



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
INSTITUTO DE RECURSOS NATURAIS  
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**Ciclo Diurno de Precipitação Simulado Pelo  
RegCM4: Clima Presente e Futuro**

---

**MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO**

**Cássia Gabriele Dias**

**Itajubá, MG, Brasil  
2013**

# **CICLO DIURNO DE PRECIPITAÇÃO SIMULADO PELO REGCM4: CLIMA PRESENTE E FUTURO**

---

**por**

**Cássia Gabriele Dias**

Monografia apresentada à comissão examinadora Programa de  
Graduação em Ciências Atmosféricas da Universidade Federal  
Itajubá (UNIFEI, MG), como requisito parcial para obtenção do  
grau de  
**Bacharel em Ciências Atmosféricas.**

**Orientadora: Michelle Simões Reboita**

**Itajubá, MG, Brasil  
2013**

**Universidade Federal de Itajubá  
Instituto de Recursos Naturais  
Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a  
Monografia

**CICLO DIURNO DA PRECIPITAÇÃO SIMULADO PELO REGCM4:  
CLIMA PRESENTE E FUTURO**

elaborada por

**Cássia Gabriele Dias**

Como requisito parcial para a obtenção do grau de  
**Bacharel em Ciências Atmosféricas**

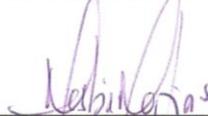
**Comissão Examinadora:**



**Michele Simões Reboita, Dr<sup>a</sup> (UNIFEI)**  
(Presidente/Orientador)



**Arcilan Trevenzoli Assireu, Dr. (UNIFEI)**



**Márcia Viana Lisboa Martins, Dr<sup>a</sup>. (UNIFEI)**

Itajubá, 13 de novembro de 2013 .

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por guiar meus passos, me dar forças necessárias e por me capacitar.

Agradeço também a professora Doutora Michelle Simões Reboita, que me ajudou no decorrer da caminhada me dando apoio e incentivo, pela confiança, orientação e sobre tudo pela amizade.

E por fim, agradeço a todos que de alguma forma me ajudaram a chegar até aqui.

Dedico esta formação ao Michel R. Vilas Boas  
que me apoiou, incentivou e sempre esteve ao  
meu lado.

“Você poderia me dizer, por favor, qual o caminho para sair daqui?”

“Depende muito de onde você quer chegar”, disse o Gato.

“Não me importa muito onde...” foi dizendo Alice.

“Nesse caso não faz diferença por qual caminho você vá”, disse o Gato.

“... desde que eu chegue a *algum lugar*”, acrescentou Alice, explicando.

“Oh, esteja certa de que isso ocorrerá”, falou o Gato, “se você caminhar bastante”.

Alice no País das Maravilhas – Lewis Carrol

## RESUMO

Monografia de Graduação  
Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Itajubá, MG, Brasil

### **CICLO DIURNO DE PRECIPITAÇÃO SIMULADO PELO REGCM4: CLIMA PRESENTE E FUTURO**

AUTORA: CÁSSIA GABRIELE DIAS  
ORIENTADORA: MICHELLE SIMÕES REBOITA  
Local e Data da Defesa: Itajubá, 13 de novembro de 2013.

Este estudo apresenta o padrão espacial da precipitação diurna na América do Sul (AS) com os dados do *Global Satellite Mapping of Precipitation* (GSMaP) e analisa o ciclo diurno em 12 subdomínios da AS simulados com o *Regional Climate Model-version 4* (RegCM4) aninhado nas projeções do modelo de circulação global *Hadley Centre Global Environmental Model-version 2* (HadGEM2) para o clima presente e futuro no âmbito do projeto internacional CORDEX (*Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment*). No setor mais tropical do domínio (latitudes de 15° S a 8° S) o máximo de precipitação ocorre, em geral, às 18 UTC; no subtropical (latitudes de 25° S a 15° S) também às 18 UTC, com exceção do leste do setor onde o máximo ocorre às 00 UTC e no extratropical (latitudes de 35° S a 25° S) das 09 às 12 UTC, com exceção da região sul do Brasil que no verão e outono tem máximo às 18 UTC. Em geral, esse comportamento ocorre em todas as estações do ano. O RegCM4 nem sempre conseguiu reproduzir bem o ciclo diurno da precipitação nos setores em estudo, quando tomado o GSMaP como dado real. E para a previsão futura, no período de 2020-2050 a precipitação se mantém bem próxima a do período presente, mas para o período de 2070-2098 as diferenças são maiores. No setor tropical, até 2098 há tendência de um pequeno aumento da precipitação no período da manhã e uma diminuição a tarde, no subtropical diminuição em todos os horários do dia ao leste e oeste e um aumento no centro do setor das 03 às 12 UTC, já no setor extratropical, a seu leste e oeste, a precipitação continua apresentando o mesmo ciclo enquanto que seu centro apresenta um aumento para todo o dia.

Palavras-chave: GSMaP, RegCM4, Precipitação, América do Sul.

## LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1- Esquema dos sistemas atmosféricos da baixa troposfera atuantes na AS no verão (adaptado de Reboita et al. 2012a), onde **1** representa os ventos alísios de nordeste, **2** a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), **3** o jato de baixos níveis (JBN) a leste dos Andes, **4** a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), **5** os complexos convectivos de mesoescala, **6** e **13** centro de baixa pressão, **7** e **12** frente fria, **8** uma frente quente, **9** o anticiclone subtropical do Atlântico Sul (ASAS), **10** os ventos alísios de sudeste e **11** a Alta Subtropical do Pacífico Sul (ASPS). ..... 16
- FIGURA 2- Esquema dos sistemas atmosféricos da alta troposfera atuantes na AS (adaptado de Reboita et al. 2010), onde **1** representa o cavado do nordeste do Brasil, **2** o vórtice ciclônico de altos níveis (VCAN) tropical, **3** a alta da Bolívia (AB), **4** o vórtice ciclônico de altos níveis (VCAN) subtropical, **5** o vórtice ciclônico de altos níveis (VCAN) extratropical, **6** o jato subtropical, **7** a região de bloqueios atmosféricos e **8** o jato polar. .... 19
- FIGURA 3- Precipitação média no verão (mm/dia): a) RegHad, b) ERA-40 c) RegECHAM, d) CRU e) NCEP1 e f) U. Delaware (fonte: Reboita et al. 2012). ..... 20
- FIGURA 4- Precipitação média no inverno (mm/dia): a) RegHad, b) ERA-40 c) RegECHAM, d) CRU e) NCEP1 e f) U. Delaware (fonte: Reboita et al. 2012). ..... 21
- FIGURA 5- Setores utilizados para analisar as simulações do RegCM4, sendo TR o setor tropical, SB o subtropical e EX o extratropical. Adaptado de da Rocha et al. (2009). ..... 26
- FIGURA 6- Padrão espacial da precipitação média (mm/dia) para o verão do período de 2003-2006 com dados do GSMaP para acúmulo de cada 3 horas. a) 00 UTC, b) 03 UTC, c) 06 UTC, d) 09 UTC, e) 12 UTC, f) 15 UTC, g) 18 UTC e h) 21 UTC. .... 31
- FIGURA 7- Padrão espacial da precipitação média (mm/dia) para o outono do período de 2003-2006 com dados do GSMaP para acúmulo de cada 3

- horas. a) 00 UTC, b) 03 UTC, c) 06 UTC, d) 09 UTC, e) 12 UTC, f) 15 UTC, g) 18 UTC e h) 21 UTC.....32
- FIGURA 8- Padrão espacial da precipitação média (mm/dia) para o inverno do período de 2003-2006 com dados do GSMaP para acúmulo de cada 3 horas. a) 00 UTC, b) 03 UTC, c) 06 UTC, d) 09 UTC, e) 12 UTC, f) 15 UTC, g) 18 UTC e h) 21 UTC.....33
- FIGURA 9- Padrão espacial da precipitação média (mm/dia) para a primavera do período de 2003-2006 com dados do GSMaP para acúmulo de cada 3 horas. a) 00 UTC, b) 03 UTC, c) 06 UTC, d) 09 UTC, e) 12 UTC, f) 15 UTC, g) 18 UTC e h) 21 UTC.....34
- FIGURA 10- Ciclo diurno da precipitação ( $\text{mm.dia}^{-1}$ ) média do verão em horário UTC, para os 12 setores em estudo, onde a linha preta representa o GSMaP para o período de 2003-2006, a linha vermelha o BGRregHad para 1998-2005, a linha azul o BGRregHad para 2020-2050 (futuro próximo) e a linha rosa o BGRregHad para 2070-2098 (futuro distante).  
.....37
- FIGURA 11- Ciclo diurno da precipitação ( $\text{mm.dia}^{-1}$ ) média do outono em horário UTC, para os 12 setores em estudo, onde a linha preta representa o GSMaP para o período de 2003-2006, a linha vermelha o BGRregHad para 1998-2005, a linha azul o BGRregHad para 2020-2050 (futuro próximo) e a linha rosa o BGRregHad para 2070-2098 (futuro distante).  
.....39
- FIGURA 12- Ciclo diurno da precipitação ( $\text{mm.dia}^{-1}$ ) média do inverno em horário UTC, para os 12 setores em estudo, onde a linha preta representa o GSMaP para o período de 2003-2006, a linha vermelha o BGRregHad para 1998-2005, a linha azul o BGRregHad para 2020-2050 (futuro próximo) e a linha rosa o BGRregHad para 2070-2098 (futuro distante).  
.....41
- FIGURA 13- Ciclo diurno da precipitação ( $\text{mm.dia}^{-1}$ ) média da primavera em horário UTC, para os 12 setores em estudo, onde a linha preta representa o GSMaP para o período de 2003-2006, a linha vermelha o BGRregHad para 1998-2005, a linha azul o BGRregHad para 2020-2050 (futuro próximo) e a linha rosa o BGRregHad para 2070-2098 (futuro distante).  
.....43

FIGURA 14- Ciclo diurno da precipitação média anual em horário UTC, para os 12 setores em estudo, onde a linha preta representa o GSMaP para o período de 2003-2006, a linha vermelha o BGRregHad para 1998-2005, a linha azul o BGRregHad para 2020-2050 (futuro próximo) e a linha rosa o BGRregHad para 2070-2098 (futuro distante).....45

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 1-</b> Localização dos setores utilizados neste estudo.....	27
---	----

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

- AB- Alta da Bolívia
- AS- América do Sul
- ASAS- Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul
- ASPS- Alta Subtropical do Pacífico Sul
- BATS- *Biosphere- Atmosphere Transfer Scheme*
- BGRegHad- RegCM4 dirigido com a saída do modelo global HadGEM2 simulado com dois esquemas: BATS e Grell
- CCMs- Complexos convectivos de mesoescala
- CN- Cavado do nordeste do Brasil
- CORDEX - *Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment*
- CRU-*Climatic Research Unit da University of East Anglia*
- DJF- Dezembro, janeiro e fevereiro (Verão)
- ENOS- El Niño Oscilação Sul
- EX1- Setor extratropical: Longitude de 72.5°W a 65°W e latitude de 35°S a 25°S
- EX2- Setor extratropical: Longitude de 65°W a 55°W e latitude de 35°S a 25°S
- EX3- Setor extratropical: Longitude de 55°W a 45°W e latitude de 35°S a 25°S
- EX4- Setor extratropical: Longitude de 45°W a 35°W e latitude de 35°S a 25°S
- GSMaP- *Global satellite mapping of precipitation*
- HadGEM2- *Hadley Centre Global Environmental Model, version 2*
- HS- Hemisfério Sul
- HN- Hemisfério Norte
- IPCC- *Intergovernmental Panel on Climate Change*
- JAN- Jato dos Altos Níveis
- JBN- Jato dos Baixos Níveis
- JJA- junho, julho e agosto (Inverno)
- MAM- março, abril e maio (Outono)
- MCR- Modelo Climático Regional
- NCEP1- reanálise 1 do National Centers for Environmental Prediction
- OS- Oscilação Sul
- RCP8.5- *Representative Concentration Pathway*-com forçante radiativa em 8,5W.m<sup>-2</sup> até o ano 2100.
- RegCM- *Regional Climate Model*
- RegCM3- *Regional Climate Model, version 3*

RegCM4- *Regional Climate Model, version 4*

RegECHAM-RegCM3 *aninhado à saída do modelo do Max Planck Institute for Meteorology*

RegHad-RegCM3 *aninhado à saída do modelo Hadley Centre Coupled Model*

SB1- Setor subtropical: Longitude de 72.5°W a 65°W e latitude de 25°S a 15°S

SB2- Setor subtropical: Longitude de 65°W a 55°W e latitude de 25°S a 15°S

SB3- Setor subtropical: Longitude de 55°W a 45°W e latitude de 25°S a 15°S

SB4- Setor subtropical: Longitude de 45°W a 35°W e latitude de 25°S a 15°S

SCMs- Sistemas Convectivos de Mesoescalas

SON- setembro, outubro e novembro (primavera)

TR1- Setor tropical: Longitude de 72.5°W a 65°W e latitude de 15°S a 8°S

TR2- Setor tropical: Longitude de 65°W a 55°W e latitude de 15°S a 8°S

TR3- Setor tropical: Longitude de 55°W a 45°W e latitude de 15°S a 8°S

TR4- Setor tropical: Longitude de 45°W a 35°W e latitude de 15°S a 8°S

TRMM- PR- *Tropical Rainfall Measuring Mission – Precipitation radar*

TSM- Temperatura da superfície do mar

ZCAS- Zona de convergência do Atlântico Sul

ZCIT- Zona de convergência intertropical

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>vii</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>x</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....</b>	<b>xi</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>15</b>
2.1 SISTEMAS ATMOSFÉRICOS ATUANTES NA AS .....	15
2.2 CLIMATOLOGIA SAZONAL DA PRECIPITAÇÃO NA AS .....	19
2.3 CICLO DIURNO DA PRECIPITAÇÃO NA AS.....	22
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>24</b>
3.1 SIMULAÇÕES COM O REGCM4 .....	24
3.2 ANÁLISES .....	25
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>27</b>
4.1 CICLO DIURNO DA PRECIPITAÇÃO REPRESENTADO PELO GSMAP .....	27
4.2 CICLO DIURNO DA PRECIPITAÇÃO: CLIMA PRESENTE E FUTURO .....	35
4.2.1 Ciclo diurno da precipitação simulada e observada no verão .....	35
4.2.2 Ciclo diurno da precipitação simulada e observada no outono .....	38
4.2.3 Ciclo diurno da precipitação simulada e observada no inverno .....	40
4.2.4 Ciclo diurno da precipitação simulada e observada na primavera .....	42
4.2.5 Ciclo diurno da precipitação simulada e observada anual .....	44
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>46</b>
<b>6. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>47</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Uma das variáveis atmosféricas de maior importância para a vida é a precipitação, pois está diretamente relacionada com a produção de alimentos, energia elétrica etc. (Molion, 1987; Silva et al., 2007; do Nascimento et al., 2010). Desta forma, a precipitação é foco de muitos estudos como da Rocha et al. (2009), Reboita et al. (2011 e 2012b), Yang e Smith (2006), Silva (2013), entre outros.

Na América do Sul (AS) há diferentes regimes de precipitação (Reboita et al., 2010), pois essa se estende por diferentes latitudes (12°N e 55°S) e longitudes (80°W e 35°W) e possui uma geografia diversificada com a presença da Cordilheira dos Andes, de vastas planícies contendo enormes superfícies aquáticas, da grande floresta equatorial Amazônica, e de uma das áreas mais áridas do planeta, o deserto do Atacama, localizado no norte do Chile (Reboita et al., 2010). Além disso, a AS é cercada a oeste pelo oceano Pacífico e a leste pelo oceano Atlântico. Vários estudos têm se dedicado ao entendimento da precipitação sazonal na AS (Reboita et al., 2010; Garcia e Kayano, 2011; Marengo et al. 2012). Entretanto, são poucos os que analisam o ciclo diurno de precipitação na AS (da Rocha et al., 2009; Silveira et al., 2009).

