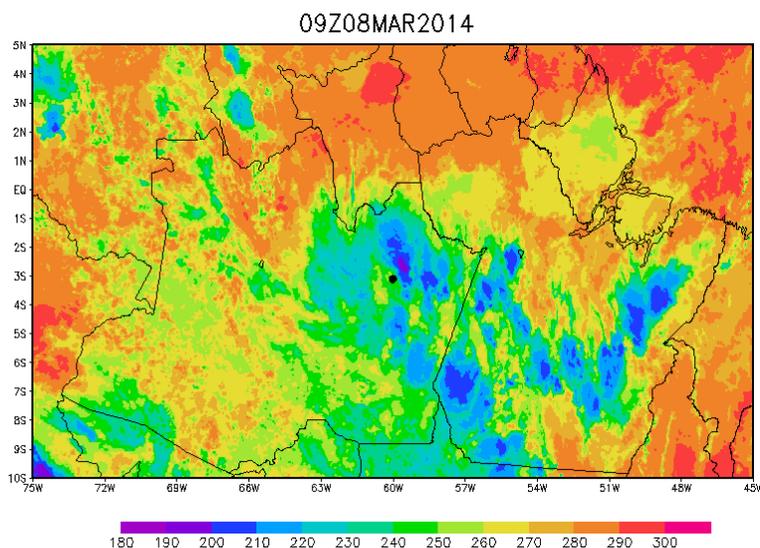


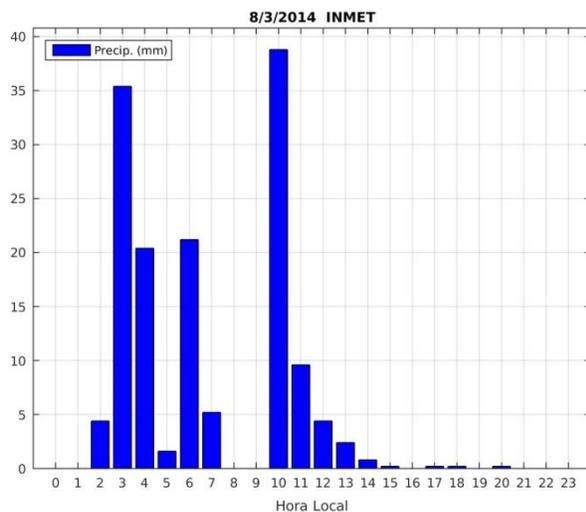
Figura 51: Imagem de satélite do canal do infravermelho em 08/03/2014 as 09 UTC. Os valores sombreados representam a temperatura de brilho em Kelvin. O INMET está indicado com um círculo preto.

As variações horárias das variáveis meteorológicas coletadas pela estação INMET nesse dia são mostradas na Figura 52. A precipitação nesse dia ocorreu ao longo da manhã, com dois picos significativos, um as 3 HL e outro as 10 HL (Figura 52a). Esses dois picos de precipitação coincidem com os picos de rajada de vento registradas (Figura 52e). Devido a precipitação ao longo da manhã, menores valores de pressão (Figura 52d) e temperatura do ar (Figura 52c) foram registrados nesse período, e ambas voltaram a aumentar a partir do meio do dia. No horário do maior pico de precipitação registrado, as 10 HL, houve uma queda de cerca de 1.5°C na temperatura do ar (Figura 52c).

A evolução horária da direção do vento (Figura 52f) mostra que durante a manhã o escoamento foi predominantemente de sudoeste e após as 10 HL esse escoamento passou a ser de nordeste/leste. Esse escoamento e a convecção

registrada após as 10 HL podem estar associados ao efeito da brisa fluvial verificado por Tanaka et al. (2014) nas estações INMET e INPA em Manaus. Tanaka et al. (2014) verificaram que nessas estações havia um pico de precipitação durante a manhã, isso porque durante a noite e início da manhã a convecção se forma sobre o rio devido ao gradiente térmico com o continente, porém, com o passar da manhã o escoamento de leste que atua sobre a região desloca essa convecção para oeste fazendo com que ela precipite sobre essas estações. Dessa forma esse mecanismo é capaz de intensificar a precipitação dessas estações durante a manhã, o que pode ter acontecido nesse evento do dia 08/03/2014.

(a)



(b)

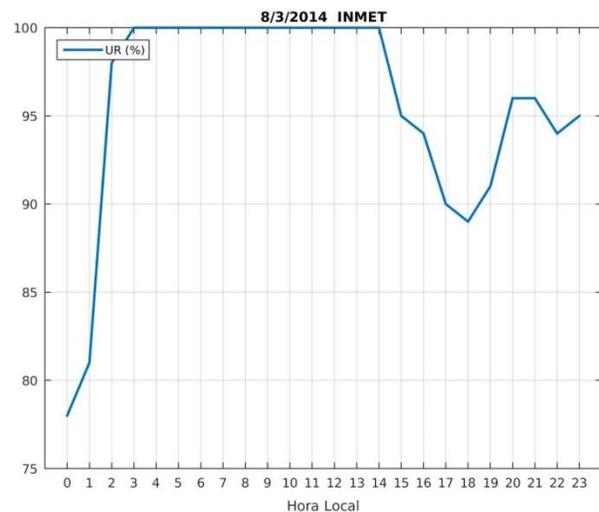
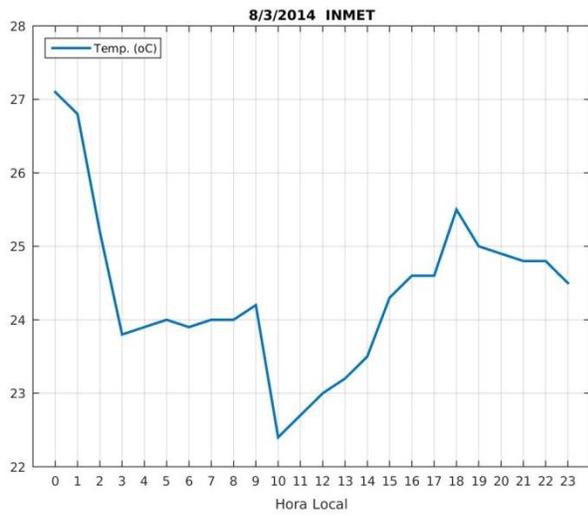
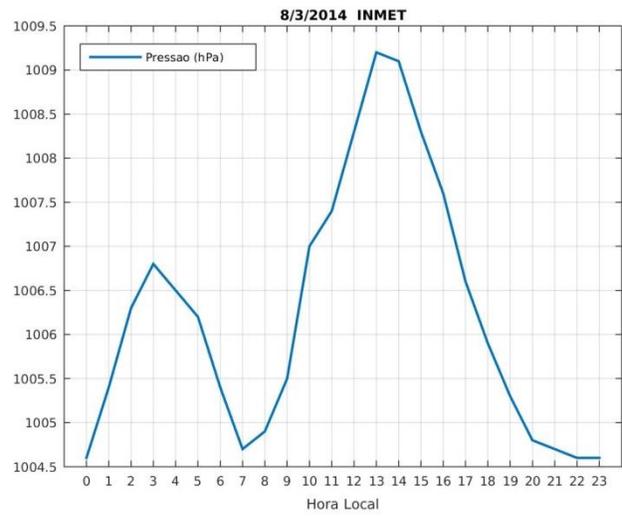


Figura 52: Variação horária da (a) precipitação; (b) umidade relativa; (c) temperatura do ar; (d) pressão; (e) velocidade do vento; e (f) direção do vento, para o dia 08/03/2014 da estação INMET.

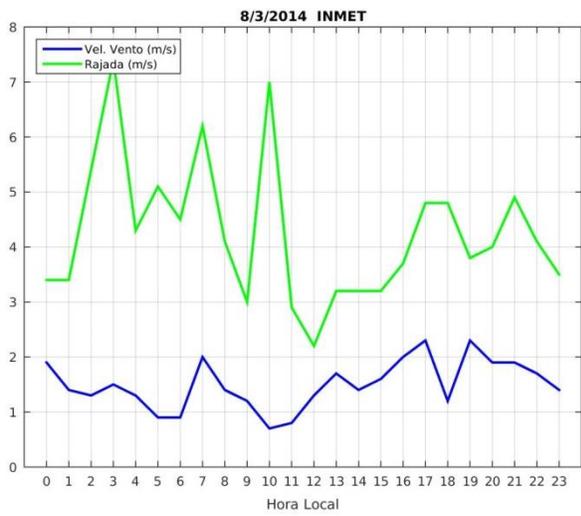
(c)



(d)



(e)



(f)

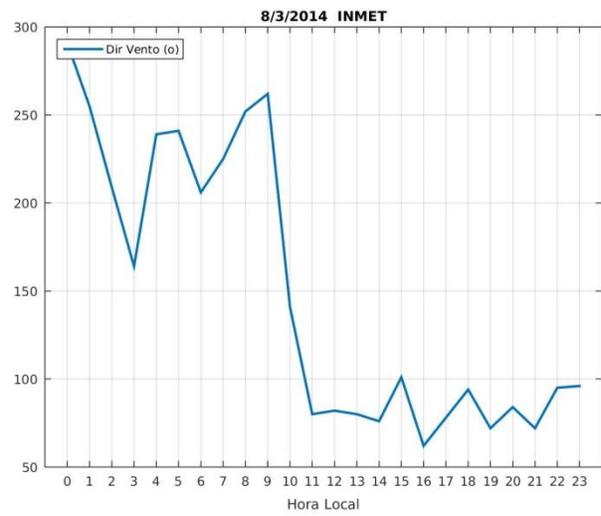


Figure 52: Continuação.

b) Evento em 19/03/2014

O evento chuvoso ocorrido no dia 19/03/2014 na estação MAO foi devido a passagem de uma LI que gerou um acumulado de cerca de 53 mm e anomalia diária de 42 mm.

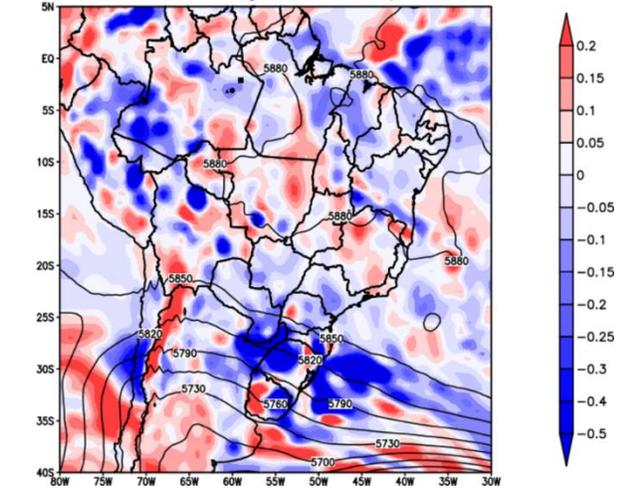
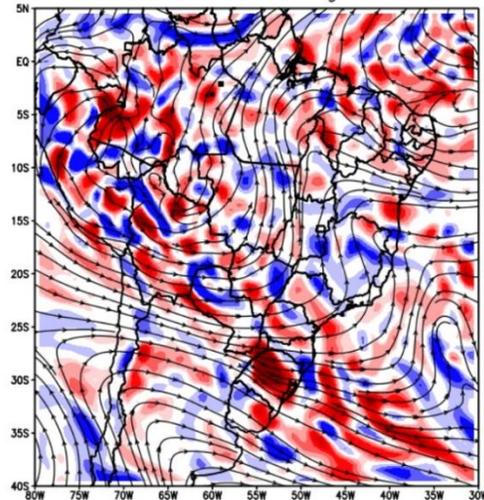
O campo sinótico de altos níveis para as 12 UTC (Figura 53a), momento que antecede a passagem da LI, mostra uma circulação anticiclônica, não muito bem configurada nesse horário, centrada sobre a Bolívia e um cavado de eixo inclinado se estendendo do leste do Pará até o oceano Atlântico adjacente a costa sul da Bahia. A presença desses sistemas promove uma intensa divergência de massa em altos níveis sobre as estações MAO e INMET. No nível de 500hPa (Figura 53b) nota-se uma região de ômega negativo sobre as estações. No nível de 850hPa (Figura 53c) há um escoamento de nordeste muito intenso sobre toda a bacia amazônica, que passa a ser de noroeste na porção sudoeste da bacia, se direcionando para a região Sul do Brasil. Como mostrado em outros estudos (Kousky, 1980; Alcântara 2011), esse escoamento intenso em médios níveis e perpendicular à costa nordeste da Amazônia favorece a duração e propagação das LIs no continente. Além disso, esse intenso escoamento é responsável pelo transporte de umidade do oceano Atlântico Tropical para a Amazônia que, no horário observado, gera uma convergência de umidade na região das estações (Figura 53c). O campo de ventos em 1000 hPa (Figura 53d) também mostra o predomínio do escoamento de nordeste, desde a costa do Amapá e Pará até a porção central da bacia, onde estão situadas as estações.

A imagem de satélite do canal do infravermelho as 17 UTC mostra a LI bem configurada e já deslocada a oeste das estações que estão sob a influência da região denominada de bigorna do sistema, onde a chuva é mais estratiforme.

