

LUCÍA IRACEMA CHIPPONELLI PINTO

**COMPARAÇÃO DE PRODUTOS DE PRECIPITAÇÃO E
RADIÇÃO SOLAR INCIDENTE PARA A AMÉRICA DO SUL:
DADOS OBSERVADOS E REANÁLISES**

**Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Meteorologia Agrícola,
para obtenção do título de *Magister
Scientiae*.**

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2007**

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

P659c
2007

Pinto, Lucía Iracema Chipponelli, 1980-

Comparação de produtos de precipitação e radiação solar incidente para a América do Sul : dados observados e reanálises / Lucía Iracema Chipponelli Pinto. – Viçosa, MG , 2007.

xviii, 75f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Marcos Heil Costa.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 54-56.

1. Climatologia. 2. Precipitação (Meteorologia) - Probabilidades - Banco de dados. 3. Radiação solar - Banco de dados. 4. América do Sul - Clima .

I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

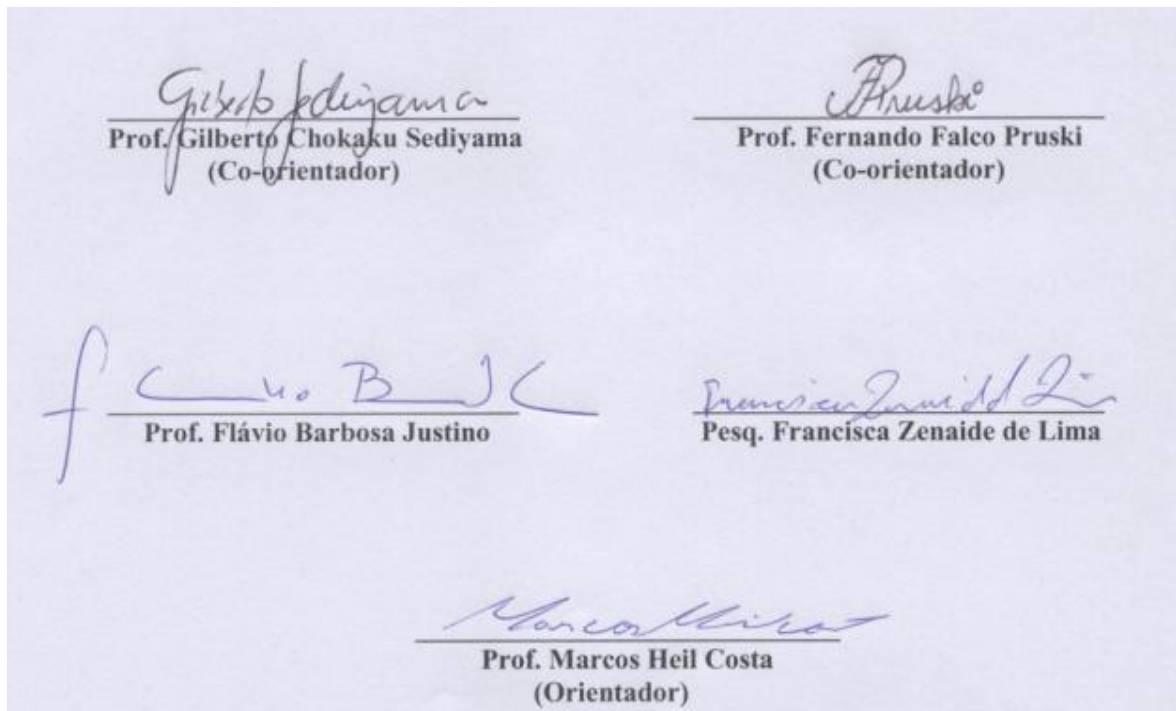
CDD 22.ed. 551.698

LUCÍA IRACEMA CHIPPONELLI PINTO

**COMPARAÇÃO DE PRODUTOS DE PRECIPITAÇÃO E
RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE PARA A AMÉRICA DO SUL:
DADOS OBSERVADOS E REANÁLISES**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como parte
das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Meteorologia Agrícola, para
obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 18 de junho de 2007



A Deus,
por sempre me dar força diante das dificuldades e por ter
conseguido dar mais um passo na caminhada da minha vida.

À minha família,
especialmente aos meus pais e a minha avó Aita (sempre presente), por tudo.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

- a Deus que me deu o dom da vida e entre outras coisas a possibilidade de realizar meus objetivos.

- à minha família (Delfina, Jorge, Cecília, Pablo, Joaquim, Paulinho, Nathalia, Dolores, Emigdio Lazbal, Jissel, Ligia, Márcia, entre outros tantos), que mesmo estando longe, vocês nunca deixaram de me incentivar e de acreditar em mim. Obrigada a todos vocês por tudo!

- ao meu padrinho Luiz Antonio Ribeiro (sempre presente), que me incentivou desde o primeiro dia que decidi vir para Viçosa, seu incentivo foi muito importante, TE AMO!!!

- à Universidade Federal de Viçosa (UFV), pela oportunidade de participar de seu programa de pós-graduação e utilização de suas instalações.

- ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de estudo.

- ao Professor Marcos Heil Costa, pela oportunidade concedida, dedicação, disponibilidade, sugestões, ensinamentos, amizade e colaboração em todas as fases de desenvolvimento deste trabalho.

- aos meus conselheiros professores Gilberto Chohaku Sedyama e Fernando Falco Pruski pela atenção, contribuições e sugestões dadas no desenvolvimento deste trabalho.

- aos professores do curso de Meteorologia Agrícola, pelo conhecimento que me foram passados durante esses anos em que estivemos juntos.

- aos amigos de trabalho Clever, Cristiane, Edson, Gleidson, Hewlley, Kelly, Marcos Paulo, Márcia, Mônica, Silvia, Francisca (pela disposição na correção da tese), Luciana (pela paciência, disposição e boa vontade no ensinamento de noções básicas de

programação), Santiago, Fabrício, Thomé e Varejão, pela amizade formada no grupo de pesquisa e esclarecimento de dúvidas ao longo deste trabalho, irão deixar saudades.

- a todos os meus amigos de Meteorologia Agrícola – UFV, em particular, Rochane, Michelly, Evandro, Leonardo (Coelho), Leonardo (LBA), Zé Luiz, Evaldo, Maria Emília, Thieres, Rosandro, Ranieri, Marcelo pela convivência e momentos de alegrias.

- às amizades feitas em Viçosa-MG que me deram apoio, ânimo e diálogos ao longo destes dois anos, em especial, Sabrina, Regia, Odete, Antonella, Deyse, Fernanda, Alex, Sady, Diogo, Catarina, Jerry e Laine.

- a Jerri Oliveira, pelo carinho, incentivos, palavras acolhedoras, pelos momentos de descontração e risos e pela eterna amizade.

- a todos os meus amigos meteorologistas: Diego, Priscila, Angelica, Francine, Daniel, Paulo, Silvana, Luciane, Cátia (mãe), Felipe, Ianuska, Patrícia, e aos professores de graduação Roseli, Foster, Vilson e Simone.

-a todos que, de alguma forma, colaboraram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

LUCÍA IRACEMA CHIPPONELLI PINTO, filha de Salvador Jorge Chipponelli Mosqueira e Maria Delfina Pinto Gamio, nasceu em 22 de setembro de 1980, na cidade de Montevideú – Uruguai.

Em fevereiro de 2005 concluiu o curso de graduação em Meteorologia pela Universidade Federal de Pelotas (UFPEL).

Em março de 2005 iniciou o curso de pós-graduação, em nível de Mestrado, em Meteorologia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa (UFV).

SUMÁRIO

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
RESUMO.....	xiv
ABSTRACT.....	xvi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. METODOLOGIA.....	9
2.1 Bancos de dados de precipitação.....	9
2.1.1 Dados de reanálise.....	9
2.1.2 Dados de estações de superfície.....	11
2.1.3 Dados combinados: sensoriamento remoto com estações de superfície....	11
2.2 Banco de dados de radiação solar incidente.....	13
2.3 Metodologia de comparação geral.....	14
2.3.1 Análise da variação meridional.....	15
2.3.2 Análise por tipo de vegetação.....	16
2.3.3 Análise por bacia hidrográfica.....	20
2.3.4 Análise estatística para a radiação solar incidente.....	25
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
3.1 Precipitação.....	26
3.1.1 Comparação dos campos médios.....	26
3.1.2 Análise da variação meridional.....	30
3.1.3 Análise por tipo de vegetação.....	32
3.1.4 Análise para as principais bacias hidrográficas.....	36
3.2 Radiação Solar Incidente.....	42
3.2.1 Comparação dos campos médios.....	42
3.2.2 Análise da variação meridional.....	44
3.2.3 Análise por tipo de vegetação.....	45
3.2.4 Análise para as principais bacias hidrográficas.....	48

4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	51
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
Apêndice A.....	56
Apêndice B.....	58
Apêndice C.....	71

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CERES	- Clouds and the Earth's Radiant Energy System
CMAP	- CPC Merged Analysis of Precipitation
CPTEC	- Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
CRU	- Climate Research Unit
DMSP	- Defense Meteorological Satellite Program
DSA	- Divisão de Satélite e Sistemas Ambientais
ECMWF	- European Center for Medium-Range Weather Forecasts
EOS	- Earth Observing System
ERA-40	- ECMWF 40 Years Re-Analysis
IC	- Intervalo de Confiança
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IR	- Infrared
GL1.2	- Modelo GL: Estimativa de Radiação Solar por Satélite
GPCP	- Global Precipitation Climatology Project
GOES	- Geostationary Operational Environmental Satellite
GSFC	- Goddard Space Flight Center
JAXA	- Japan Aerospace Exploration Agency
LC	- Leemans and Cramer, 1990
LIS	- Lightning Imaging Sensor
LW	- Legates and Willmott, 1990
PR	- Precipitation Radar
NASA	- National Aeronautics and Space Administration
NCAR	- National Center for Atmospheric Research

NCEP	- National Centers for Environmental Prediction
NCL	- NCAR Command Language
NOAA	- National Oceanic & Atmospheric Administration
SCM	- Sistemas Convectivos de Mesoescala
SSM/I	- Special Sensor Microwave Imager
TMI	- TRMM Microwave Imager
TRMM	- Tropical Rainfall Measuring Mission
UTC	- Tempo Universal Coordenado
VIRS	- Visible/InfraRed Scanner
ZCAS	- Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	- Zona de Convergência Intertropical
WCRP	- World Climate Research Programme

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 - Informações gerais dos produtos utilizados.	15
Tabela 2 - Médias anuais de precipitação (mm/dia) para os principais tipos de vegetação.	33
Tabela 3 - Médias anuais de precipitação (mm/dia) para as principais bacias hidrográficas da América do Sul.	38
Tabela 4 - Médias anuais para a radiação solar incidente (W/m^2) para os tipos de vegetação.	46
Tabela 5 - Médias anuais para a radiação solar incidente (W/m^2) para as principais bacias hidrográficas	48

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 - Evolução da separação dos dados para a análise por diferentes bandas de latitude: (a) representa a máscara com os dados abrangendo o continente e os oceanos; (b) máscara com os dados abrangendo apenas o continente; e (c) máscara abrangendo apenas uma das bandas de latitude que foi considerada.	16
Figura 2 - Máscara de tipo de vegetação para a América do Sul.	17
Figura 3 - Máscaras com os tipos de vegetação adotados, (a) Floresta Tropical Perene, (b) Floresta Tropical Semi-Decídua, (c) Cerrado, (d) Caatinga e (e) Campos/Pampas.	18
Figura 4 - Máscara das bacias hidrográficas da América do Sul.	21
Figura 5 - Máscaras das principais bacias hidrográficas da América do Sul, (a) Bacia do Rio Amazonas, (b) Bacia do Rio Orinoco, (c) Bacia do Rio Tocantins/Araguaia, (d) Bacia do Rio São Francisco, (e) Bacia do Rio Paraná/Prata e (f) Bacia dos Rios da Patagônia.	22
Figura 6 - Climatologia da precipitação anual (mm/dia) na América do Sul, (a) CPTEC, (b) NCEP/NCAR, (c) ERA-40, (d) CRU, (e) Leemans e Cramer, (f) Legates e Willmott, (g) TRMM, (h) CMAP e (i) GPCP.	27
Figura 7 - Variação meridional da precipitação para a América do Sul.	31
Figura 8 - Médias mensais da precipitação para os principais tipos de vegetação da América do Sul, (a) Floresta Tropical Perene, (b) Floresta Tropical Semi-Decídua, (c) Caatinga, (d) Cerrado e	34

- (e) Pampas/Campos .
- Figura 9 - Médias mensais para as principais bacias hidrográficas da América do Sul, (a) Bacia do Rio Amazonas, (b) Bacia do Rio Orinoco, (c) Bacia do Rio Tocantins/Araguaia, (d) Bacia do Rio São Francisco, (e) Bacia do Rio Paraná/Prata e (f) Bacia dos Rios da Patagônia. 41
- Figura 10 - Climatologia da radiação solar incidente (W/m^2) para a América do Sul, (a) reanálise regional do CPTEC, (b) Algoritmo GL1.2 (GOES), (c) reanálise NCEP/NCAR, e (d) reanálise do ERA-40. 43
- Figura 11 - Variação meridional da radiação solar incidente para a América do Sul, (a) médias para o período de abril a setembro, (b) médias para o período de outubro a março e a área hachurada corresponde ao intervalo de confiança (IC) para a média do produto do algoritmo GL 1.2 (GOES). 45
- Figura 12 - Médias mensais para a radiação solar incidente para os principais tipos de vegetação da América do Sul, (a) Floresta Tropical Perene, (b) Floresta Tropical Semi-Decídua, (c) Caatinga, (d) Cerrado, (e) Pampas/Campos e a área hachurada corresponde ao intervalo de confiança (IC) para o produto GL1.2 (GOES). 47
- Figura 13 - Médias mensais para a radiação solar incidente para as principais bacias hidrográficas da América do Sul, (a) bacia do Rio Amazonas, (b) Bacia do Rio Orinoco, (c) bacia do Rio Tocantins/Araguaia, (d) bacia do Rio São Francisco, (e) bacia do Rio Paraná/Prata, (f) bacia dos Rios da Patagônia e a área hachurada corresponde ao intervalo de confiança (IC) para o produto GL1.2 (GOES). 50
- Figura 14 - Máscara com a classificação de vegetação utilizada, resolução $0,5^\circ \times 0,5^\circ$. 59
- Figura 15 - Máscara com a classificação de vegetação utilizada, resolução 60

- 1,0° x 1,0°.
- Figura 16 - Máscara com a classificação de vegetação utilizada, resolução 2,5° x 2,5°. 60
- Figura 17 - Climatologia da precipitação para o mês de janeiro (mm/dia) na América do Sul, (a) CPTEC, (b) NCEP/NCAR, (c) ERA-40, (d) CRU, (e) Leemans e Cramer, (f) Legates e Willmott, (g) TRMM, (h) CMAP e (i) GPCP. 62
- Figura 18 - Climatologia da precipitação para o mês de fevereiro (mm/dia) na América do Sul, (a) CPTEC, (b) NCEP/NCAR, (c) ERA-40, (d) CRU, (e) Leemans e Cramer, (f) Legates e Willmott, (g) TRMM, (h) CMAP e (i) GPCP. 63
- Figura 19 - Climatologia da precipitação para o mês de março (mm/dia) na América do Sul, (a) CPTEC, (b) NCEP/NCAR, (c) ERA-40, (d) CRU, (e) Leemans e Cramer, (f) Legates e Willmott, (g) TRMM, (h) CMAP e (i) GPCP. 64
- Figura 20 - Climatologia da precipitação para o mês de abril (mm/dia) na América do Sul, (a) CPTEC, (b) NCEP/NCAR, (c) ERA-40, (d) CRU, (e) Leemans e Cramer, (f) Legates e Willmott, (g) TRMM, (h) CMAP e (i) GPCP.. 65
- Figura 21 - Climatologia da precipitação para o mês de maio (mm/dia) na América do Sul, (a) CPTEC, (b) NCEP/NCAR, (c) ERA-40, (d) CRU, (e) Leemans e Cramer, (f) Legates e Willmott, (g) TRMM, (h) CMAP e (i) GPCP. 66
- Figura 22 - Climatologia da precipitação para o mês de junho (mm/dia) na América do Sul, (a) CPTEC, (b) NCEP/NCAR, (c) ERA-40, (d) CRU, (e) Leemans e Cramer, (f) Legates e Willmott, (g) TRMM, (h) CMAP e (i) GPCP. 67
- Figura 23 - Climatologia da precipitação para o mês de julho (mm/dia) na América do Sul, (a) CPTEC, (b) NCEP/NCAR, (c) ERA-40, (d) CRU, (e) Leemans e Cramer, (f) Legates e Willmott, (g) TRMM, (h) CMAP e (i) GPCP. 68
- Figura 24 - Climatologia da precipitação para o mês de agosto (mm/dia) na América do Sul, (a) CPTEC, (b) NCEP/NCAR, (c) ERA-

- 40, (d) CRU, (e) Leemans e Cramer, (f) Legates e Willmott, (g) TRMM, (h) CMAP e (i) GPCP.
- Figura 25 - Climatologia da precipitação para o mês de setembro (mm/dia) na América do Sul, (a) CPTEC, (b) NCEP/NCAR, (c) ERA-40, (d) CRU, (e) Leemans e Cramer, (f) Legates e Willmott, (g) TRMM, (h) CMAP e (i) GPCP. 70
- Figura 26 - Climatologia da precipitação para o mês de outubro (mm/dia) na América do Sul, (a) CPTEC, (b) NCEP/NCAR, (c) ERA-40, (d) CRU, (e) Leemans e Cramer, (f) Legates e Willmott, (g) TRMM, (h) CMAP e (i) GPCP. 71
- Figura 27 - Climatologia da precipitação para o mês de novembro (mm/dia) na América do Sul, (a) CPTEC, (b) NCEP/NCAR, (c) ERA-40, (d) CRU, (e) Leemans e Cramer, (f) Legates e Willmott, (g) TRMM, (h) CMAP e (i) GPCP. 72
- Figura 28 - Climatologia da precipitação para o mês de dezembro (mm/dia) na América do Sul, (a) CPTEC, (b) NCEP/NCAR, (c) ERA-40, (d) CRU, (e) Leemans e Cramer, (f) Legates e Willmott, (g) TRMM, (h) CMAP e (i) GPCP. 73
- Figura 29 - Climatologia da radiação solar incidente para os meses de janeiro, fevereiro, março e abril (W/m^2) na América do Sul. 75
- Figura 30 - Climatologia da radiação solar incidente para os meses de maio, junho, julho e agosto (W/m^2) na América do Sul. 76
- Figura 31 - Climatologia da radiação solar incidente para os meses de setembro, outubro, novembro e dezembro (W/m^2) na América do Sul. 77

RESUMO

PINTO, Lucía Iracema Chipponelli, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2007. **Comparação de produtos de precipitação e radiação solar incidente para a América do Sul: dados observados e reanálises.** Orientador: Marcos Heil Costa. Co-orientadores: Fernando Falco Pruski e Gilberto Chohaku Sedyama.