Com a questão do aquecimento global reportado pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2001; 2007; 2013) muitos pesquisadores têm se dedicado às projeções climáticas futuras, mas antes da realização dessas é necessário conhecer a habilidade dos modelos climáticos no clima presente. O primeiro modelo climático regional (MCR) desenvolvido foi o *Regional Climate Model* (RegCM) no final da década de 1980 (Giorgi et al. 2012). Ao longo dos anos, o RegCM sofreu alterações, sendo a última versão denominada RegCM4.

Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo avaliar o ciclo diurno de precipitação na AS em simulações executadas com o RegCM4 no clima presente e futuro no âmbito do projeto internacional *Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment* (CORDEX). Para o clima presente (1998-2005) e futuro, o RegCM4 foi dirigido com a saída do modelo global *Hadley Centre Global Environmental Model, version 2* (HadGEM2). As simulações do clima futuro utilizaram o cenário RCP8.5 do IPCC e foram executadas para dois períodos: 2020-2050 (futuro próximo) e 2070-2098 (futuro distante). Os dados para a validação das simulações do clima presente foram obtidos do *Global Satellite Mapping of*

*Precipitation (GSMap).*

A importância deste estudo se dá para áreas diversificadas, como exemplos, para a defesa civil ficar em alerta para o período do dia com maiores índices de precipitação, e também para agricultores conhecerem qual o melhor horário do dia para a irrigação.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

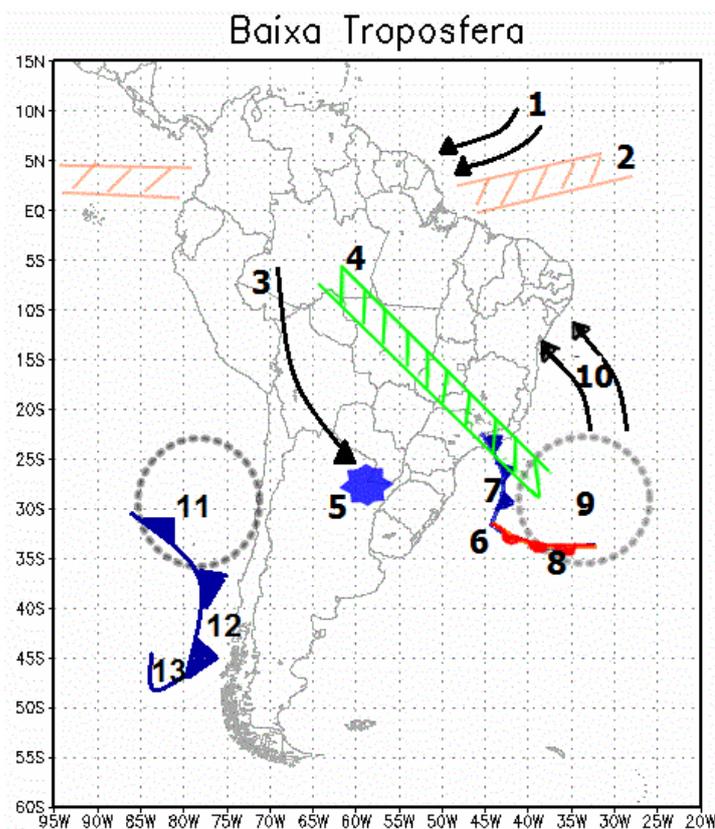
### **2.1 Sistemas atmosféricos atuantes na AS**

O clima de uma região é determinado por fatores denominados controles climáticos, que atuam tanto na escala global como na regional. Os mais importantes são a latitude, altitude, cobertura vegetal, tipo de superfície, proximidade com o oceano e sistemas predominantes de vento e pressão (Reboita et al., 2012a).

A distribuição das terras da AS em diferentes latitudes e com formas de relevo variadas proporcionam a atuação e o desenvolvimento de diferentes sistemas atmosféricos, que contribuem para a grande diversidade climática desta região (Reboita et al., 2010; Ambrizzi et al., 2006). As regiões montanhosas causam influência nos ventos, pois, estes ao encontrarem uma barreira topográfica, tendem a ascender e, nesse processo, pode ocorrer a formação de nuvens e precipitação no lado barlavento das montanhas (Reboita et al., 2010).

A região tropical da AS é caracterizada por dois importantes fatores: é uma fonte de aquecimento diabático, o qual é causado por convecção profunda sobre a Bacia Amazônica, e é contornada a oeste pelos Andes, uma alta e escarpada cadeia de montanhas orientada meridionalmente (Custódio, 1994). A oeste da cordilheira, o clima é controlado por dois elementos da circulação geral que podem ser vistos na **figura 1**: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a Alta Subtropical do Pacífico Sul (ASPS; Dewes, 2007). A subsidência da ASPS seca o ar e o escoamento dos baixos níveis transporta pouca umidade para a costa subtropical da AS (Sacco, 2010). No inverno, a ASPS atinge sua posição mais norte, então, os ventos de oeste que alcançam os Andes, ao cruzá-lo, acabam produzindo precipitação no lado oeste das montanhas (Reboita et al., 2010).

Segundo Sacco (2010), no lado leste dos Andes a situação é oposta: há ventos quentes e úmidos gerados pelo Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS- **figura 1**), o efeito frontogenético (Satyamurty e Mattos, 1989; Reboita et al., 2009) e ciclogênico (Reboita, 2008) a sotavento dos Andes e a canalização do escoamento meridional da Amazônia em direção aos subtrópicos permitem (Gan e Rao, 1994 apud Sacco, 2010) a intensa troca de massas de ar entre os trópicos e as latitudes médias.



**Figura 1** Esquema dos sistemas atmosféricos da baixa troposfera atuantes na AS no verão (adaptado de Reboita et al. 2012a), onde 1 representa os ventos alísios de nordeste, 2 a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), 3 o jato de baixos níveis (JBN) a leste dos Andes, 4 a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), 5 os complexos convectivos de mesoescala, 6 e 13 centro de baixa pressão, 7 e 12 frente fria, 8 uma frente quente, 9 o anticiclone subtropical do Atlântico Sul (ASAS), 10 os ventos alísios de sudeste e 11 a Alta Subtropical do Pacífico Sul (ASPS).

A ZCIT é formada pela confluência dos ventos alísios de nordeste do Hemisfério Norte (HN) e dos ventos alísios de sudeste do Hemisfério Sul (HS). Entre novembro e março a ZCIT se posiciona mais ao sul de sua posição climatológica, desta forma a umidade oriunda do Atlântico se acumula sobre a Amazônia e nordeste do Brasil sendo uma das principais causas da precipitação (Molion, 1987; Ambrizzi et al. 2006). Devido à atuação da ZCIT e a convergência dos ventos

equatoriais de oeste que trazem umidade do Pacífico associado à forçante orográfica condicionada pelos Andes, o noroeste da AS é uma região de característica úmida durante o ano todo (Dewes, 2007; Rodrigues, 2011).

Durante os meses de primavera e verão, a circulação atmosférica na baixa troposfera sobre a AS apresenta um núcleo de ventos máximos na borda leste da Cordilheira dos Andes (Custódio, 1994; Garreaud, 2008). Essa região de ventos fortes é chamada de Jato dos Baixos Níveis (JBN- **figura 1**) e devido a sua posição é considerado como o principal responsável pelo transporte de ar quente e úmido dos trópicos para latitudes mais altas, sendo um importante meio de distribuição e transporte de umidade e calor da região equatorial até o sudeste da AS (Custódio, 1994; Santos, 2012).

O acoplamento entre o JBN e a circulação transversal gerada pelo Jato dos Altos Níveis (JAN), provoca um aumento de convergência em baixos níveis (Uccellini, 1980) e propicia a formação de complexos convectivos de mesoescala (CCMs) sobre o Paraguai (**figura 1**), norte da Argentina, sul do Brasil e Uruguai. O escoamento nos baixos níveis dos trópicos para a região subtropical, às vezes sob a forma de um JBN e a Alta da Bolívia (AB- **Figura 2**) são características que revelam as conexões entre o sistema de monção da AS e a circulação subtropical (Sacco, 2010). O JBN sobre o sudeste da AS advecta calor e umidade da bacia Amazônica em direção ao sul para as planícies centrais do sudeste da AS, gerando condições ambientais ideais para a iniciação de convecção e crescimento de sistemas convectivos de mesoescalas (SCMs- Salio et al., 2007). SCMs subtropicais mostram uma preferência noturna na Argentina, o que contrasta com uma tendência para um pico durante o dia sobre o Uruguai e sul do Brasil (Salio et al., 2007).

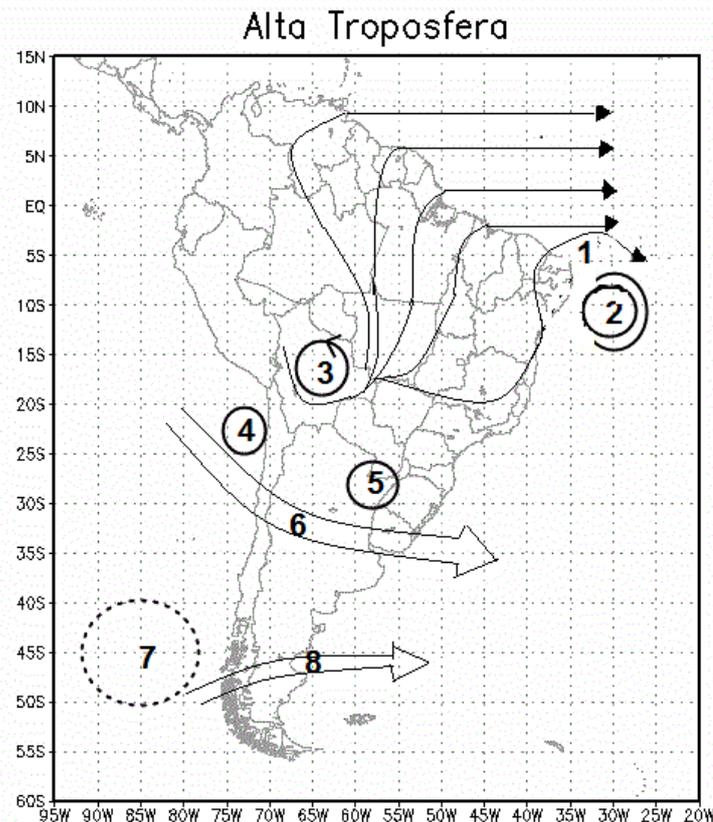
Principalmente no sul e sudeste da AS, mudanças nas condições meteorológicas observadas estão relacionadas à passagem, formação ou intensificação de frentes frias, sistemas meteorológicos típicos de latitudes médias. Os sistemas frontais, ou frentes, são definidos como uma zona de transição entre duas massas de ar de diferentes densidades e temperaturas, que se aproximam e tendem a se manter individualizadas, conservando suas particularidades (Vianello, 1991 apud Alvarenga 2012). Segundo Kousky (1979), as frentes frias afetam o clima da AS o ano todo. As frentes frias que percorrem o litoral da AS são, tipicamente, configuradas na direção noroeste-sudeste e apresentam uma trajetória de sudoeste para nordeste (Rodrigues et al., 2004).

Associados aos distúrbios de grande-escala, os sistemas frontais deslocam-se acompanhados de ciclones e anticiclones móveis, alterando os campos de pressão atmosférica, de vento, e de outras variáveis atmosféricas, ao longo da sua trajetória (Wallace e Hobbs, 1977). O termo ciclone é normalmente utilizado para se referir à área de baixa pressão em que as isóbaras são fechadas (movimento circulatório associado) e o termo anticiclone à de alta pressão (Sugahara, 2000). Sinclair (1994) ressalta que mesmo sem estar caracterizada por isóbaras fechadas, uma região de baixa pressão frequentemente, está associada com mau tempo.

O tempo e conseqüentemente o clima do HS são fortemente modulados pela ocorrência de ciclones extratropicais (Bitencourt et al., 2013). Os ciclones extratropicais são um dos sistemas de escala sinótica que mais causam mudanças no tempo nas regiões onde atuam (Reboita e Ambrizzi, 2006). O ciclone geralmente está associado com uma frente fria, a qual é uma das principais características atmosféricas que afetam o tempo, sendo responsável pela formação de nuvens, precipitação e ventos fortes (Sugahara, 2000). Os ciclones que se formam na costa sul/sudeste do Brasil deslocam-se para leste ou sudeste com velocidade média de  $9 \text{ ms}^{-1}$ , percorrem distâncias de aproximadamente 2700 km e possuem tempo de vida médio de 3 dias (Reboita, 2008).

Na alta troposfera (**Figura 2**), um dos fenômenos atmosféricos que também atuam na AS, é o vórtice ciclônico de Altos Níveis (VCAN), o qual segundo Bandeira (2008) consiste em uma circulação ciclônica fechada, de escala sinótica, cujo núcleo é mais frio que a periferia. Ainda segundo Bandeira (2008) quando observados pelas imagens de satélite, a formação das nuvens têm aspecto similar a de um círculo girando no sentido horário. Na sua periferia há formação de sistemas causadores de chuva e no centro há movimentos de ar descendente, aumentando a pressão e inibindo a formação de nuvens. Os VCANs podem ser de origem subtropical ou tropical, sendo que os tropicais ocorrem nas cercanias do nordeste do Brasil.

Com relação aos sistemas de altos níveis na AS, destacam-se a Alta da Bolívia (AB) e o cavado do nordeste do Brasil (CN), mostrados na **figura 2**, que se configuram no verão e desaparecem no inverno. Além disso, no verão o jato polar e o jato subtropical se fundem em apenas um jato (Gallego et al., 2005).



**Figura 2** Esquema dos sistemas atmosféricos da alta troposfera atuantes na AS (adaptado de Reboita et al. 2010), onde **1** representa o cavado do nordeste do Brasil, **2** o vórtice ciclônico de altos níveis (VCAN) tropical, **3** a alta da Bolívia (AB), **4** o vórtice ciclônico de altos níveis (VCAN) subtropical, **5** o vórtice ciclônico de altos níveis (VCAN) extratropical, **6** o jato subtropical, **7** a região de bloqueios atmosféricos e **8** o jato polar.

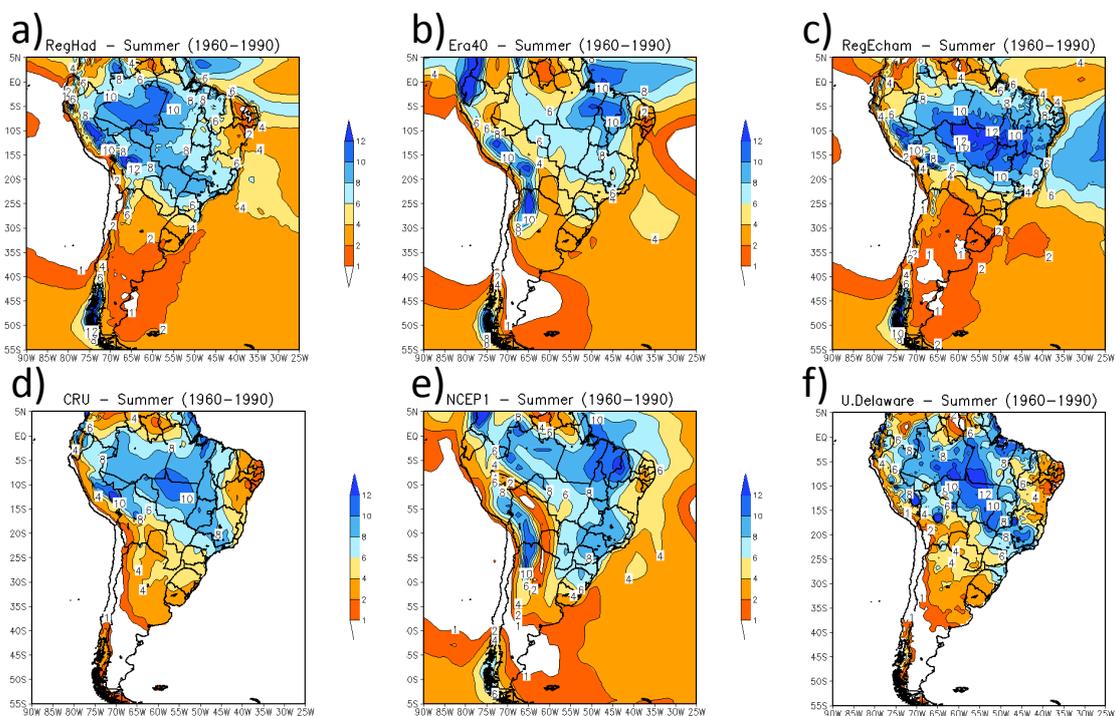
A AB é um sistema tropical de circulação anticiclônica, em altos níveis, posicionada sobre o platô boliviano (Santos, 2012), com sua máxima intensidade nos meses de dezembro a fevereiro (Cavalcanti et al., 2009). Sua formação se deve à intensa atividade convectiva sobre a Amazônia, a convergência de vapor d'água em baixos níveis e a liberação de calor latente em altos níveis (Santos, 2012), os quais ajudam a sustentar o desenvolvimento vertical ascendente de uma região relativamente quente em altos níveis, que adquire circulação anticiclônica. À leste da AB, por conservação de vorticidade absoluta, é observado o giro ciclônico, sobre a região nordeste do Brasil, caracterizando assim o Cavado do Nordeste (CN- Santos, 2012; Lenters e Cook, 1997).