(a)

(b)

12Z19MAR2014– Vento e Divergencia em 200hPa 12Z19MAR2014– Omega e Alt. Geop. em 500hPa



(c)

(d)

12Z19MAR2014–Divergencia umidade em sup. e Vento em 850hPa 12Z19MAR2014– Temperatura, PRNM e Vento em 1000hPa

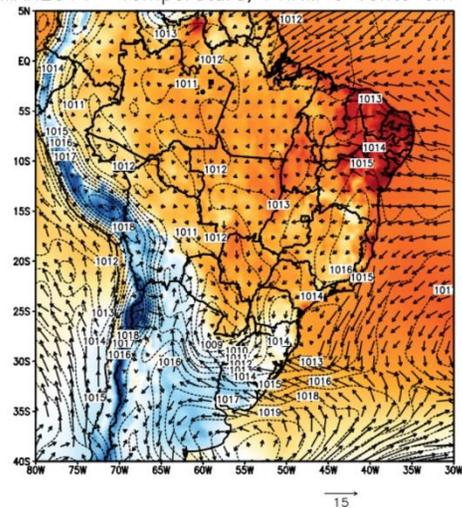
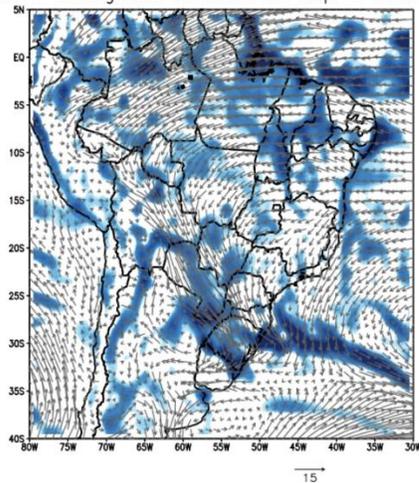


Figura 53: Campos sinóticos referentes ao dia 19/03/2014 as 12Z. (a) Linhas de corrente e divergência (10^{-5} s^{-1}) em 200hPa. (b) Ômega (Pa/s) e altura geopotencial (gpm) em 500 hPa. (c) Divergência de umidade (10^{-4} g/kg/s) em superfície e vento (m/s) em 850 hPa. (d) Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), PRNM (hPa) e vento (m/s) em 1000hPa. A ATTO está indicada com um quadrado preto, INMET com um círculo preto e o MAO com um triângulo preto nos mapas.

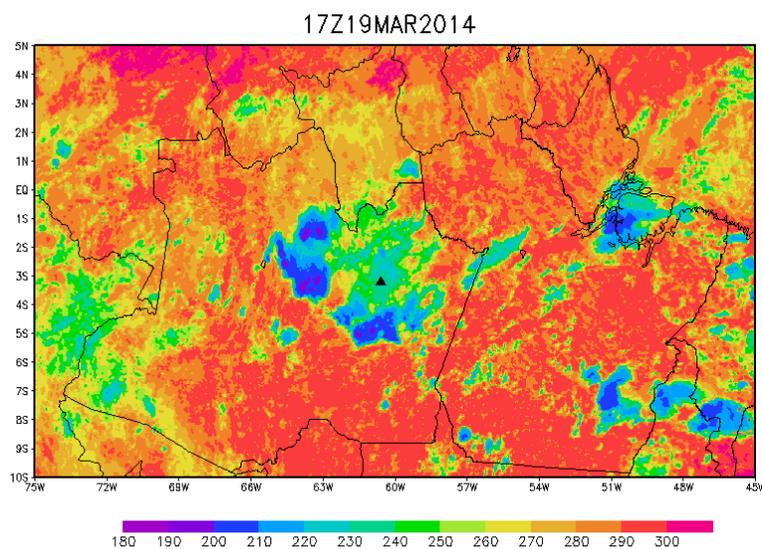
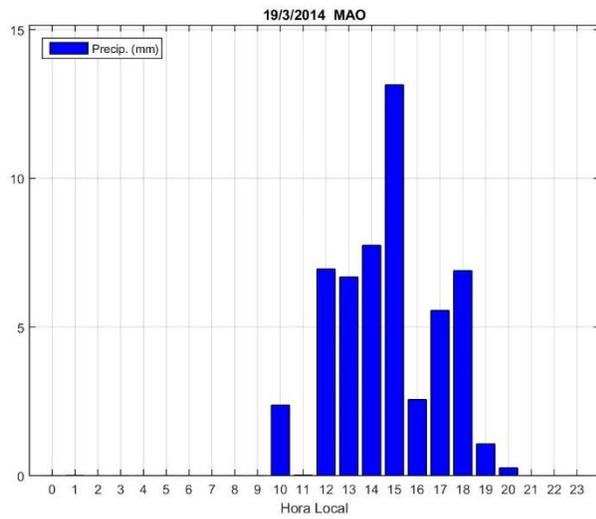


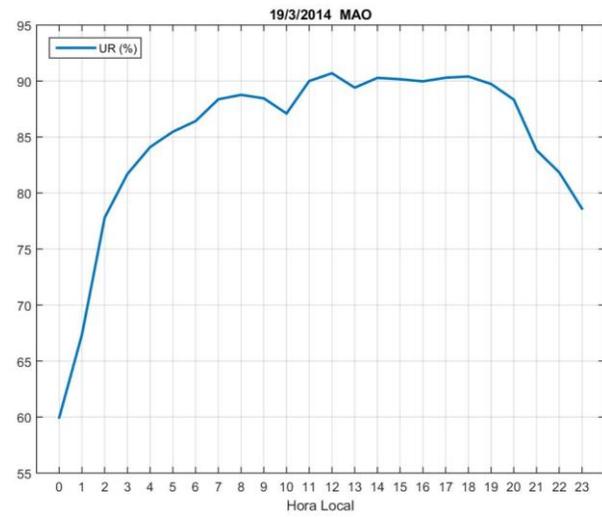
Figura 54: Imagem de satélite do canal do infravermelho em 19/03/2014 as 17 UTC. Os valores sombreados representam a temperatura de brilho em Kelvin. A MAO está indicada com um triângulo preto

A precipitação gerada pela passagem dessa LI sobre a estação MAO ocorreu ao longo de toda a tarde, principalmente entre as 12 e 15 HL, horário que registrou o maior acumulado horário (Figura 55a). Antes da passagem da LI, entre as 10 e 12 HL aproximadamente, há um aumento da temperatura do ar (Figura 55c) e diminuição da pressão atmosférica (Figura 55d). Com a passagem do sistema após as 13 HL há uma queda da temperatura do ar, acompanhada de um aumento da pressão atmosférica e da umidade relativa do ar (Figura 55b), o que indica a passagem da convecção associada a LI nesse horário. Essas condições permanecem até o início da noite, o que indica que a estação ficou sobre a região de chuva estratiforme da LI durante esse período, com precipitação uniforme e sob influência dos movimentos descendentes que resfriam o ar próximo a superfície. Durante a passagem da LI, as 16 HL, também houve uma queda da velocidade do vento (Figura 55e) e uma abrupta mudança da direção do vento (Figura 55f).

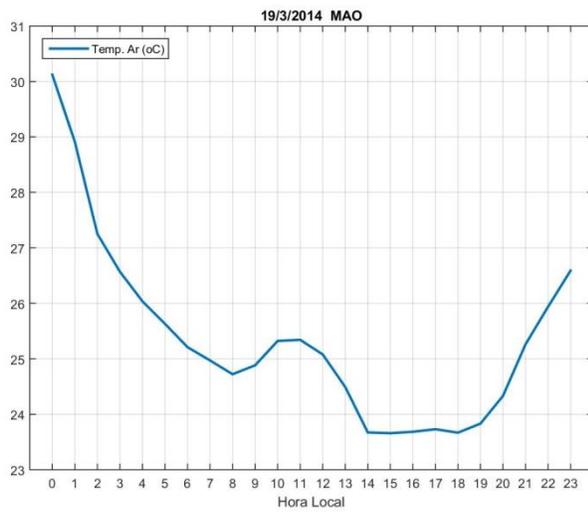
(a)



(b)



(c)



(d)

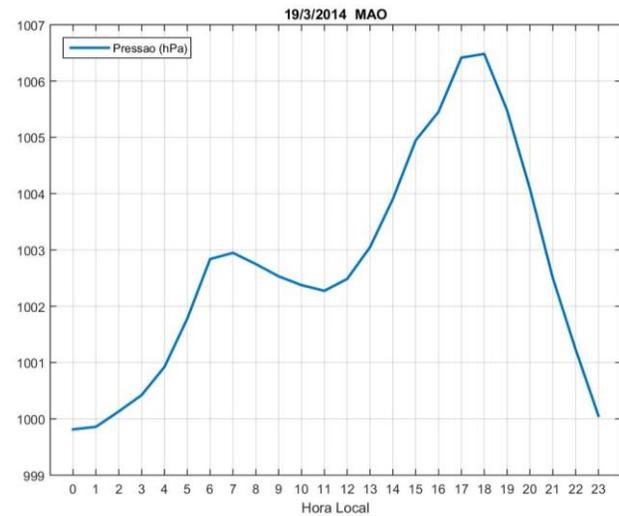
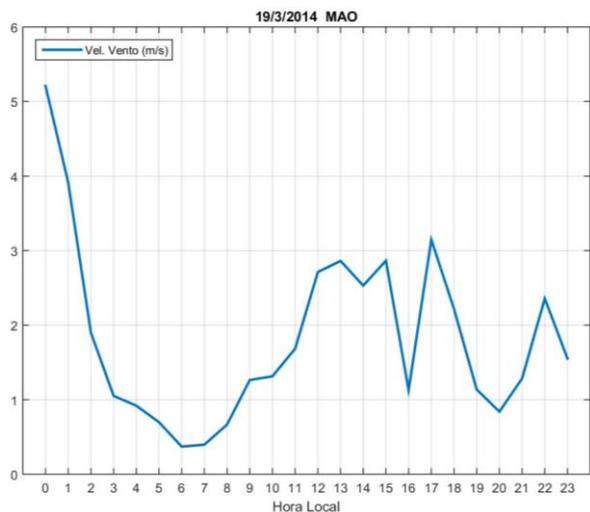


Figura 55: Variação horária da (a) precipitação; (b) umidade relativa; (c) temperatura do ar; (d) pressão; (e) velocidade do vento; e (f) direção do vento, para o dia 19/03/2014 da estação MAO.

(e)



(f)

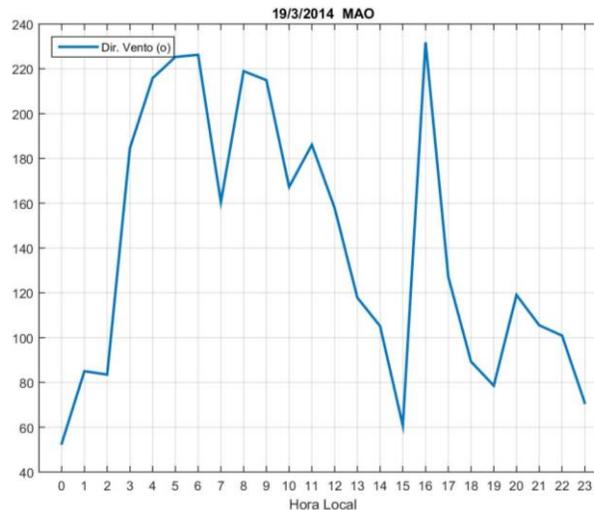


Figura 55: Continuação.

c) Evento em 06/05/2014

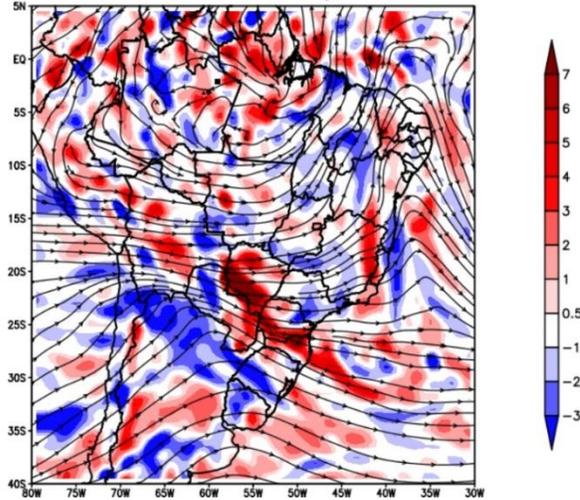
O evento do dia 06/05/2014, identificado na estação ATTO, ocorreu devido a convecção local formada na região, que gerou um acumulado de 46 mm e anomalia de 35 mm na ATTO.

O campo de 200hPa das 06 UTC desse dia (Figura 56a) mostra uma circulação de caráter anticiclônico se formando sobre a Amazônia central e leste e, a partir dessa circulação, há um escoamento de leste que diflui próximo as estações. A divergência de massa e difluência do escoamento em altos níveis (Figura 56a), os intensos valores de ômega negativo em 500 hPa (Figura 56b) sobre a região e a convergência de umidade em baixos níveis (Figura 56c), favorecem a formação da convecção observada nesse dia. O escoamento em 850 hPa (Figura 56c) mostra o predomínio do escoamento de sudeste sobre o Nordeste e leste da Amazônia, indicando a influência da ASAS no transporte de umidade do Atlântico Tropical Sul para a bacia amazônica durante o período seco. Esse escoamento de sudeste em 850 hPa adquire uma curvatura anticiclônica na porção oeste da bacia e passa a se dirigir para a região Sul do Brasil, convergindo sobre o sul da região Centro-Oeste e oeste da região Sul. De acordo com as

imagens de satélite (não mostradas), nessa data um intenso CCM se formou na fronteira do Paraguai com o Mato Grosso do Sul.