O objetivo deste trabalho é comparar nove bancos de dados de precipitação e quatro de radiação solar incidente para a América do Sul, considerando a variação meridional, a variação por diferentes bacias hidrográficas (Amazonas, Tocantins, São Francisco, Orinoco, Paraná/Prata, além das bacias dos rios da Patagônia) e pelos principais tipos de vegetação (floresta tropical, caatinga, cerrado e pampas). Para a precipitação foram utilizados três produtos provenientes da interpolação de dados observados (CRU; Legates e Willmott; Leemans e Cramer), três da composição de dados observados com sensoriamento remoto (TRMM, CMAP e GPCP) e três bancos de dados de reanálise (NCEP/NCAR, ERA-40 e CPTEC). Para a radiação solar incidente, além dos produtos de reanálise citados acima, também foi comparado o produto gerado pelo algoritmo GL1.2 que produz estimativas da radiação solar incidente a partir do conjunto de imagens do satélite GOES. Os resultados mostram que os campos de precipitação média anual dos diferentes produtos apresentam comportamento diferenciado entre si. Por exemplo, a reanálise do CPTEC não é capaz de representar os principais regimes de precipitação existentes no continente, demonstrando uma forte tendência em superestimar a precipitação no interior do nordeste brasileiro e subestimá-la na maioria das demais regiões. Nos produtos de interpolação de dados observados em superfície, verifica-se uma maior concordância na distribuição dos valores de precipitação média anual, principalmente entre os produtos CRU e Leemans e Cramer, que tendem a representar melhor os regimes de chuvas, como por exemplo, na região do bioma caatinga (nordeste do

Brasil), onde o clima é semi-árido. Os produtos que combinam dados de estações pluviométricas com os de sensoriamento remoto mostram-se com valores bem próximos do esperado, principalmente o CMAP e GPCP. Ambos representam bem a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que é a faixa de valores mais elevados de precipitação que abrange desde o noroeste do continente até o sudeste/sul do Brasil, estendendo-se até o oceano. Para a radiação solar incidente nota-se que os valores médios mensais dos produtos de reanálise do NCEP/NCAR, ERA-40 e as estimativas do satélite GOES se encontram bem próximos para todos os biomas e bacias estudados. Já a reanálise do CPTEC apresentou valores bem mais elevados para a radiação sobre a América do Sul, tanto para a média anual como nas médias mensais analisadas.

ABSTRACT

PINTO, Lucía Iracema Chipponelli, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June of 2007.
Comparison of precipitation and incident solar radiation products for South America: observed data and reanalysis. Adviser: Marcos Heil Costa, Co-Advisers: Fernando Falco Pruski e Gilberto Chohaku Sedyama.

The goal of this study was to compare nine databases of precipitation and four databases of incident solar radiation of the South America, considering the meridional variation, and the variation across the main continental watersheds (Amazonas, Tocantins, São Francisco, Orinoco, Paraná/Prata, in addition to the main Patagônia basins) and across the main vegetation types (tropical evergreen forest, tropical deciduous forest, woodland, savanna and grassland/steppe). For the precipitation assessment, it was used three products derived from the interpolation of the observed data (CRU; Legates and Wilmott; Leemans and Cramer), three databases based on the composition of rain gauges with remote sensing (TRMM, CMAP and GPCP) and three reanalysis databases (NCEP/NCAR, ERA-40 and CPTEC). For the incident solar radiation assessment, in addition to the reanalysis products, the product generated by the algorithm GL1.2 was also included in the comparison. This product estimates the incident solar radiation from the GOES satellite images. The results show that the annual average precipitation fields of the different products present differentiated behavior between themselves. For example, the CPTEC reanalysis does not represent the main regimes of precipitation in the continent, overestimating the precipitation in the interior of northeast Brazil and underestimating the precipitation in the rest of the continent. There is a substantial agreement among annual mean rain gauge interpolation products, particularly between the products CRU and Leemans and Cramer, which tend to better represent the rainfall regime of Northeast Brazil, for example. The combined rain gauge – remote sensing products obtained similar patterns, mainly CMAP

and GPCP. Both represent the South Atlantic Convergence Zone (SACZ), a band of higher precipitation that spans from northwestern South America to the southeast of Brazil, extending itself over the Atlantic Ocean. The monthly average values of the incident solar radiation products of the NCEP/NCAR, ERA-40 reanalyses and the GOES estimates were similar for all vegetation types and watershed, while the CPTEC reanalysis presented higher values.

1. INTRODUÇÃO

As pesquisas na área de climatologia, desde as mais simples às mais complexas, necessitam de observações das variáveis meteorológicas, de preferência que representem séries de longos períodos. Mas, mesmo reconhecendo-se a importância deste tipo de observações e apesar dos avanços científicos e tecnológicos pelos quais os sistemas de medições meteorológicas passaram nas últimas décadas, ainda existe, em muitas partes do globo, uma carência consideravelmente grande de observações meteorológicas que formem séries de longos períodos. Essa lacuna existente nas observações meteorológicas de muitas regiões do planeta deve-se, em grande parte, à dificuldade em se conseguir fazer observações das variáveis meteorológicas, devido a questões geográficas e econômicas existentes em diversas regiões do globo.

Desta forma, na busca de superar essas dificuldades, pesquisas têm sido feitas visando obter metodologias para gerar longas séries de dados meteorológicos que atendam,

de forma satisfatória, a ausência de observações das variáveis meteorológicas a nível global e/ou regional.

No meio científico é possível encontrar, basicamente, três métodos para construir bancos de dados espacializados das variáveis meteorológicas: a interpolação de dados obtidos em estações, a técnica de reanálise e a combinação de dados de estações com o sensoriamento remoto. Atualmente, encontram-se disponíveis para a comunidade científica bancos de dados com séries históricas de diversas variáveis geradas por alguma dessas técnicas.

(a) Bancos de dados obtidos a partir de interpolação de dados de estações pluviométricas: entre os bancos de dados gerados a partir desta técnica, os mais difundidos entre os pesquisadores são o desenvolvido pelo CRU (Climatic Research Unit, University of East Anglia – New et al., 1999), o de Legates e Willmott (1990) e o de Leemans e Cramer (1990). O banco de dados climatológico do CRU tem auxiliado diversas pesquisas científicas sobre o clima do planeta. Estas climatologias globais também contribuem para a caracterização do clima de regiões que têm escassez de dados. New et al. (1999) descrevem a construção da climatologia global para a superfície terrestre (exceto a Antártica) criada pelo CRU, para o período de 1961-1990. Os dados foram interpolados em uma resolução de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ (lat/long), para nove variáveis, entre elas precipitação, temperatura média e pressão de vapor. Além da série de 1961-1990, o CRU disponibiliza também mais duas séries históricas de dados, uma mais longa para o período de 1901 a 2002, e outra para climatologias decadais.

(b) Reanálise: Movidos pela necessidade de solucionar a carência de observações das variáveis meteorológicas, alguns cientistas perceberam que o advento da modelagem numérica poderia se tornar uma ferramenta eficiente para gerar séries históricas das variáveis meteorológicas, com a vantagem de possibilitar sua expansão para regiões mais

remotas do globo, onde a observação convencional das variáveis meteorológicas é difícil de ser realizada.

Fundamentados nesta possibilidade, centros de meteorologia e de estudos climáticos criaram produtos para suprir tais dificuldades, gerando bancos de dados através de modelos numéricos. O produto obtido a partir de modelos numéricos é chamado de reanálise, sendo atualmente de extrema importância para a comunidade científica. As séries históricas de reanálise, geradas a partir de modelos, são construídas com base em séries de variáveis meteorológicas disponíveis a partir de algum tipo observação. Portanto, as séries de reanálise podem ser originadas a partir da assimilação de dados meteorológicos observados em superfície (estações), aviões, navios, imagens de satélite, imagens de radar e radiossondagens. A técnica de reanálise atmosférica processa, simultaneamente, uma grande variedade de observações, usando as leis físicas contidas nos modelos de previsão do tempo. Sendo assim, o histórico do estado atmosférico pode ser reconstruído dinamicamente.

A quantidade e a qualidade dos dados observados usados para reanálise são cruciais. Por isso, é necessário fazer um controle de qualidade dos mesmos antes da assimilação visando reduzir os erros na reanálise. No início, o índice de acerto apresentado por estes modelos era limitado, o que, geralmente, estava associado ao tratamento inadequado dos processos físicos ocorridos na atmosfera. Com o passar dos anos observou-se que os modelos apresentam uma sensível dependência em relação à condição inicial, Lorenz (1969). Por isso, é importante utilizar dados de entrada de boa qualidade no modelo, pois pequenos erros nas condições iniciais podem ocasionar grandes erros nos resultados de saída do modelo.

As séries de dados de reanálise apresentam algumas vantagens em relação a outros produtos de séries históricas de dados. Nelas, a maioria das variáveis é consistente,

obedecendo às leis físicas básicas do modelo de previsão numérica e a qualidade é controlada, eliminando descontinuidades nas séries em função das mudanças no sistema de assimilação que contêm erros instrumentais ou do observador. Os produtos de reanálise se sobrepõem aos climatológicos principalmente por abrangerem longos períodos e pela quantidade de variáveis, de superfície ou altitude, que são fornecidas. Isto difere dos dados climatológicos observados que são em grande parte de superfície. Portanto, o sucesso das séries de reanálise pode ser atribuído ao número, variedade e qualidade das aplicações de seus produtos.

Dados de reanálise vêm sendo utilizados em diversos setores, como agricultura, recursos hídricos, qualidade de ar, saúde, ecologia de ecossistemas, e estudos de biodiversidade, dentre outros. Daí a necessidade de que esses produtos sejam continuamente validados e melhorados.

Pohlmann e Greatbatch (2006), entretanto, mostram que as diferentes reanálises freqüentemente apresentam discordância entre si, principalmente em regiões onde as observações são escassas, como por exemplo, o hemisfério sul, onde há pouca disponibilidade de dados até os dias atuais.

Entre os produtos de reanálise mais utilizados encontram-se os gerados pelos centros NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction /National Center for Atmospheric Research), e ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecast). Recentemente, o CPTEC (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos), do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) disponibilizou um produto novo de reanálise regional.

A proposta do projeto de reanálise NCEP/NCAR foi produzir análises globais de campos atmosféricos para atender às necessidades das comunidades de pesquisa e monitoramento do clima. Kalnay et al. (1996) descreveram o projeto de reanálise do

NCEP/NCAR, que cobre o período de 1948 até a atualidade. As variáveis de saída fornecidas pelo NCEP/NCAR são classificadas em quatro classes, de acordo com o grau de influência do modelo: *classe “A”* indica que a análise da variável é influenciada fortemente pela qualidade dos dados observados e, conseqüentemente, está dentro da classe mais segura (por exemplo, temperatura do ar e velocidade do vento); *classe “B”* indica que, embora existam dados observados que afetam diretamente o valor da variável, o modelo também tem forte influência no valor de análise (umidade do ar e temperatura da superfície); *classe “C”* indica que não há nenhuma observação que afeta diretamente a variável, de forma que ela é derivada somente dos campos forçados pelo modelo de assimilação de dados (nuvens, precipitação e fluxos de superfície); e *classe “D”*, que representa os campos obtidos de valores climatológicos e não depende do modelo (resistência de planta e configurações oceano-continente). O módulo central e a assimilação dos dados usam uma resolução de 28 níveis verticais com uma resolução horizontal de aproximadamente 210 km (T62). As séries históricas de reanálise do NCEP/NCAR são muito utilizadas em trabalhos que descrevem as condições gerais da atmosfera, seja em análise de áreas isoladas ou para o planeta como um todo. Roads *et al.* (1999) realizaram um estudo sobre o balanço contínuo de água superficial para os Estados Unidos e concluíram que, para a região estudada, os dados de precipitação da reanálise do NCEP/NCAR era superior aquela obtida através do modelo espectral global do próprio NCEP.

O ECMWF, localizado na Europa, disponibiliza um produto de reanálise denominado ERA-40, cujos objetivos primários são: i) produzir e promover o uso de uma série de dados, incluindo análises globais, que descrevam o estado da atmosfera e da superfície terrestre e as condições dos oceanos durante 45 anos; ii) subsidiar as pesquisas européias e de outras regiões do planeta, tornando as observações, as análises e o estudo

facilmente disponíveis (Kållberg et al., 2004). A reanálise ERA-40 possui resolução vertical de 60 níveis e uma resolução horizontal de aproximadamente 110 km (T159). Um trabalho bem interessante desenvolvido com dados do ERA-40 para a América do Sul é o de Betts *et al.* (2005) onde a hidrometeorologia da bacia Amazônica teve seus dados observados (precipitação, temperatura e escoamento) comparados com os dados de reanálise do ERA-40 para o período de 1958-2001.

No Brasil, o CPTEC disponibilizou, em 2006, um produto novo de reanálise regional. Atualmente, a série de dados cobre o período de 2000 a 2004, usando o modelo regional Eta. Uma das principais diferenças deste produto em relação a outros centros é o seu sistema de assimilação regional que cobre a América do Sul e oceanos adjacentes, pois geralmente os dados de reanálise são disponibilizados a nível global. O produto de reanálise do CPTEC possui resolução vertical de 38 níveis e uma resolução horizontal de 40 km. A reanálise regional do CPTEC é um produto recente e, por isso, visto, em termos de qualidade e precisão, com certo receio por parte dos pesquisadores, uma vez que foi pouco explorado em trabalhos científicos. Por isso, ainda há muito a se estudar sobre este banco de dados. Trata-se de um produto muito promissor, uma vez que a América do Sul possui grande extensão territorial, onde existe uma escassez de dados observados de boa qualidade. Além disso, é uma região que apresenta uma grande variabilidade de clima com distintas características regionais, podendo-se destacar vários regimes diferentes de precipitação.

Apesar da reanálise regional do CPTEC ser um produto promissor ele apresenta uma grande deficiência em relação às outras reanálises existentes, que é o tamanho da série de dados disponibilizada, que é muito pequena, apenas cinco anos.

(c) Dados de superfície combinados com dados de satélite: é outra opção adotada para criar bancos de dados climatológicos globais, onde é feita a junção de dados observados

em redes de superfície, dados de satélite, dados de reanálise e modelos numéricos. Estes bancos de dados têm se mostrado satisfatórios para analisar a precipitação global, quando comparados com outros produtos.

Os diferentes produtos (reanálise, interpolação ou método combinado) de variáveis meteorológicas podem apresentar discrepâncias quando comparados entre si, principalmente para regiões do planeta onde a confiabilidade dos dados observados é questionável.