## 2.2 Climatologia Sazonal da Precipitação na AS

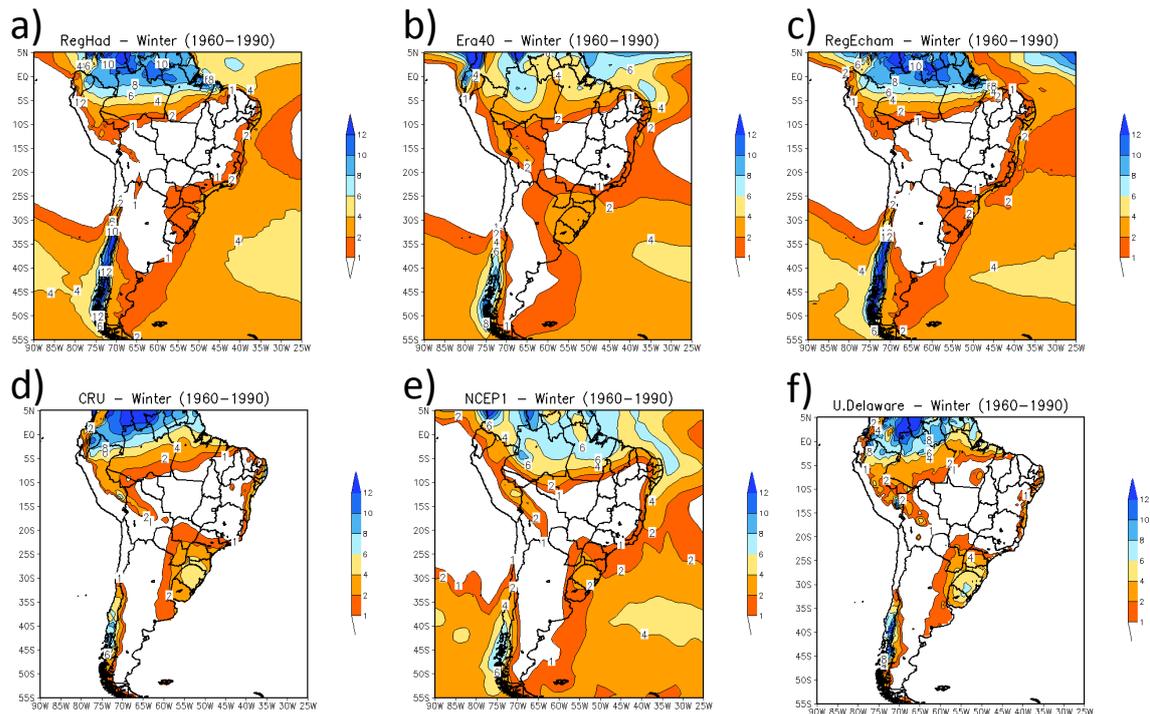
O clima de monção é notável em muitos lugares ao redor o mundo. Tanaka et al. (2004) e Zou e Lau (1998) referem-se à monção como uma reversão nos campos

de precipitação e vento, ou melhor, uma reversão sazonal na circulação de grande escala governada pelo aquecimento diferencial entre continentes e oceanos. A climatologia ilustrada pelas **figuras 3 e 4** da precipitação sazonal na AS, mostra que chove mais no verão e menos no inverno e esta combinação é uma característica de monção. Uma vez que, segundo Garcia (2006) a característica dominante dos grandes sistemas de monção é o ciclo anual, e este tem duas fases distintas: a “úmida” e a “seca”. A primeira refere-se à estação chuvosa, durante a qual ventos quentes e úmidos sopram do oceano. A segunda refere-se à outra metade do ano, quando há a reversão dos ventos, os quais trazem ar frio e seco do continente de inverno (Webster et al., 1998). Esta reversão sazonal dos ventos na AS não é vista como em um regime “clássico” como o da monção asiática, porém é evidenciada ao remover a média anual dos ventos em superfície (anomalia), e está associada ao forte aquecimento diabático sobre a região central da AS (Zhou e Lau, 1998).

A fase madura da monção da AS ocorre entre o final de novembro e o final de fevereiro. Neste período, ventos adentram o continente pela sua borda norte e, ao atingirem os Andes, defletem para o sul e sudeste da AS (Gan et al., 2006; Reboita, et al., 2011).



**Figura 3** Precipitação média no verão (mm/dia): a) RegHad, b) ERA-40 c) RegECHAM, d) CRU e) NCEP1 e f) University of Delaware (fonte: Reboita et al. 2012).



**Figura 4** Precipitação média no inverno (mm/dia): a) RegHad, b) ERA-40 c) RegECHAM, d) CRU e) NCEP1 e f) University of Delaware (fonte: Reboita et al. 2012).

Reboita et al. (2012) avaliaram a precipitação simulada sobre a AS, entre 1960 e 1990, em duas simulações em que o *Regional Climate Model – version 3* (RegCM3) foi aninhado às saídas dos modelos de circulação geral da atmosfera: *Hadley Centre Coupled Model* e modelo do *Max Planck Institute for Meteorology*. As simulações foram denominadas de RegHad e RegECHAM, respectivamente. E foram avaliada através de comparações com a da reanálise 1 do *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP1), reanálise ERA-40 do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*, análise da *Climatic Research Unit da University of East Anglia* (CRU) e análise da *University of Delaware*.

Segundo Reboita et al. (2012), a climatologia mostra que o verão (**Figura 3**) é o período de máximo de precipitação sobre a AS. A circulação de verão acompanha a topografia do continente conduzindo ar quente e úmido desde a região amazônica até a bacia do Prata, criando um ambiente propício a geração de complexos convectivos de mesoescala. Parte deste fluxo adquire uma orientação noroeste-sudeste, favorecendo a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que é uma banda de nebulosidade com grande quantidade de umidade no sentido noroeste-sudeste entre a Amazônia e o sudeste do Brasil (Kousky, 1988 apud Reboita, et al.,

2011) e que provoca chuvas por onde se localiza. Reboita et al. (2011), diz que uma das principais características do verão na AS é a ZCAS (a qual pode ser observada na **figura 3**).

Já no inverno (**Figura 4**), a precipitação atinge seu mínimo em quase toda a AS, exceto no extremo sul do Brasil onde os valores de precipitação são similares aos do verão e no extremo norte da região de estudo (Reboita et al. 2012).

### **2.3 Ciclo diurno da precipitação na AS**

Yang e Smith (2006) chegaram a uma conclusão geral de que, nos trópicos, a precipitação apresenta um máximo típico no final da tarde sobre o continente, enquanto que sobre o continente costeiro a precipitação máxima ocorre durante a noite. Entretanto, Kousky (1980) acrescenta que características regionais, tal como topografia e circulação do tipo brisa marítima e terrestre modulam variabilidade diurna da precipitação.

Da Rocha et al. (2009) realizaram um estudo sobre o ciclo diurno de precipitação no verão sobre a AS utilizando o *Regional Climate Model version 3* (RegCM3). Este estudo mostrou fortes semelhanças entre as simulações e observações, sobre a região da ZCAS em regiões tropicais e subtropicais, mostraram uma precipitação máxima à tarde (15-18 UTC) e uma mínima de manhã (09-12 UTC). A precipitação da costa do nordeste brasileiro (parte da região tropical) principalmente nos meses de março a maio é devido à atuação de linhas de instabilidade que se formam ao longo da costa quase todas as tardes, trazidas por circulação de brisa. Estas linhas acompanham a migração da ZCIT, que neste período está entre 2° S e 4° N (Figueroa e Nobre, 1990 apud Dewes, 2007).

Da Rocha et al. (2009) ainda mostraram que a chuva simulada na região tropical e subtropical da AS em comparação com os dados do *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM-PR) superestimou as taxas de precipitação convectiva durante o dia e o oposto obteve-se durante a noite. Ainda, o RegCM3 superestimou a precipitação em algumas áreas próximas à Cordilheira dos Andes, onde a tendência de aumento de chuvas no final da tarde e a noite foram, provavelmente, devido à topografia íngreme. Perto da topografia acidentada dos Andes, o aquecimento diurno induz uma circulação montanha-vale, intensifica a convergência dos ventos alísios da Amazônia aos Andes, e intensifica chuvas durante o dia em

seu lado leste. O RegCM3 simula melhor as chuvas noturnas no lado leste dos Andes (da Rocha, 2009).

Silva (2013) estudou o ciclo diurno e semidiário de precipitação na costa norte do Brasil (região tropical) e diz que localidades ao longo da costa apresentaram o máximo de precipitação durante a noite, devido aos efeitos de brisa marítima, que se reflete em convergência na Camada Limite Atmosférica. Para o quadrimestre de janeiro a abril constata-se que a atividade convectiva é iniciada ao longo da costa às 12 UTC, sendo mais intensa na área entre a Ilha do Marajó e o estado do Amapá. No horário das 15 UTC, a precipitação continua confinada a essas áreas, apresentando taxas máximas entre 0,8 e 1,0 mm.h<sup>-1</sup>. Às 18 UTC é estabelecida uma linha de precipitação ao longo de toda a costa, essa linha de precipitação desloca-se continente adentro a partir das 21 UTC, provavelmente neste horário ocorra um acoplamento com a mesma direção e sentido entre a brisa marítima e os ventos alísios de leste.

Silva (2013) ainda conclui que sobre o estado do Amapá, a propagação da precipitação ocorre com maior velocidade em comparação às outras regiões. Às 00 UTC a linha de precipitação perde força sobre o Amapá, porém continua bastante ativa no Nordeste do Pará. Já para o quadrimestre de maio a agosto, Silva (2003) observa que a formação da linha de precipitação ao longo da costa ocorre às 18 UTC. Por fim, no quadrimestre de setembro a dezembro, verifica-se que a linha de precipitação é iniciada às 18 UTC, apresentando intensidade e área de cobertura máxima às 17 UTC. Quanto à precipitação noturna, a região Nordeste do Pará apresenta um núcleo circular com intensidades entre 0,4 e 0,6 mm.h<sup>-1</sup>.

Varone et al. (2012) realizam a análise do ciclo diurno da chuva sobre a região sul do Brasil usando estimativas do satélite TRMM, o qual mostrou que entre o fim da madrugada (09 UTC) e o meio dia local (15 UTC) as faixas com volumes mais significativos se concentram no centro e oeste do Rio Grande do Sul e oeste de Santa Catarina, entre a tarde (18 UTC) e o começo da noite (21 UTC) as bandas de chuva se estendem entre o Norte do Rio Grande do Sul e o Centro-Leste do Paraná, e na madrugada as áreas que apresentam a maior concentração de precipitação são o Litoral Norte Catarinense e o Litoral do Paraná.

Já Silva (2009) estudou a região metropolitana de São Paulo e concluiu que sistemas como convecção isolada e brisa marítima se formam preferencialmente no período da tarde, entre os horários das 16:30 e 21:30 UTC e das 17:30 e 22 UTC,

respectivamente. São sistemas semelhantes caracterizados geralmente por núcleos intensos de precipitação convectiva. A principal diferença entre os sistemas está no sentido de deslocamento e na organização. As linhas de instabilidade atuam associadas ou não a sistemas de maior escala, como frentes frias. Elas atuam em todos os horários com predominância no período entre as 18 e as 20 UTC (Silva et al., 2009).

SCMs tropicais são menores em tamanho com relação aos subtropicais, e suas vidas são apenas de 6 a 9 h, com sua iniciação ocorrendo principalmente no período da tarde e a dissipação nas primeiras horas da manhã, de acordo com o ciclo de radiação. Já os SCMs subtropicais desenvolvem com maior frequência durante eventos dos jatos de baixos níveis da AS na estação quente e frequentemente inicia entre 18 e 00 UTC e mostra uma preferência noturna na Argentina, o que contrasta com uma tendência para um pico durante o dia sobre o Uruguai e sul do Brasil (Salio et al., 2007).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Simulações com o RegCM4**

As simulações com o RegCM4 utilizadas nesse estudo foram obtidas de da Rocha et al. (2013) que as executaram para atender o projeto internacional CORDEX (*Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment*). Esse projeto visa à execução de simulações regionais sobre o globo todo a fim de comparar os resultados com modelos globais e diferentes modelos regionais.

A precipitação na AS foi simulada no clima presente e futuro no domínio que inclui a AS e oceanos adjacentes (Pacífico Sul e Atlântico Sul), com 50 km de resolução horizontal e 18 níveis sigma-pressão. Segundo Giorgi et al. (2012), RegCM4 é uma evolução da sua versão anterior o *Regional Climate Model version 3* (RegCM3), com muitos melhoramentos em vários aspectos da física do modelo. Em comparação com as versões anteriores, RegCM4 inclui novos esquemas de parametrização, modificações significativas de esquemas pré-existentes, novas configurações do modelo, e um grande esforço na atualização de código para tornar o modelo mais limpo, flexível e portátil para diferentes compiladores computacionais.

Para o clima presente, o RegCM4 foi dirigido com a saída do modelo global *Hadley Centre Global Environmental Model, version 2* (HadGEM2) e foram utilizados o esquema *Biosphere- Atmosfere Transfer Scheme* (BATS- Dickinson et al. 1993) para descrever os processos de interação solo-planta-atmosfera e o de convecção de Grell (1993) para a parametrização da convecção, sendo esta simulação chamada de BRegHad. O esquema BATS (Dickinson et al. 1993) considera a presença de vegetação e a interação com o solo nas trocas turbulentas de momento, energia e vapor d'água entre a superfície e atmosfera. O BATS possui uma camada de vegetação, uma de neve e três camadas de solo em diferentes profundidades (Machado, 2008; da Rocha et al., 2009). Já o esquema Grell (1993) representa as nuvens convectivas profundas como uma corrente ascendente e uma descendente que só se misturam com o ar ambiente na base e no topo da nuvem. As correntes ascendentes e descendentes originam-se, respectivamente, nos níveis de máxima e mínima energia estática úmida na coluna vertical. O esquema é ativado quando uma parcela ascendida do nível de origem da corrente ascendente atinge a adiabática úmida (da Rocha et al., 2009; Machado, 2008).