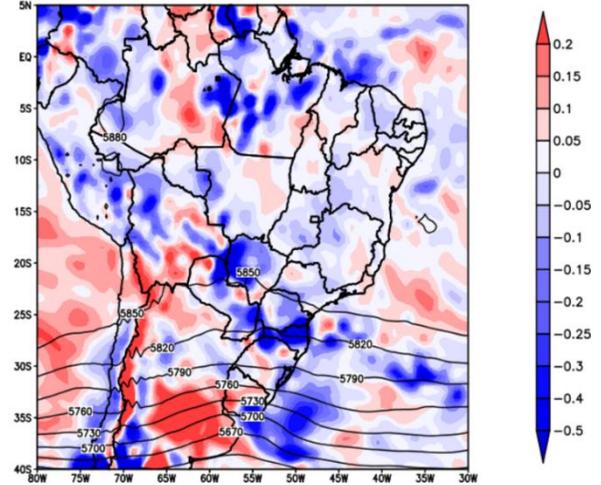
(a)

06Z06MAY2014– Vento e Divergência em 200hPa



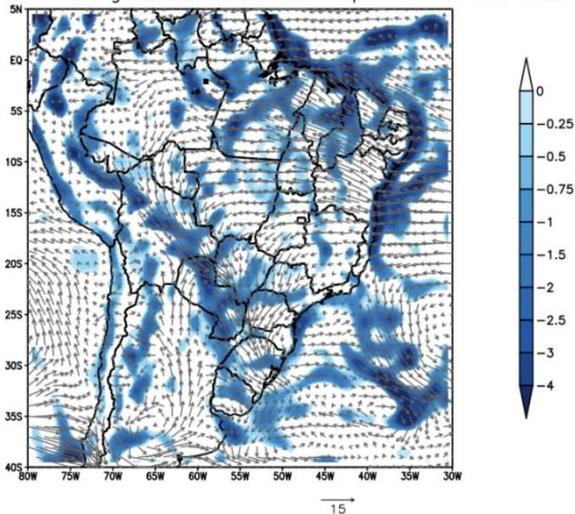
(b)

06Z06MAY2014– Omega e Alt. Geop. em 500hPa



(c)

06Z06MAY2014–Divergencia umidade em sup. e Vento em 850hPa



(d)

06Z06MAY2014– Temperatura, PRNM e Vento em 1000hPa

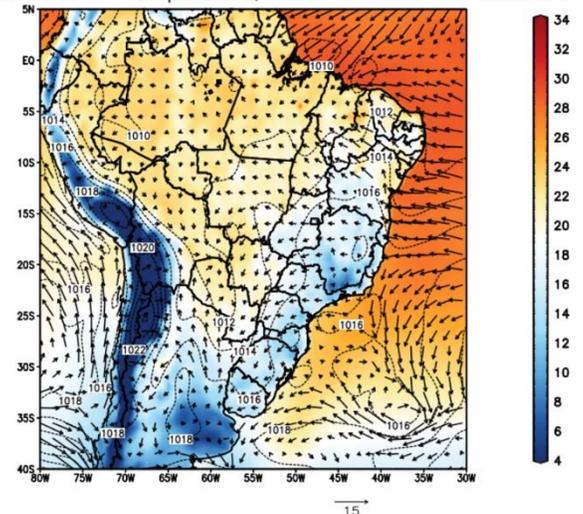


Figura 56: Campos sinóticos referentes ao dia 06/05/2014 as 06Z. (a) Linhas de corrente e divergência (10^{-5} s^{-1}) em 200hPa. (b) Ômega (Pa/s) e altura geopotencial (gpm) em 500 hPa. (c) Divergência de umidade (10^{-4} g/kg/s) em superfície e vento (m/s) em 850 hPa. (d) Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), PRNM (hPa) e vento (m/s) em 1000hPa. A ATTO está indicada com um quadrado preto, INMET com um círculo preto e o MAO com um triângulo preto nos mapas.

A imagem de satélite das 04 UTC (Figura 57) mostra a convecção se aproximando da estação ATTO. A precipitação associada a essa convecção se concentrou no horário das 04 HL (Figura 58a), antes disso somente pequenos acumulados foram registrados, o que mostra o caráter passageiro desse sistema.

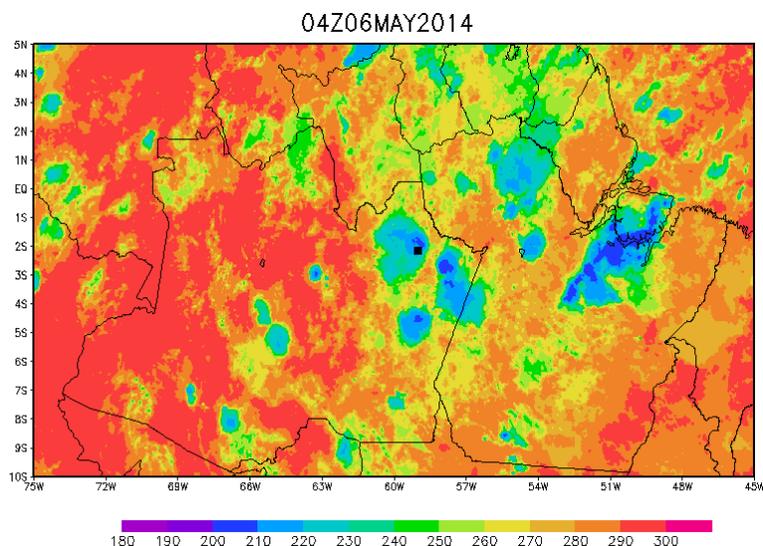
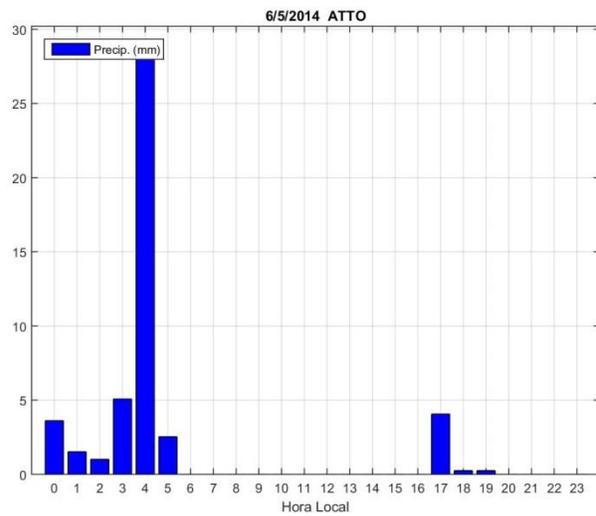


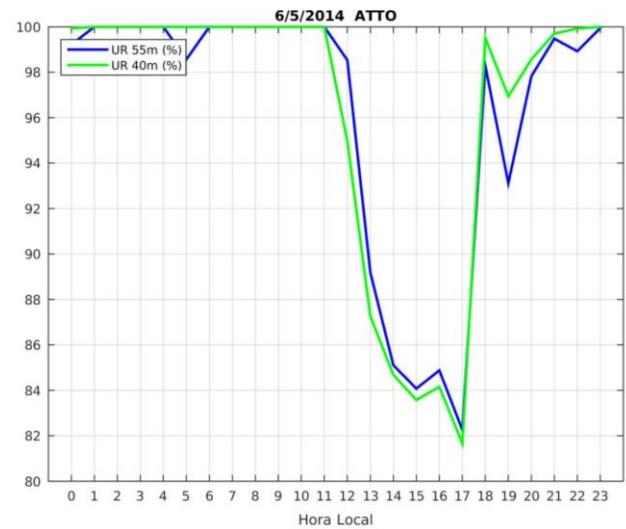
Figura 57: Imagem de satélite do canal do infravermelho em 06/05/2014 as 04 UTC. Os valores sombreados representam a temperatura de brilho em Kelvin. A ATTO está indicada com um quadrado preto.

Esse sistema parece não ter impactado significativamente as variáveis meteorológicas coletadas, com somente um pico na velocidade do vento (Figura 58e) registrado no horário de precipitação máxima, as 4 HL. No início do dia a direção do vento observada na torre ATTO (Figura 58f), em ambos os níveis mostrados, era de sudoeste e a partir das 7 HL até o final do dia predominou-se o escoamento de sudeste.

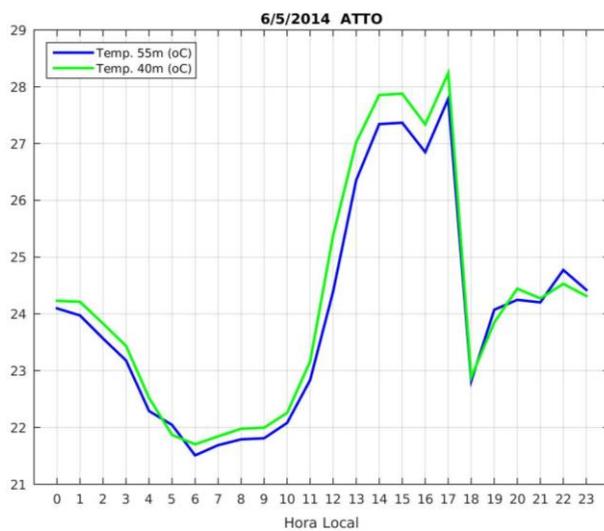
(a)



(b)



(c)



(d)

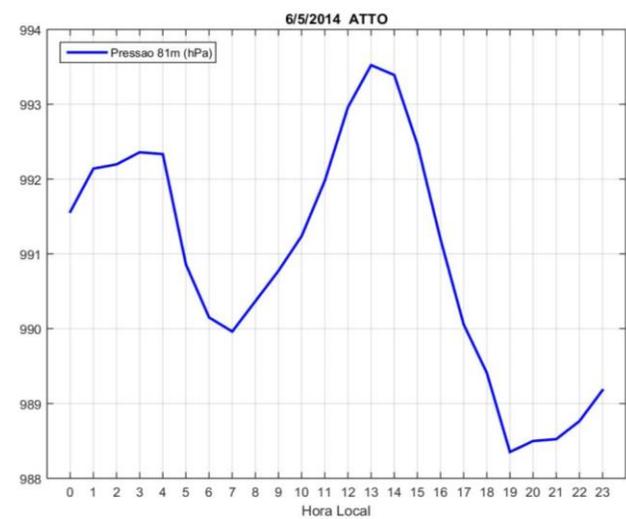
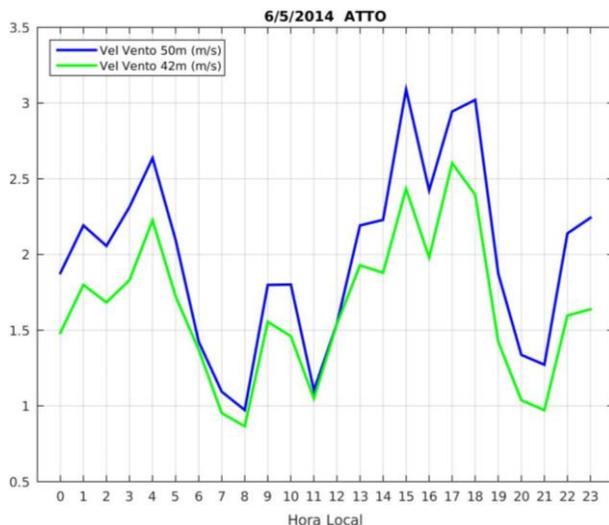


Figura 58: Variação horária da (a) precipitação; (b) umidade relativa; (c) temperatura do ar; (d) pressão; (e) velocidade do vento; e (f) direção do vento, para o dia 06/05/2014 da estação ATTO.

(e)



(f)

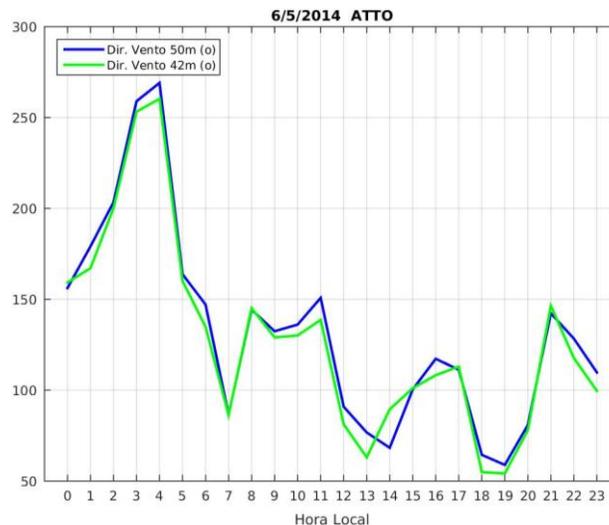


Figura 58: Continuação.

d) Evento em 30/06/2014

O dia 30/06/2014 foi dado como chuvoso para a estação ATTO, apresentando um acumulado de 34 mm e anomalia de 31 mm, aproximadamente. Esse evento foi o único que esteve associado a uma frente de grande deslocamento meridional que permaneceu estacionária no sudoeste da Amazônia.

Os campos sinóticos das 12 UTC desse dia mostram que, em altos níveis, uma circulação anticiclônica centrada sobre Rondônia gera um escoamento de sudeste que diflui sobre a estação ATTO, associado a uma intensa divergência de massa na região (Figura 59a). Na costa do Rio Grande do Sul nota-se a presença de um VCAN, associado ao ciclone a qual essa frente esteve associada.

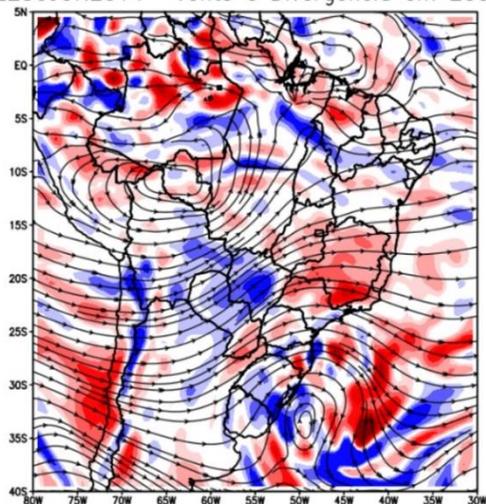
Em 500hPa o campo de ômega mostra uma região de intenso ômega negativo (movimento ascendente) próxima as estações (Figura 59b). Em todos os campos, principalmente em 850 hPa (Figura 59c) e de superfície (Figura 59d), o ciclone associado a frente fria está bem definido na costa da região Sul do Brasil. Também é possível identificar a frente fria associada a esse ciclone através da convergência do vento, tanto em 850 hPa (Figura 59c) quanto em 1000 hPa

(Figura 59d), e pela extensa faixa de convergência de umidade, no campo de 850hPa, que cruza grande parte do Brasil alcançando a região das estações de estudo. Além disso, o campo de temperatura em 1000 hPa (Figura 59d) mostra que essa frente fria esteve associada a entrada de uma intensa massa de ar fria em grande parte do Brasil, inclusive na porção sudoeste da Amazônia, onde nota-se o predomínio de ventos de sul e temperaturas em torno de 18°C, características que podem definir um evento de friagem na região.