No que se refere à precipitação em torno de quinze conjuntos de dados estão disponíveis, e para a radiação solar incidente existem quatro bancos de dados. Porém, estes bancos de dados apresentam alta discordância nos valores gerados para essas duas variáveis, o que, deve-se ao fato de se tratar de variáveis meteorológicas que se encontram fortemente ligadas à presença de nuvens na atmosfera, que ainda é um fenômeno que requer melhoria na sua parametrização pela maioria dos modelos numéricos existentes. Além disso, tanto a precipitação quanto a radiação solar incidente apresentam forte variação meridional e sazonal.

Por exemplo, Costa e Foley (1998) compararam dois bancos de dados de reanálise (NCEP e GSFC) com quatro outros bancos de dados de precipitação (LC, LW, EOS e GPCP) para a Amazônia, concluindo que, embora as médias de longo prazo para a região fossem semelhantes, os padrões espaciais e a variação temporal eram expressivamente diferentes. Em outra análise, Rao et al. (1999) compararam os dados de precipitação da reanálise do NCEP/NCAR com observações das estações do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) para o Nordeste do Brasil, concluindo que as precipitações da reanálise são, geralmente, superiores às observadas nas estações.

Em vista do exposto, os objetivos deste trabalho são:

1) Comparar as médias anuais obtidas dos seguintes bancos de dados de precipitação e radiação solar incidente para a América do Sul: NCEP/NCAR, ERA-40/ECMWF, CPTEC, CRU, Legattes e Wilmott, Leemans e Cramer, CMAP, GPCP, TRMM e GL1.2 (GOES);

2) Comparar a distribuição espacial dos campos de precipitação e radiação solar incidente dos produtos analisados, considerando as seguintes regiões:

- Diferentes bandas de latitude na América Sul;
- As principais bacias hidrográficas do continente: Amazônica, Orinoco, Tocantins/Araguaia, São Francisco, Paraná/Prata e Patagônia; e
- Os principais tipos de vegetação da América do Sul: floresta tropical perene, floresta tropical semi-decídua, cerrado, caatinga e pampas/campos.

2. METODOLOGIA

2.1 Bancos de dados de precipitação

Para se realizar a comparação dos produtos de precipitação foram utilizados nove bancos de dados, sendo três obtidos a partir de reanálise, três obtidos a partir de estações pluviométricas, e três que combinam dados de sensoriamento remoto com dados de pluviômetros.

2.1.1 Dados de reanálise

A reanálise regional do CPTEC é resultado da combinação de previsões diárias de curto prazo reprocessadas, em alta resolução temporal e espacial, e de dados reais observados. Estas previsões são decorrentes do modelo regional de mesoescala Eta. Este modelo se propõe a prever com maior detalhe fenômenos associados a sistemas de mesoescala, como frentes, brisa marítima, tempestades severas, etc. A versão do modelo

Eta, que roda operacionalmente no CPTEC/INPE, é hidrostático, com resolução horizontal de 40 km e vertical de 38 níveis, conseqüentemente, este produto de reanálise também terá esta resolução, Black (1994). Este modelo é processado para a América do Sul e oceanos adjacentes, a partir das condições de contorno da Análise Global do NCEP de 6 em 6 horas, temperatura da superfície do mar semanal e neve diária.

O projeto de reanálise do NCEP/NCAR começou em 1991 como um resultado do projeto do CDAS (Climate Data Assimilation System). A idéia básica deste projeto é usar um sistema fixo de análise/previsão e executar assimilação de dados passados, de 1948 até o presente. O modelo global espectral é rodado usando a resolução espectral T62 (209 km) e 28 níveis verticais. Nos últimos anos algumas melhorias foram implantadas, como, por exemplo, um melhor esquema de diagnóstico de nuvens, resultando em uma melhoria na predição de radiação de ondas longas.

O ECMWF disponibiliza dois produtos de reanálise global, denominados de ERA-15 e ERA-40, para diversas variáveis meteorológicas. O ERA-40 é uma série de dados de segunda geração, que através dos avanços ocorridos nos recursos computacionais veio complementar o ERA-15. Os dados contêm valores diários e mensais da análise e previsão para um período de aproximadamente 45 anos (1957 a 2002), sendo estes interpolados em uma grade Gaussiana com 60 níveis verticais e tendo uma resolução de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ (lat/long), gerando quatro campos de análise por dia (00, 06, 12 e 18 UTC), dois campos de previsão de 6 horas à frente (06 e 18 UTC) e mais dois campos de previsão de 36 horas à frente (00 e 12 UTC).

2.1.2 Dados de estações de superfície

O CRU disponibiliza séries das médias mensais climáticas de algumas variáveis meteorológicas (precipitação, temperatura máxima e mínima, pressão de vapor, etc.) para a superfície terrestre (exceto Antártida). Neste estudo foi utilizada a série de dados de precipitação para o período de 1961-1990, que foi construída numa grade de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ (lat./long). No caso da precipitação, a grade de dados foi construída a partir de 19.800 estações de superfície, e a superfície gerada por esta interpolação é função da latitude, longitude e elevação (New et al. 1999).

Legates e Willmott (1990) criaram uma série climatológica mensal para as variáveis de precipitação e temperatura, a série abrange o período de 1920-1980, através de estimativas médias de estações de superfície e navio. Para isso foram utilizados registros de 24.635 estações de superfície espacialmente independentes e 2.223 registros de pontos de grade dos oceanos. Estes dados foram corrigidos e interpolados numa resolução de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ (lat/long).

Leemans e Cramer (1990) criaram uma climatologia mensal para o planeta, considerando o período de 1930-1960, de temperatura média, precipitação e nebulosidade em uma grade global continental de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ (lat/long, onde as células dos oceanos foram omitidas). Tais valores foram calculados a partir dos registros históricos de diversas naturezas, mas com a característica comum de que a maioria cobria ao menos cinco anos durante o período.

2.1.3 Dados combinados: sensoriamento remoto com estações de superfície

O GPCP (Global Precipitation Climatology Project) é um projeto estabelecido pelo WCRP (World Climate Research Programme) com o objetivo de quantificar a distribuição da precipitação global para uma série longa. Este projeto foi criado em 1986 com o

objetivo inicial de fornecer médias mensais de precipitação em uma grade de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ (lat/long). Baseia-se no procedimento de análise que mistura várias estimativas para produzir campos de precipitação global. Assim, a análise da grade é baseada em medidas de observações convencionais e satélite para calibrar o banco de dados. Para se gerar estas séries de dados são combinadas estimativas da precipitação através de microondas na faixa do infravermelho (IR) de satélites calibrados com dados de mais de 6.000 estações. Estas séries históricas são de grande utilidade para validar modelos climáticos, estudar o ciclo hidrológico global e diagnosticar a variabilidade do sistema do clima global.

O CMAP (CPC Merged Analysis of Precipitation) gerou uma série de dados de precipitação global numa resolução de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ (lat/long), agregando vários tipos de dados com características diferentes, como, por exemplo, dados observados em superfície, dados de satélite e modelos numéricos. Esta técnica de junção de diferentes fontes de informações foi utilizada para reduzir erros. A série abrange o período de 1979 até setembro de 2004. É importante notar que a origem dos dados de entrada para se formar esta série não é constante durante todo período de registros.

O satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) é um projeto em parceria entre as agências espaciais do Japão (JAXA - Japan Aerospace Exploration Agency) e dos Estados Unidos (NASA - National Aeronautics and Space Administration). Foi lançado em novembro de 1997 com o objetivo específico de monitorar e estudar a precipitação nos trópicos, além de verificar como a mesma influencia o clima global (Kummerow et al. 2000). A órbita deste satélite é oblíqua bastante baixa (inicialmente 350 km, desde 2001 passou a ser de 403 km), de forma que o período de translação é bastante curto (91 minutos), o que permite uma alta resolução espacial e temporal. Alguns dos instrumentos a bordo do TRMM são: imageador de microondas (TMI), radar de precipitação (PR), radiômetro no visível e no infravermelho (VIRS), sensor de energia radiante da superfície

terrestre e das nuvens (CERES) e sensor para imageamento de relâmpagos (LIS). O projeto TRMM gera diversos produtos (estimativas) de acordo com a combinação de instrumentos usada no algoritmo de cálculo. O produto 3A46 (Monthly $1^\circ \times 1^\circ$ SSM/I Rain Data), que foi utilizado neste trabalho, calcula a média mensal da precipitação global em uma grade de $1^\circ \times 1^\circ$ (lat/long), onde são utilizados também os dados do sensor SSM/I, que está disponível nos satélites de órbita polar do DMSP (Defense Meteorological Satellite Program) desde julho de 1987.

2.2 Bancos de dados de radiação solar incidente

Para se realizar a comparação dos produtos de radiação solar incidente foram utilizados quatro bancos de dados, sendo três bancos de dados de reanálise e um que utiliza dados de sensoriamento remoto. Os produtos de reanálise utilizados para fazer a comparação nos campos de radiação solar incidente para a América do Sul são os mesmos citados no item 2.1.1.

Os dados de sensoriamento remoto são produzidos pela divisão de satélite e sistemas ambientais (DSA) do CPTEC que recebe e armazena imagens do satélite GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) desde 1996. O algoritmo físico GL1.2 é utilizado para gerar estimativas de radiação solar através destas imagens de satélite (Ceballos et al., 2004). Este algoritmo supõe a partição do espectro solar em apenas dois intervalos espectrais de banda larga: 1) ultravioleta + visível, e 2) infravermelho próximo. Ele não considera o efeito de aerossóis. As estimativas de nebulosidade são cruciais para todos os algoritmos que utilizam dados de satélite, já que as nuvens são as principais moduladoras da radiação solar. A avaliação correta do fator de refletância máximo e mínimo das mesmas é tratada com muito cuidado por este modelo (Ceballos et al., 2004). A resolução dos dados gerados é de $0,4^\circ \times 0,4^\circ$ (lat/lon), e a aplicação das matrizes do

GL1.2 permite caracterizar de forma bastante clara comportamentos regionais de radiação solar incidente para a América do Sul.

2.3 Metodologia de comparação geral

Para realizar a comparação entre os diversos produtos de precipitação e radiação solar incidente foi aplicada a mesma metodologia para as duas variáveis em estudo.

Os dez bancos de dados foram trabalhados no NCL (NCAR Command Language), que é uma linguagem projetada especificamente para o processamento e visualização de dados científicos. Antes de tudo, fez-se uma análise detalhada das condições dos arquivos de dados, em termos de resolução, período, formato e região de análise. Assim, os que não se encontravam em formato netCDF foram convertidos para este formato, antes de serem trabalhados no NCL (Tabela 1).

A primeira comparação realizada foi em termos de média anual (climatologia) dos produtos, através de mapas com os valores plotados para o continente sul americano. Depois realizou-se análises mais detalhadas: variação meridional, tipos de vegetação e bacias hidrográficas.

Tabela 1 – Informações gerais dos produtos utilizados

Produtos	Resolução	Formato original	Período
CPTEC	0,4° x 0,4°	Grib	2000-2004
NCEP/NCAR	~ 1,9° x 1,9°	netCDF	1948-2006
ERA-40	2,5° x 2,5°	netCDF	1958-2002
CRU	0,5° x 0,5°	txt	1961-1990
Legates e Willmott (LW 90)	0,5° x 0,5°	hdf	1920-1980
Leemans e Cramer (LC 90)	0,5° x 0,5°	txt	1930-1960
GPCP	2,5° x 2,5°	netCDF	1979-2005
CMAP	2,5° x 2,5°	netCDF	1979-2004
TRMM	1,0° x 1,0°	hdf	1998-2005
Algoritmo GL1.2 (GOES)	0,4° x 0,4°	bin	1997-2004

2.3.1 Análise da variação meridional

O clima apresenta padrões globais no que se refere aos parâmetros temperatura, precipitação e radiação solar, dentre outros. Parte das variações espaciais do clima é decorrente da latitude. É esperado, por exemplo, que a precipitação média anual atinja o seu máximo no equador e decresça gradualmente em relação aos pólos.

Para realizar esta análise, todos os bancos de dados foram submetidos a máscaras (Figura 1), em que os valores de precipitação e radiação foram plotados somente no continente e, em seguida, separados por bandas de latitude desde os 10° N até 50° S variando de 5° em 5°, resultando em um total de 12 bandas para o continente.

Com as bandas prontas calculou-se a média, utilizando os “scripts” do NCL, para cada uma das nove séries de dados de precipitação e as quatro de radiação solar incidente avaliadas neste estudo.

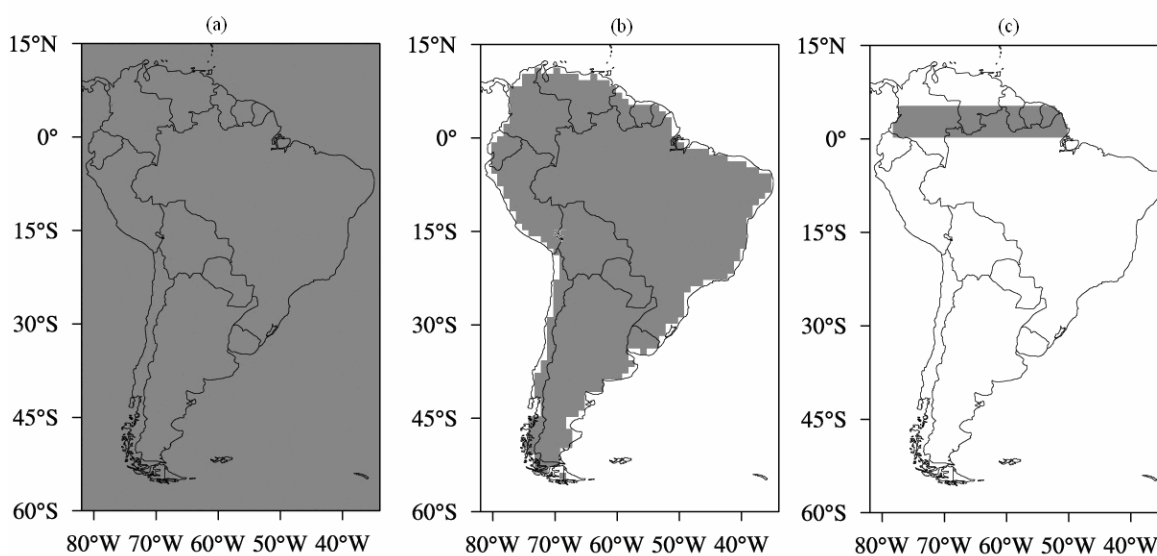


Figura 1 – Evolução da separação dos dados para a análise por diferentes bandas de latitude: (a) máscara com os dados abrangendo o continente e os oceanos; (b) máscara com os dados abrangendo apenas o continente; e (c) máscara abrangendo apenas uma das bandas de latitude considerada.

2.3.2 Análise por tipo de vegetação

A máscara utilizada para diferenciar os tipos de vegetação que predominam na América do Sul foi criada pelo Center for Sustainability and the Global Environment da University of Wisconsin-Madison (Figura 2). Ao todo são representados 15 tipos de biomas para o globo todo, na resolução de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ (lat/long). Esta máscara encontra-se no formato texto, onde cada número corresponde a uma célula da grade e este valor, por sua vez, representa um determinado bioma.



(Fonte: http://www.sage.wisc.edu/download/potveg/global_potveg.html)

Figura 2 – Máscara de tipo de vegetação para a América do Sul.

A partir da máscara original foram criadas outras máscaras, porém com resoluções diferentes ($1,0^\circ \times 1,0^\circ$ e $2,5^\circ \times 2,5^\circ$, Apêndice A). Na Tabela 1 alguns bancos de dados se encontram em outras resoluções. Para fazer essa modificação de resolução foi adotado o critério de maior concentração de bioma na célula original ($0,5^\circ \times 0,5^\circ$). Por exemplo, para converter de $0,5^\circ$ para $2,5^\circ$ criou-se uma matriz de 5 por 5, e tomou-se a condição de que o

bioma que predominasse em mais de 50% representaria o valor da nova célula ($2,5^\circ \times 2,5^\circ$). Procedimento semelhante foi realizado para criar a máscara de $1,0^\circ \times 1,0^\circ$.

Em seguida, as máscaras (Figura 3) foram aplicadas aos dados, possibilitando calcular a média mensal de cada bioma. É importante ressaltar que ao fazer a conversão de resolução das máscaras, perde-se um pouco da qualidade da mesma, já que pequenas áreas que na máscara original são de um bioma, ao serem convertidas podem ser classificadas como outro tipo de vegetação (Apêndice A).