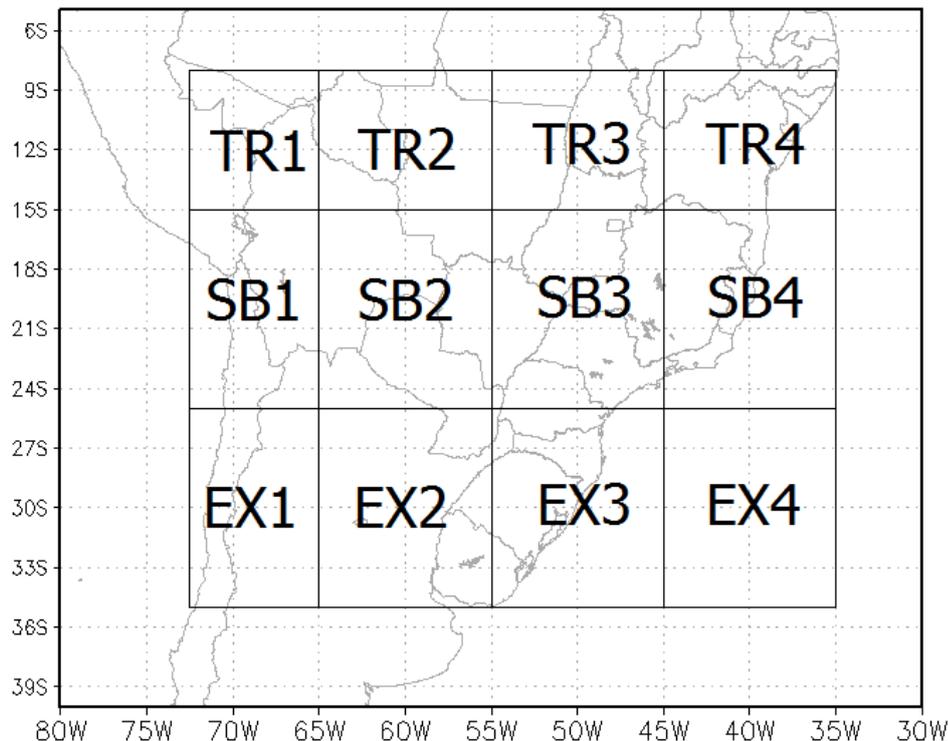
As simulações do RegCM4 para o clima futuro utilizaram as projeções do HadGEM2 no cenário *Representative Concentration Pathway 8.5* (RCP8.5) do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) e foram executadas para dois períodos: 2020-2050 (futuro próximo) e 2070-2098 (futuro distante). O RCP8.5 (Riahi et al. 2011) é caracterizado por um crescimento contínuo das emissões de gases de efeito estufa ao longo do tempo, levando a altos níveis de sua concentração na atmosfera e, portanto, ao aumento de forçante radiativa desse cenário para aproximadamente  $8,5 \text{ W.m}^{-2}$ , até 2100 (Vieira, 2013).

### **3.2 Análises**

A simulação do clima presente foi validada através de comparação com dados do *Global Satellite Mapping of Precipitation* (GSMaP). O GSMaP corresponde a dados de precipitação global de alta precisão e resolução ( $0,25^\circ$ ) obtidos a partir de técnicas de sensoriamento remoto da atmosfera (disponível na página: [ftp://hokusai.eorc.jaxa.jp/pub/gsmmap\\_crest/MWR/hourly/](ftp://hokusai.eorc.jaxa.jp/pub/gsmmap_crest/MWR/hourly/)).

De início, foram preparados mapas sazonais do padrão espacial horário (de 3 em 3 horas) da precipitação para o Brasil com os dados do GSMaP para o clima presente (2003 a 2006), para conhecer um pouco sobre o regime diário da

precipitação na região em estudo. Em seguida, foram feitos gráficos anuais e sazonais da precipitação diurna. As estações do ano compreenderam: verão (dezembro, janeiro e fevereiro- DFJ), outono (março, abril e maio- MAM), inverno (junho, julho e agosto- JJA) e primavera (setembro, outubro e novembro- SON), para doze diferentes setores da AS, representados na **Figura 5**. Os ciclos diurnos foram determinados com acumulados de 3 em 3 horas, por exemplo, o dado da 0 UTC equivale ao acumulado das 21, 22 e 23 UTC, o das 3 horas equivale ao das 0, 1 e 2 UTC e assim sucessivamente.



**Figura 5** Setores utilizados para analisar as simulações do RegCM4, sendo TR o setor tropical, SB o subtropical e EX o extratropical. Adaptado de da Rocha et al. (2009).

Os doze setores em estudo para o ciclo diurno, são os mesmos utilizados por da Rocha et al. (2009), sendo quatro setores tropicais (TR1, TR2, TR3, TR4), quatro subtropicais (SB1, SB2, SB3, SB4) e quatro extratropicais (EX1, EX2, EX3, EX4), definidos na **tabela 1**.

**Tabela 1** – Localização dos setores utilizados neste estudo.

<b>TROPICAL</b>	<b>SUBTROPICAL</b>	<b>EXTRATROPICAL</b>
<b>TR1-</b> Longitude de 72.5° W a 65° W Latitude de 15° S a 08° S	<b>SB1-</b> Longitude de 72.5° W a 65° W Latitude de 25° S a 15° S	<b>EX1-</b> Longitude de 72.5° W a 65° W Latitude de 35° S a 25° S
<b>TR2-</b> Longitude de 65° W a 55° W Latitude de 15° S a 08° S	<b>SB2-</b> Longitude de 65° W a 55° W Latitude de 25° S a 15° S	<b>EX2-</b> Longitude de 65° W a 55° W Latitude de 35° S a 25° S
<b>TR3-</b> Longitude de 55° W a 45° W Latitude de 15° S a 08° S	<b>SB3-</b> Longitude de 55° W a 45° W Latitude de 25° S a 15° S	<b>EX3-</b> Longitude de 55° W a 45° W Latitude de 35° S a 25° S
<b>TR4-</b> Longitude de 45° W a 35° W Latitude de 15° S a 08° S	<b>SB4-</b> Longitude de 45° W a 35° W Latitude de 25° S a 15° S	<b>EX4-</b> Longitude de 45° W a 35° W Latitude de 35° S a 25° S

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Ciclo diurno da precipitação representado pelo GSMaP

De acordo com Silva (2013) e Yang e Smith (2006) um aspecto geral sobre o ciclo de precipitação é que sobre áreas continentais o máximo de precipitação ocorre entre meio dia e o final da tarde, resultado também encontrado neste trabalho.

A **figura 6** mostra o padrão espacial horário da precipitação no verão que é a estação do ano mais chuvosa na AS (**Figura 6**). Nesta estação, a precipitação se estende numa banda noroeste-sudeste entre a Amazônia e a região sudeste do Brasil e oceano Atlântico Sudoeste o que caracteriza a ZCAS (Kodama, 1992). A alta variabilidade sazonal de precipitação caracterizada por um período muito chuvoso e outro seco é uma das características do sistema de monção (Ramage, 1971). Na região amazônica os principais mecanismos de precipitação são devidos à convecção diurna, linhas de instabilidade e aglomerados convectivos associados à penetração de sistemas frontais vindos de Sul/Sudeste (Molion, 1987).

Segundo Silva et. al. (2009) as frentes frias atuam em todos os meses do ano, porém são mais convectivas no verão do que no inverno, quando se deslocam com maior velocidade e extensão de chuva estratiforme. Em alguns casos, no verão, estas zonas baroclínicas se tornam estacionárias e recebem aporte de umidade oriundo da região Amazônica que evoluem para ZCAS e, desta forma, produzem bandas de precipitação intensas. Garreaud e Wallace (1997) mencionam que há quatro bandas de nebulosidade convectiva na AS, duas bandas paralelas que se

estendem do noroeste ao sudeste do Brasil por mais de 2000 km e cerca de 400 km de largura, e as outras duas, uma ao longo dos Andes subtropicais, e a outra ao longo da costa nordeste do continente. Esta estrutura de quatro faixas é particularmente evidente no final da tarde e início da noite, e podem ser vistas principalmente na **figura 6g**, porém a faixa ao longo dos Andes subtropical é mais bem configurada das 03 às 06 UTC (**figuras 6b e c**). Este padrão de faixas constitui uma característica forte do verão com nebulosidade convectiva sobre a AS.

Analisando o verão (**figura 6**), é notado em Belém, no litoral do Pará, do Maranhão e do Piauí e na região característica da ZCAS que o maior acúmulo da precipitação ocorre das 18 às 00 UTC, chegando a até 20 mm/dia em torno das 18 UTC (**figura 6g**). A precipitação na região da ZCAS nestes horários é devido ao aquecimento diurno. A faixa de acúmulo de precipitação de até 20 mm/dia visto na **figura 6g** em Belém, no litoral do Pará, do Maranhão e do Piauí, que adentra o continente às 21 UTC (**figura 6h**) com um acúmulo de até 18 mm/dia na maior parte da região, provavelmente está associada ao acoplamento da brisa marítima e dos ventos alísios de leste na mesma direção (Silva, 2013). Ressalta-se que esse padrão é mais intensificado no outono (**figura 7**) e não ocorre em todas as estações. O menor acúmulo nos locais citados acima ocorre das 09 às 12 UTC (**figura 6e**).

Na costa do nordeste é observado que o acúmulo da precipitação para cada três horas é sempre pequeno, sendo inferior a 2 mm/dia. Já no sul do país, o máximo da precipitação ocorre das 15 às 18 UTC chegando a até 12 mm/dia em algumas partes da região, já o mínimo ocorre na parte da manhã. Estudos realizados no sul do Brasil e São Paulo têm mostrado que o verão está dominado por sistemas convectivos oriundos do deslocamento da ZCIT, mais para o sul da linha do Equador, intensificando a ZCAS e originando chuvas intensas no sul do Brasil, além de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro (Nery e Vargas, 1996). Em parte de São Paulo e Minas Gerais é comum à ocorrência de chuvas do tipo orográfica, as quais se formam em virtude do relevo circundante das serras do Mar (litoral) e da Mantiqueira (interior), que força o ar a se elevar, perdendo temperatura e condensando o vapor da água, originando assim índices elevados de precipitação.

A precipitação do verão no oeste do Peru, oeste e sul da Bolívia, norte e centro-leste da Argentina e centro-norte do Paraguai é devido ao intenso aquecimento radiativo da superfície terrestre que favorece o desenvolvimento de convecção. Em algumas partes desta região, há grande atividade convectiva devido

ao efeito do levantamento orográfico do ar úmido (proveniente da bacia Amazônica) no setor leste dos Andes (Reboita et al., 2010), chegando a 20 mm/dia às 06 UTC.

A **figura 7** representa o outono e mostra que das 15 às 18 UTC (**figura 7g**) no litoral do Pará, do Maranhão e do Piauí, a precipitação acumulada supera 20 mm/dia e que nas próximas seis horas (**figuras 7h e 7a**), este mesmo valor de acúmulo ocorre um pouco mais ao sul destes litorais. De 00 as 03 UTC (**figura 7b**), ainda observam-se chuvas com acúmulos maiores do que 10 mm/dia no norte do Pará, e este acúmulo se apresenta em menor quantidade nas próximas 3 horas (**figura 7c**) nesta mesma região. É provável que este evento ocorra devido a um acoplamento da brisa marítima e dos ventos alísios de leste na mesma direção (Silva, 2013). E segundo Oliveira et al. (2013) o período mais chuvoso (inverno) em Belém e Tucuruí está relacionado com o posicionamento da ZCIT mais ao sul da sua climatologia e com a formação de Linhas de Instabilidade.

O período de menor precipitação nas regiões nordeste e sudeste ocorre das 09 às 12 UTC (**figura 7e**), chegando ao máximo de 2 mm/dia neste intervalo de horas. Na costa do nordeste, a tarde, é o período de máximo chegando a até 5 mm/dia em algumas regiões das 18 UTC à 21 UTC. Esta precipitação é devido à atuação de linhas de instabilidade que se formam ao longo da costa quase todas as tardes, trazidas por circulação de brisa. Estas linhas acompanham a migração da ZCIT, que neste período está entre 2° S e 4° N (Figuroa e Nobre, 1990 apud Dewes, 2007).

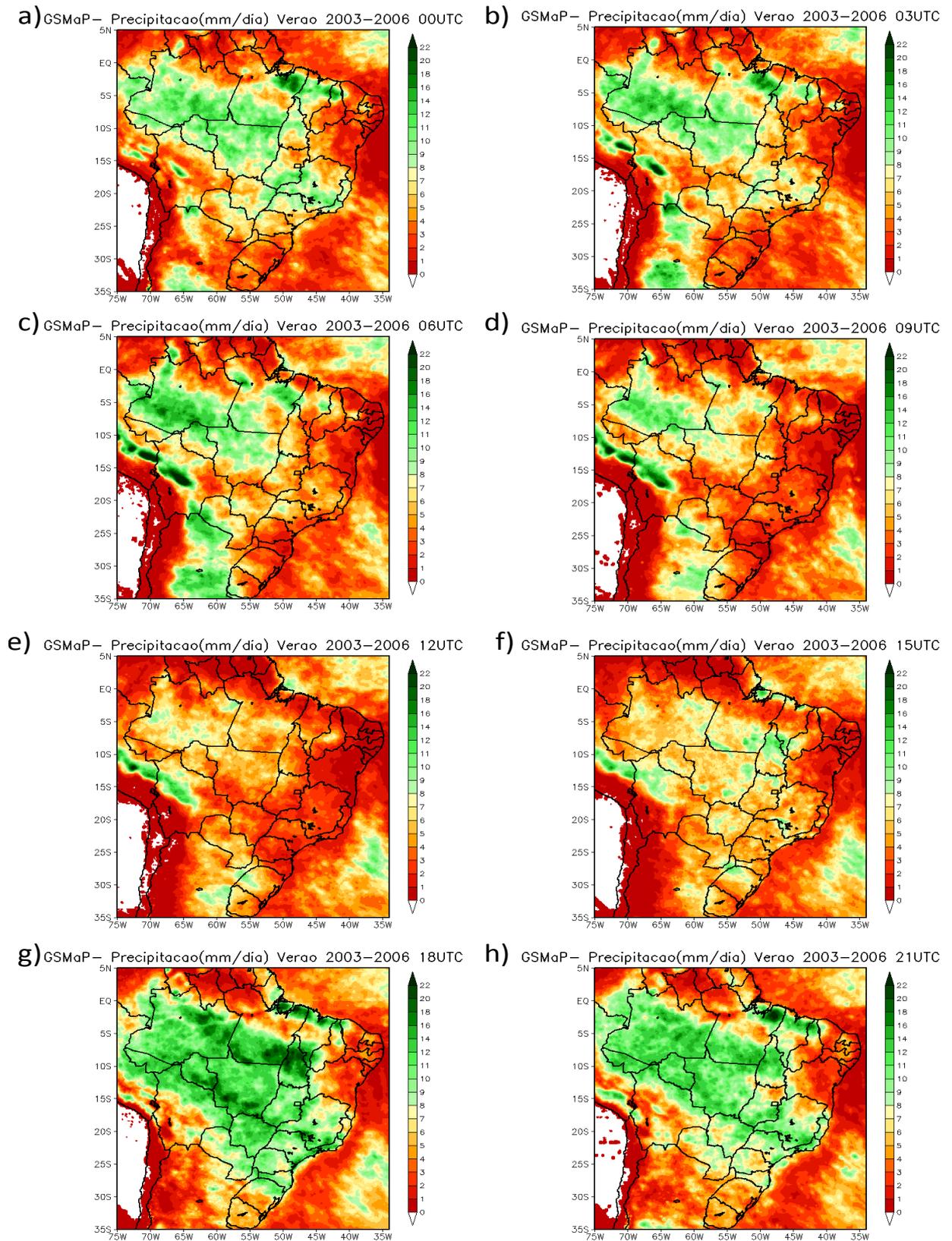
No inverno (**figura 8**), pode se observar que a precipitação não ultrapassa em nenhum horário do dia no Brasil os 10 mm/dia. No centro da região nordeste existe regiões onde não há a ocorrência de precipitação durante todo o inverno. No norte da região norte do Brasil o acumulado tanto do final da tarde (**figura 8g**) quanto do início da noite (**figura 8h**) chegam a até 10 mm/dia e estes são os horários de maior ocorrência da precipitação. Já no sul do Brasil, a maior ocorrência da precipitação ocorre das 09 às 12 UTC (**figura 8e**) chegando neste período a 8 mm/dia. Com exceção das regiões citadas acima, no restante do Brasil, a precipitação não ultrapassa 1 mm/dia no acumulado de cada 3 horas.