A imagem de satélite no canal do infravermelho para as 19 UTC (Figura 60) mostra uma linha de convecção organizada passando sobre a região da estação ATTO. Nesse horário, referente as 15 HL, a torre ATTO registrou o máximo de precipitação horária desse dia, de 11 mm (Figura 61a). Às 5 HL e 18HL também foram registrados acumulados significativos de precipitação.

(a)

12Z30JUN2014– Vento e Divergência em 200hPa



(b)

12Z30JUN2014– Omega e Alt. Geop. em 500hPa

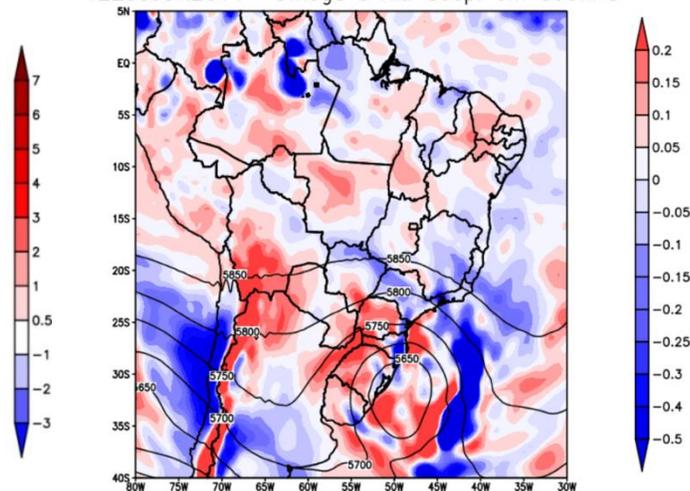
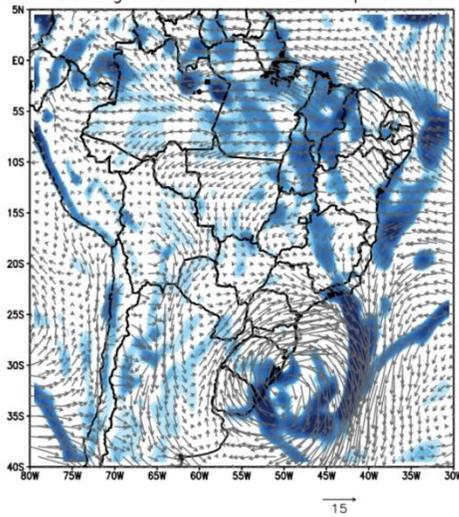


Figura 59: Campos sinóticos referentes ao dia 30/06/2014 as 12Z. (a) Linhas de corrente e divergência (10^{-5} s^{-1}) em 200hPa. (b) Ômega (Pa/s) e altura geopotencial (gpm) em 500 hPa. (c) Divergência de umidade (10^{-4} g/kg/s) em superfície e vento (m/s) em 850 hPa. (d) Temperatura (°C), PRNM (hPa) e vento (m/s) em 1000hPa. A ATTO está indicada com um quadrado preto, INMET com um círculo preto e o MAO com um triângulo preto nos mapas.

(c)

12Z30JUN2014–Divergencia umidade em sup. e Vento em 850hPa



(d)

12Z30JUN2014– Temperatura, PRNM e Vento em 1000hPa

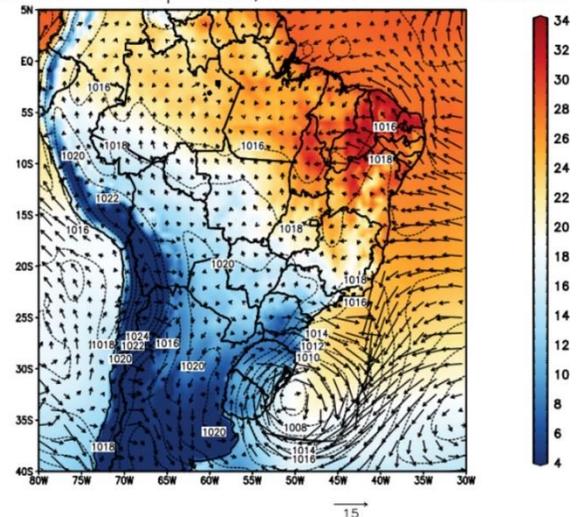


Figura 59: Continuação.

19Z30JUN2014

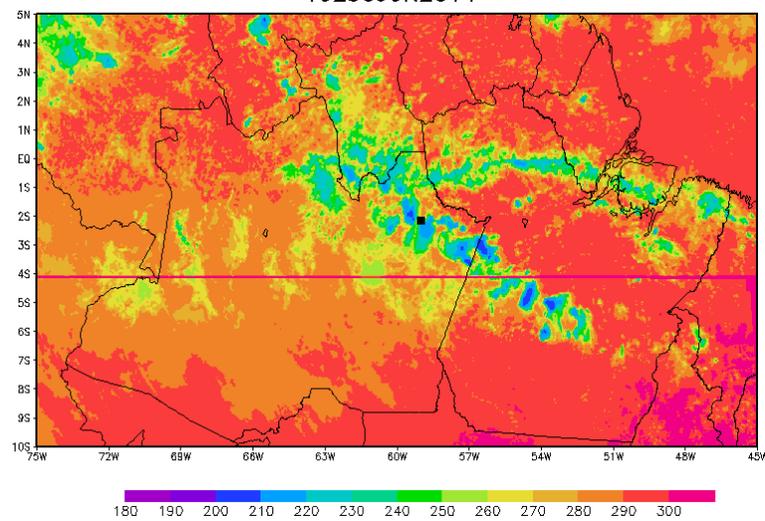
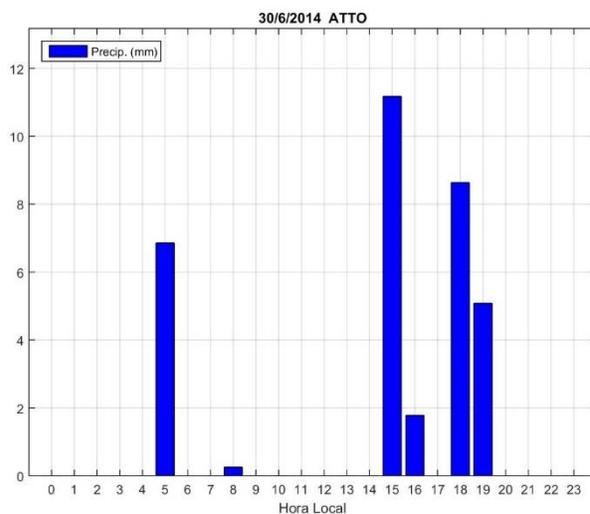


Figura 60: Imagem de satélite do canal do infravermelho em 30/06/2014 as 19 UTC. Os valores sombreados representam a temperatura de brilho em Kelvin. A ATTO está indicada com um quadrado preto

As variáveis meteorológicas que melhor corresponderam aos acumulados horários de precipitação foram os valores de umidade relativa (Figura 61b) e velocidade do vento (Figura 61e). Os três horários de precipitação foram acompanhados de picos na velocidade do vento em ambos os níveis de 50 e 42 m acima da superfície. Ao longo de todo o dia predominaram ventos de sudoeste (Figura 61f), o que condiz com o campo de vento em 1000 hPa e mostra a influência da frente sobre a estação. Apesar disso, pelo fato da estação ATTO estar situada mais a norte, próxima a linha do Equador, não foi registrada uma queda abrupta da temperatura do ar (Figura 61c).

(a)



(b)

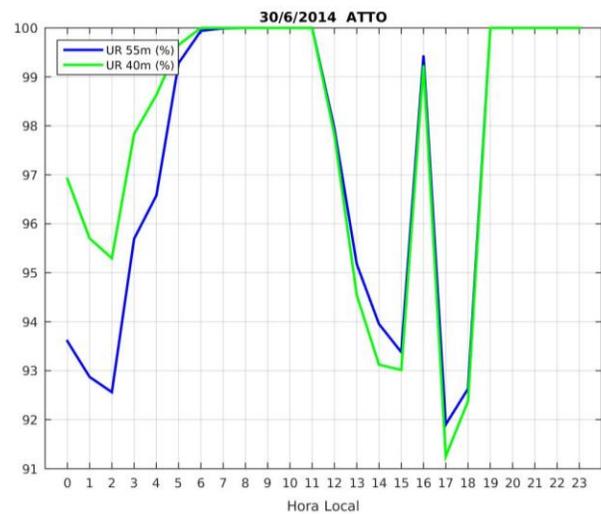
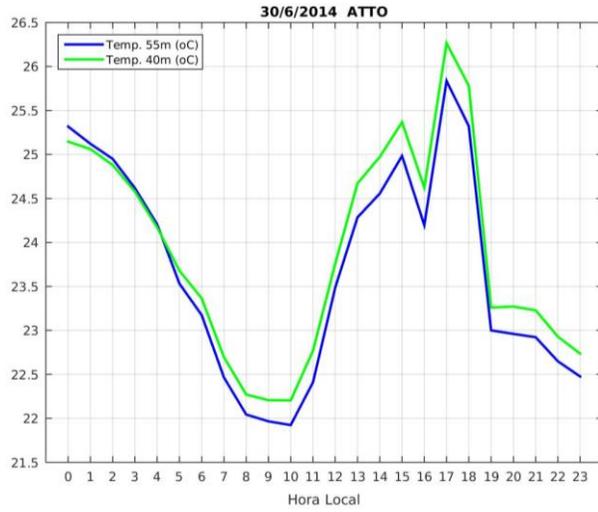
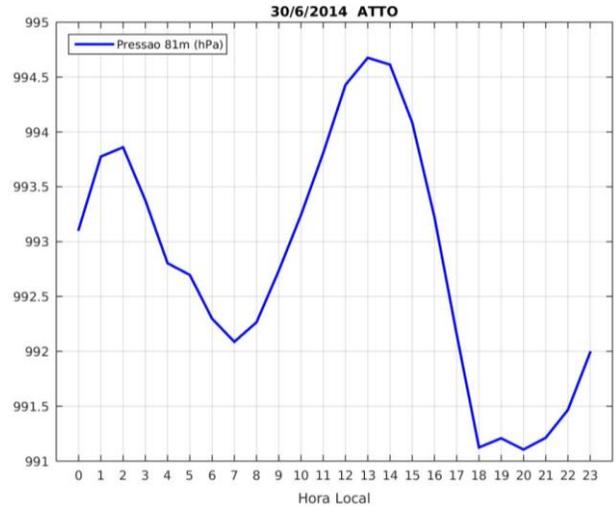


Figura 61: Variação horária da (a) precipitação; (b) umidade relativa; (c) temperatura do ar; (d) pressão; (e) velocidade do vento; e (f) direção do vento, para o dia 30/06/2014 da estação ATTO.

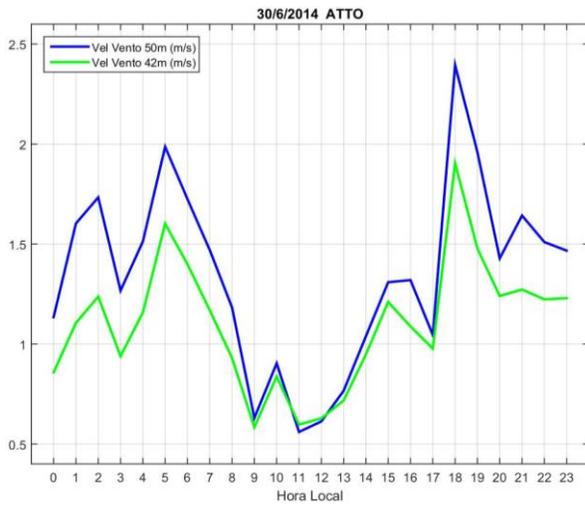
(c)



(d)



(e)



(f)

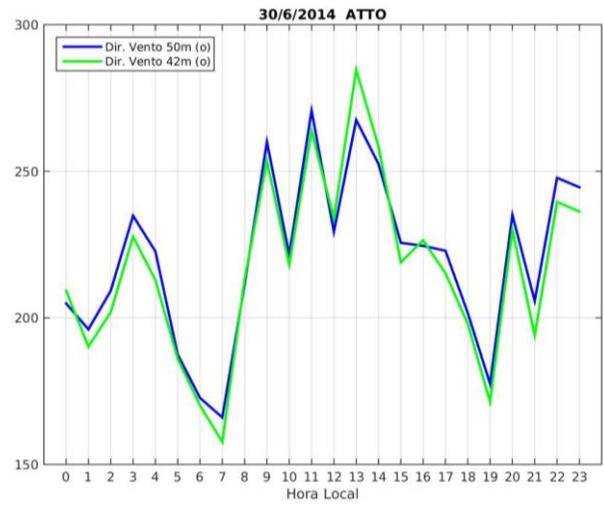


Figura 61: Continuação.

e) Evento em 11/03/2015

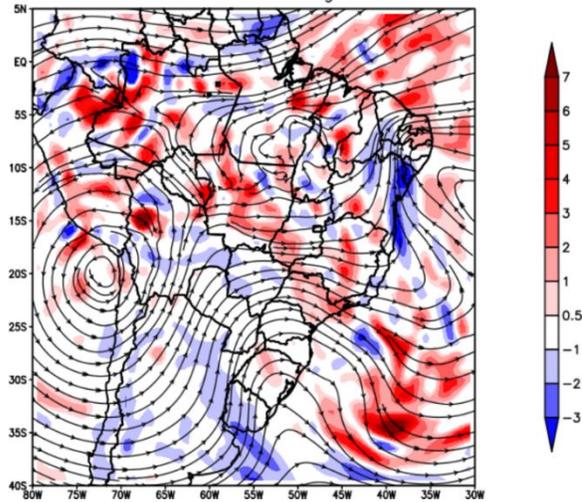
O evento do dia 11/03/2015 registrado pela estação ATTO foi o terceiro mais intenso dos 65 eventos chuvosos identificados nos dois anos. Esse evento esteve associado a um episódio de ZCAS que se estendeu desde o litoral do Rio de Janeiro até o sudeste do estado do Amazonas. De acordo com as cartas de superfície do CPTEC, nesse dia a ZCIT estava sob a linha do equador, atuando sobre o leste da bacia amazônica.