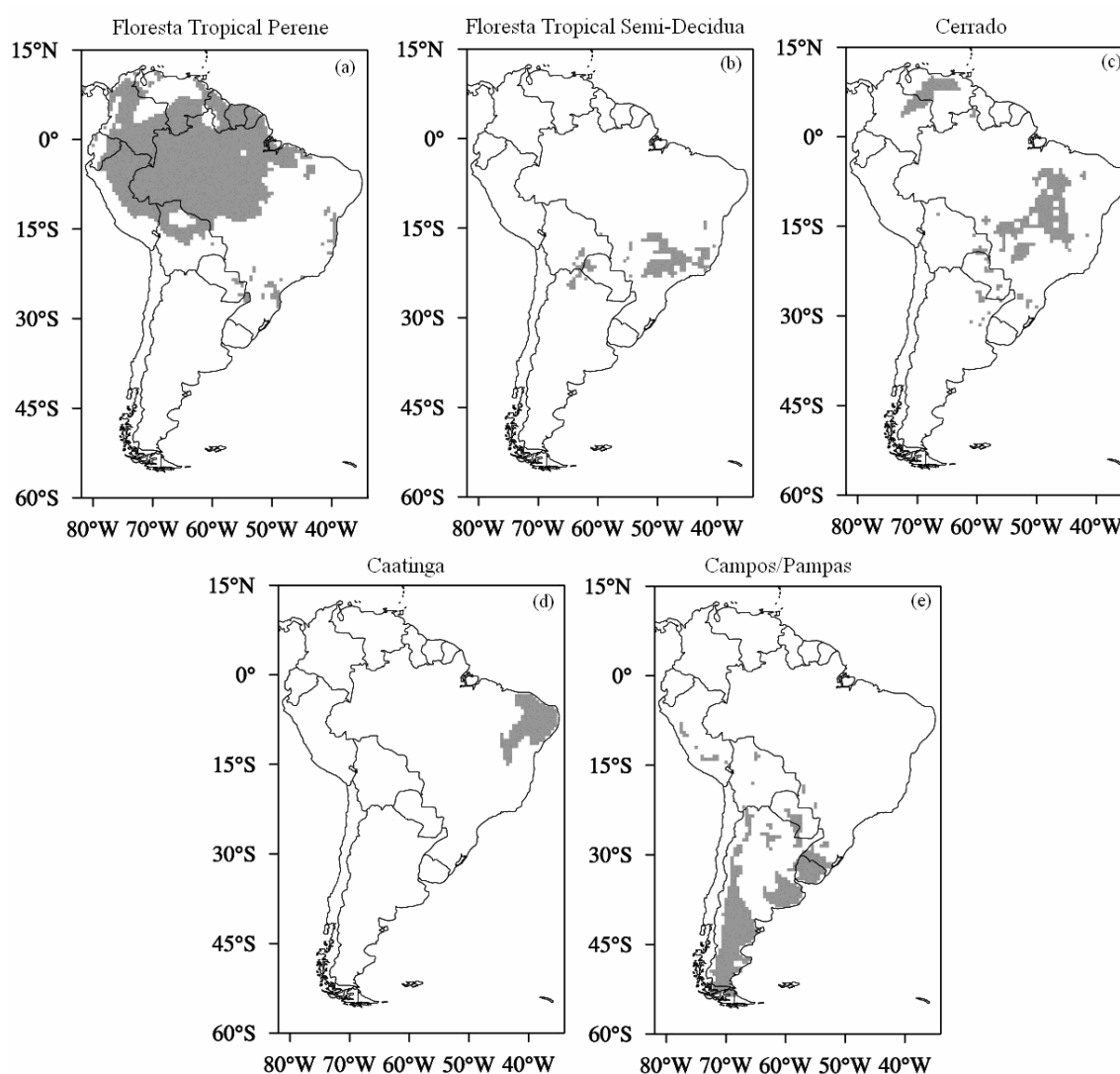


Figura 3 – Máscaras com os tipos de vegetação adotados, (a) Floresta Tropical Perene, (b) Floresta Tropical Semi-Decidua, (c) Cerrado, (d) Caatinga e (e) Campos/Pampas.

Neste trabalho foram escolhidos os seguintes tipos de vegetação:

- Floresta Tropical Perene: Desenvolve-se nas baixas latitudes, em regiões que possuem clima quente e úmido durante todo o ano. Nestas florestas o clima é marcado por possuir temperatura média que oscila entre 25°C e 27°C no decorrer do ano e a pluviosidade é elevada, registrando valores próximos a 1800 mm/ano. A precipitação neste bioma é convectiva em função do calor e umidade elevada do ar. Este tipo de vegetação existe na maior parte da América do Sul, na América Central, no centro e no sul da África, e no sul e sudeste da Ásia. A Floresta Amazônica e a Mata Atlântica, no Brasil, são exemplos de floresta tropical perene (Figura 3-a).

- Floresta Tropical Semi-Decídua: As florestas semi-decíduas ocupam, de forma bastante fragmentada, em função de perturbações diversas, partes de alguns estados brasileiros como: Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás e, em menor escala de área, os estados de Espírito Santo, Rio de Janeiro e Sul da Bahia. Este bioma forma um cinturão de transição entre as florestas tropicais e o cerrado. O clima possui duas estações bem definidas, sendo uma seca e a outra chuvosa, e as temperaturas possuem pouca variação ao longo do ano. Esta formação florestal tem características de descontinuidade, sendo entremeada por áreas de cerrado e campos naturais (pampas), (Figura 3-b).

- Cerrado/Savana: Formação típica de área tropical com duas estações marcadas, um inverno seco e um verão chuvoso. As chuvas são decorrentes, em sua maior parte, da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), sendo as médias térmicas elevadas, entre 20°C e 28°C. Este tipo de vegetação está sujeita às queimadas antropogênicas principalmente no inverno, devido à baixa umidade do ar, associada a temperaturas elevadas. Sua área de ocorrência no Brasil é a região central (Figura 3-c).

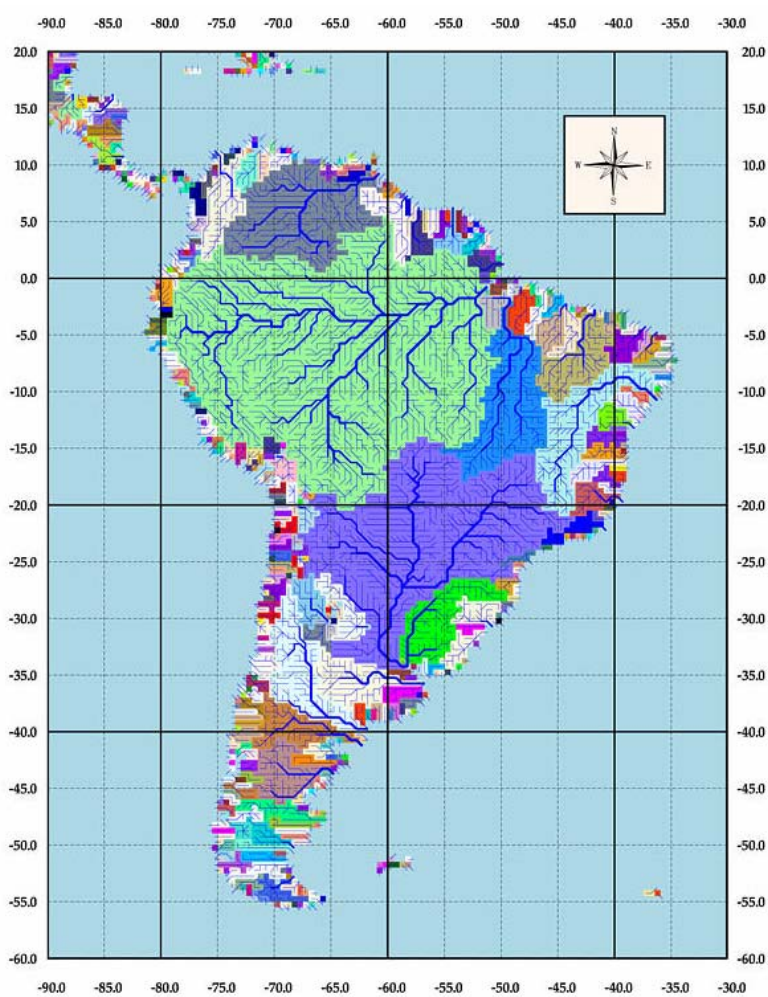
- Caatinga: É característica do sertão nordestino, correspondendo, aproximadamente à décima parte do território brasileiro, de clima semi-árido, com temperaturas elevadas durante todo o ano. As chuvas, escassas e irregularmente distribuídas, totalizam aproximadamente 800 mm/ano, e são basicamente oriundas do deslocamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) para o hemisfério sul durante o outono (Figura 3-d).
- Campos/Pampas: Formados por plantas herbáceas, gramíneas e pequenos arbustos ocupando áreas descontínuas do sul da América do Sul (Sul do Brasil, Uruguai e Argentina). O clima é subtropical, possuindo as quatro estações do ano bem definidas. Assim é possível se ter temperaturas altas no verão (em torno de 35°C) e o inverno marcado por geadas e neve em alguns lugares. A precipitação anual situa-se em torno de 1.200 mm/ano, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano (Figura 3-e).

2.3.3 Análise por bacias hidrográficas

As bacias hidrográficas são delimitadas no espaço geográfico pelo divisor de águas, representado pela linha que une pontos de cotas mais elevadas, fazendo com que a água da chuva, ao atingir a superfície do solo, tenha seu destino dirigido no sentido de um córrego ou rio.

Da mesma forma que foi feita a análise para os tipos de vegetação, foram realizadas análises com a máscara das bacias hidrográficas das América do Sul, obtidas do projeto R-Hydronet (V 1.0). Este projeto criou um banco de dados regional da hidrometeorologia para a América do sul, América Central e Caribe, assim proporcionando apoio para as ciências das águas e a evolução do conhecimento dos recursos hídricos nestas regiões. A Figura 4 mostra a representação dos limites (máscaras) das bacias hidrográficas da América do Sul. Estes dados foram produzidos como parte do Sistema Global de Arquivos Hidrológicos e Sistemas de Análise da University of New Hampshire – EUA. Os dados

possuem formato ASCII GRID, que é um formato de arquivo texto, onde eles se encontram no sistema de coordenadas geográficas (lat/lon), cada valor representando um código para a identificação da bacia, para cada pixel de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ de resolução. Também foi necessário criar máscaras novas, compatíveis com as resoluções de $1,0^\circ \times 1,0^\circ$ e $2,5^\circ \times 2,5^\circ$. O procedimento adotado foi o mesmo aplicado ao tratamento tipo de vegetação. Como pode-se observar na Figura 4, são centenas de bacias na América do Sul, cada uma com sua contribuição para a região onde suas águas correm.



(Fonte: <http://www.r-hydronet.sr.unh.edu>)

Figura 4 – Máscara das bacias hidrográficas da América do Sul.

O conhecimento do padrão da precipitação torna-se indispensável nas áreas de drenagem das bacias, sendo que na América do Sul encontram-se várias bacias importantes, sendo uma delas a maior bacia fluvial do mundo, a do Rio Amazonas (Figura 5).

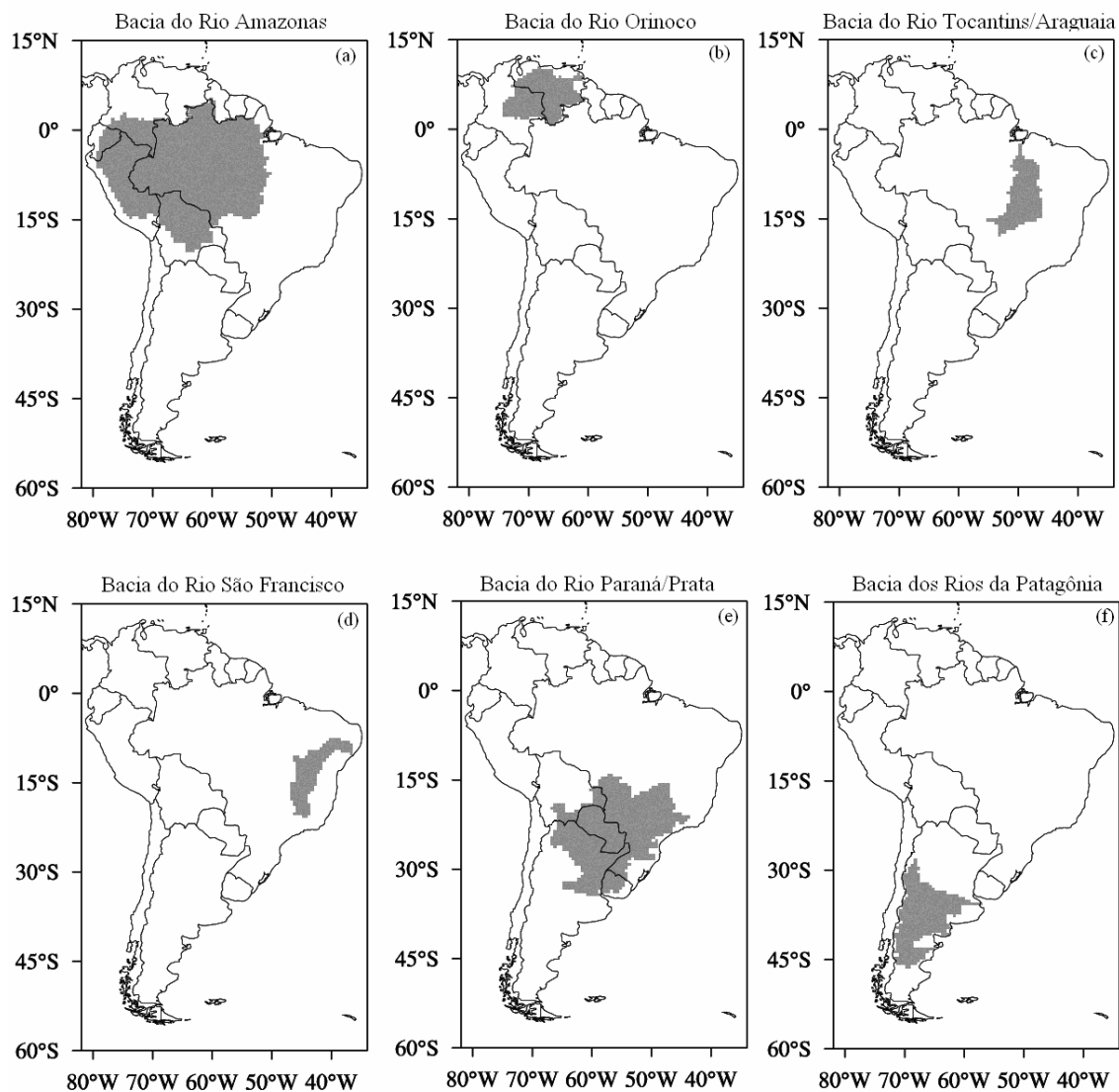


Figura 5 – Máscaras das principais bacias hidrográficas da América do Sul, (a) Bacia do Rio Amazonas, (b) Bacia do Rio Orinoco, (c) Bacia do Rio Tocantins/Araguaia, (d) Bacia do Rio São Francisco, (e) Bacia do Rio Paraná/Prata e (f) Bacia dos Rios da Patagônia.

Para realizar este estudo foram escolhidas seis bacias hidrográficas, que por sua vez são as principais da América do Sul:

- Bacia do Rio Amazonas: A bacia do rio Amazonas envolve todo o conjunto de recursos hídricos que convergem para o rio Amazonas, com uma área de 6,7 milhões de km², compreendendo terras de vários países da América do Sul (Peru, Colômbia, Equador, Bolívia e Brasil). Mais de 50% de sua área encontra-se no território brasileiro. O rio Amazonas e seus afluentes encontram-se situados nos dois hemisférios e, devido a esse fato, a sua bacia possui dois períodos de chuvas. A precipitação na região é uma composição da quantidade de água evaporada localmente (evapotranspiração), adicionada de uma contribuição de umidade advinda do Oceano Atlântico. Sua vazão média na foz é da ordem de 300.000 m³/s. É um rio típico de planície, e muitos de seus afluentes são navegáveis (Figura 5-a).

- Bacia do Rio Orinoco: Esta bacia é a terceira maior da América do Sul, cobrindo uma área de 830.000 km². Possui uma descarga média no Oceano Atlântico de 36.000 m³/s. É o principal rio da Venezuela, abrangendo quatro quintos do território deste país, e um quarto do território da Colômbia. Por se localizar totalmente no hemisfério norte, esta bacia tem seu regime de precipitação inverso ao da maioria dos rios do continente sul americano. O clima nesta bacia é mais marcado pelas diferenças de precipitação (estação seca e chuvosa) do que pela temperatura, que oscila entre 24°C e 36°C (Figura 5-b).

- Bacia do Rio Tocantins/Araguaia: A bacia hidrográfica formada pelos rios Tocantins e Araguaia possui uma área de drenagem de 767.000 km², e constitui na maior bacia hidrográfica inteiramente situada em território brasileiro. Seu principal rio formador é o Tocantins, localizando-se quase que integralmente entre os paralelos 2° e 18° e os meridianos de longitude oeste 46° e 56°. Esta bacia possui uma vazão média anual de 10.900 m³/s. Ela passa por regiões de clima equatorial quente e úmido, e semi-úmido. A

temperatura média anual fica na casa dos 24°C - com máxima média anual de 31°C e mínima de 22°C (Figura 5-c).