Já a primavera (**figura 9**) mostra que a precipitação aumenta um pouco se comparada com o inverno (**figura 8**), e que das 15 às 18 UTC (**figura 9g**) é o período do dia com maior acúmulo de precipitação na região norte e centro-oeste do Brasil indo de 6 a até 20 mm/dia em algumas localidades. Das 18 às 21 UTC (**figura**

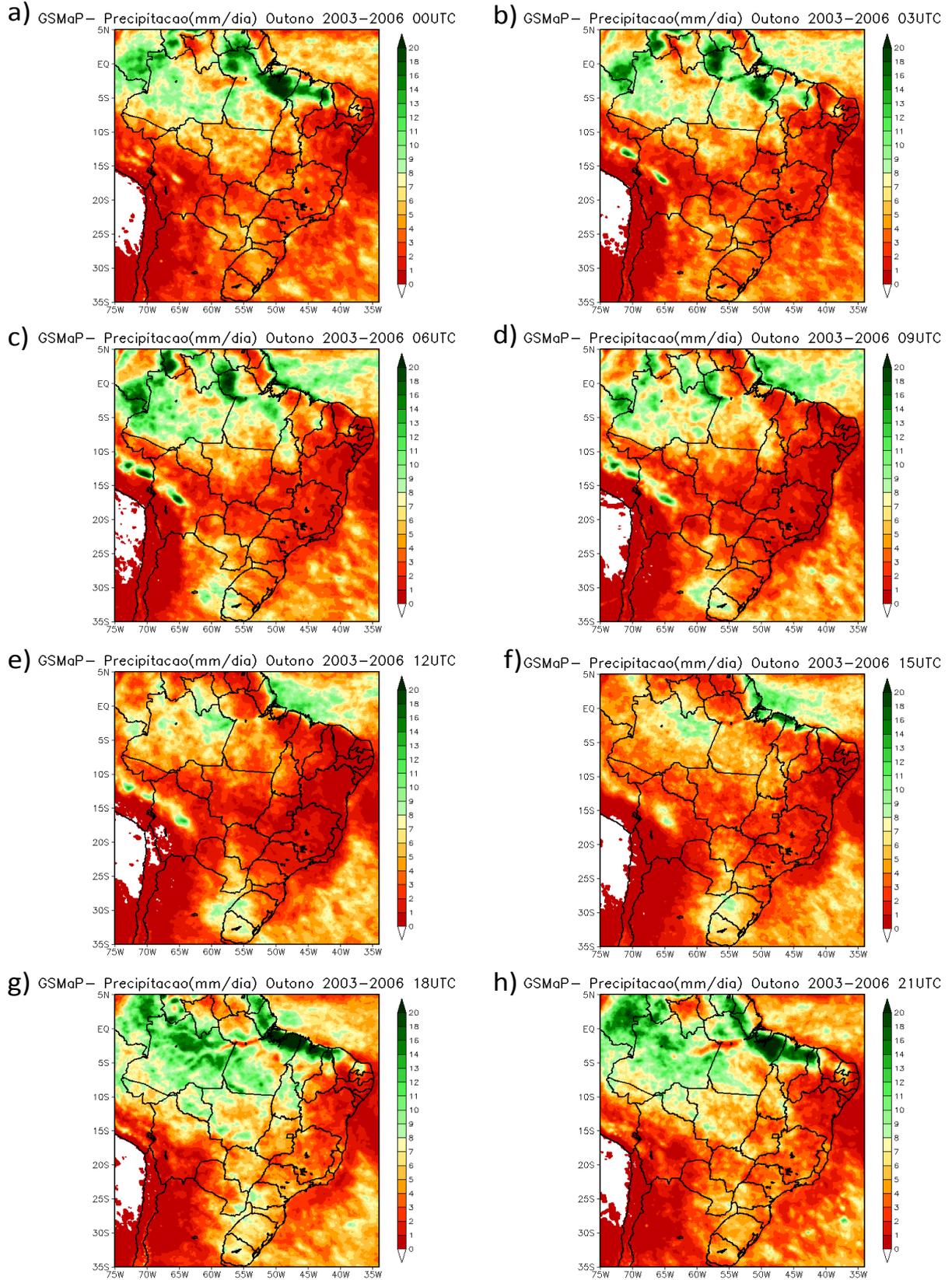
**9h)** a precipitação ainda continua alta nestas regiões, porém com acúmulos inferiores aos das 3 horas anteriores (**figura 9g**). No sul do Brasil, o maior acúmulo ocorre das 09 às 12 UTC (**figura 9e**). No litoral nordeste da região nordeste, praticamente não ocorre precipitação durante a maior parte do dia na primavera, onde seu acúmulo máximo pode chegar a apenas 1 mm/dia das 15 às 18 UTC (**figura 9g**).

Salio (2007) diz que uma série de trabalhos tem demonstrado um jato de norte (JBN), localizado a leste da Cordilheira dos Andes, é o responsável pelo transporte significativo de umidade e calor para a região sudeste da AS, e este fluxo norte está presente ao longo do ano e mostra máxima intensidade durante a primavera, gerando os SCMs, o que propicia a precipitação nesta época do ano.

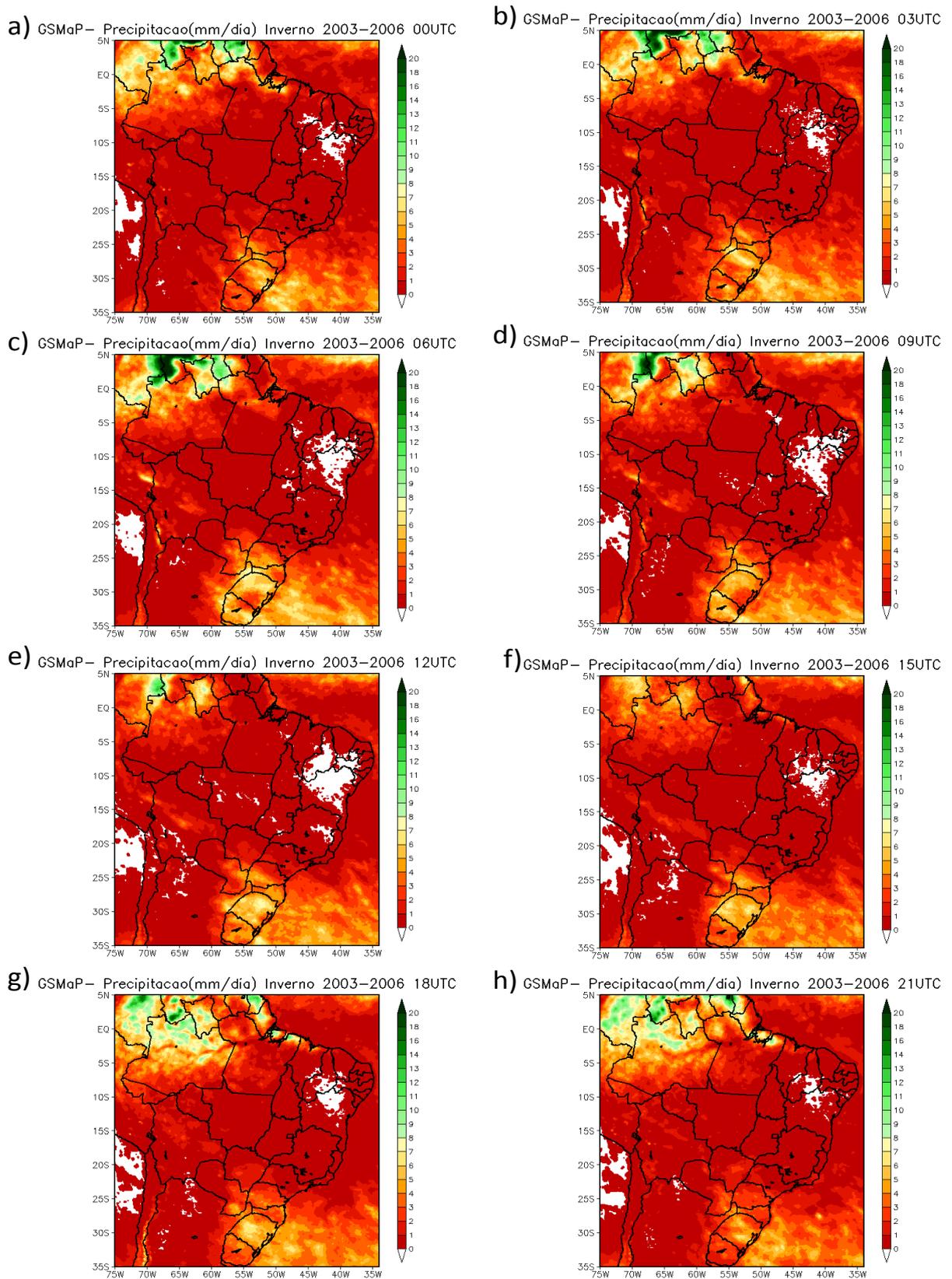
No período noturno (**figuras 6b, c e d**) são pronunciados máximos de precipitação (de 9 a 12 mm/dia) na Argentina, causados por SCMs subtropicais, e em contraste, uma tendência para um pico durante o dia (de 8 a 10 mm/dia) sobre o Uruguai e sul do Brasil (**figuras 6e, f e g**). Este resultado concorda com Salio et al. (2007).



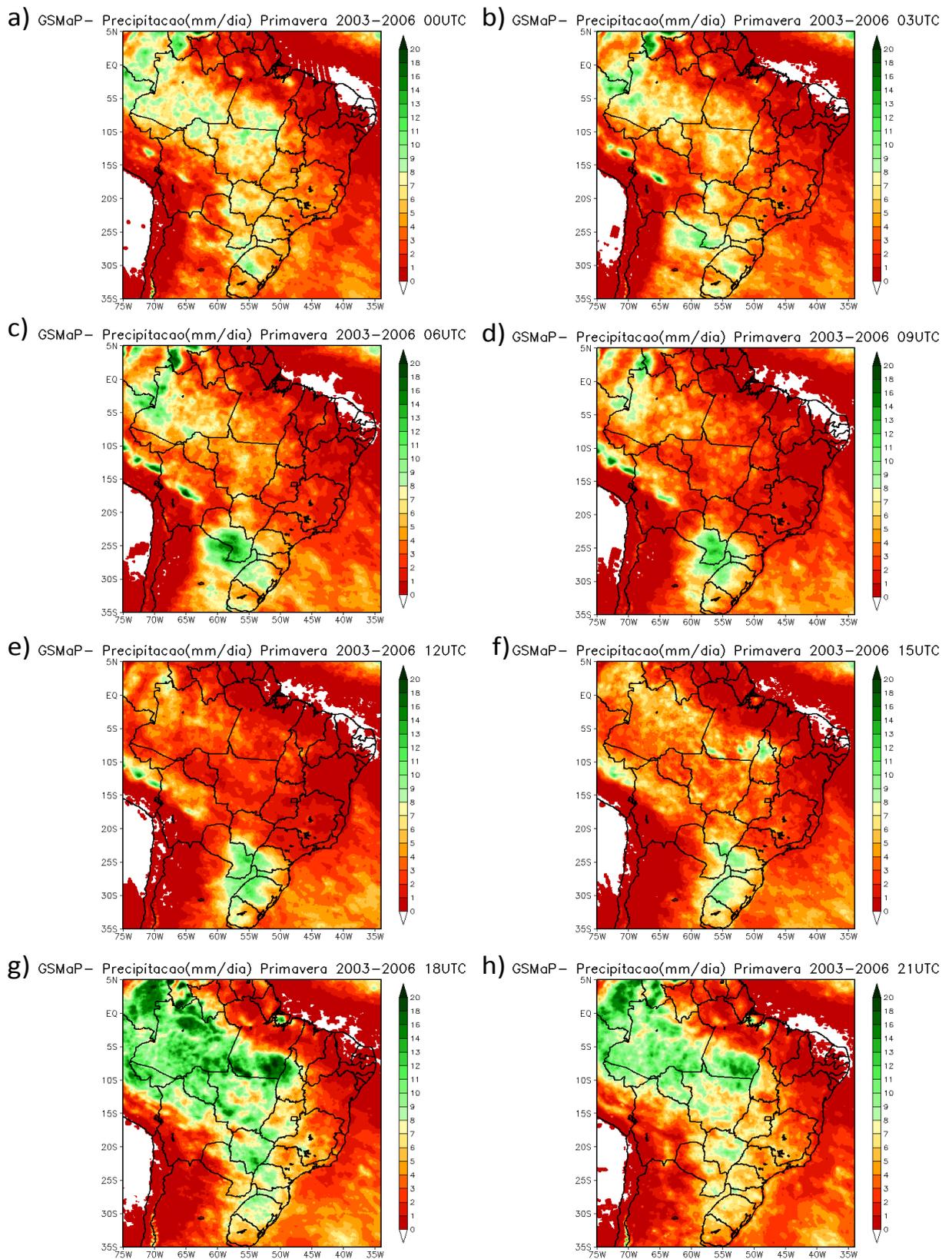
**Figura 6** Padrão espacial da precipitação média (mm/dia) para o verão do período de 2003-2006 com dados do GSMaP para acúmulo de cada 3 horas. a) 00 UTC, b) 03 UTC, c) 06 UTC, d) 09 UTC, e) 12 UTC, f) 15 UTC, g) 18 UTC e h) 21 UTC.



**Figura 7** Padrão espacial da precipitação média (mm/dia) para o outono do período de 2003-2006 com dados do GSMaP para acúmulo de cada 3 horas. a) 00 UTC, b) 03 UTC, c) 06 UTC, d) 09 UTC, e) 12 UTC, f) 15 UTC, g) 18 UTC e h) 21 UTC.



**Figura 8** Padrão espacial da precipitação média (mm/dia) para o inverno do período de 2003-2006 com dados do GSMaP para acúmulo de cada 3 horas. a) 00 UTC, b) 03 UTC, c) 06 UTC, d) 09 UTC, e) 12 UTC, f) 15 UTC, g) 18 UTC e h) 21 UTC.



**Figura 9** Padrão espacial da precipitação média (mm/dia) para a primavera do período de 2003-2006 com dados do GSMaP para acúmulo de cada 3 horas. a) 00 UTC, b) 03 UTC, c) 06 UTC, d) 09 UTC, e) 12 UTC, f) 15 UTC, g) 18 UTC e h) 21 UTC.

## 4.2 Ciclo diurno da precipitação: clima presente e futuro

Neste tópico, será analisado o ciclo diurno da precipitação média para as quatro estações do ano nas doze regiões em estudo, onde serão comparados os dados do GSMaP de 2003-2006 (presente), com o BRegHad de 1998-2005 (presente), o BRegHad de 2020-2050 (futuro próximo) e o BRegHad de 2070-2098 (futuro distante). O período de dados usado no GSMaP, embora diferente do BRegHad, não influencia o resultado das comparações uma vez que se está trabalhando com médias. Nestas comparações também é possível verificar se no futuro haverá uma tendência de aumento ou de diminuição da precipitação.