Os campos sinóticos dessa data as 06 UTC mostraram que esse evento foi marcado pela presença da AB, centrada na costa norte do Chile, e o VCAN na costa do Nordeste, a combinação desses sistemas gerou um escoamento de oeste sobre as estações (Figura 62a). Nesse horário, em altos níveis, há uma região de intensa divergência de massa sobre a estação ATTO (Figura 62a). Além disso, ainda no campo de divergência de massa em 200hPa, nota-se uma faixa de divergência de massa orientada de noroeste a sudeste, desde o sudeste do Amazonas até o sul do Rio de Janeiro. Essa faixa de divergência de massa em altos níveis está praticamente em fase com uma faixa de ômega negativo em 500hPa (Figura 62b), o que define a banda de convecção da ZCAS.

Em 850 hPa há um intenso escoamento de nordeste sobre as estações, associado a uma intensa convergência de umidade sobre a estação ATTO (Figura 62c). Esse escoamento, ao sul das estações, passa a ser de noroeste, convergindo sobre a região da frente fria associada a ZCAS. Tanto em 850 hPa (Figura 62c) quanto em 1000 hPa (Figura 62d) nota-se o intenso ciclone na costa da região Sul associado a esse sistema e a convergência dos ventos alíseos sobre a linha do Equador no oceano Atlântico, confirmando o posicionamento da ZCIT.

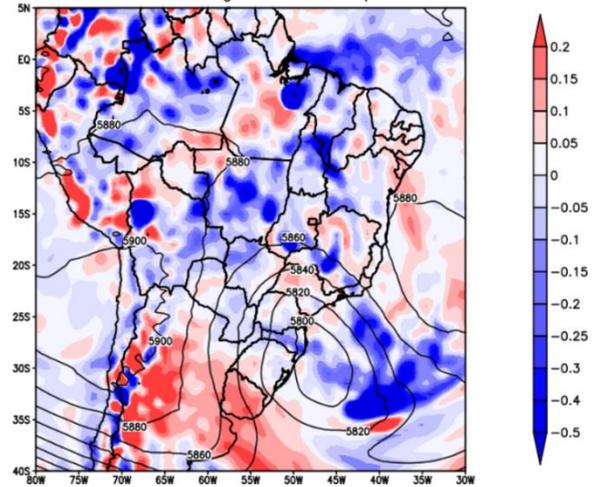
(a)

06Z11MAR2015– Vento e Divergencia em 200hPa



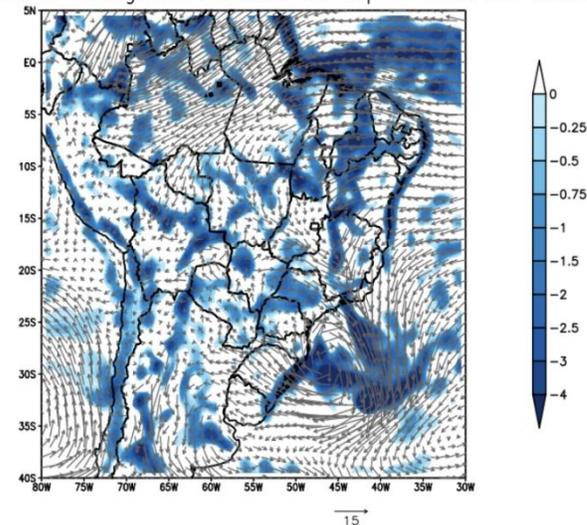
(b)

06Z11MAR2015– Omega e Alt. Geop. em 500hPa



(c)

06Z11MAR2015–Divergencia umidade em sup. e Vento em 850hPa



(d)

06Z11MAR2015– Temperatura, PRNM e Vento em 1000hPa

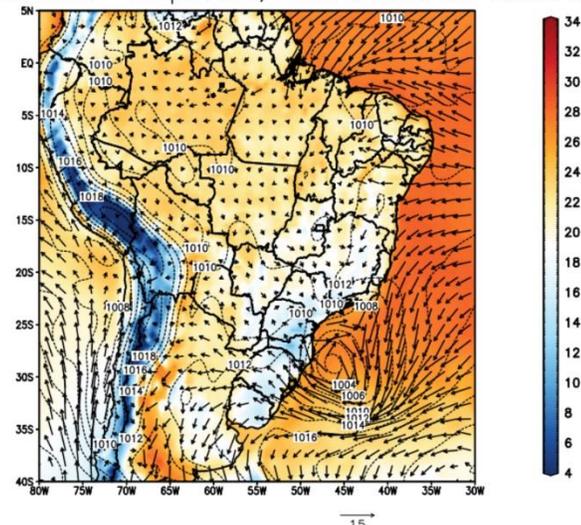


Figura 62: Campos sinóticos referentes ao dia 11/03/2015 as 06Z. (a) Linhas de corrente e divergência (10^{-5} s^{-1}) em 200hPa. (b) Ômega (Pa/s) e altura geopotencial (gpm) em 500 hPa. (c) Divergência de umidade (10^{-4} g/kg/s) em superfície e vento (m/s) em 850 hPa. (d) Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), PRNM (hPa) e vento (m/s) em 1000hPa. A ATTO está indicada com um quadrado preto, INMET com um círculo preto e o MAO com um triângulo preto nos mapas.

Desde a madrugada até o meio do dia intensos núcleos de convecção, como mostrada na imagem de satélite das 10 UTC (Figura 63), se formaram sobre a região da estação ATTO. Os acumulados mais elevados ocorreram entre as 4 HL e 8 HL (Figura 64a). Nesse horário, foram registradas ligeiras quedas da temperatura do ar (Figura 64c) e pressão atmosférica (Figura 64d), que voltaram a aumentar a partir do início da tarde. As medições de velocidade do vento em 42 m e 50 m (Figura 64d) registraram máximos de velocidade as 08 HL, associado aos grandes acumulados de precipitação. Apesar do predomínio do escoamento de nordeste observado até mesmo no campo de ventos do nível de 1000 hPa (Figura 62d), ao longo do dia 11/03/2015 houve um predomínio de ventos de sudeste na torre ATTO, que passou a ser de oeste a partir da noite (Figura 64e).

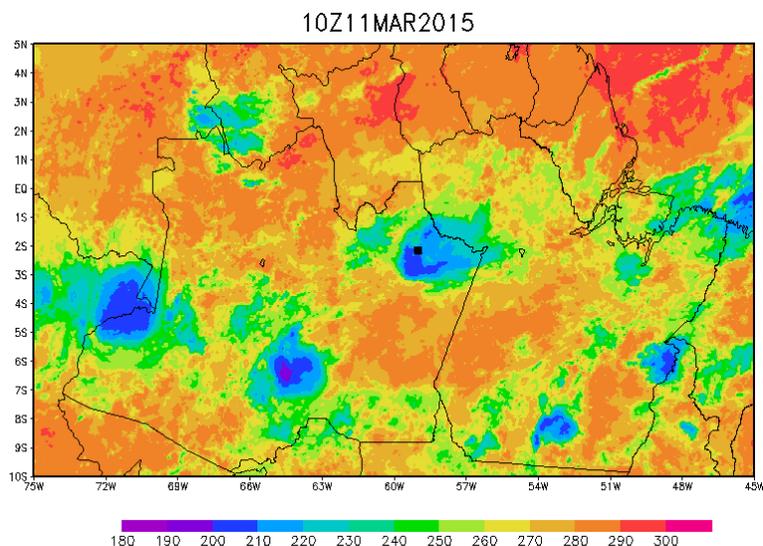
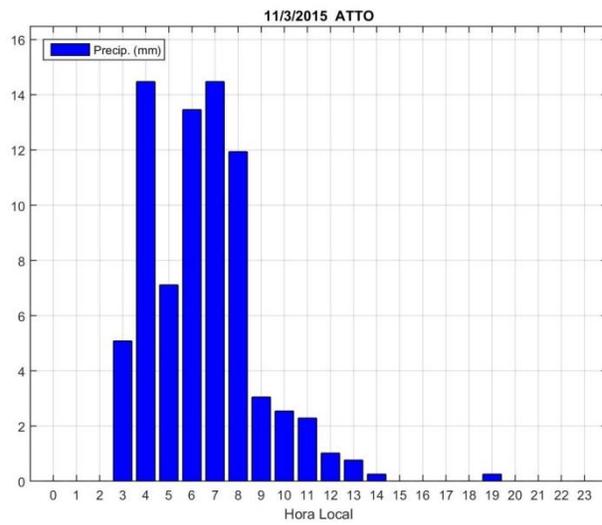
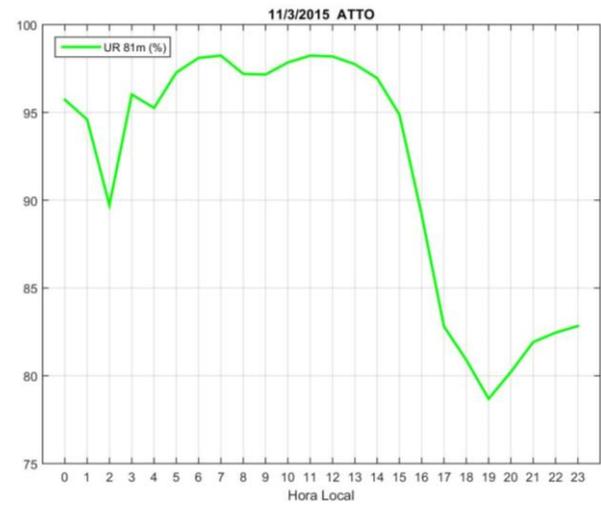


Figura 63: Imagem de satélite do canal do infravermelho em 11/03/2015 as 10 UTC. Os valores sombreados representam a temperatura de brilho em Kelvin. A ATTO está indicada com um quadrado preto

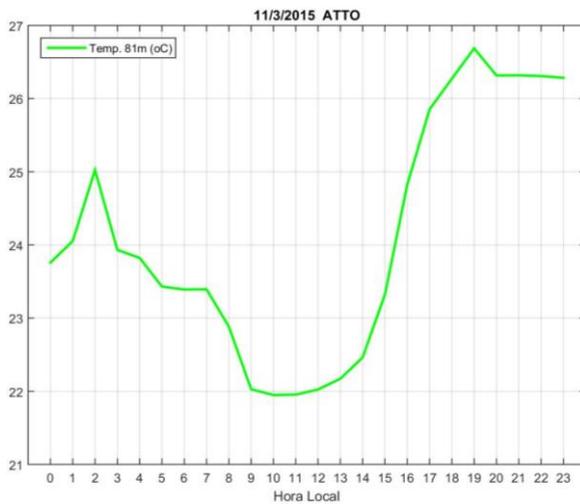
(a)



(b)



(b)



(c)

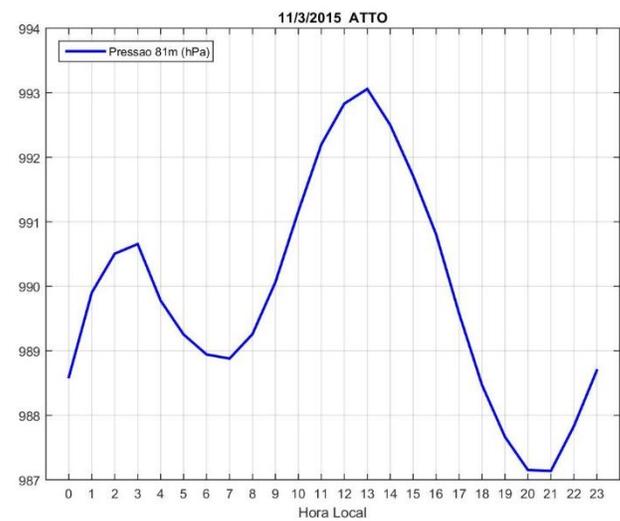
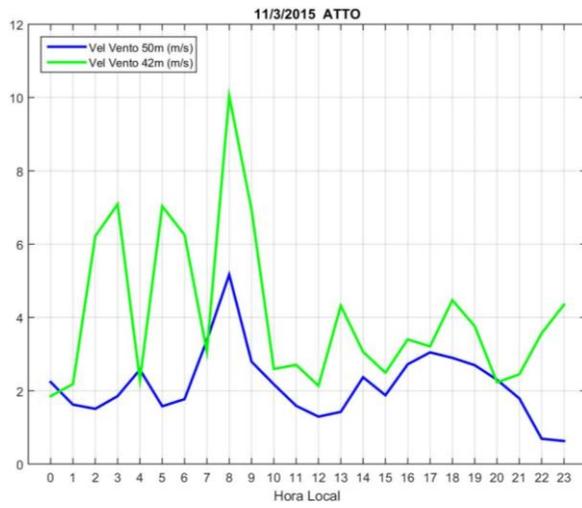


Figura 64: Variação horária da (a) precipitação; (b) umidade relativa; (c) temperatura do ar; (d) pressão; (e) velocidade do vento; e (f) direção do vento, para o dia 11/03/2015 da estação ATTO.

(d)



(e)

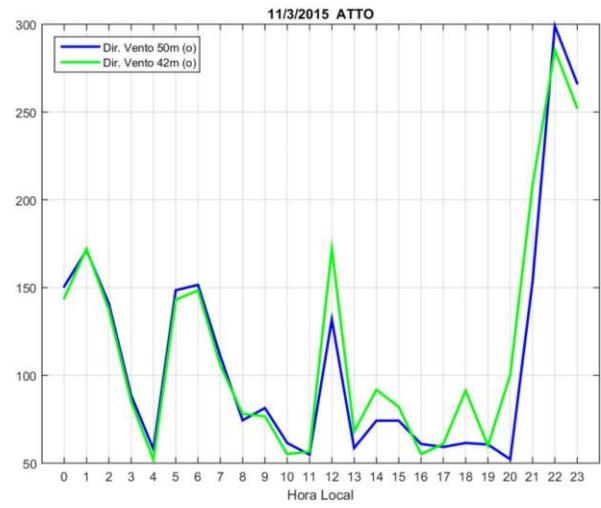


Figura 64: Continuação.