- Bacia do Rio São Francisco: A bacia do rio São Francisco abrange terras de 503 municípios, distribuídos em seis estados brasileiros (Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Bahia, Goiás, Minas Gerais) e o Distrito Federal, e possui uma área de drenagem de 641.000 km², sendo sua vazão média na foz é 2.943 m³/s. O rio São Francisco passa por regiões de clima semi-árido e beneficia as regiões por onde passa com suas cheias, sendo importante economicamente para as localidades que atravessa. Porém um dos maiores problemas das regiões semi-áridas é a irregularidade das chuvas, aliada à ocorrência de temperaturas elevadas, ocasionando grandes taxas de deficiência hídrica. As águas da bacia do rio São Francisco atravessam toda a região denominada de “Polígono das Secas”, sendo responsável pela sustentabilidade e desenvolvimento da maioria dos municípios que se situam nela (Figura 5-d).

- Bacia do Rio Paraná/Prata: A bacia platina, ou do rio da Prata, é constituída pelas sub-bacias dos rios Paraná, Paraguai e Uruguai, drenando áreas do Brasil, Bolívia, Paraguai, Argentina e Uruguai. Esta bacia é a segunda maior da América do Sul, com uma área de 879.860 km² e a vazão média na foz de 16.000 m³/s. Na fronteira entre Brasil e Paraguai foi implantado o aproveitamento hidrelétrico binacional de Itaipu, com 12.700 MW, maior usina hidrelétrica em operação do mundo. Na maior parte da área de drenagem desta bacia o clima possui uma estação chuvosa no verão e seca no inverno e no sul da bacia o clima úmido sem estiagem, com temperaturas médias em torno de 20°C (Figura 5-e).

- Bacia dos Rios da Patagônia: As chuvas orográficas abundantes que ocorrem nas cordilheiras dos Andes e o derretimento da neve das mesmas dão origem às nascentes dos rios que formam a bacia hidrográfica da Patagônia ou Sistema Patagônio (como é chamado na Argentina). Os principais rios que constituem esta bacia são Chubut, Santa Cruz,

Colorado e Negro. Estes rios são de extrema importância para esta região. As águas do rio Negro, por exemplo, são utilizadas para a irrigação, consumo humano e industrial, navegação, pesca e etc. (Figura 5-f).

2.3.4 Análise estatística para a radiação solar incidente

Para a radiação solar incidente proveniente do satélite GOES foi calculado o intervalo de confiança (IC) das médias mensais da análise por tipo de vegetação e bacias hidrográficas. O IC foi calculado para este produto devido ao fato dele ser o referencial adotado na análise da radiação solar, já que o produto do algoritmo GL 1.2 é decorrente de dados observados de satélite. O IC foi obtido pela equação:

$$IC = \bar{X} \pm S(x)t_{\frac{\alpha}{2}} \quad \text{Equação 1}$$

em que:

IC = intervalo de confiança;

\bar{X} = média observada;

S(x) = desvio padrão; e

$t_{\alpha/2}$ = valor tabelado para $\alpha = 5\%$ e $GL > 30$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Precipitação

3.1.1 Comparação dos campos médios

Na Figura 6 são apresentados os campos de climatologia para a precipitação, gerados a partir dos nove produtos analisados neste estudo. De modo geral, observa-se que os campos de precipitação média anual dos diferentes produtos tendem a apresentar comportamento relativamente diferente entre si. Em especial, o campo de reanálise do CPTEC (Figura 6-a) destaca-se por superestimar a precipitação no interior do nordeste brasileiro e, de forma geral, subestimar nas demais regiões do continente, conferindo a estas valores extremamente baixos (abaixo de 2 mm/dia), o que na maioria dos lugares não corresponde à realidade, já que valores de precipitação dessa magnitude são característicos de regiões semi-áridas.

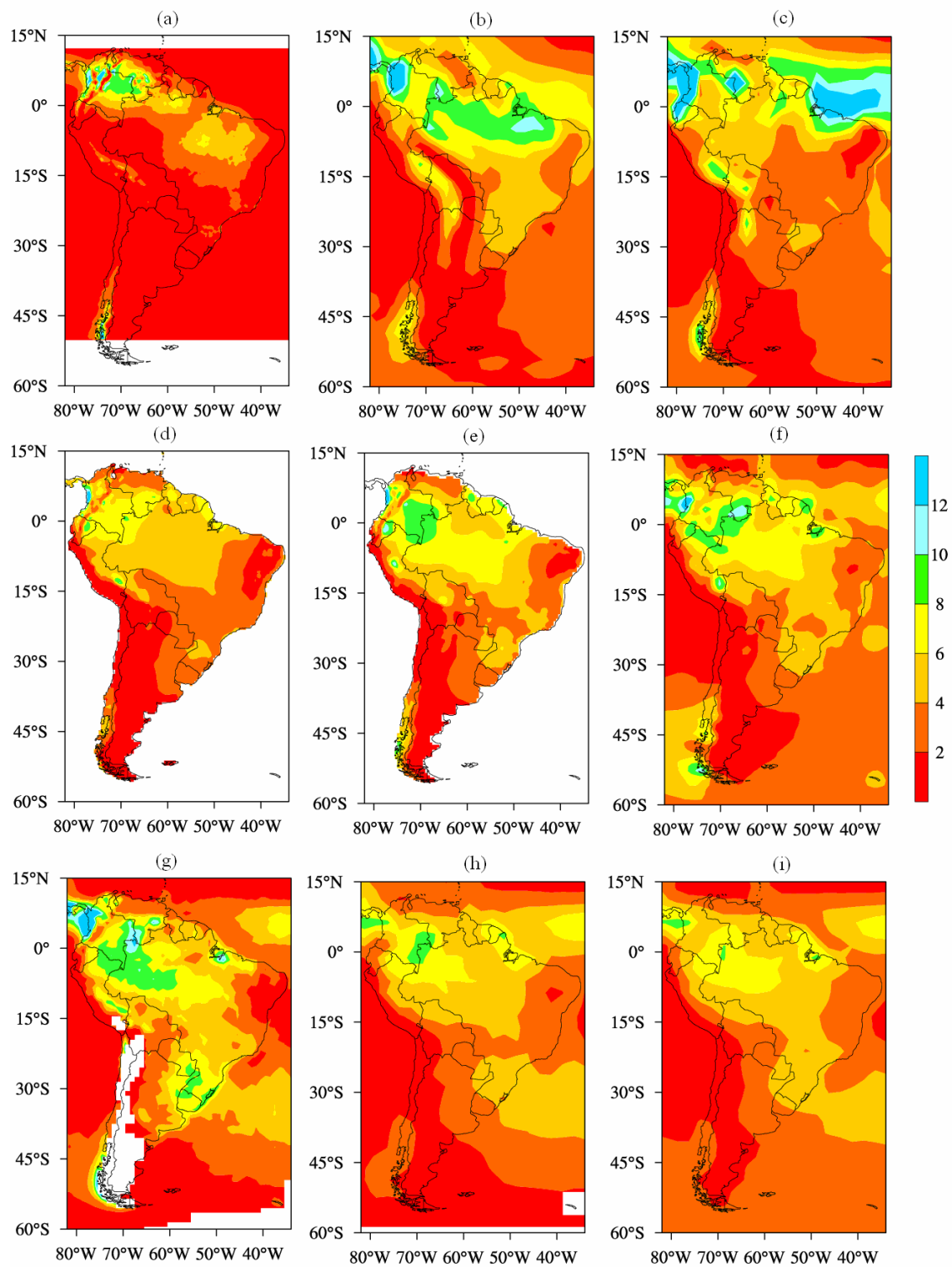


Figura 6 – Climatologia da precipitação anual (mm/dia) na América do Sul, (a) CPTEC, (b) NCEP/NCAR, (c) ERA-40, (d) CRU, (e) Leemans e Cramer, (f) Legates e Willmott, (g) TRMM, (h) CMAP e (i) GPCP.

Nota-se o mesmo problema da superestimativa da precipitação para o nordeste brasileiro no campo da reanálise do NCEP/NCAR (Figura 6-b). A reanálise do ERA-40 (Figura 6-c) para o interior do nordeste atribui menores valores de precipitação em relação ao litoral, o que é esperado, pois nas regiões costeiras os valores de precipitação são maiores em função das brisas marítimas e da influencia orográfica da serra da Borborema.

Dois regimes de precipitação bem característicos no hemisfério sul são os dos oceanos Atlântico e Pacífico, onde na costa do oceano Pacífico (entre 5° S e 35° S de latitude) os valores de precipitação são baixos e no Atlântico Sul são mais elevados, devido à maior temperatura oceânica do Atlântico Sul. Esta diferença pluviométrica entre os oceanos sul-americanos não é detectada na reanálise do CPTEC, mas nos demais ela é representada.

Nos produtos criados através de interpolação de registros de pluviômetros, Figuras 6-d, 6-e e 6-f, é observada uma maior concordância na distribuição dos valores de precipitação, principalmente entre o CRU (Figura 6-d) e Leemans e Cramer (Figura 6-e) que possuem uma espacialização semelhante, representando significativamente bem alguns regimes de chuvas, como, por exemplo, na região do bioma caatinga (nordeste do Brasil), onde o clima é semi-árido com valores em torno de 2 mm/dia. Os três campos de interpolação de registros pluviométricos separam bem a região dos Andes e Patagônia que são mais secos em relação às suas fronteiras pluviométricas (norte da Argentina, nordeste do Paraguai e Bolívia), apresentando uma diferença de aproximadamente 1,5 mm/dia.

Outra característica da precipitação no continente é a representação dos valores altos sobre a região amazônica, principalmente na parte que se encontra sobre a Venezuela e Colômbia, onde são comuns valores médios anuais em torno de 10 mm/dia. Esta característica é apresentada pelos nove produtos, porém o CRU e GPCP (Figuras 6-d e 6-i) mostram valores um pouco mais baixos (entre 6 e 8 mm/dia).

Para os produtos que combinam dados de estações pluviométricas com dados de satélite para gerar séries históricas de precipitação (Figuras 6-g, 6-h e 6-i), observa-se uma forte concordância entre os produtos de CMAP (Figura 6-h) e GPCP (Figura 6-i). Ambos se mostraram com boa capacidade em representar o sistema sinótico Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que é a faixa de valores mais elevados de precipitação que sai do noroeste do continente até o sudeste/sul do Brasil, estendendo-se até o oceano. Este fenômeno meteorológico (ZCAS) tem influência significativa na precipitação das regiões central e sudeste do Brasil, principalmente nos meses de verão (dezembro, janeiro, fevereiro), ocasionando nebulosidade na região por vários dias. No campo gerado pelo produto do TRMM (Figura 6-g) também é possível observar a presença da ZCAS, porém na região sul do Brasil e Uruguai ela apresenta uma média anual da precipitação superestimada (entre 8 a 10 mm/dia). É esperado que este produto deixe falhas nas regiões extra-tropicais, devido ao fato do TRMM ter sido criado para monitorar a precipitação apenas nos trópicos. Uma das causas para os valores altos de precipitação na região entre 25° S e 35° S (lat) está relacionada à frequência com que se formam os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) nessa região, que nada mais são que aglomerados de nuvens convectivas do tipo *cumulus nimbus* que apresentam gelo no seu topo, sendo identificadas como altos valores de precipitação pelo sensor do satélite. Este tipo de sistema costuma ocasionar chuvas fortes em regiões isoladas e geralmente acompanhada de granizo.

Um trabalho que utilizou uma metodologia semelhante à empregada neste item foi o realizado por Costa e Foley (1998), que compararam diversos bancos de dados para a bacia Amazônica, onde os produtos analisados (seis ao todo) mostram que as estimativas a longo prazo sobre a região são semelhantes, mas quando analisados ano a ano são observadas diferenças expressivas entre as séries de dados. No presente caso as médias

anuais de precipitação para a região amazônica apresentaram os valores mais elevados do continente, o que condiz com a realidade, exceto pelo fato da variação do posicionamento dos valores máximos dentro da região.

No Apêndice B encontram-se os campos das médias mensais de cada produto de precipitação analisado. Estes campos foram gerados para uma intercomparação mensal destes produtos para a América do Sul.

3.1.2 Análise da variação meridional

Como dois produtos utilizados neste estudo (CRU e LC (90)) só possuem registros para o continente, para realizar a análise por bandas de latitude foram desprezados os dados existentes sobre os oceanos dos demais produtos. Este procedimento também foi adotado para evitar que os valores de precipitação sobre os oceanos mascarassem a média meridional (banda), uma vez que os mecanismos que ocasionam precipitação sobre o continente são diferentes dos sobre os oceanos, devido principalmente às diferenças na superfície.

Foi calculada a média diária de cada banda de latitude, para a região compreendida entre as latitudes de 10° N e 50° S, sendo a mesma dividida em bandas de 5° em 5°.

Analisando o gráfico das médias para as bandas de latitude (Figura 7), observa-se que dos nove produtos considerados para a análise da precipitação, apenas o CPTEC encontra-se fora da faixa de valores médios para todas as bandas consideradas e o ERA-40, NCEP/NCAR e TRMM encontram-se fora da faixa média apenas em determinadas bandas. Para o ERA-40 e NCEP/NCAR, essa discordância é verificada na faixa entre 10° N até 5° S, apresentando valores, aproximadamente, entre 7 a 10 mm/dia, sendo que os demais produtos, para essa mesma região, têm valores entre 4 a 7 mm/dia. Esta diferença apresentada pelas reanálises pode ser proveniente da parametrização utilizada pelos

modelos numéricos que geram estes produtos. Já o TRMM apresenta valores superiores aos demais produtos para as bandas compreendidas na região entre 20° S a 45° S. Estas superestimativas são ocasionadas por dois fatores, que são: 1) o satélite TRMM possui limitações para avaliar a precipitação em latitudes extratropicais em função da sua própria órbita; 2) falhas na cobertura de dados, principalmente sobre os Andes, o que ocasionou a obtenção de médias não representativas.

Fazendo uma análise no conjunto de dados apresentado na Figura 7, confirma-se a variação meridional esperada para a precipitação neste continente, que é de valores mais altos de precipitação nos trópicos e decréscimo conforme a latitude aumenta. O produto de reanálise do CPTEC consegue acompanhar o padrão meridional, mas com os valores sempre subestimados.

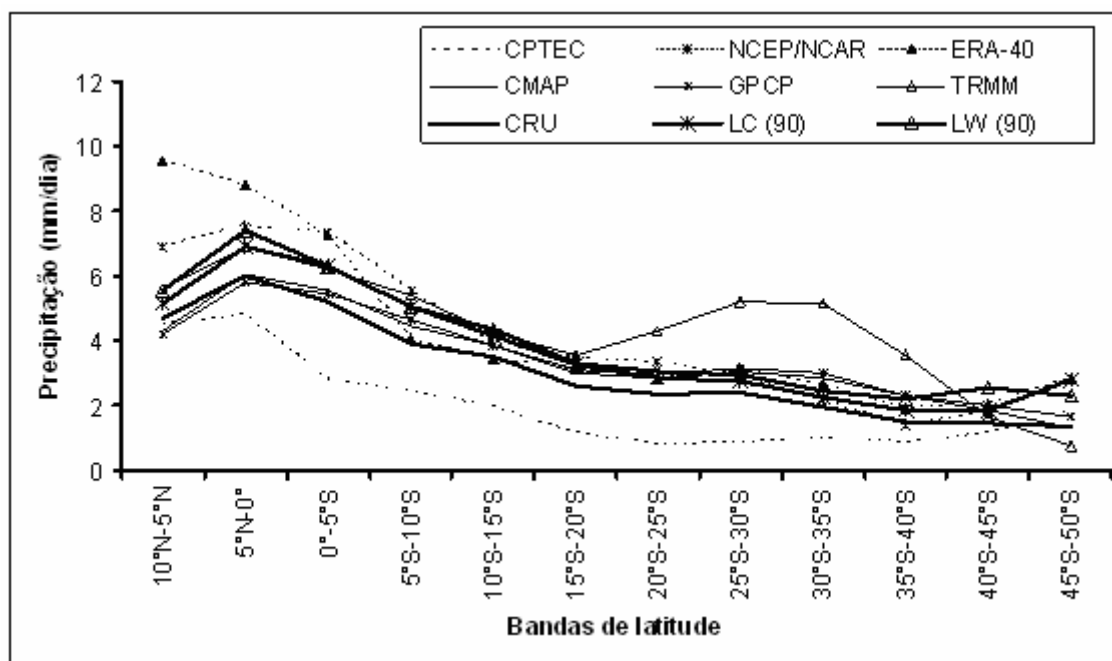


Figura 7 – Variação meridional da precipitação para a América do Sul.

3.1.3 Análise por tipo de vegetação

Nesta seção foram calculadas as médias anuais para a precipitação sobre os principais tipos de vegetação existentes na América do Sul.