### 4.2.1 Ciclo diurno da precipitação simulada e observada no verão

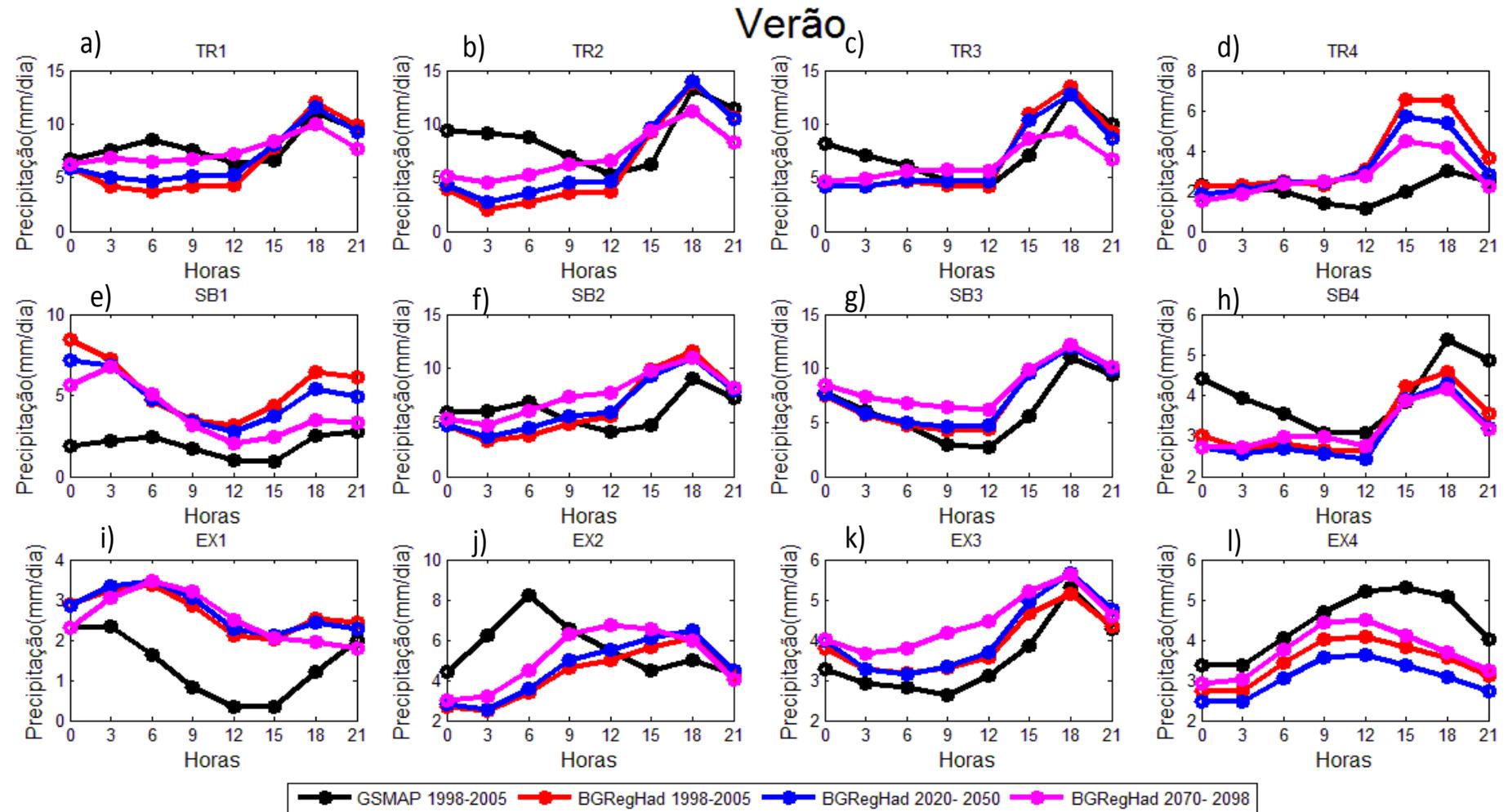
Comparando-se o RegCM4 (linha vermelha- simbolizado por BRegHad) e o GSMaP (linha preta) no clima presente e estação do verão (**Figura 10**) é visto que os setores TR3, SB3 e EX3 são melhores representados. Enquanto que o comportamento do ciclo é bem representado em todos os setores com exceção do setor EX2.

O RegCM4 no presente nem sempre consegue quantificar bem o acúmulo da precipitação comparado ao GSMaP. O máximo de precipitação, tanto no GSMaP quanto no RegCM4, ocorre das 15 às 18 UTC em todos os setores tropicais (**figura 10a, b, c e d**), em 3 setores subtropicais (**figura 10f, g e h**) e em dois extratropicais (**figura 10j e k**). No setor SB1 (**figura 10f**), o GSMaP aponta dois máximos de precipitação durante o dia, um às 06 UTC e o outro às 18 UTC, porém o primeiro máximo do dia no RegCM4 é apontado às 00 UTC para o presente e futuro próximo e às 03 UTC para o futuro distante, sendo o segundo pico de precipitação às 18 UTC em todas as simulações. Nos setores EX1 (**figura 10i**) e EX4 (**figura 10l**) este máximo de precipitação ocorre no período da manhã, no EX1 (**figura 10i**) o GSMaP apresenta o máximo das 21 às 03 UTC, enquanto que o RegCM4 representa este pico apenas às 06 UTC em todas as suas simulações para este setor. Já no setor EX4 (**figura 10l**) o GSMaP mostra o máximo das 12 UTC às 18 UTC e o RegCM4 das 09 às 12 UTC em todos os períodos simulados.

Nos setores TR1 (**figura 10a**), TR2 (**figura 10b**) e TR3 (**figura 10c**), o RegCM4 mostra um leve aumento da precipitação para o futuro das 00 às 12 UTC e uma diminuição das 15 às 21 UTC de 2 mm/dia para o período de 2070-2098. No

setor TR4 (**figura 10d**) a precipitação continua com o mesmo acúmulo das 00 às 12 UTC do período presente, entretanto, sofre uma diminuição das 12 às 21 UTC, o mesmo ocorre com o setor SB1 (**figura 10e**), porém esta diminuição também acontece para o período das 00 às 03 UTC. Já nos setores SB2 (**figura 10f**) e SB3 (**figura 10g**), o acúmulo da precipitação aumenta das 03 às 12 UTC para o futuro distante. No setor SB4 (**figura 10h**), o acúmulo da precipitação praticamente não muda em relação ao período presente, já que mostra uma variação de menos de 0,5 mm/dia para cada horário do gráfico.

No setor EX1 (**figura 10i**) o acúmulo da precipitação chega a diminuir em quase 1 mm/dia no futuro distante para o período das 18 às 00 UTC. Enquanto que ainda para o futuro distante, no setor EX2 (**figura 10j**) há um aumento de até 2 mm/dia a cada 3 horas, das 03 às 15 UTC em comparação com o período presente e no setor EX3 (**figura 10k**) este aumento ocorre das 03 às 18 UTC. E por fim, no setor EX4 (**figura 10l**), o acúmulo de precipitação ocorre uma diminuição para o futuro próximo para todos os horários do dia e um aumento para o futuro distante para o mesmo período.



**Figura 10** Ciclo diurno da precipitação ( $\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$ ) média do verão em horário UTC, para os 12 setores em estudo, onde a linha preta representa o GSMaP para o período de 2003-2006, a linha vermelha o BGRRegHad para 1998-2005, a linha azul o BGRRegHad para 2020-2050 (futuro próximo) e a linha rosa o BGRRegHad para 2070-2098 (futuro distante).

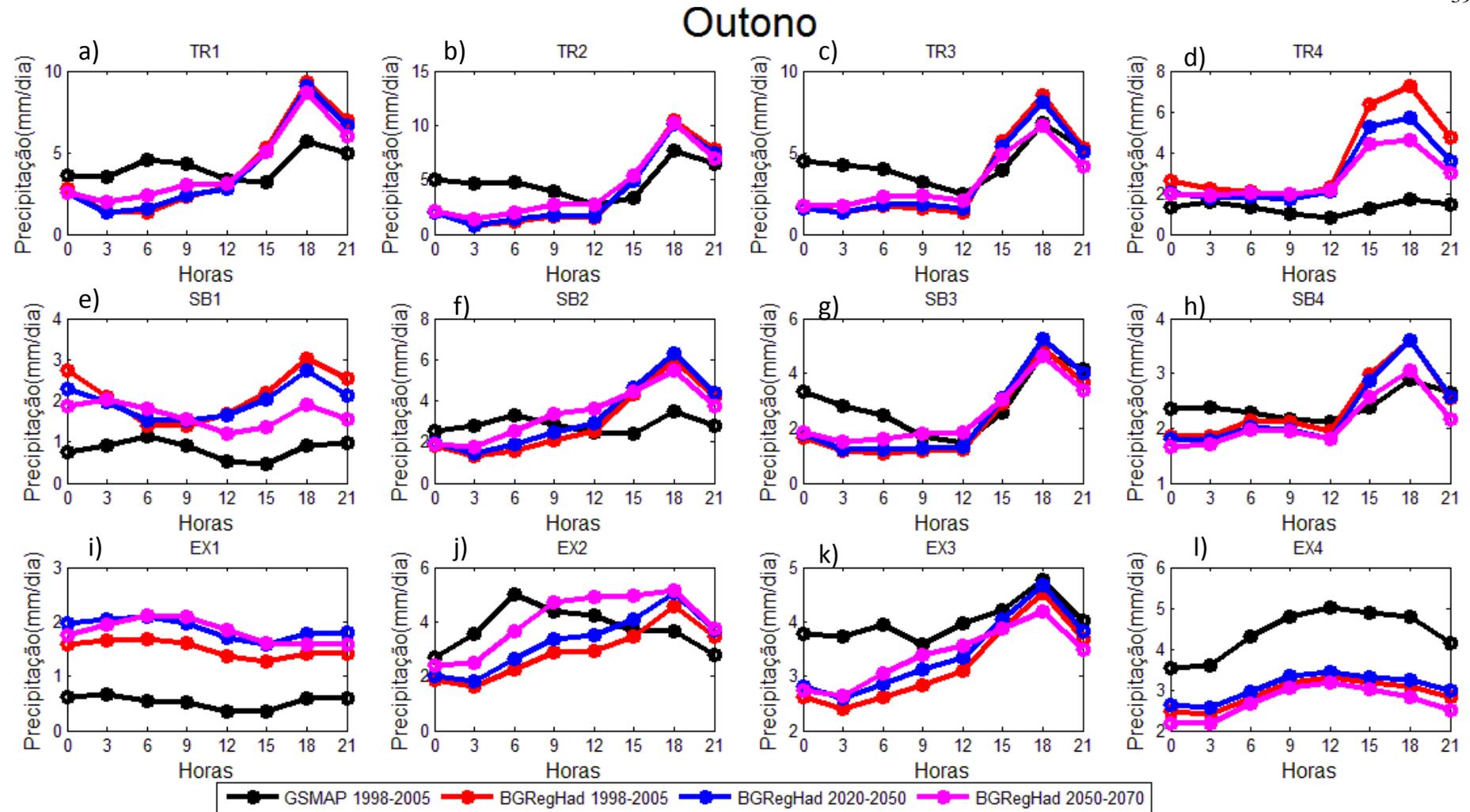
#### 4.2.2 Ciclo diurno da precipitação simulada e observada no outono

Comparando-se o RegCM4 (linha vermelha- simbolizado por BRegHad) com o GSMaP (linha preta) no clima presente e estação do outono (**Figura 11**) é visto que os setores TR2, TR3, SB3, SB4 e EX3 são melhores representados. Enquanto que o comportamento do ciclo é bem representado em todos os setores com exceção do setor EX2.

No clima presente do GSMaP e do RegCM4 é observado que o máximo de precipitação ocorre no final da tarde e início da noite em todos os setores em estudo com exceção do setor EX2 (**figura 11h**) onde o GSMaP apresenta seu máximo às 06 UTC e o RegCM4 às 18 UTC para todos os períodos e do setor EX4 (**figura 11h**) onde o máximo ocorre às 12 UTC tanto para o GSMaP quanto para o RegCM4 em todos os períodos simulados.

Nos setores TR3 (**figura 11c**), TR4 (**figura 11d**), SB4 (**figura 11h**) o acúmulo da precipitação para o futuro distante sofre uma queda das 15 às 21 UTC de quase 2 mm/dia, 2,5 mm/dia e 1 mm/dia, respectivamente, para cada 3 horas se comparados com o RegCM4 do período presente (linha vermelha). No setor SB1(**figura 11e**), o acúmulo da precipitação para o futuro distante será menor que o do período presente em média 1 mm/dia para cada 3 horas. Na SB2 (**figura 11f**) este acúmulo será quase 1 mm/dia maior para o período das 06 às 12 UTC.

Observa-se que para os setores TR1(**figura 11a**), TR2 (**figura 11b**), SB3 (**figura 11g**) e EX4 (**figura 11l**), o ciclo diurno de precipitação no futuro não sofrerá mudanças significativas em relação ao período presente. No setor EX1 (**figura 11i**), a precipitação a cada 3 horas será maior em quase 0,5 mm/dia, durante todo o dia para o futuro. Enquanto que no EX2 (**figura 11j**), este aumento é visto das 03 às 15 UTC, chegando a ser até 2 mm/dia superior ao acúmulo em algumas horas do período presente. Por fim, no setor EX3 (**figura 11k**) este acúmulo será maior em 0,5 mm/dia para o período da manhã e menor em 0,5 das 15 às 18 UTC, comparado ao presente.



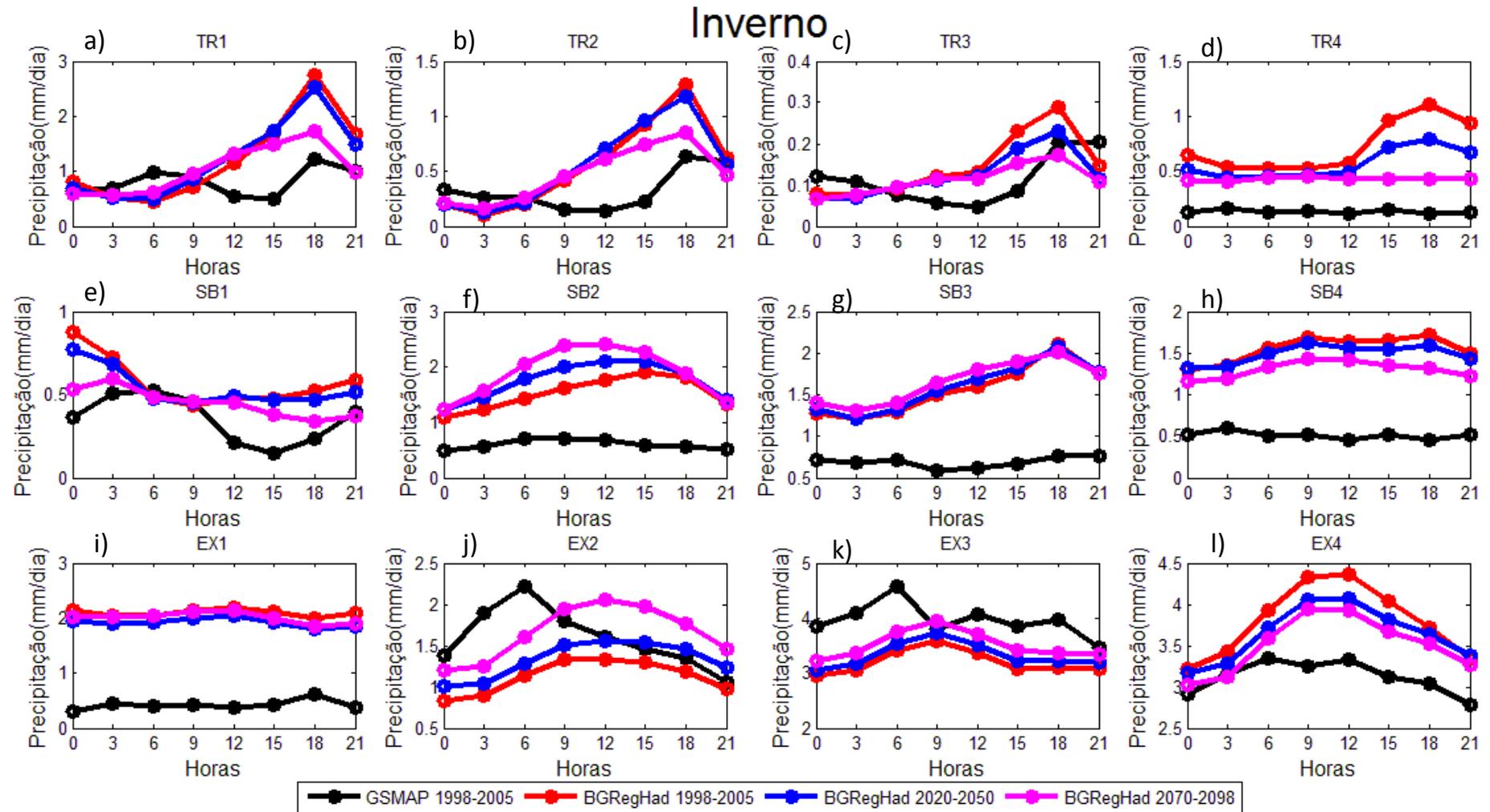
**Figura 11** Ciclo diurno da precipitação ( $\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$ ) média do outono em horário UTC, para os 12 setores em estudo, onde a linha preta representa o GSMaP para o período de 2003-2006, a linha vermelha o BGRRegHad para 1998-2005, a linha azul o BGRRegHad para 2020-2050 (futuro próximo) e a linha rosa o BGRRegHad para 2070-2098 (futuro distante).