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho foram analisadas a variabilidade dos dados meteorológicos coletados pelas estações do projeto GoAmazon2014/5 nos anos de 2014 e 2015, para então associar as anomalias encontradas aos sistemas meteorológicos de escala global, sinótica e local que atuam na região amazônica. Dessa forma, foi avaliado o impacto desses sistemas nas condições meteorológicas observadas nesses dois anos de GoAmazon2014/5.

A principal variável utilizada nas análises foi a precipitação diária coletada, isso porque a chuva é a que melhor representa a variabilidade climática na região, sendo a variável meteorológica avaliada no conjunto de dados coletados pelas cinco estações do GoAmazon2014/5 (ATTO, INPA, Iranduba, Manacapuru e Reserva do Cuieras). Nessa análise, 3 estações do GoAmazon2014/5 (INPA, Iranduba e Reserva do Cuieras) mostraram uma grande descontinuidade e período de falhas na coleta de dados de precipitação. Portanto, optou-se por usar somente os dados das estações ATTO e Manacapuru e utilizar os dados da estação do INMET em Manaus, para complementar as análises.

Além dos dados de precipitação coletados pelas estações, a base de dados diários de precipitação estimados pelo CHIRPS foi usada como uma referência complementar e da qual foi extraída a climatologia para a região de estudo (de 1981 a 2013). Os dados de precipitação extraídos do CHIRPS para cada estação foram comparados aos dados observados pelas mesmas onde, nessas comparações, foi observado que o CHIRPS representou bem o ciclo anual observado pelas estações durante esses dois anos, apresentando um desempenho razoável em relação a estimativa diária de precipitação, tendo sido notado uma deficiência na detecção de acumulados de precipitação de maiores valores. Em relação aos acumulados mensais de precipitação, o CHIRPS mostra um desempenho bem melhor comparado aos dados diários, o que pode estar associado com o modo no qual foi gerado, onde o produto primário é feito em pântadas de precipitação e então separado por dias a partir dos campos de

precipitação do CFSv2. De qualquer forma, sua base de dados continua sendo a de maior resolução espacial e com um grande período de dados disponíveis para a América do Sul, por isso foi escolhido nesse estudo.

Os dois anos de GoAmazon2014/5 foram marcados por regimes de precipitação opostos em grande parte da Amazônia, inclusive na região das estações de estudo (ATTO, MAO e INMET). O ano de 2014 foi marcado por anomalias positivas de precipitação, principalmente na porção sudoeste da bacia onde diversas cidades foram prejudicadas por inundações históricas. A porção central e leste da bacia também apresentaram anomalias positivas de precipitação, não tão intensas que as da porção sudoeste, inclusive as estações MAO e INMET observaram um acumulado anual acima da média para esse ano e, diferentemente das outras estações, a estação ATTO teve um acumulado anual abaixo da média para esse ano. Essas anomalias não estiveram associadas ao ENOS e nem ao padrão de dipolo do Atlântico Tropical. De acordo com a literatura revisada, essas anomalias estiveram associadas com anomalias quentes no Pacífico Oeste e no oceano Atlântico Subtropical Sul.

O ano de 2015 foi marcado por um dipolo de anomalias de precipitação entre a porção sudoeste, que continuou a apresentar precipitação acima da média, e as porções central e nordeste, que inclui a região das estações, com anomalias abaixo da média. As três estações tiveram um déficit de precipitação nesse ano, principalmente a estação ATTO, e, de acordo com as análises feitas e a literatura revisada, esse déficit esteve relacionado ao intenso episódio de El Niño estabelecido nesse ano, um dos mais intensos e longos da história. Durante esses dois anos não houve indícios de um estabelecimento de padrão de dipolo no oceano Atlântico Tropical, com anomalias pouco significativas comparadas às associadas ao El Niño no oceano Pacífico Equatorial Central.

O impacto do El Niño de 2015 também foi inferido a partir da técnica aplicada de MPV para a identificação dos eventos chuvosos e secos das estações nesses dois anos. Para as três estações houve uma queda no número de eventos chuvosos detectados no ano de 2015 comparado ao ano de 2014, e um aumento

no número de eventos secos. Em relação a média climatológica de número de eventos, as três estações tiveram um número de eventos chuvosos acima da média para o ano de 2014 e abaixo da média para 2015. Além disso, em 2015 as três estações também tiveram um número de eventos secos acima da média climatológica. A partir da técnica MPV aplicada foram identificados 65 eventos chuvosos e 387 eventos secos que ocorreram nas três estações durante os dois anos de GoAmazon2014/5.

Após a identificação dos 65 eventos chuvosos e 387 eventos secos, a técnica das composições foi usada para obter os padrões sinóticos característicos da ocorrência desses eventos, separando aqueles que ocorreram no período chuvoso (novembro a abril) e seco (maio a outubro) da região. Nas composições dos eventos de chuva ocorridos no período chuvoso ficou clara a presença e a importância da combinação das circulações gerada pela AB e do VCAN na costa do Nordeste em altos níveis, elementos característicos do sistema de monção da América do Sul. A configuração e posicionamento desses sistemas fazem com que haja condições favoráveis em altos níveis ao desenvolvimento convectivo na região. Isso fica ainda mais evidente quando analisada a composição de altos níveis feita para os eventos secos também ocorridos no período chuvoso, onde também há a presença da AB e de um cavado sobre o Nordeste, porém, o posicionamento e configuração desses sistemas se diferem daquelas vistas nos casos chuvosos e o escoamento gerado em altos níveis não favorece o desenvolvimento de convecção na região das estações.

A circulação de altos níveis também parece ser importante na ocorrência e não ocorrência de precipitação no período seco. Tanto nas composições dos eventos chuvosos quanto nos secos nota-se o posicionamento do escoamento de oeste do Jato Subtropical deslocado mais a norte, o que condiz com o seu deslocamento anual. Entretanto, para os eventos chuvosos esse escoamento esteve mais retraído ao sul da bacia amazônica, fazendo com que o escoamento de nordeste oriundo do hemisfério norte adentrasse na bacia amazônica adquirindo uma curvatura anticiclônica sobre a região das estações, gerando uma

divergência de massa em altos níveis que favorece o desenvolvimento convectivo. No caso dos eventos secos, toda a bacia amazônica esteve sob o predomínio do escoamento de oeste do jato, não apresentando condições favoráveis em altos níveis ao desenvolvimento convectivo.

Através das composições feitas também foi possível verificar a sazonalidade do escoamento em baixos níveis. Durante o período chuvoso o escoamento sobre a bacia amazônica é predominantemente de nordeste, o que indica o transporte de umidade do Atlântico Tropical Norte para a bacia durante esse período. Esse escoamento está associado a convergência de umidade que auxilia na formação da convecção no caso dos eventos chuvosos. Já no período seco o que se observa é o predomínio do escoamento de leste em baixos níveis, sendo de sudeste no setor leste da bacia, o que indica o transporte de umidade proveniente do oceano Atlântico Tropical Sul nesse período.

A partir da análise individual dos 65 eventos de chuva identificados pelas estações, foram encontrados os principais sistemas meteorológicos de escala sinótica, local e mesoescala responsáveis pela ocorrência desses eventos. Os resultados mostraram que a maioria dos eventos estiveram associados a passagem de SCMs (incluindo LIs) sobre as estações e, em segundo lugar, à formação de convecção local, que é muito comum na região amazônica. Em terceiro lugar ficaram os sistemas de ZCAS e ZCOU, que ocorreram principalmente dentro do período chuvoso. Apesar de não serem os principais responsáveis pela ocorrência dos eventos chuvosos, os sistemas de ZCAS e ZCOU foram responsáveis pela ocorrência de 6 dos 10 eventos chuvosos mais intensos.

A OMJ pareceu favorecer a ocorrência dos eventos chuvosos, já que cerca de 60% desses eventos ocorreram nas fases 1, 2, 7 e 8, que são favoráveis a convecção no norte da América do Sul pela OMJ. Em relação aos eventos secos, não houve uma diferença tão significativa entre o número de ocorrência nas fases que favorecem ou desfavorecem a convecção na região.

Por fim, com o intuito de analisar o impacto dos sistemas atmosféricos identificados na coleta dos dados meteorológicos pelas estações ATTO, INMET e MAO foram escolhidos 5 eventos, representativos de cada categoria de sistemas meteorológicos identificados, para analisar a variabilidade dos dados meteorológicos durante suas datas de ocorrência. Inferir os impactos gerados especificamente por cada sistema meteorológico não é simples, pois a variabilidade dos dados meteorológicos de um único dia pode ser a combinação de diversos sistemas. Como a combinação da atuação do sistema ZCOU, do escoamento dos ventos alísios (predomínio do escoamento de leste) e a atuação da circulação local de brisa fluvial no evento mais intenso da série ocorrido no dia 08/03/2014 na estação INMET.

Portanto, nesse estudo foi possível obter uma caracterização de como foram os anos de 2014 e 2015 para as estações do projeto GoAmazon2014/5 (apesar de não terem sido usadas todas as estações) e inferir os impactos locais gerados pelos principais sistemas meteorológicos que atuam na bacia amazônica. Dessa forma, esse estudo auxiliará estudos futuros dentro do projeto GoAmazon2014/5 a entender o clima da região e a justificar possíveis variabilidades encontradas nos diversos conjuntos de dados coletados nesse projeto, além de contribuir para o objetivo maior de melhor compreender o clima e a formação de chuva na região amazônica.

6 REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA, C. R. et al. "Verification of the role of the low level jets in Amazon squall lines." *Atmospheric Research* 100.1 (2011): 36-44.
- ALVES, M. A. S.; MACHADO, L. A. T.; e PRASAD, G. S. S. D. "Estudo da variabilidade da cobertura de nuvens altas na Amazônia Central". *Acta Amazônica*, 37(1) (2007): 71-80
- AMBRIZZI, T.; e FERAZ, S. E. T. "An objective criterion for determining the South Atlantic Convergence Zone." *Frontiers in Environmental Science* v3 (2015): 43-51.
- BARRY, R. G.; e R. J. CHORLEY. "Atmosfera, Tempo e Clima". Editora Bookman, (2013).
- CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; e LIEBMANN, B. "The South Atlantic convergence zone: Intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall." *Journal of Climate*, 17.1 (2004): 88-108.
- CARVALHO, L. M. V.; e C. JONES. "Zona de Convergência do Atlântico Sul." *Tempo e Clima no Brasil*. Editores: Iracema Fonseca de Albuquerque Cavalcanti; Nelson Jesus Ferreira; Maria Gertrudes Alvarez Justi da Silva; Maria Assunção Faus da Silva Dias. *Oficina de Textos* (2009): 95-125.
- CAVALCANTI, I. F. A.; e AMBRIZZI, T. "Teleconexões e suas influências no Brasil." *Tempo e Clima no Brasil*. Editores: Iracema Fonseca de Albuquerque Cavalcanti; Nelson Jesus Ferreira; Maria Gertrudes Alvarez Justi da Silva; Maria Assunção Faus da Silva Dias. *Oficina de Textos* (2009): 317-335.
- CAVALCANTI, I. F. A. e KOUSKY, V. E. "Frentes Frias sobre o Brasil". *Tempo e Clima no Brasil*. Editores: Iracema Fonseca de Albuquerque Cavalcanti; Nelson Jesus Ferreira; Maria Gertrudes Alvarez Justi da Silva; Maria Assunção Faus da Silva Dias. *Oficina de Textos* (2009): 135-148.
- CHAMBERS, J. "Green Ocean Amazon Terrestrial Ecosystem Collaborative Project Science Plan." U.S. Department of Energy. ARM Climate Research Facility (2013).
- COELHO, C. A. S. et al. "The 2014 southeast Brazil austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections." *Climate Dynamics*, 46.11-12 (2016): 3737-3752.
- COHEN, J. C. P. et al. "Aspectos Climatológicos das Linhas de Instabilidade na Amazônia." *Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática*, v. 4, p. 34-40, (1989).

- COHEN, J. et al. "Linhas de Instabilidade na Costa N-NE da América do Sul". *Tempo e Clima no Brasil*. Editores: Iracema Fonseca de Albuquerque Cavalcanti; Nelson Jesus Ferreira; Maria Gertrudes Alvarez Justi da Silva; Maria Assunção Faus da Silva Dias. Oficina de Textos (2009): 75-93.
- CUNNINGHAM, C. A. C.; e CAVALCANTI, I. F. A. "Intraseasonal modes of variability affecting the South Atlantic Convergence Zone." *International Journal of Climatology*, 26.9 (2006): 1165-1180.
- DOE (U.S. Department of Energy). "GoAmazon2014/52014 Workshop Report". Disponível em <
http://science.energy.gov/~media/ber/pdf/GoAmazon2014/52014_200dpi.pdf?id=43 >. (2011).
- DOE (U.S. Department of Energy). "GoAmazon2014/52014 Summary". Disponível em <
http://science.energy.gov/~media/ber/pdf/Brochures/GOAMAZON2014/5_summary.pdf?id=62 >. Acessado em outubro de 2015.
- DRUMOND, A. et al. "The role of the Amazon Basin moisture in the atmospheric branch of the hydrological cycle: a Lagrangian analysis." *Hydrology and Earth System Sciences* 18.7 (2014): 2577.
- ESPINOZA, J. C.; RONCHAIL, J.; GUYOT, J. L.; COCHONNEAU, G.; NAZIANO, F.; LAVADO, W.; de OLIVEIRA, E.; POMBOSA, R.; e VAUCHEL, P. "Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia, and Ecuador)". *Int. J. Climatol.*, 29: 1574–1594. (2009).
- ESPINOZA, J. C. et al. "The extreme 2014 flood in south-western Amazon basin: the role of tropical-subtropical South Atlantic SST gradient." *Environmental Research Letters* 9.12 (2014): 124007.
- FERREIRA, N. J.; SANCHES, M.; e SILVA DIAS, M. A. F. "Composição da Zona de Convergência do Atlântico Sul em períodos de El Niño e La Niña." *Revista Brasileira de Meteorologia*, 19.1 (2004): 89-98.
- FIGUEROA, S. N.; P. SATYAMURTY; e P. L. da SILVA DIAS. "Simulations of the summer circulation over the South American region with an eta coordinate model." *Journal of the atmospheric sciences*, 52.10 (1995): 1573-1584.
- FILHO, A. C. e SOUZA, O. B. "Atlas de pressões e ameaças às terras indígenas na Amazônia brasileira." (2009).
- FISCH, G.; MARENGO, J. A.; e NOBRE, C. A. "Uma Revisão Geral Sobre o Clima da Amazônia". *Acta amazônica*. 28(2): 101-126 (1998).
- FOLEY, J. A et al. "El Niño–Southern oscillation and the climate, ecosystems and rivers of Amazonia." *Global Biogeochemical Cycles* 16.4 (2002): 79-1.