Observando a Tabela 2, nota-se que para a floresta tropical perene a média anual da precipitação dos produtos analisados varia de 3,03 mm/dia (CPTEC) a 6,70 mm/dia (NCEP/NCAR). Observa-se também que, com exceção do CPTEC, os demais produtos apresentam uma relativa consistência entre suas médias, ocasionando uma diferença de 1,85 mm/dia entre a média do CPTEC (3,03 mm/dia) e a do CRU (4,98 mm/dia), que é o segundo produto com média mais baixa. Esta diferença é muito expressiva quando se trata de precipitação, pois ao longo de um ano corresponde a mais de 700 mm/ano.

A floresta tropical semi-decídua apresentou o mesmo padrão de variação observado para a da floresta tropical perene, sendo que o valor mais elevado foi apresentado pelo produto de reanálise do NCEP/NCAR (4,12 mm/dia) e o mais baixo pelo CPTEC (1,37 mm/dia), e em segundo o CRU, com 2,78 mm/dia.

No bioma caatinga a reanálise do CPTEC (2,12 mm/dia) apresentou média anual mais condizente com os outros produtos analisados, como, por exemplo, o CRU (2,08 mm/dia), o LC (90) (2,27 mm/dia), o TRMM (2,43 mm/dia), e as reanálises do NCEP/NCAR e ERA-40, que apresentaram médias anuais superestimadas para este ecossistema (4,73 e 4,27 mm/dia, respectivamente).

Para o cerrado e os pampas a reanálise do CPTEC novamente apresentou uma média anual mais baixa em relação aos demais produtos (2,97 e 0,76 mm/dia, respectivamente), porém, nestes dois biomas a média anual mais elevada foi obtida pelo produto de satélite TRMM de 4,97 mm/dia para o cerrado e 3,09 mm/dia para o pampas. No caso dos pampas esta média está superestimada em função do TRMM não cobrir latitudes mais altas.

Assim nota-se que, com exceção da caatinga, o produto de reanálise do CPTEC apresenta para os demais biomas os menores valores para a média anual da precipitação, seguido pelo produto do CRU.

Tabela 2 – Médias anuais de precipitação (mm/dia) para os principais tipos de vegetação

Produtos	Floresta Tropical Perene	Floresta Tropical Semi-Decídua	Caatinga	Cerrado	Pampas
CPTEC	3,03	1,37	2,12	2,97	0,76
NCEP/NCAR	6,70	4,12	4,58	4,73	2,12
ERA-40	5,91	3,92	4,42	4,27	2,53
CMAP	5,45	3,26	2,94	4,04	2,32
GPCP	5,36	3,44	3,13	4,17	2,53
TRMM	6,39	4,10	2,43	4,97	3,09
CRU	4,98	2,78	2,08	3,45	1,64
LC (90)	5,95	3,43	2,27	4,10	1,96
LW (90)	6,20	3,72	3,06	4,38	2,06

A Figura 8 apresenta os valores médios mensais para cada tipo de vegetação. Para a floresta tropical perene (Figura 8-a) observa-se que cinco produtos possuem médias mensais bem próximas para todos os meses (CMAP, GPCP, CRU, LC (90) e LW(90)). Os produtos de reanálises do NCEP/NCAR e ERA-40 mostram valores mais elevados de junho a dezembro em relação aos demais produtos. Já o produto TRMM tem valores médios superestimados para os meses de agosto a dezembro. Para o produto de reanálise do CPTEC a média da floresta tropical perene é subestimada para o ano todo, não ultrapassando a 4 mm/dia.

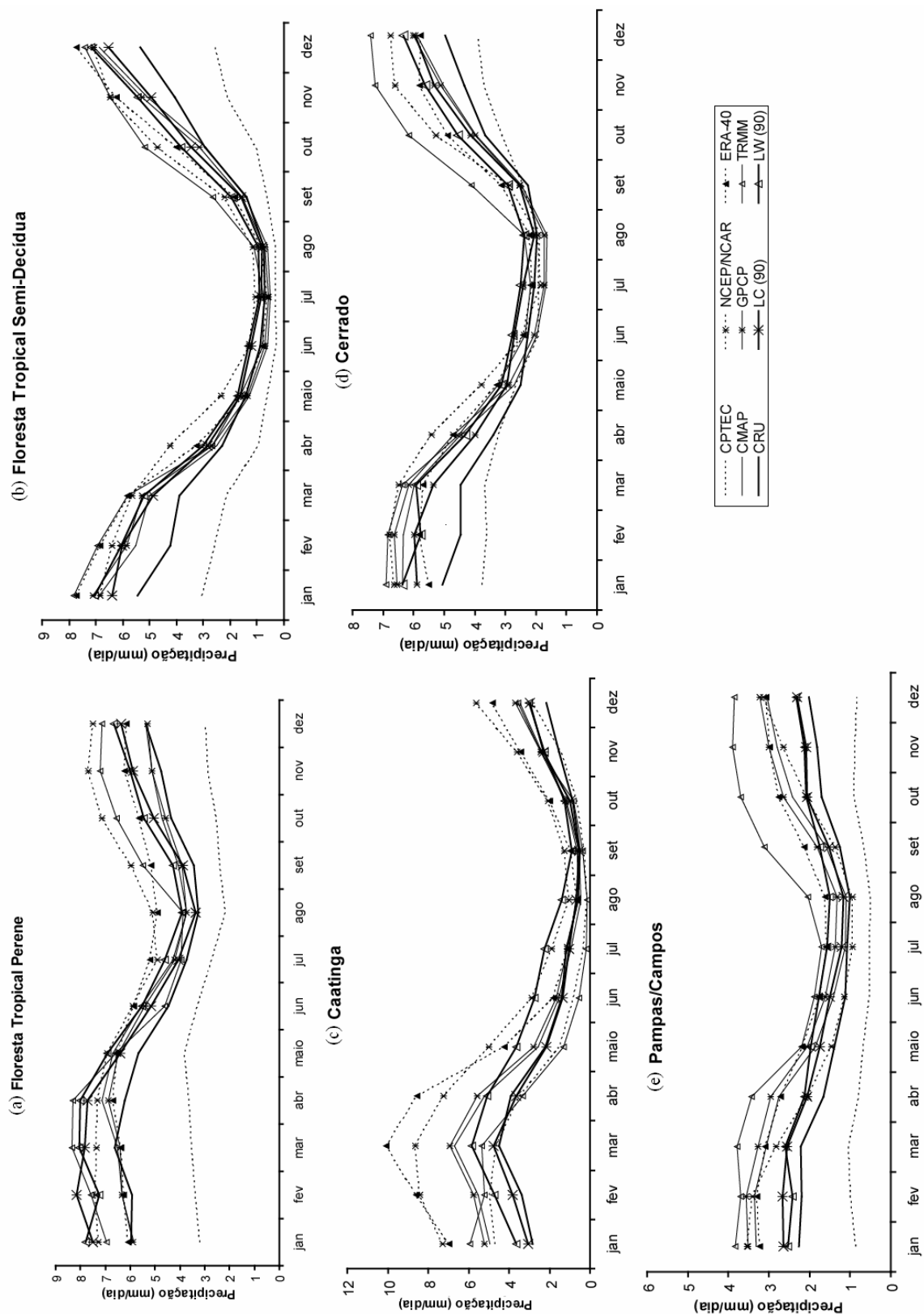


Figura 8 – Médias mensais da precipitação para os principais tipos de vegetação da América do Sul, (a) Floresta Tropical Perene, (b) Floresta Tropical Semi-Decidua, (c) Caatinga, (d) Cerrado e (e) Pampas/Campos.

A floresta tropical semi-decídua (Figura 8-b) tem seu regime de precipitação na estação seca (maio a julho) bem representado por oito produtos, com exceção da reanálise do CPTEC, que apresentou valores menores. Para a estação chuvosa nota-se que alguns produtos se encontram com seus valores médios um pouco deslocados em relação aos demais, sendo o caso do NCEP/NCAR, ERA-40 e do TRMM, que apresentam valores mais altos e o produto proveniente de dados observados do CRU, que possui uma subestimativa para esta estação. Novamente a reanálise do CPTEC mostrou-se com valores de precipitação mais baixos para todos os meses do ano em relação aos demais produtos.

No bioma caatinga, a reanálise do CPTEC apresentou valores médios próximos aos dos demais produtos analisados (Figura 8-c), confirmando o comportamento observado na Tabela 2. Ainda na caatinga, as curvas das reanálises do NCEP/NCAR e ERA-40 têm seus valores mais elevados em relação aos demais produtos, exceto para os meses de junho a setembro. Nota-se que estas reanálises colocam valores médios muito elevados para os meses de janeiro a maio, que variam de 4 a 10 mm/dia, valores estes que não representam o clima de caatinga, mas o de florestas tropicais.

Outra observação relevante é verificada para as curvas do CPTEC e CRU no cerrado (Figura 8-d) onde seus valores são subestimados apenas na estação chuvosa. O TRMM superestima a precipitação para os meses de agosto a dezembro.

No caso do bioma pampas (Figura 8-e), as superestimativas apresentadas pelo produto TRMM, durante o ano todo, provavelmente devem estar relacionados à frequência de formação de SCM nas regiões sul e sudeste do Brasil, norte da Argentina, Uruguai e Paraguai, principalmente para a estação da primavera. Além disso, a falha apresentada por este produto na região dos Andes, pode contribuir para que a média permaneça alta para todos os meses do ano em relação aos outros produtos. Os pampas são caracterizados por apresentarem uma baixa sazonalidade, tendo os seus valores extremos encontrados

basicamente na faixa de 1 a 3,5 mm/dia. Porém os dados da reanálise do CPTEC colocam as médias bem mais baixas em relação aos outros produtos (menos de 1 mm/dia).

Fazendo uma análise geral da Figura 8 pode-se observar a existência de uma forte similaridade no padrão sazonal dos produtos em todos os biomas representados, apesar do produto de reanálise do CPTEC apresentar valores mais baixos para a maioria dos meses em todos os produtos, com exceção do bioma caatinga. Esta subestimativa da reanálise do CPTEC, para a maioria dos resultados pode ser atribuída ao fato deste produto ser proveniente de previsões do tempo reprocessadas pelo modelo regional Eta, que é considerado um modelo “seco”, isto é, ele adota um intervalo de tempo muito pequeno entre o evento de formação das nuvens e a precipitação a partir das mesmas, não retendo a umidade na atmosfera.

3.1.3 Análise para as principais bacias hidrográficas

Na Tabela 3 estão apresentadas as médias anuais da precipitação para as principais bacias hidrográficas da América do Sul. Observa-se que para a bacia do rio Amazonas a reanálise do CPTEC apresentou uma média anual muito baixa (2,84 mm/dia) em relação a média dos demais produtos, que oscilam entre 4,79 e 6,21 mm/dia, valores correspondentes aos produtos do CRU e TRMM, respectivamente. Já nas bacias dos rios Orinoco, Tocantins e São Francisco os valores apresentados pela reanálise do CPTEC estão coerentes com a maioria dos produtos (5,35; 4,13 e 3,06 mm/dia, respectivamente). Nas bacias dos rios Paraná e Patagônia as médias anuais do produto de reanálise do CPTEC apresentam valores subestimados em relação aos demais produtos. Para a bacia do rio Paraná outra média anual que se destaca é a apresentada pelo produto TRMM, que está bem mais alta (4,96 mm/dia) em relação às demais médias, o que mais uma vez deixa claro a pouca confiabilidade deste produto em latitudes mais altas.

Tabela 3: Médias anuais de precipitação (mm/dia) para as principais bacias hidrográficas da América do Sul

Produtos	Amazonas	Orinoco	Tocantins	São Francisco	Paraná	Patagônia
CPTEC	2,84	5,35	4,13	3,06	1,09	0,53
NCEP/NCAR	5,63	7,28	6,42	3,94	3,79	1,46
ERA-40	5,26	6,81	5,05	3,80	3,22	1,62
CMAP	5,15	5,97	4,49	2,99	3,43	1,56
GPCP	5,16	5,49	4,63	3,11	3,65	1,81
TRMM	6,21	6,49	5,19	2,97	4,96	1,74
CRU	4,79	5,43	3,93	2,27	2,79	0,91
LC (90)	5,14	7,61	4,33	3,54	3,24	0,82
LW (90)	5,98	6,61	4,84	3,33	3,55	1,53

Betts et al. (2005) compararam dados observados com dados de reanálise do ERA-40 para algumas variáveis meteorológicas, entre elas a precipitação na bacia Amazônica, concluindo que a reanálise ainda não consegue responder muitas perguntas relacionadas às tendências a longo prazo no ciclo hidrológico global com base nos 40 anos de dados. Já quando comparado o ciclo anual da precipitação/escoamento superficial observado com a reanálise foram encontrados resultados bem semelhantes.

Outro trabalho que teve seu enfoque sobre a bacia amazônica, analisando as tendências no ciclo hidrológico da mesma e utilizando dados de reanálise do NCEP/NCAR, foi o de Costa e Foley (1999). Eles não se restringiram a avaliar somente a precipitação e vazão da bacia, e sim outras importantes componente do ciclo hidrológico, como evapotranspiração, transporte de vapor d' água na atmosfera e vento, variáveis que geralmente não recebem o mesmo nível de atenção. Um dos pontos observados pelos autores é que mudanças na magnitude do vento tem um papel importante nas temperaturas

da superfície do mar nesta região, causando, o esfriamento através da evaporação da superfície do oceano. Este trabalho deixa claro que, para se analisar a precipitação sobre uma bacia, vários outros elementos devem ser levados em consideração, assim como a escolha do produto a ser utilizado.

A Figura 9 apresenta os valores médios mensais, para cada bacia considerada neste estudo. Para a bacia do rio Amazonas (Figura 9-a) pode ser visualizada uma discordância entre os valores médios mensais do CPTEC e os demais produtos. Nesta bacia, que já tem um regime pluviométrico bem conhecido e estudado, fica evidente a deficiência deste produto, onde o pico de precipitação não ultrapassou 4 mm/dia. Outro fato interessante evidenciado nesta figura são os valores representados pela curva do produto TRMM para os meses de setembro a dezembro. Nota-se valores mais elevados em relação aos demais produtos, o que condiz com a curva apresentada por este mesmo produto para a análise feita na Figura 8-a.

A bacia do rio Orinoco se localiza ao norte da região amazônica (hemisfério norte) e possui regime de precipitação contrário ao das demais bacias, devido principalmente ao deslocamento da ZCIT do hemisfério norte para o sul (Figura 9-b). As curvas dos produtos de interpolação de dados observados (CRU, LC (90) e LW (90)), assim como os adquiridos a partir da composição de observações de superfície com sensoriamento remoto (TRMM, CMAP e GPCP), mostram uma alta concordância entre si. Os bancos de dados construídos através de reanálise para esta bacia possuem valores abaixo da média dos demais produtos na estação chuvosa.

Os gráficos das bacias dos rios Tocantins/Araguaia (Figura 9-c) e do rio São Francisco (Figura 9-d) mostram que todos os produtos possuem uma representação da estação chuvosa e seca bem definida. A estação seca começa a apresentar valores mais baixos no mês de maio e se estendendo até setembro. Na Figura 9-c observa-se também

que as curvas dos produtos de reanálise têm os valores mais elevados, principalmente na estação seca, em relação às demais curvas, porém todas as curvas apresentam o mesmo perfil ao longo do ano.

Na bacia do rio São Francisco (Figura 9-d) observa-se que todos os produtos utilizados para analisar a sazonalidade da precipitação possuem uma forte concordância entre os dados de interpolação de observações pluviométricas (LW(90) e LC(90)), assim como nos dados provenientes da composição de dados observados com satélite (CMAP, GPCP e TRMM). Para os dados de reanálise nota-se que no período de janeiro a maio ocorrem valores médios mais altos que os demais produtos. Já o produto de interpolação do CRU possui valores abaixo das médias dos outros produtos para o mesmo período (janeiro a maio).

A Figura 9-e mostra a deficiência do produto de reanálise do CPTEC para a bacia do rio Paraná/Prata, pois os valores médios mensais encontram-se totalmente subestimados em relação aos demais produtos. Outro que difere dos demais é o TRMM, por colocar na maioria dos meses (exceto junho e julho) valores mais altos para as médias mensais de precipitação. Porém como já foi discutido anteriormente, é conhecida a deficiência deste produto para os extratropicais.

Outro resultado curioso foi o encontrado para as bacias dos principais rios da Patagônia (Figura 9-f), onde foi detectado o maior índice de discordância entre os padrões das curvas dos produtos, embora a variação sazonal seja razoavelmente pequena para todos os produtos, com exceção do produto de satélite TRMM, que mostra uma forte sazonalidade, onde a precipitação média varia de menos de 0,5 mm/dia (junho) a quase 3,5 mm/dia (janeiro), o que deixa claro mais uma vez as limitações deste produto para regiões de latitudes mais altas. Os demais produtos variam entre 0,5 a 2,5 mm/dia, porém esta diferença é mais entre um produto e outro. Observa-se que as curvas do CMAP e GPCP

são paralelas entre si para todos os meses, e a curva do LW(90) apresenta o mesmo comportamento em relação ao LC(90), o que mostra uma certa concordância destes produtos para as latitudes médias.