### 4.2.3 Ciclo diurno da precipitação simulada e observada no inverno

Comparando-se o RegCM4 (linha vermelha- simbolizado por BRegHad) e o GSMaP (linha preta) no clima presente e estação do inverno (**Figura 12**) é visto que apenas o setor TR3, é melhor representado, tomando o GSMaP como dado real. Enquanto que o comportamento do ciclo é bem representado nos setores TR2, TR3, SB2, SB3, SB4 e EX4.

No GSMaP e no RegCM4, o máximo de precipitação ocorre às 18 UTC nos setores tropicais (**figuras 12a, b, c e d**) e na SB3 (**figura 12g**). Nos setores extratropicais, nos setores EX2 (**figura 12j**), EX3 (**figura 12k**) e EX4 (**figura 12l**) o GSMaP aponta o máximo às 06 UTC, enquanto o RegCM4 mostra a ocorrência deste máximo das 9 às 12 UTC. Já no setor SB1 (**figura 12e**) este máximo ocorre às 06 UTC no GSMaP e às 00 UTC no RegCM4.

Nos setores TR1 (**figura 12a**), TR2 (**figura 12b**) e TR3 (**figura 12c**) aparecem uma diminuição da precipitação das 15 às 21 UTC para o futuro distante, chegando a 1 mm/dia. Os setores TR4 (**figura 12d**), SB4 (**figura 12h**) e EX4 (**figura 12l**) apresentam reduções em seus acúmulos de precipitação durante todo o dia, de até 0,5 mm/dia em algumas horas. SB1 (**figura 12e**) mostra diminuição da precipitação das 15 às 03 UTC, onde o máximo desta diminuição ocorre das 21 às 00 UTC e é equivale ao valor de 0,5 mm/dia. Já os setores EX2 (**figura 12j**) e EX3 (**figura 12k**) apresentam um aumento na precipitação durante todo o dia, enquanto que o SB2 (**figura 12f**), apenas para o período das 3 às 15 UTC. Nos setores SB3 (**figura 12g**) e EX1 (**figura 12i**), a precipitação não apresenta mudança significativa.



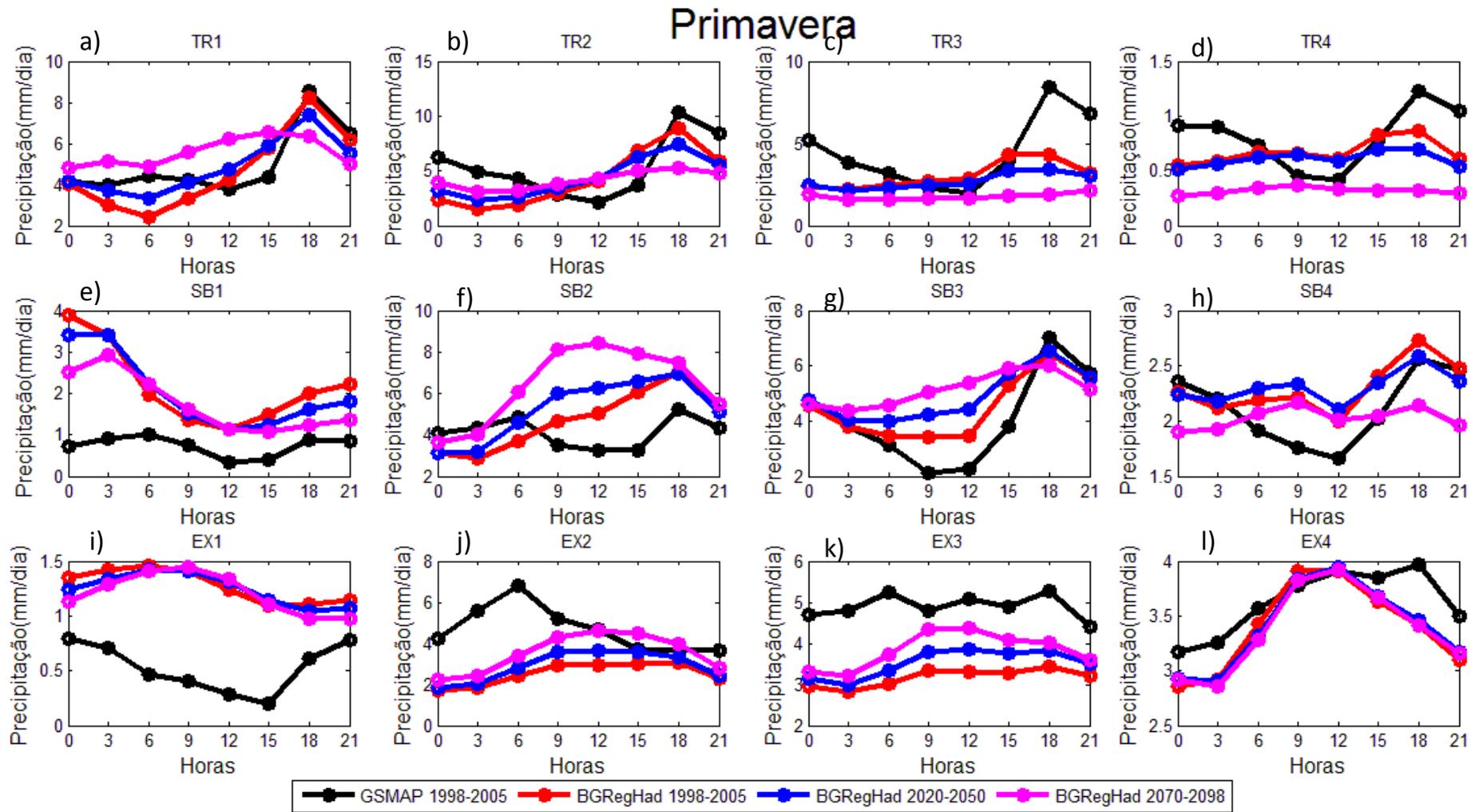
**Figura 12** Ciclo diurno da precipitação ( $\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$ ) média do inverno em horário UTC, para os 12 setores em estudo, onde a linha preta representa o GSMaP para o período de 2003-2006, a linha vermelha o BGRRegHad para 1998-2005, a linha azul o BGRRegHad para 2020-2050 (futuro próximo) e a linha rosa o BGRRegHad para 2070-2098 (futuro distante).

#### 4.2.4 Ciclo diurno da precipitação simulada e observada na primavera

Comparando-se o RegCM4 (linha vermelha- simbolizado por BRegHad) e o GSMaP (linha preta) no clima presente e estação da primavera (**Figura 13**) é visto que os setores TR1 e TR2, são melhores representados. Enquanto que o comportamento do ciclo é bem representado em quase todos os setores com exceção dos setores extratropicais.

Tanto no GSMaP quanto no RegCM4 o máximo de precipitação ocorre no final da tarde nos setores tropicais (**figura 13a, b, c e d**), e subtropicais (**figuras 13f, g e h**), com exceção do setor SB1 (**figura 13e**) onde o GSMaP aponta a ocorrência máxima das 18 às 21 UTC, enquanto que o RegCM4 às 06 UTC. Nos setores extratropicais, o horário de máxima precipitação para o presente se diverge entre o GSMaP e o RegCM4, no setor EX1 (**figura 13i**) o GSMaP aponta o máximo das 21 às 00 UTC, enquanto que o RegCM4 das 06 às 09 UTC, no setor EX2 (**figura 13j**) o pico ocorre no GSMaP às 06 UTC e no RegCM4 é prolongado das 09 às 18 UTC, no setor EX3 (**figura 13k**) o GSMaP apresenta dois picos, um às 06 UTC e o outro às 18 UTC, o RegCM4 concorda apenas com o pico das 18 UTC. Por fim, no setor EX4 (**figura 13l**) o GSMaP aponta o máximo às 18 UTC, enquanto que o RegCM4 das 09 às 12 UTC.

Nos setores TR1 (**figura 13a**), TR2 (**figura 13b**) e SB3 (**figura 13g**) a precipitação no futuro sofre um aumento da 00 às 12 UTC de 2 mm/dia, 1 mm/dia e 2 mm/dia, respectivamente. Estes setores ainda sofrem uma diminuição das 15 às 21 UTC de 1,5 mm/dia, 2 mm/dia e 1mm/dia, respectivamente. Os setores TR3 (**figura 13c**), TR4 (**figura 13d**) e SB4 (**figura 13h**) mostram uma diminuição da precipitação durante todo o dia, principalmente para o futuro distante, porém esta diminuição não excede 1 mm/dia em cada horário. O setor SB1 (**figura 13e**) mostra diminuição da precipitação das 12 às 03 UTC de até 1 mm/dia. É notado também um aumento durante todo o dia nos setores SB2 (**figura 13f**), SB3 (**figura 13g**), EX2 (**figura 13j**) e EX3 (**figura 13k**), sendo que no setor SB2 este aumento é mais significativo para o futuro distante, chegando a até 4 mm/dia das 9 às 12 UTC, período que ocorrerá o máximo de precipitação do dia. Já nos setores EX1(**figura 13i**) e EX4(**figura 13l**), a precipitação praticamente não ocorre variação.



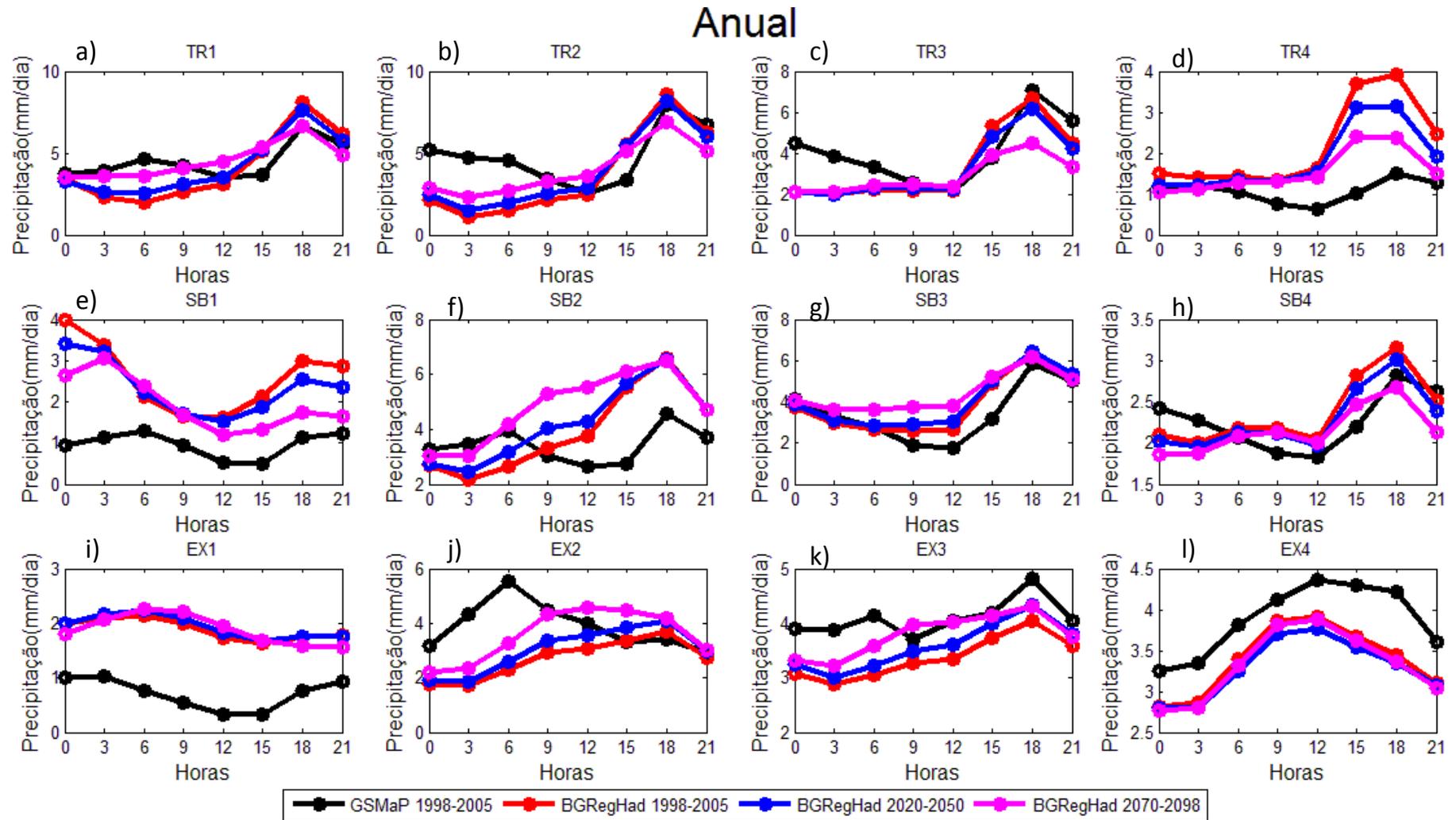
**Figura 13** Ciclo diurno da precipitação ( $\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$ ) média da primavera em horário UTC, para os 12 setores em estudo, onde a linha preta representa o GSMaP para o período de 2003-2006, a linha vermelha o BGRRegHad para 1998-2005, a linha azul o BGRRegHad para 2020-2050 (futuro próximo) e a linha rosa o BGRRegHad para 2070-2098 (futuro distante).

#### 4.2.5 Ciclo diurno da precipitação simulada e observada anual

Comparando-se o RegCM4 (linha vermelha) e o GSMaP (linha preta) no clima presente e anual (**Figura 14**) é visto que os setores TR1, TR2, SB3 e SB4 são melhores representados. Enquanto que o comportamento do ciclo é bem simulado em quase todos os setores com exceção do setor EX2.

Para o GSMaP e o RegCM4 o máximo de precipitação ocorre no final da tarde nos setores tropicais (**figura 14a, b, c e d**), em três dos subtropicais (SB2- **figura 14f**, SB3- **figura 14g** e SB4- **figura 14h**) e no setor extratropical EX3 (**figura 14k**). O setor SB1 (**figura 13e**) mostra que o GSMaP possui dois máximos de precipitação os quais ocorrem às 06 UTC e às 21 UTC enquanto que no RegCM4 ocorre às 00 UTC. No setor EX1 (**figura 14i**) o pico de precipitação é notado das 21 às 03 UTC pelo GSMaP e das 06 às 09 UTC pelo RegCM4, já no setor EX2 (**figura 14j**) o GSMaP indica o máximo às 06 UTC enquanto que o RegCM4 às 18 UTC enquanto que no setor EX4 (**figura 14l**) o máximo ocorre às 12 UTC para o GSMaP e para o RegCM4.

Na média, em geral o aumento ou a diminuição do acumulado em 3 horas de precipitação não ultrapassa 1 mm/dia com exceção do setor TR4 (**figura 14d**) onde a diminuição chega a quase 2 mm/dia das 12 às 18 UTC.



**Figura 14** Ciclo diurno da precipitação média anual em horário UTC, para os 12 setores em estudo, onde a linha preta representa o GSMaP para o período de 2003-2006, a linha vermelha o BGRRegHad para 1998-2005, a linha azul o BGRRegHad para 2020-2050 (futuro próximo) e a linha rosa o BGRRegHad para 2070-2098 (futuro distante).

## 5. CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo avaliar o ciclo diurno de precipitação em 12 subdomínios da AS no clima presente e futuro. Para isto, o modelo de área limitada RegCM4 foi aninhado nas projeções do modelo de circulação global HadGEM2 e foram realizadas três simulações: uma para o clima presente: 1998-2005 e duas para o clima futuro: 2020-2050 e 2070-2098.

No setor mais tropical do domínio ( $15^{\circ}$  S a  $8^{\circ}$  S) o máximo de precipitação ocorre, em geral, às 18 UTC, devido a fatores como brisa marítima e ventos alísios de leste. No setor subtropical ( $25^{\circ}$  S a  $15^{\circ}$  S) a maior acumulação da precipitação também ocorre às 18 UTC, com exceção do leste do setor onde o máximo ocorre às 00 UTC. Já no setor extratropical ( $35^{\circ}$  S a  $25^{\circ}$  S) este máximo ocorre das 09 às 12 UTC com exceção da região sul do Brasil que no verão e outono o máximo ocorre às 18 UTC. Em geral, esse comportamento ocorre em todas as estações do ano.