- FUNK, C. C. et al. "A quasi-global precipitation time series for drought monitoring." US Geological Survey Data Series 832.4 (2014).
- FUNK, C. C. et al. "The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes." *Scientific data* 2 (2015).
- G1. "Chuva castiga Região Norte e causa duas mortes em Manaus". Disponível em <<http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2014/03/chuva-castiga-regiao-norte-e-causa-duas-mortes-em-manaus.html>> 08 de março de 2014.
- GRECO, S. et al. "Amazon coastal squall lines. Part II: Heat and moisture transports." *Monthly Weather Review* 122.4 (1994): 623-635.
- GRIMM, A. M. "Variabilidade interanual do clima no Brasil." *Tempo e Clima no Brasil*. Editores: Iracema Fonseca de Albuquerque Cavalcanti; Nelson Jesus Ferreira; Maria Gertrudes Alvarez Justi da Silva; Maria Assunção Faus da Silva Dias. Oficina de Textos (2009): 353-374.
- GRIMM, A. M.; ZARATINI, P.; e MARENGO, J. A. "Sinais de El Niño na precipitação da Amazônia". In *Anais do X Congresso Brasileiro de Meteorologia*. Sociedade Brasileira de Meteorologia. (1998).
- HASTENRATH, S. "Annual cycle of upper air circulation and convective activity over the tropical Americas." *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 102.D4 (1997): 4267-4274.
- HOREL, J. D.; HAHMANN, A. N.; e GEISLER J. E. "An investigation of the annual cycle of convective activity over the tropical Americas." *Journal of Climate* 2.11 (1989): 1388-1403.
- IMAZON (Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia). "A Amazônia em números". Disponível em: <<http://amazon.org.br/imprensa/a-amazonia-em-numeros/>>. Acessado em abril de 2015.
- IBGE. "IBGE divulga as estimativas populacionais dos municípios para 2017". Disponível em < <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/2013-agencia-de-noticias/releases/16131-ibge-divulga-as-estimativas-populacionais-dos-municipios-para-2017.html>>. 30 de agosto de 2017.
- JANOWIAK, J. E.; JOYCE, R. J.; e YAROSH, Y. "A real-time global half-hourly pixel-resolution infrared dataset and its applications." *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82(2), (2001): 205-217.
- JIMÉNEZ-MUÑOZ, J. C. et al. "Record-breaking warming and extreme drought in the Amazon rainforest during the course of El Niño 2015–2016." *Scientific reports*, 6 (2016): 33130.
- KIRBY, K. R., et al. "The future of deforestation in the Brazilian Amazon." *Futures* 38.4 (2006): 432-453.

- KOUSKY, V. E. "Diurnal rainfall variation in northeast Brazil." *Monthly Weather Review* 108.4 (1980): 488-498.
- KOUSKY, V. E.; e MOLION, L. C. "Uma contribuição à climatologia da dinâmica da troposfera sobre a Amazônia." *Acta Amazonica* 15.3-4 (1985): 311-320.
- LENTERS, J. D.; e COOK, K. H. "On the origin of the Bolivian high and related circulation features of the South American climate." *Journal of the Atmospheric Sciences*, 54.5 (1997): 656-678.
- LIEBMANN, B.; e MARENGO, J. A. "Interannual variability of the rainy season and rainfall in the Brazilian Amazon Basin". *Journal of Climate*, 14(22), 4308-4318. (2001).
- LONGO, M.; CAMARGO, R.; e SILVA DIAS, M. A. F. "Análise das características dinâmicas e sinóticas de um evento de friagem durante a estação chuvosa no sudeste da Amazônia." *Revista Brasileira de Meteorologia*, 19.1 (2004): 59-72.
- LOUREIRO, R. S. de et al. "Estudo dos eventos extremos de precipitação ocorridos em 2009 no estado do Pará." *Revista Brasileira de Meteorologia*, 29 (2014): 83-94.
- MADDEN, R. A.; e JULIAN, P. R. "Observations of the 40–50-day tropical oscillation—A review." *Monthly Weather Review*, 122.5 (1994): 814-837.
- MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; e CULF, A. D. "Climatic impacts of "friagens" in forested and deforested areas of the Amazon Basin." *Journal of Applied Meteorology*, 36.11 (1997): 1553-1566.
- MARENGO, J. A. et al. "Onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon Basin." *Journal of Climate* 14.5 (2001): 833-852.
- MARENGO, J. A. "On the hydrological cycle of the Amazon Basin: A historical review and current state-of-the-art". *Revista Brasileira de Meteorologia*, 21(3), 1-19 (2006).
- MARENGO, J. A., et al. "Extreme climatic events in the Amazon basin." *Theoretical and Applied Climatology* 107.1-2 (2012): 73-85.
- MARENGO, J. A. "Água e mudanças climáticas." *Estudos Avançados* 22(63), (2008): 83-96.
- MARENGO, J. A.; e C. NOBRE. "Clima da região amazônica." *Tempo e Clima no Brasil*. Editores: Iracema Fonseca de Albuquerque Cavalcanti; Nelson Jesus Ferreira; Maria Gertrudes Alvarez Justi da Silva; Maria Assunção Faus da Silva Dias. *Oficina de Textos* (2009): 179-212.
- MARTIN S. T.; ARTAXO, P.; MACHADO, L. A. T.; MANZI, A. O.; SOUZA, R. A. F.; SCHUMACHER, C.; WANG, J.; ANDRADE, M. O.; BARBOSA, H. M. J.; FAN, J.; FISCH, G.; GOLDSTEIN, A. H.; GUENTHER, A.;

- JIMENEZ, J. L.; POSCHL, U.; SILVA DIAS, M. A.; SMITH, J. N.; WENDISCH, M. "Introduction: Observations and Modeling of the Green Ocean Amazon (GoAmazon2014/52014/5)," Atmospheric Chemistry and Physics, (2016).
- MATTHEWS, A. J.; e KILADIS, G. N. "The tropical–extratropical interaction between high-frequency transients and the Madden–Julian oscillation." *Monthly Weather Review* 127.5 (1999): 661-677.
- MELO, A. B. C. et al. "Zona de Convergência Intertropical do Atlântico." *Tempo e Clima no Brasil*. Editores: Iracema Fonseca de Albuquerque Cavalcanti; Nelson Jesus Ferreira; Maria Gertrudes Alvarez Justi da Silva; Maria Assunção Faus da Silva Dias. Oficina de Textos (2009): 26-41.
- MOLION, L. C. B. "Amazonia rainfall and its variability." Bonell M, Hufschmidt MM, Gladwell JS (eds), (1993).
- MOLION, L. C. B. "Climatologia Dinâmica da região Amazônica: mecanismos de precipitação." *Revista Brasileira de Meteorologia* 2.1 (1987): 107-117.
- MOURA, A. D. e J. SHUKLA. "On the dynamics of droughts in northeast Brazil: observations, theory and numerical experiments with a general circulation model" *J. Atmos. Sci.*, 38(7), 2653-2675 (1981).
- NETO, J. V.; SANTOS, C. B. dos; TORRES, É. M.; e ESTRELA, C. "Boxplot: um recurso gráfico para a análise e interpretação de dados quantitativos" *Revista Odontológica do Brasil Central*, 26(76), (2017).
- NOBRE, P.; e SHUKLA, J. "Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America." *Journal of climate*, 9.10 (1996): 2464-2479.
- NOBRE, C. A., et al. "Características do Clima Amazônico: Aspectos Principais." *Amazonia and Global Change, Geophysical Monograph Series, American Geophysical Union* (2009): 49-162.
- OECO. "O que é o bioma Amazônia". Disponível em: <<http://www.oeco.org.br/dicionario-ambiental/28611-o-que-e-o-bioma-amazonia/>> 05 de setembro de 2014.
- OLIVEIRA, A. S. de. "Interações entre sistemas frontais na América do Sul e a convecção da Amazônia". Dissertação de mestrado. INPE, (1986).
- OLIVEIRA, A. P.; e FITZJARRALD, D. R. "The Amazon river breeze and the local boundary layer: I. Observations." *Boundary-Layer Meteorology*, 63.1 (1993): 141-162.
- OLIVEIRA, P. J. et al. "Efeitos de um evento de friagem nas condições meteorológicas na Amazônia: um estudo de caso." *Acta amazônica* 34.4 (2004): 613-619.

- OLIVEIRA, S. V.; SATYAMURTY, P.; e ANDREOLI, R. V. "On the South Atlantic Convergence Zone affecting southern Amazonia in austral summer." *Atmospheric Science Letters*, 14.1 (2013): 1-6.
- PALLOTTA, M.; e NAKAZATO R. Y. "Caracterização de episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Zona de Convergência de umidade (ZCOU) em janeiro e fevereiro de 2010." XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia. (2010).
- PAMPUCH, L. A. "Características Sinóticas e Dinâmicas de Períodos Extremos Secos sobre o Sudeste do Brasil e sua Relação com a TSM do Atlântico Sul". Tese (Doutorado em Meteorologia), Universidade de São Paulo, São Paulo, (2014).
- PAREDES-TREJO, F. J. et al. "Validating CHIRPS-based satellite precipitation estimates in Northeast Brazil." *Journal of arid environments*, 139 (2017): 26-40.
- PAREDES-TREJO, F. J., et al. "Intercomparison of improved satellite rainfall estimation with CHIRPS gridded product and rain gauge data over Venezuela." *Atmósfera*, 29.4 (2016): 323-342.
- PEREIRA FILHO, A. J. et al. "Convective rainfall in Amazonia and adjacent tropics." *Atmospheric and Climate Sciences* 5.2 (2015): 137-161.
- QUADRO, M. F. L. "Estudo de episódios de Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul". 94 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) -Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, (1994).
- RAUPP, C. F. M.; e SILVA DIAS P. L. "Effects of nonlinear processes on the inter-hemispheric energy propagation forced by tropical heat sources." *Brazilian J. Meteorol* 19.2 (2004): 177-188.
- REBOITA, M. S. et al. "Regimes de Precipitação na América do Sul: Uma Revisão Bibliográfica". *Revista Brasileira de Meteorologia* 25.2 (2010): 185-204
- REBOITA, M. S.; e SANTOS, I. "Influência de alguns padrões de teleconexão na precipitação no norte e nordeste do Brasil." *Revista Brasileira de Climatologia*, 15 (2015).
- REHBEIN, A.; AMBRIZZI, T.; e MECHOSO, C. R. "Mesoscale convective systems over the Amazon basin. Part I: climatological aspects." *International Journal of Climatology* 38.1 (2018): 215-229.
- ROCHA, H. R. et al. "Seasonality of water and heat fluxes over a tropical forest in eastern Amazonia." *Ecological applications* 14.sp4 (2004): 22-32.
- ROCHA, H. R. et al. "Patterns of water and heat flux across a biome gradient from tropical forest to savanna in Brazil." *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* (2005–2012) 114.G1 (2009).

- ROCHA, V. M. et al. "Reciclagem de Precipitação na Amazônia: Um Estudo de Revisão." *Revista Brasileira de Meteorologia* 30.1 (2015): 59-70.
- RONCHAIL, J. et al. "Interannual rainfall variability in the Amazon basin and sea-surface temperatures in the equatorial Pacific and the tropical Atlantic Oceans." *International Journal of Climatology* 22.13 (2002): 1663-1686.
- SACRAMENTO, O. B. N.; ESCOBAR, G. C. J.; e SILVA, P. E. D. "Método objetivo para identificar episódios de Zonas de Convergência de Umidade (ZCOU) no ambiente operacional do Centro de Previsão de Tempo e Estados Climáticos-CPTEC." *Congresso Brasileiro De Meteorologia*. Vol. 16. (2010).
- SALATI, E.; e J. MARQUES. "Climatology of the Amazon region." *The Amazon*. Springer Netherlands, (1984). 85-126.
- SALIO, P.; NICOLINI, M.; e ZIPSER, E. J. "Mesoscale convective systems over southeastern South America and their relationship with the South American low-level jet." *Monthly Weather Review*, 135.4 (2007): 1290-1309.
- SANTOS, M. J; M. A. F. SILVA DIAS; e E. D. FREITAS. "Influence of local circulations on wind, moisture, and precipitation close to Manaus City, Amazon Region, Brazil." *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 119.23 (2014).
- SANTOS, E. B. et al. "Precipitation regionalization of the Brazilian Amazon". *Atmospheric Science Letters*, v. 16, n. 3, p. 185-192, (2015a).
- SANTOS, E. B.; P. S. LUCIO; e C. M. S. SILVA. "Synoptic patterns of atmospheric circulation associated with intense precipitation events over the Brazilian Amazon." *Theoretical and Applied Climatology* (2015b): 1-16.
- SATHLER, D.; MONTE-MÓR, R. L.; e CARVALHO, J. A. M. "As redes para além dos rios: urbanização e desequilíbrios na Amazônia brasileira". *Nova Economia*, 19(1), 11-39, (2009).
- SATYAMURTY, P. et al. "Moisture source for the Amazon Basin: a study of contrasting years." *Theoretical and applied climatology* 111.1-2 (2013): 195-209.
- SHIMIZU, M. H.; e AMBRIZZI, T. "MJO influence on ENSO effects in precipitation and temperature over South America." *Theoretical and applied climatology*, 124.1-2 (2016): 291-301.
- SHIMIZU, M. H.; AMBRIZZI, T.; e LIEBMANN, B. "Extreme precipitation events and their relationship with ENSO and MJO phases over northern South America." *International Journal of Climatology*, 37.6 (2017): 2977-2989.