Na Figura 9 verifica-se que os padrões de sazonalidade são seguidos por todos os produtos para todas as bacias com exceção da bacia dos Rios da Patagônia (Figura 9-f), onde há discordâncias significantes entre os produtos e o produto de reanálise do CPTEC para a bacia do rio Amazonas.

3.2 Radiação Solar Incidente

3.2.1 Comparação dos campos médios

A radiação solar incidente na superfície terrestre é responsável por vários fenômenos meteorológicos, sendo uma variável fortemente relacionada à precipitação e temperatura, o que a torna uma forçante de grande influência na caracterização do clima de um local. Por isso, identificar as variações da radiação solar incidente é de grande importância para se compreender o clima de uma localidade.

Os campos com as climatologias (médias anuais) dos produtos de reanálise, Figura 10, mostram que a América do Sul é um continente com altos valores de radiação solar incidente, em sua maior parte. Nesta figura, fica bem realçado que o continente possui uma média anual em torno de 200 W/m^2 (para converter de W/m^2 para $\text{MJ}/(\text{m}^2\text{dia})$, multiplica-se pelo fator de conversão de 0,0864), o que é notado principalmente nas Figuras 10-b e 10-c.

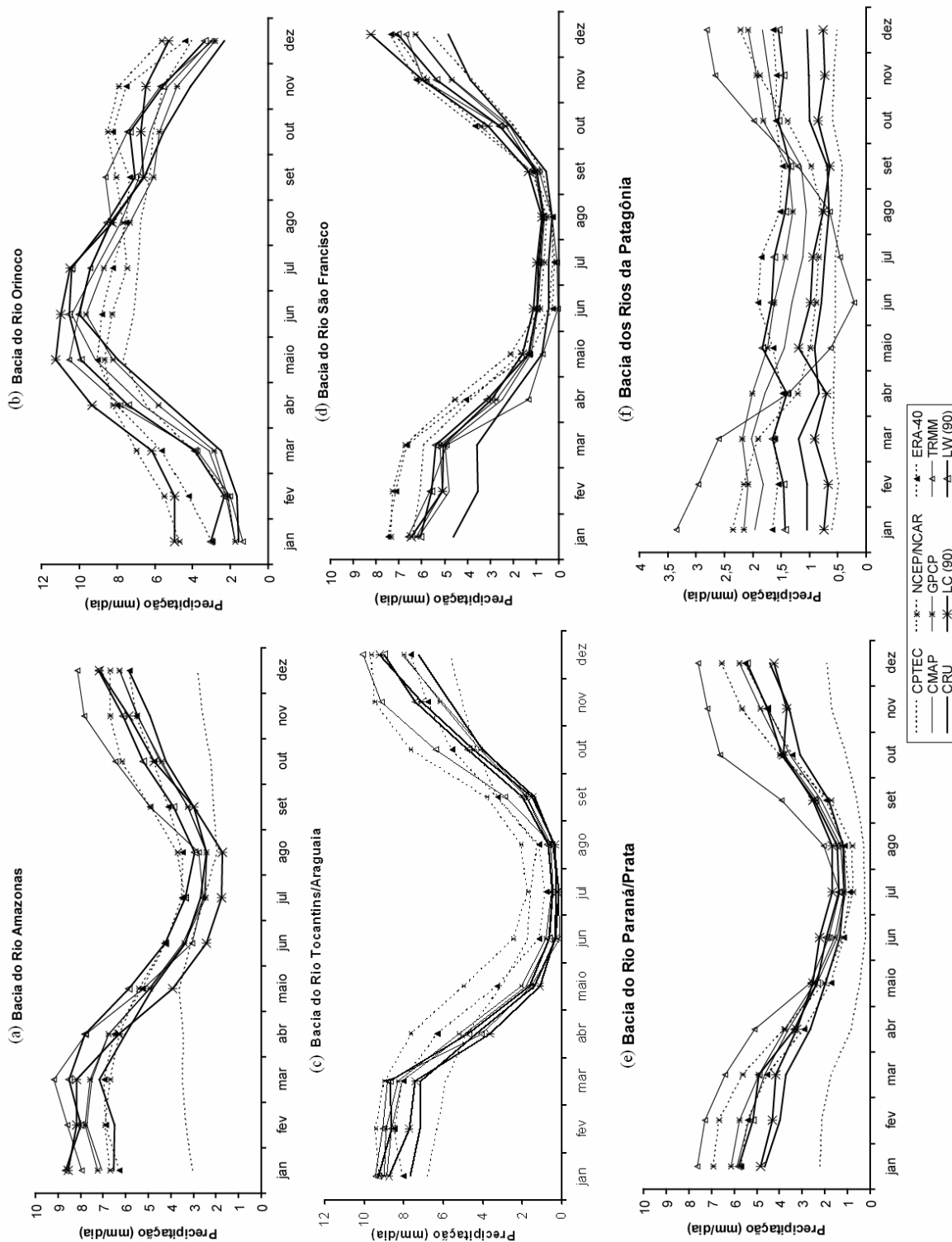


Figura 9 – Médias mensais para as principais bacias hidrográficas da América do Sul, (a) Bacia do Rio Amazonas, (b) Bacia do Rio Orinoco, (c) Bacia do Rio Tocantins/Araguaia, (d) Bacia do Rio São Francisco, (e) Bacia do Rio Paraná/Prata e (f) Bacia dos Rios da Patagônia.

A reanálise regional do CPTEC (Figura 10-a) superestima a média para toda a América do Sul, atribuindo à maior parte do continente valores acima de 300 W/m^2 . Os demais produtos possuem uma espacialização com menores valores das médias, sendo que as reanálises do NCEP/NCAR (Figuras 10-c) e ERA-40 (Figuras 10-d), exceto pelos valores de 250 a 300 W/m^2 plotados pelo NCEP/NCAR para uma larga faixa da região nordeste do Brasil, possuem uma razoável concordância nos valores encontrados, principalmente na região central do Brasil, onde ambos registram valores em torno de 250 W/m^2 , e sobre os oceanos adjacentes ao continente.

O produto criado através de estimativas de imagens de satélite pelo algoritmo GL1.2, Figura 10-b, apresenta valores médios de radiação, para a maior parte do continente, entre 200 e 250 W/m^2 . Os valores mais altos deste produto estão sobre a fronteira norte do continente com o oceano Atlântico, onde se verifica uma faixa com valores de 250 a 300 W/m^2 , o que pode estar relacionado com a forma como o algoritmo trata a diferenciação entre oceanos e continentes. Nas análises a seguir, o produto do algoritmo GL 1.2 (GOES) será considerado referência para comparação com os demais produtos.

3.2.2 Análise da variação meridional

Na Figura 11 encontra-se representada a variação meridional da radiação solar incidente para os períodos de abril a setembro (Figura 11-a) e outubro a março (Figura 11-b), estes períodos foram adotados com a intenção de analisar separadamente o comportamento desta variável para o verão (outubro a março) e inverno (abril a setembro).

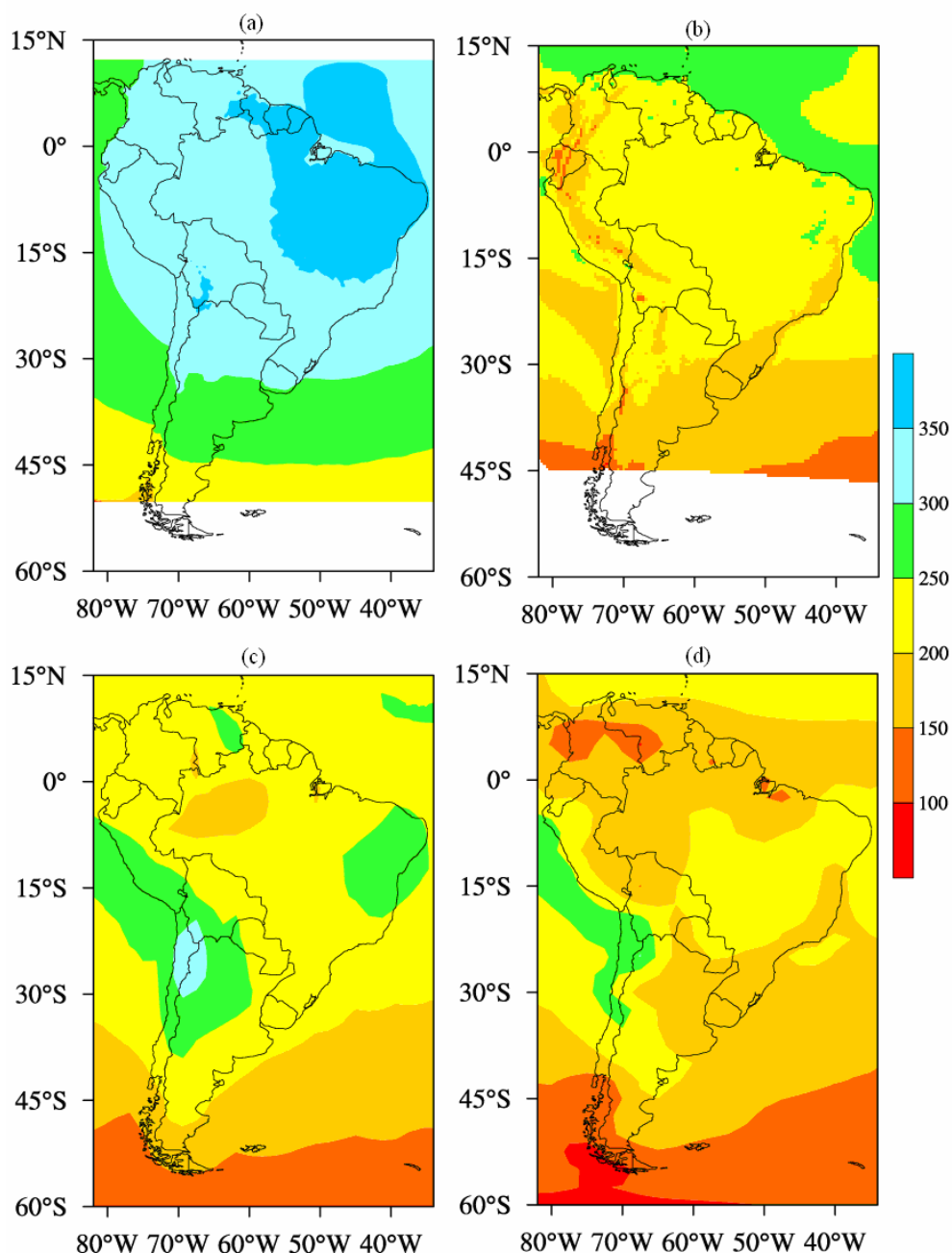


Figura 10 – Climatologia da radiação solar incidente (W/m^2) para a América do Sul, (a) reanálise regional do CPTEC, (b) Algoritmo GL1.2 (GOES), (c) reanálise NCEP/NCAR, e (d) reanálise do ERA-40.

Nota-se que existe um decréscimo para todos os produtos no inverno, isto é conforme aumenta a latitude menores são os valores médios da radiação, que é normal para esta época do ano no hemisfério sul, Figura 11-a. Ainda nesta figura verifica-se que as

reanálises do NCEP/NCAR e ERA-40 apresentam médias com valores bem próximos para todas as bandas e encontram-se dentro do intervalo de confiança do algoritmo GL1.2 (GOES). Já a reanálise do CPTEC apresenta valores superestimados para todas as bandas em relação ao produto do algoritmo GL1.2 (GOES), porém o padrão da variação meridional é também observado para o produto de reanálise do CPTEC.

A Figura 11-b, mostra que existe uma menor variação da média de cada banda para os meses de verão que pode ser observado em todos os produtos. As reanálises do NCEP/NCAR e ERA-40 também apresentam uma boa concordância entre suas médias para todas as bandas, porém a partir da latitude de 30° S seus valores ficam fora do intervalo de confiança do algoritmo GL1.2 (GOES), havendo então uma superestimação dessas reanálises em relação a produto de referencia. A reanálise do CPTEC apresenta valores médios bem mais altos para todas as bandas, mantendo esses valores acima de 300 W/m².

O produto de reanálise regional do CPTEC superestima consideravelmente a radiação em todo o continente tanto no inverno como no verão, embora o perfil da sua curva acompanhe a curva do produto do GOES, que considerou-se como referência.

3.2.3 Análise por tipo de vegetação

Ao avaliar-se a média anual da radiação solar incidente em cada bioma (Tabela 4), nota-se que a diferença da média apresentada pelo produto de reanálise do CPTEC em relação aos outros produtos é bem elevada, com 84,59 para o bioma pampas e 127,95 W/m² para o bioma floresta tropical semi-decídua.

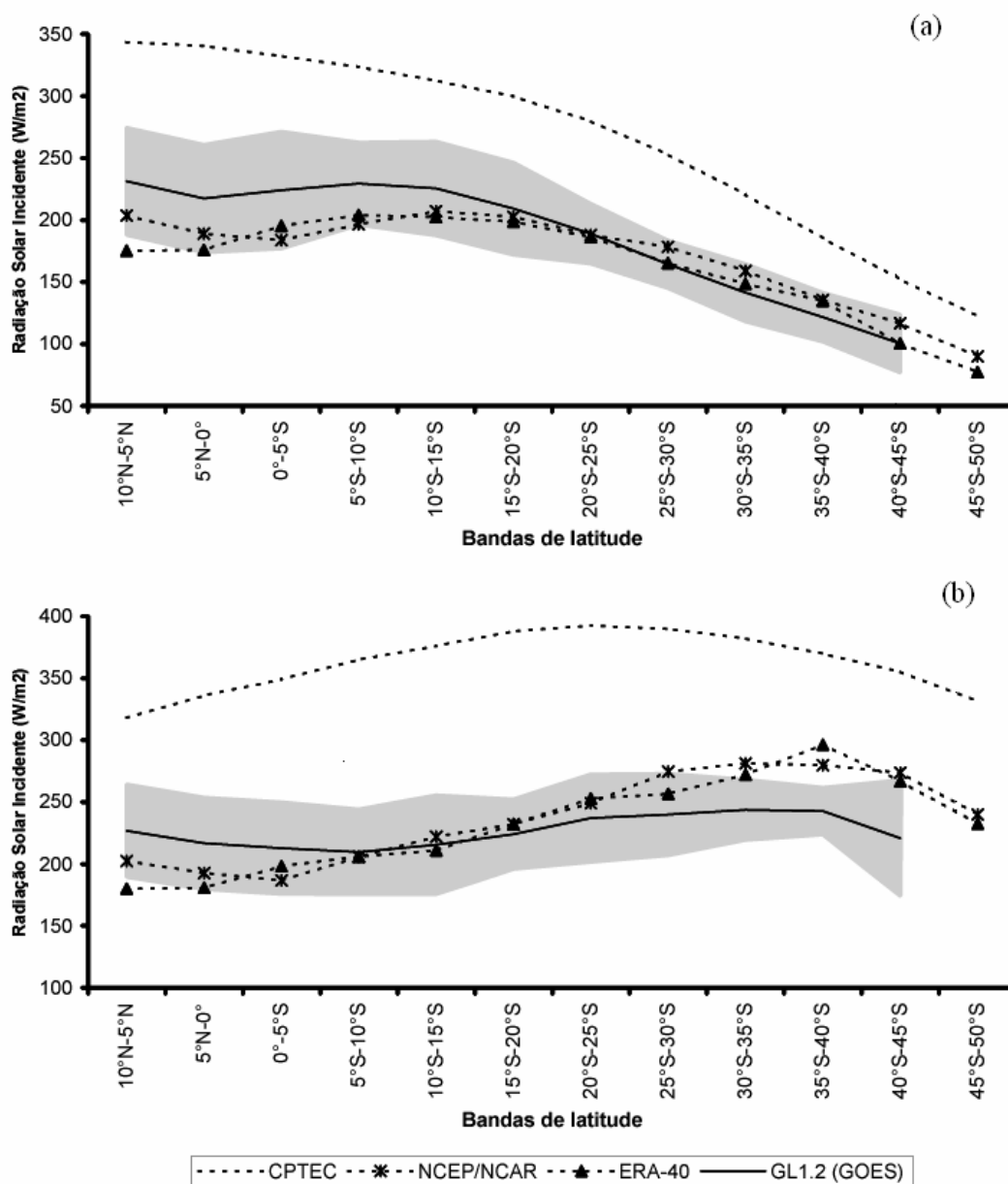


Figura 11 – Variação meridional da radiação solar incidente para a América do Sul, (a) médias para o período de abril a setembro, (b) médias para o período de outubro a março e a área hachurada corresponde ao intervalo de confiança (IC) para a média do produto do algoritmo GL 1.2 (GOES).