Notou-se que o RegCM4 nem sempre conseguiu quantificar bem o acúmulo da precipitação dos setores em estudo, quando tomado o GSMaP como dado real, porém conseguiu representar bem o ciclo diurno. A análise do ciclo diurno da precipitação anual (**figura 14**) mostrou que o máximo de precipitação ocorre no final da tarde em quase todos os setores, entretanto o SB1 (**figura 14e**) mostra que seu máximo ocorre no período noturno, EX1 (**figura 14i**) e EX4 (**figura 14l**) no período matutino e EX2 (**figura 14j**) no período da tarde, diferenciando assim, dos demais setores em estudo.

Por fim, conclui-se que para a previsão futura, no período de 2020-2050 a precipitação se mantém bem próxima a do período presente, mostrando maiores diferenças apenas no período de 2070-2098 e na média geral o aumento ou a diminuição do acumulado em 3 horas de precipitação não ultrapassou 1 mm/dia com exceção do setor TR4 (**figura 14d**) onde a diminuição chega a quase 2 mm/dia das 12 às 18 UTC. No setor tropical, até 2098 há tendência de um pequeno aumento da precipitação no período da manhã e uma diminuição a tarde, no subtropical diminuição em todos os horários do dia ao leste e oeste e um aumento no centro do setor das 3 às 12 UTC, já no setor extratropical, a seu leste e oeste, a precipitação continua apresentando o mesmo ciclo enquanto que seu centro apresenta um aumento para todo o dia.

## 6. REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, L. A. Precipitação no sudeste brasileiro e sua relação com a Zona de Convergência do Atlântico Sul. **Revista Agrogeoambiental** v. 4, n. 2, 2012.
- AMBRIZZI, T.; RUTLAND, J.; KAYANO, M.; SILVA DIAS, P. L. South America past climate. In: Environmental changes in South America in the last 10k years: Atlantic and Pacific controls and biogeophysical effects. IAI SGP-078 **Final Scientific Report**. p. 192, 2006.
- BANDEIRA, M. M.; MELO, E. C. S. Atuação do vórtice ciclônico de altos níveis sobre o nordeste do Brasil no mês de janeiro nos anos de 2004 e 2006. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2008. **Anais...** São Paulo: SBMET, 2008.
- BITENCOURT, D. P.; FUENTES, M. V.; CARDOSO, C. S. Climatologia de ciclones explosivos para a área ciclogênica da América do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 1, p. 43-56, 2013.
- CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; DA SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. **Tempo e Clima no Brasil**. [S.l.]: Oficina de Textos, São Paulo, 2009, 463 p.
- COELHO, C. A. S.; AMBRIZZI, T. Determinação dos padrões de precipitação sobre a América do Sul em associação a TSM da Bacia do Pacífico equatorial durante períodos extremos de ENOS através da utilização de técnicas estatísticas multivariadas. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMET, 2000.
- CUSTÓDIO, M. A. M.; HERDIES, D. L.. O jato dos baixos níveis a leste da cordilheira dos andes: um estudo de caso. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 1994, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBMET, 1994.
- CHAVES, R. R. Conexões entre a TSM do Atlântico Sul e a convecção de verão sobre a América do Sul – Análise observacional. **Revista Brasileira de Geofísica**. v. 29, n. 1, p. 5-20, 2011.
- DA ROCHA, R. P.; MORALES, C. A.; CUADRA S. V.; AMBRIZZI, T. Precipitation diurnal cycle and summer climatology assessment over South America: An evaluation of Regional Climate Model version 3 simulations; **Journal of Geophysical Research**, v. 114, p. 1-19, 2009.
- DA ROCHA; REBOITA, M. S.; DUTRA, L. M. M.; LIOPART, M. P.; COPPOLA, E. Interannual variability associated with ENSO: present and future climate projections of RegCM4 for South America-CORDEX domain. **Climate Change**, 2013.
- DA SILVA, I. R. **Variabilidade sazonal e interanual das precipitações na região Sul do Brasil associadas às temperaturas dos oceanos Atlântico e Pacífico**. 2001. 90 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
- DEWES, C. F. **Análise da variabilidade climática de um modelo do clima da América do Sul no presente e em 6 KA AP**. 2007. 104 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Atmosféricas) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.

- DICKINSON, R. E.; HENDERSON-SELLERS, A. AND P. J. KENNEDY. Biosphere-atmosphere transfer scheme (BATS) version 1e as coupled to the NCAR Community Climate Model, **NCAR Technical Note**, NCAR/TN-387, p. 72, 1993.
- DIRO, G. T.; RAUSCHER, S. A.; GIORGI F.; TOMPKINS, A. M. Sensitivity of seasonal climate and diurnal precipitation over Central America to land and sea surface schemes in RegCM4. **Climate Research**, v. 52, p. 31–48, 2012.
- DIAZ A. F.; STUDZINSKI, C. D.; MECHOSO, C. R. Relationships between precipitation anomalies in Uruguay and Southern Brazil and sea surface temperature in the Pacific and Atlantic oceans. **Journal Climate**, v. 11, n. 2, p. 251-171, 1998.
- DO NASCIMENTO, M. G.; HERDIES, D. L.; DE ANGELIS, C. F. Avaliação da precipitação sobre a América do Sul com os dados de reanálise MERRA e NCEP-GFSR. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2010, Belém. **Anais...** Belém: SBMET, 2010.
- GALLEGO, D.; RIBERA, P.; GARCÍA, R.; GIMENO, L.; HERNANDEZ, E. A new look for the Southern Hemisphere jet stream. **Climate Dynamics**, v. 24, p. 607–621, 2005.
- Gan, M. A.; Rao, V. B. and Moscati, M. C. L. South American monsoon indices. **Atmospheric Science Letters**, v. 6, p. 219-223, 2006.
- GARCIA, S. R. **Variabilidade do sistema de monção da América do Sul: Relações com a Oscilação Decadal do Pacífico**. 2006. 142 f. Dissertação de Mestrado (em Meteorologia)- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, Brasil.
- GARCIA, S. R.; KAYANO, M. T. Moisture and heat budgets associated with the South American monsoon system and the Atlantic ITCZ. **International Journal of Climatology**, v. 31, p. 2154-2167, 2011.
- GARREAU, R. D.; AND J. M. WALLACE, The diurnal of convective cloudiness over the Americas, **Monthly Weather Review**, v.125, p.3157 – 31712, 1997.
- GARREAU, R. D.; FALVEY, M. The coastal winds off western subtropical South America in future climate scenarios, **International Journal of Climatology**. v. 29, p. 543-554, 2008.
- GIORGI, F.; COPPOLA, E.; SOLMON, F.; MARIOTTI, L. and others. RegCM4: Model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains. **Climate Research**, v. 52, p. 7- 29, 2012.
- GRELL, G. A. Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterization, **Monthly Weather Review**, v. 121, p. 764-787, 1993.
- GRIMM, A. M.; FERRAZ, S. E. T.; GOMES, J. Precipitation Anomalies in Southern Brazil Associated with El Niño and La Niña. **Journal Climate**, v. 11, p. 2863-2880, 1998.
- GUEDES, R. L. **Condições de grande escala associadas a sistemas convectivos de mesoescala sobre a região central da América do Sul**. 1985. 66 f. Dissertação de Mestrado (em Meteorologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

IPCC. Climate Change. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group 2 to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Houghton, J.T. (Ed.). Cambridge University Press, 2001.

IPCC Climate Change. Summary for policymakers. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007.

IPCC. Climate Change, The Physical Science Basis, Working group 1 contribution to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013.

KODAMA, Y. Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ). Part I: characteristics of subtropical frontal zones. **Journal Meteorology Society Japan**, v.70, p.813-835, 1992.

KOUSKY, V. E. Frontal influences on Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**. v. 107, p. 1140-1153, 1979.

LENTERS, J.; COOK, K. On the origin of the Bolivian High and related circulation features of the South American climate. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 54, p. 656–677, 1997.

MACHADO, R. D. **Avaliação de previsões climáticas sazonais sobre o Brasil e a dependência na parametrização de convecção**. 2008. 121 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Atmosféricas)- Universidade de São Paulo, São Paulo.

MARENGO J. A.; LIEBMANN, B.; GRIMM, A. M.; MISRA, V.; SILVA DIAS, P. L.; CAVALCANTI, I. F. A.; CARVALHO, L. M. V.; BERBERY, E. H.; AMBRIZZI, T.; AMBRIZZI, T.; VERA, C. S.; SAULO, A. C.; NOGUES-PAEGLE, J.; ZIPSER, E.; SETH, A.; ALVES, L. M. Recent developments on the South American monsoon system. **International Journal of Climatology**, v. 131, p. n/a-n/a, 2012.

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

NERY, J. T. & VARGAS, W. M. **Estudio climático de la precipitación del Brasil meridional asociado com fenómeno extrarregionales**. 1996. 140 f. Tese de Doutorado, Universidade de Buenos Aires, Argentina.

OLIVEIRA, A. B.; GOMES, R. R. R. K. A.; DIAS J. L.; COSTA G. B. Variação da precipitação no estado do Pará associada a eventos sinóticos e de mesoescala. Simpósio Internacional de climatologia, 2013. Florianópolis. **Anais...**, Florianópolis: SIC, 2013.

PARMEZANI, J. M.; RIBEIRO G. E.; SOUZA, J. R. S.; GUEDES, R. L.; RAO, V. B. 1998. Associação entre ZCAS e a ocorrência de EL NIÑO e LA NIÑA. Congresso Brasileiro de Meteorologia, 1998, Brasília. **Anais ...**, Brasília: SBMET, 1998.

RAMAGE, C. S. **Monsoon Meteorology**. Academic Press, New York, 296 f., 1971.

REBOITA, M. S.; AMBRIZZI, T. Monitoramento dos ciclones extratropicais no Hemisfério Sul, CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2006. **Anais...** Florianópolis: SBMET, 2006.

REBOITA, M. S. **Ciclones Extratropicais sobre o Atlântico Sul: Simulação Climática e Experimentos de Sensibilidade**. 2008. 359 f. Tese (Doutorado em Meteorologia), Universidade de São Paulo, São Paulo.

- REBOITA, M. S.; AMBRIZZI, T.; DA ROCHA, R. P. Relationship between the Southern Annular Mode and Southern Hemisphere Atmospheric Systems. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 1, p. 48-55, 2009.
- REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; DA ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: Uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010.
- REBOITA, M. S.; KRÜGER, L. F.; DA ROCHA, R. P.; DIAS, C. G.; CUSTÓDIO, M. Validação da precipitação simulada pelo CFSv2, Simpósio Internacional de climatologia, 2011. João Pessoa. **Anais...**, João Pessoa: SIC, 2011.
- REBOITA, M. S.; KRUSCHE, N.; AMBRIZZI, T.; DA ROCHA, R. P. 36 Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul. **Terræ didática**, v.8, n.1, p.34-50, 2012a.
- REBOITA, M. S.; DIAS, C. G.; DA ROCHA, R. P. Validação da precipitação simulada sobre a América do Sul pelo Regional Climate Model (RegCM3) entre 1960-1990, Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2012. Gramado. **Anais...**, Gramado: CBMET, 2012b.
- RIAHI, K.; RAO, S.; KREY, V.; ET AL RCP 8.5- A scenario of comparatively high greenhousegas emissions. **Climatic Change**. v. 109, p. 33–57, 2011.
- RODRIGUES, J. M. **Influência dos modos de variabilidade oceânica no clima da América do Sul durante o holoceno médio**. 2011. 84 f. Dissertação (Pós-graduação em Meteorologia agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- RODRIGUES, M. L. G.; FRANCO, D.; SUGAHARA, S. Climatologia de frentes frias no litoral de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Geofísica** v. 22, n. 2, p. 135-151, 2004.
- ROSEGUINI, W. F. F.; NERY, J. T.; MARTINS, M. L. O. F. Caracterização da precipitação na região noroeste do estado do Paraná, **Boletim de geografia**, v. 19, n. 1, p. 99-114, 2001.
- SACCO, M. L. **Teleconexões atmosféricas e a previsão numérica do clima na América do Sul**. 2010. 120 f. Dissertação de Mestrado (apresentada ao Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas), Universidade de São Paulo, São Paulo.
- SALIO, P.; NICOLINI, M.; ZIPSER, E. J. Sistemas Convectivos de Mesoescala sobre o sudeste da América do Sul e sua relação com o jato de baixo nível sul-americano. **Monthly Weather Review**, v. 135, p. 1290-1309, 2007.
- SANSIGOLO, C. A.; PEREIRA, C. S.; DA SILVA, I. R. Relações entre as precipitações regionais no sul do Brasil e as temperaturas da superfície dos oceanos Atlântico e Pacífico. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, n. 1, p. 5-11, 2004.
- SANTOS, D. C. **Extremos de precipitação na primavera no estado do Rio Grande do Sul**. 2012. 96 f. Dissertação (Mestrado em meteorologia), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- SATYAMURTY P & MATTOS LF. Climatological Lower Tropospheric Frontogenesis in the Midlatitudes Due to Horizontal Deformation and Divergence. **Monthly Weather Review**, v. 117, p. 1355-1364, 1989.
- SILVA, F. D. S.; PEREIRA FILHO, A. J.; HALLAK, R. Classificação de sistemas meteorológicos e comparação da precipitação estimada pelo radar e medida pela

- rede telemétrica na bacia hidrográfica do alto Tietê. **Revista brasileira de meteorologia**. [online], v. 24, n. 3, p. 292-307, 2009.
- SILVA, J. C.; HELDWEIN, A. B.; MARTINS, F. B.; TRENTIN, G.; GRIMM, E. L. Análise de distribuição de chuva para Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, p. 67-72, 2007.
- SILVA, C. M. S. Ciclo diário e semidiário de precipitação na costa norte do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 1, p. 34-42, 2013.
- SILVEIRA, V. P.; FIGUEROA, S. N.; CAVALCANTI, I. F. Estudo do ciclo anual e diurno da precipitação tropical e subtropical usando dados de TRMM. Simpósio Internacional de Climatologia: Mudanças de Clima e Extremos e Avaliação de riscos futuros, planejamento e desenvolvimento sustentável, 2009, Canela. **Anais...**, Canela, SBMET, 2009.
- SINCLAIR, M. R. An Objective Cyclone Climatology for the Southern Hemisphere. **Monthly Weather Review**, v. 122, p. 2239-2256, 1994.
- SUGAHARA, S. Variação Anual da Frequência de Ciclones no Atlântico Sul. Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2000, Rio de Janeiro. **Anais...**, Rio de Janeiro, SBMET, 2000.
- TANAKA, H. L.; ISHIZAKI, N.; KITO, A. Trend and interannual variability of Walker, monsoon and Hadley circulations defined by velocity potential in the upper troposphere. **Tellus**, v. 56A, n. 3, p. 250-269, 2004.
- UCCELLINI, L. W. On the role of upper tropospheric jet streaks and leeside cyclogenesis in the development of low-level jets in the Great Plains, **Monthly Weather Review**. v. 108, p. 1689-1696, 1980.
- VARONE, F.; FERREIRA, S.; ALVES, R. Ciclo diário da chuva na região sul do Brasil utilizando dados de TRMM. IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2012, Recife, **Anais...**, Recife, 2012.
- VIEIRA, S. M. **Avaliação do potencial eólico no Nordeste brasileiro considerando os cenários de mudanças climáticas globais**. 2013. 107 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Físicas Aplicadas), Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza.
- WALLACE J. M. & HOBBS P. V. **Atmospheric Science: An Introductory Survey**. Academic Press, Inc, London, 1977. 467 p.
- WEBSTER, P. J.; MAGAÑA, V. O.; PALMER, T. N.; SHUKLA, J.; TOMAS, R. A.; YANAI, M.; YASUNARI, T. Monsoons: Processes, predictability and the prospects for prediction. **Journal of Geophysical Research**, v. 103, n. c7, p. 14451-14510, 1998.
- YANG, S.; SMITH, E. A. Mechanisms for Diurnal Variability of Global Tropical Rainfall Observed from TRMM. **Journal of Climate**. v. 19, p. 5190-5226, 2006.
- ZHOU J.; LAU, K. M. D. Does a Monsoon Climate Exist over South America?. **Journal of Climate**. v. 11, p. 1020-1040, 1998.