- SILVA, G. A. M. "Evolução dos eventos El Niños em fases distintas da Oscilação Decadal do Pacífico: impactos no Jato de Baixos Níveis a leste dos Andes e nos ciclones extratropicais da América do Sul". Diss. Universidade de São Paulo, (2009).
- SILVA DIAS, P. L.; SCHUBERT, W. H.; e DEMARIA, M. "Large-scale response of the tropical atmosphere to transient convection." *Journal of the Atmospheric Sciences*, 40.11 (1983): 2689-2707.
- SILVA DIAS, M. A. F. et al. "River breeze circulation in eastern Amazonia: observations and modeling results." *Theoretical and Applied Climatology*, 78.1-3 (2004): 111-121.
- SOUSA, E. P. P. "Relações entre as anomalias de TSM do Atlântico e Pacífico e as precipitações na Amazônia oriental". Diss. Dissertação de mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, SP. (2003) 78p.
- SOUZA, E. B.; e NOBRE, P. "Uma revisão sobre o padrão de dipolo no Atlântico Tropical." *Revista Brasileira de Meteorologia*, 13.3 (1998): 1-44.
- SOUZA, E. B. et al. "On the influences of the El Niño, La Niña and Atlantic dipole pattern on the Amazonian rainfall during 1960-1998." *Acta Amazônica*, 30.2 (2000): 305-318.
- SOUZA, E. B. e AMBRIZZI, T. "ENSO impacts on the South American rainfall during 1980s: Hadley and Walker circulation". *Atmósfera*, México, v. 15, n. 2, p. 105-120, (2002).
- SOUZA, E. B., e AMBRIZZI, T. "Modulation of the intraseasonal rainfall over tropical Brazil by the Madden-Julian oscillation." *International Journal of Climatology*, 26.13 (2006): 1759-1776.
- SUDAM (Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia). "Atlas climatológico da Amazônia Brasileira", Publ. 39, Proj. de Hidrol. e Climatol. da Amazônia, Belém, (1984).
- TANAKA, L. M. S.; SATYAMURTY, P.; e MACHADO, L. A. T. "Diurnal variation of precipitation in central Amazon Basin". *International Journal of Climatology*, v. 34, n. 13, p. 3574-3584, (2014).
- TAYLOR, K. E. "Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram." *Journal of Geophysical Research*, 106(D7), 7183-7192. (2001).
- TOTÉ C., et al. "Evaluation of satellite rainfall estimates for drought and flood monitoring in Mozambique." *Remote Sensing*, 7.2 (2015): 1758-1776.
- URREA V., OCHOA A. e MESA O. "Validación de la base de datos de precipitación CHIRPS para Colombia a escala diaria, mensual y anual en el periodo 1981-2014." XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Lima, Perú, (2016).

- UVO, C. R. B. "Influence of sea surface temperature on rainfall and runoff in northeastern South America: Analysis and modeling". Lund University, Lund Institute of Technology, Department of Water Resources Engineering, (1998).
- UVO, C. B.; REPELLI, C. A.; ZEBIAK, S. E.; e KUSHNIR, Y." The relationships between tropical Pacific and Atlantic SST and northeast Brazil monthly precipitation". *Journal of Climate*, 11(4), (1998) 551-562.
- VELASCO, I.; e FRITSCH, J. M. "Mesoscale convective complexes in the Americas." *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 92. D8 (1987): 9591-9613.
- VIANA, V., et al. "Soluções para o desenvolvimento sustentável da Amazônia." *Ciência e Cultura* 66.3 (2014): 25-29.
- WHEELER, M. C. e HENDON, H. H. "An All-Season Real-Time Multivariate MJO Index: Development of an Index for Monitoring and Prediction". *Monthly Weather Review*, v. 132, n. 8, p. 1917-1932, (2004).
- WILKS, D. S. "Statistical methods in the Atmospheric Sciences". Academic Press, USA. Third Edition, (2011).
- XAVIER, T. M. B. S.; AMBRIZZI, T.; e SILVA, M. E. S. "Aplicações de modelos e Técnicas na Detecção de Variabilidade no Clima e Extremos". Banco do Nordeste do Brasil, Fortaleza (2017).
- ZHOU, J. e K. M. LAU. "Does a monsoon climate exist over South America?" *Journal of Climate*, 11.5 (1998): 1020-1040.
- ZHOU, B. e SHAO, X. "The 2015/16 "Super" El Niño Event and Its Climatic Impact." *Chinese Journal of Urban and Environmental Studies (CJUES)*, 5.03 (2017): 1-16.

7 ANEXO

Tabela 6: Tabela de descrição dos 65 eventos chuvosos identificados.

DATA	ESTAÇÕES	PERÍODO	SISTEMA ASSOCIADO	OBSERVAÇÕES	OMJ - FASE	OMJ - AMP.	ACUM MÉDIO	ANOM MÉDIA
11/1/2014	ATTO e INMET	chuvoso	Convecção local	ZCIT em 5°N	3	0,3	42,6	33,3
13/1/2014	MAO e INMET	chuvoso	SCM	ZCIT em 5°N	5	0,9	40,6	32,8
26/1/2014	MAO	chuvoso	SCM	ZCIT em 5°N	7	2,1	35,9	29,0
28/1/2014	ATTO	chuvoso	Convecção local	ZCIT em 3°N	7	1,4	37,1	27,5
21/2/2014	ATTO	chuvoso	SCM (LI)	ZCIT em 3°N	6	1,7	33,8	24,4
2/3/2014	ATTO, INMET e MAO	chuvoso	ZCOU (PA, TO, GO, MG e RJ)	ZCIT em 2°N	7	2,0	45,2	37,1
8/3/2014	INMET	chuvoso	ZCOU (AM, PA, MT, GO, MG e RJ)	ZCIT em 2-3°N	8	2,5	137,0	124,1
12/3/2014	ATTO, INMET e MAO	chuvoso	SCM	ZCIT dupla 0° e 2°S	1	1,7	41,3	31,2
19/3/2014	MAO	chuvoso	SCM(LI)	ZCIT dupla 1°N e 1°S	2	0,8	53,2	41,9
20/3/2014	MAO	chuvoso	SCM	ZCIT dupla 1°N e 2°S	2	0,6	49,3	41,7
24/3/2014	INMET	chuvoso	ZCOU (AM, PA, MT, GO, MG e ES)	ZCIT dupla 1°N e 1°S	1	1,2	37,1	29,7
27/3/2014	MAO	chuvoso	Convecção local	ZCIT em aprox. 0°N	2	1,3	59,8	48,9
28/3/2014	ATTO e INMET	chuvoso	SCM	ZCIT dupla 1°N e 2°S	2	1,4	34,3	26,8
14/4/2014	ATTO e MAO	chuvoso	ZCOU (AC, RO, MT, MS, SP, MG e RJ)	ZCIT dupla 1°N e 1°S	5	1,3	39,1	27,9
1/5/2014	INMET	seco	SCM	ZCIT dupla 2°N e 1°S	8	1,7	73,7	61,8
4/5/2014	MAO	seco	SCM	ZCIT em 3°N	1	2,0	37,0	30,4
6/5/2014	ATTO	seco	Convecção local	ZCIT em 3°N	1	2,7	46,5	35,0
11/5/2014	ATTO e MAO	seco	SCM (LI)	ZCIT em 2°N	3	1,4	40,6	33,0
16/6/2014	MAO	seco	SCM (LI)	ZCIT em 4°N	4	1,5	13,7	11,1
18/6/2014	INMET	seco	SCM	ZCIT em 4°N	5	1,0	20,4	17,2
21/6/2014	ATTO, INMET e MAO	seco	SCM (LI)	ZCIT em 6-7°N	6	0,9	21,7	18,6
26/6/2014	MAO	seco	SCM (LI)	ZCIT em 7-8°N	7	0,9	11,1	8,0
30/6/2014	ATTO	seco	Frente estacionária (oeste da AM)	ZCIT em 8-9°N	8	0,3	33,8	30,8
3/7/2014	MAO	seco	Convecção local	ZCIT em 6-7°N	7	0,4	14,5	11,2
9/7/2014	MAO	seco	Convecção local	ZCIT em 5°N	5	1,4	8,6	6,4
11/7/2014	ATTO	seco	SCM (LI)	ZCIT em 6-7°N	5	1,4	22,1	18,4
7/8/2014	ATTO	seco	Convecção local	Sem cartas	2	1,5	5,3	4,4
16/8/2014	MAO	seco	SCM	ZCIT em 9°N	1	1,4	17,3	15,6
17/9/2014	ATTO	seco	SCM (LI)	ZCIT em 10°N	1	0,5	13,7	11,1
4/10/2014	MAO	seco	SCM (LI)	ZCIT em 10°N	5	1,3	18,8	16,1
12/10/2014	ATTO	seco	Convecção local	ZCIT em 8-9°N	7	0,6	14,0	10,4
13/10/2014	INMET	seco	SCM (LI)	ZCIT em 9-10°N	8	0,8	11,1	8,3
15/10/2014	MAO e INMET	seco	SCM (LI)	ZCIT em 9-10°N	1	1,0	22,3	19,1
16/10/2014	INMET	seco	Convecção local	ZCIT em 9-10°N	1	1,2	30,8	27,8
17/10/2014	INMET	seco	Convecção local	ZCIT em 9-10°N	1	1,4	9,5	6,4
18/10/2014	MAO	seco	SCM (LI)	ZCIT em 8-9°N	1	1,4	22,3	18,6
4/11/2014	ATTO	chuvoso	Convecção local	ZCIT em 8°N	4	0,9	22,6	20,6
9/11/2014	ATTO e MAO	chuvoso	ZCOU (AM, MT, GO, MG e BA)	ZCIT em 8°N	8	1,3	32,0	27,8
15/11/2014	MAO	chuvoso	ZCAS (AM, MT, GO, MG e ES)	ZCIT em 9°N	1	0,8	20,4	13,6
20/11/2014	MAO	chuvoso	ZCOU (PA, TO, MA, PI e BA)	ZCIT em 8°N	3	1,3	38,1	34,3
22/11/2014	MAO	chuvoso	Convecção local	ZCIT em 8-9°N	3	1,9	33,4	28,1
14/12/2014	MAO	chuvoso	ZCOU (MT, PA, TO, BA, MG e ES)	ZCIT em 5°N	7	0,5	14,4	10,3
11/1/2015	ATTO	chuvoso	SCM (LI)	ZCIT em 4-5°N	6	2,7	24,4	17,1
14/1/2015	MAO	chuvoso	Convecção local	ZCIT em 3-4°N	7	1,4	47,5	36,6
19/1/2015	ATTO e MAO	chuvoso	SCM	ZCIT em 2-3°N	8	1,2	39,4	30,6
23/1/2015	MAO	chuvoso	ZCOU (AM, MT, GO, MG, SP e RJ)	ZCIT em 2°N	8	1,2	34,3	26,1
1/3/2015	INMET	chuvoso	ZCOU (AM, MT, GO, MG e ES)	ZCIT em 0°	4	0,4	39,4	25,7
11/3/2015	ATTO	chuvoso	ZCAS (AM, MT, GO, MG e RJ)	ZCIT em 0°	6	2,5	76,7	67,1
23/3/2015	INMET	chuvoso	ZCOU (PA, TO, GO, MG, BA e RJ)	ZCIT dupla em 2°N e 2°S	8	2,2	53,5	42,8
24/3/2015	ATTO, INMET e MAO	chuvoso	ZCOU (PA, TO, GO, MG e BA)	ZCIT dupla em 2°N e 2°S	8	2,1	68,3	59,7
1/5/2015	ATTO	seco	ZCOU (AM, PA, TO e BA)	ZCIT dupla em 1°N e 1°S	5	0,3	41,4	31,5
6/5/2015	ATTO e MAO	seco	ZCOU (AM, PA, MT, GO, MG e ES)	ZCIT em 1°N	5	0,3	86,8	76,8
19/5/2015	MAO	seco	SCM (LI)	ZCIT em 1-2°N	7	0,8	35,1	30,8
11/6/2015	ATTO	seco	SCM (LI)	ZCIT em 5°N	3	2,2	23,9	19,1
21/6/2015	MAO	seco	SCM(LI)	ZCIT em 5-6N	4	1,4	24,0	21,4
22/7/2015	MAO	seco	Convecção local	ZCIT em 8-9°N	2	1,3	23,1	21,1
23/7/2015	MAO	seco	Convecção local	ZCIT em 8-9°N	2	1,3	19,5	18,1
24/7/2015	MAO	seco	Convecção local	ZCIT em 9°N	2	1,2	30,9	29,4
25/7/2015	ATTO	seco	SCM (LI)	ZCIT em 8-9°N	2	1,1	14,7	12,4
4/9/2015	INMET	seco	Convecção local	ZCIT em 10°N	1	1,2	15,8	13,6
15/9/2015	ATTO	seco	Convecção local	ZCIT em 10°N	4	1,0	28,2	25,0
4/11/2015	ATTO	chuvoso	Convecção local	ZCIT em 10°N	3	2,1	13,2	11,2
6/11/2015	MAO e INMET	chuvoso	SCM(LI)	ZCIT em 9-10°N	4	2,2	30,8	25,6
20/11/2015	INMET	chuvoso	SCM	ZCIT em 9°N	2	1,1	16,6	11,4
21/12/2015	ATTO	chuvoso	Convecção local	ZCIT em 4-5°N	5	2,3	18,8	12,9