Para as reanálises do NCEP/NCAR e ERA-40 os valores das médias anuais encontram-se bem próximos entre si e em relação ao algoritmo GL1.2 (GOES). Também

pode-se observar que em termos de média anual existe uma variação muito pequena entre os biomas, não ultrapassando 50 W/m^2 .

Tabela 4: Médias anuais para a radiação solar incidente (W/m^2) para os tipos de vegetação

Produtos	Floresta Tropical Perene	Floresta Tropical Semi-Decídua	Caatinga	Cerrado	Pampas
CPTEC	337,70	338,40	334,05	341,93	297,55
NCEP/NCAR	189,90	210,05	229,31	206,45	212,96
ERA-40	190,41	208,92	209,85	199,37	208,83
Algoritmo GL1.2 (GOES)	214,50	210,45	236,55	222,83	191,12

Na Figura 12 estão representadas as médias mensais da radiação solar incidente para os principais tipos de vegetação da América do Sul e o intervalo de confiança (IC) para o produto do algoritmo GL 1.2.

Nas Figuras 12-a e 12-b, observa-se que as reanálises do NCEP/NCAR e ERA-40 possuem médias bem próximas para todos os meses do ano, estas médias também encontram-se dentro do IC do GL1.2, já o produto de reanálise do CPTEC tem os valores médios mensais superestimados para todo o ano e fora do IC.

No bioma caatinga (Figura 12-c), nota-se que as reanálises do NCEP/NCAR e ERA-40 apresentam uma maior diferença entre si, principalmente nos meses de janeiro e abril (em torno de 35 W/m^2). O produto estimado pelas imagens do satélite GOES também possui suas médias mais elevadas em relação às reanálises do NCEP/NCAR e ERA-40 para os meses de abril a setembro. A reanálise do ERA-40 não se encontra dentro do IC para os meses de março a junho e a reanálise do NCEP/NCAR está fora do IC nos meses de janeiro e dezembro. Ainda nesta figura nota-se que a reanálise do CPTEC apresenta médias dentro do IC do GL1.2 (GOES) para os meses de junho a agosto.

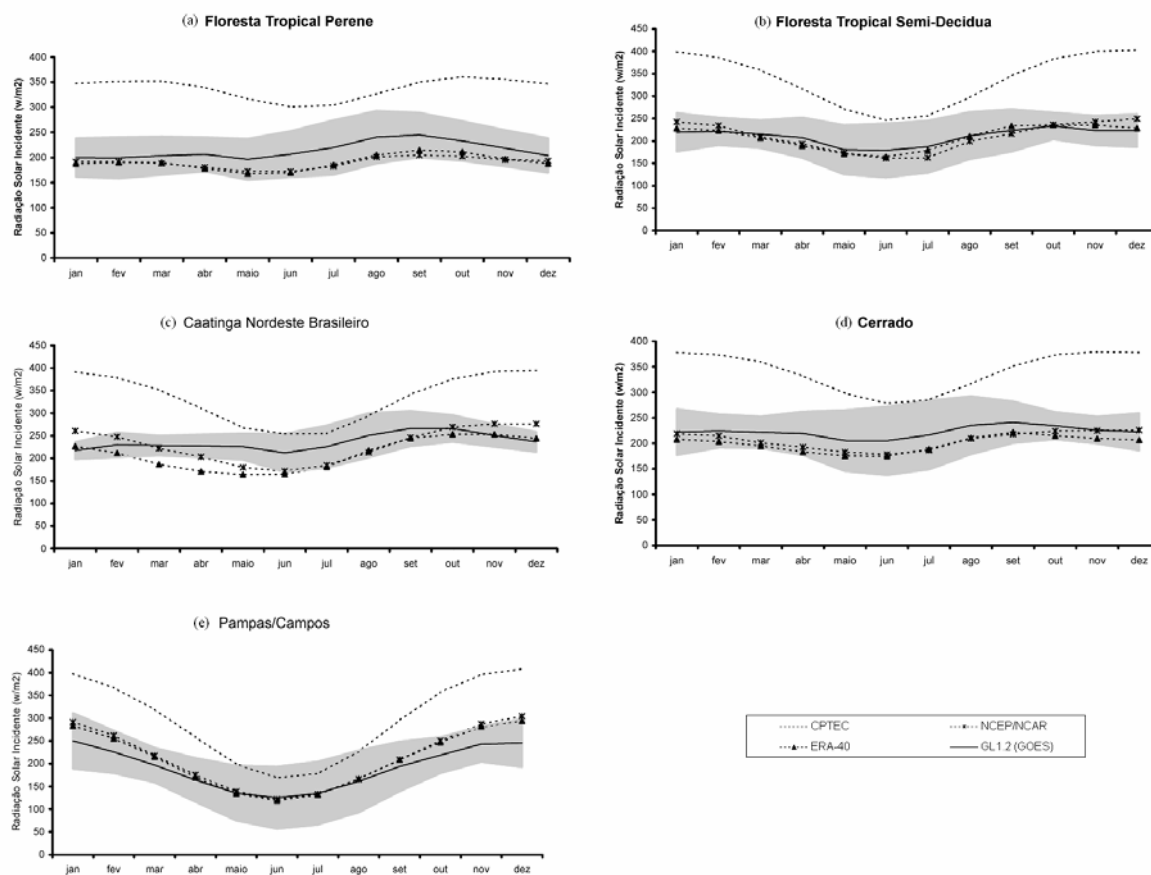


Figura 12 – Médias mensais para a radiação solar incidente para os principais tipos de vegetação da América do Sul, (a) Floresta Tropical Perene, (b) Floresta Tropical Semi-Decídua, (c) Caatinga, (d) Cerrado, (e) Pampas/Campos e a área hachurada corresponde ao intervalo de confiança (IC) para o produto GL1.2 (GOES).

Para o cerrado (Figura 12-d), os valores das reanálises NCEP/NCAR e ERA-40 possuem médias mensais com uma forte concordância entre elas e encontram-se dentro do IC para todos os meses do ano. Já a reanálise do CPTec tem valores mais altos em relação aos demais produtos, porém para os meses de junho e julho as suas médias são bem próximas do limite superior do IC.

Na Figura 12-e, que representa as médias da radiação solar incidente no bioma pampa, os valores das reanálises (NCEP/NCAR e ERA-40) mostram-se com valores

médios praticamente iguais para todo o ano, em relação às médias do algoritmo GL1.2 (GOES). Todavia, observa-se uma pequena superestimação destas reanálises para os meses de janeiro a março e de outubro a dezembro, porém dentro da área correspondente ao IC do GL1.2 (GOES). A reanálise do CPTEC apresenta valores mais altos em relação ao produto do algoritmo GL1.2 (GOES). Nos meses de maio a agosto as médias encontram-se dentro do IC.

A reanálise regional do CPTEC mostra-se sempre com valores bem mais altos em relação ao algoritmo GL1.2 (GOES), deixando evidente que a metodologia utilizada na reanálise do CPTEC possui uma forte tendência de superestimativa dos valores da radiação solar incidente.

3.2.4 Análise para as principais bacias hidrográficas

Para as principais bacias hidrográficas da América do Sul os valores das médias anuais dos produtos de reanálise de NCEP/NCAR, ERA-40 e do algoritmo GL1.2 (GOES) são razoavelmente próximas e a reanálise do CPTEC mostra médias anuais bem mais elevadas em todas as bacias (Tabela 5).

Tabela 5 – Médias anuais para a radiação solar incidente (W/m^2) para as principais bacias hidrográficas

Produtos	Amazonas	Orinoco	Tocantins	São Francisco	Paraná	Patagônia
CPTEC	337,78	330,66	354,54	360,70	335,47	289,20
NCEP/NCAR	191,44	197,18	202,61	229,29	211,19	216,82
ERA-40	197,78	172,53	196,13	211,96	214,41	217,36
Algoritmo GL1.2 (GOES)	212,68	221,59	227,58	234,44	209,37	182,08

Quando analisadas as médias mensais para as principais bacias hidrográficas da América do Sul (Figura 13), nota-se que apenas na bacia do rio Orinoco as médias do NCEP/NCAR e ERA-40 possuem uma diferença maior (Figura 13-b). Outra observação interessante na bacia do rio Orinoco é que as médias mensais da reanálise do ERA-40 ficaram fora do IC, já que para esta bacia os valores médios do algoritmo GL1.2 (GOES) foram mais elevados em relação às duas reanálises globais (NCEP/NCAR e ERA-40).

Para a bacia do rio Tocantins/Araguaia (Figura 13-c) o algoritmo GL1.2 (GOES) também teve as médias mais elevadas em relação às reanálises do NCEP/NCAR e ERA-40. Nesta bacia o IC teve uma faixa bem estreita, o que ocasionou que em vários meses nenhum dos produtos analisados ficasse dentro do IC do algoritmo GL1.2 (GOES).

A Figura 13-d mostra que nos meses de agosto a outubro as reanálises do NCEP/NCAR e ERA-40 possuem as médias um pouco mais afastadas e no resto dos meses há uma boa concordância entre as médias destes produtos. O IC não abrange estas reanálises nos meses de fevereiro a abril, e de setembro a outubro para a reanálise do ERA-40.

A bacia do rio Paraná/Prata (Figura 13-e) e a bacia dos rios da Patagônia (Figura 13-f) apresentam valores das duas reanálises (NCEP/NCAR e ERA-40) praticamente iguais. Nestas duas bacias se nota uma sazonalidade maior na radiação, enquanto nas demais bacias os valores médios variam muito pouco no decorrer do ano.

Para as análises realizadas nesta seção nota-se que a radiação solar incidente obtida pela reanálise do CPTEC manteve seu padrão de superestimação, e em todas as bacias analisadas este produto apresentou médias fora do intervalo de confiança do algoritmo GL1.2 (GOES).

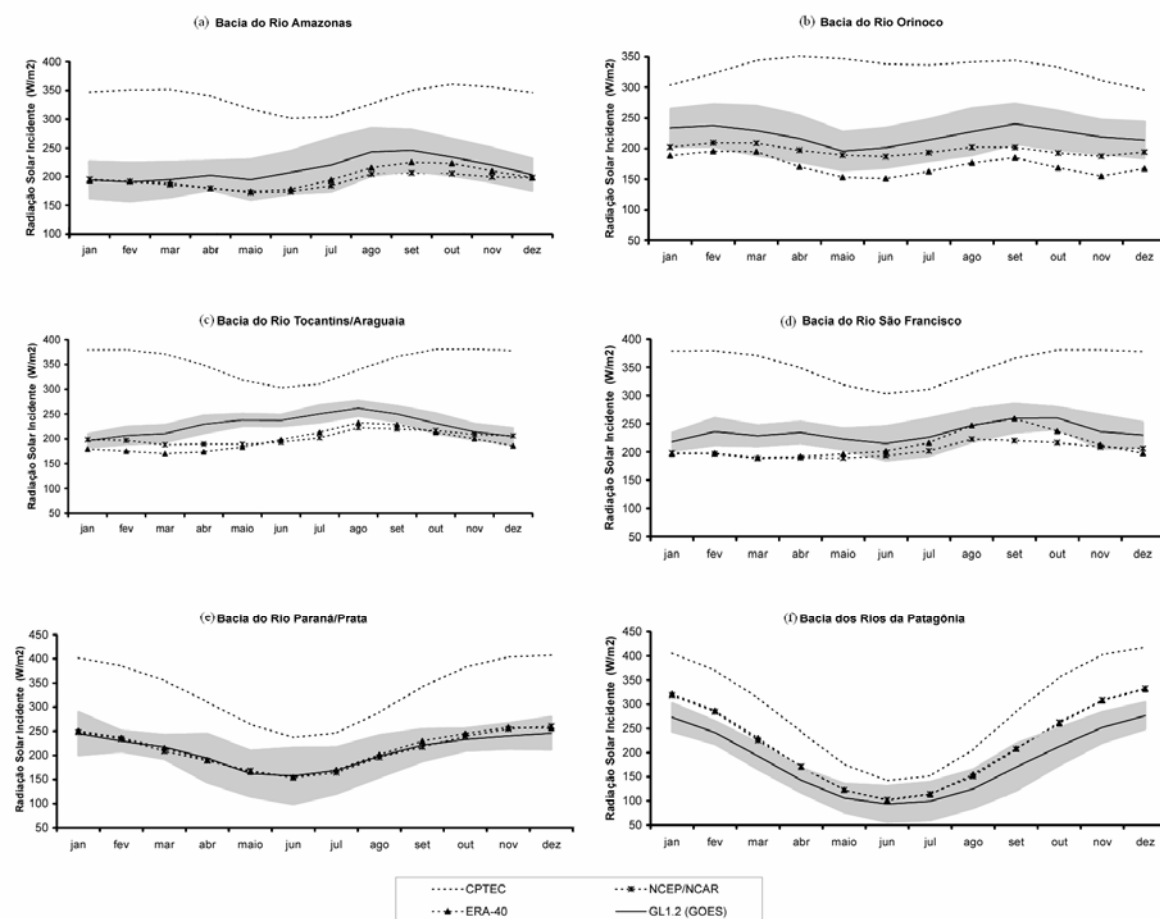


Figura 13 – Médias mensais para a radiação solar incidente para as principais bacias hidrográficas da América do Sul, (a) bacia do Rio Amazonas, (b) Bacia do Rio Orinoco, (c) bacia do Rio Tocantins/Araguaia, (d) bacia do Rio São Francisco, (e) bacia do Rio Paraná/Prata, (f) bacia dos Rios da Patagônia e a área hachurada corresponde ao intervalo de confiança (IC) para o produto GL1.2 (GOES).

4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste trabalho foram comparados os produtos de precipitação e radiação solar incidente para a América do Sul, onde foram realizadas análises iniciais para 13 séries de dados, sendo nove para a variável precipitação e quatro para a variável da radiação solar incidente.

É importante esclarecer que para a variável precipitação não foi adotado nenhum produto como referência, pois um dos propósitos deste estudo é identificar um ou mais produtos que possa vir a ser tratado como uma referência, para os diferentes tipos de vegetação, bacias hidrográficas e variação meridional.

Para a variável precipitação, observa-se que, entre os três produtos de reanálise (CPTEC, NCEP/NCAR e ERA-40), o que se encontrou, na maioria dos resultados, mais próximo às médias dos demais produtos foi o ERA-40, porém com alguns valores fora de contexto, como os dos meses de janeiro a maio no bioma caatinga.

É importante que os usuários de produtos decorrentes do satélite TRMM tenham bastante cautela ao utilizarem estes dados para latitudes médias ou altas, pois para todas as análises realizadas neste estudo onde as regiões se encontravam fora dos trópicos os valores apresentados pelo TRMM foram mais altos em relação à maioria dos produtos.

O produto do CRU é uma boa climatologia, porém seus valores, em alguns casos, ficam abaixo da média em relação aos demais produtos, principalmente no período chuvoso. Este fato pode ser observado na climatologia anual plotada para a série de dados de 1961-1990 do CRU, onde a região mais chuvosa da Amazônia não ultrapassou 8 mm/dia (Figura 6-d).

Na análise realizada para a variação meridional do continente nota-se que cinco produtos apresentaram médias bem próximas (CMAP, GPCP, CRU, LC (90) e LW (90)), enquanto os outros quatro produtos mostraram-se com seus valores médios deslocados, sendo que as reanálises NCEP/NCAR e ERA-40, superestimam para a faixa de latitude de 10° N a 5° S, o TRMM superestima os valores para a faixa de latitude de 25° S a 40° S, e a reanálise do CPTEC subestimou as médias para todas as bandas de latitude.

Para a análise dos tipos de vegetação e bacias hidrográficas, observa-se que de modo geral os produtos de precipitação avaliados conseguiram representar de forma expressiva a sazonalidade existente para estas regiões. Novamente detectou-se que os produtos derivados da combinação de dados de satélite e observações, principalmente o CMAP e GPCP, assim como as interpolações de dados observados em superfície (CRU, LC (90) e LW (90)) apresentam uma boa concordância entre as suas médias, com a ressalva para alguns valores baixos do CRU em algumas estações chuvosas.

Entre os produtos de radiação solar incidente verificou-se que, para a comparação realizada para os tipos de vegetação e bacias hidrográficas, há uma grande concordância entre os valores das reanálises do NCEP/NCAR e ERA-40, e na maioria dos meses estes

produtos se encontram dentro do IC da média do algoritmo GL1.2 (GOES), o que nos permite concluir que estas reanálises possuem uma boa representação da espacialização da radiação solar incidente para diversas regiões do continente.

Para os quatro produtos de radiação solar incidente analisados nota-se que três (NCEP/NCAR, ERA-40 e algoritmo GL1.2 (GOES)) apresentam valores próximos entre si, e que a reanálise do CPTEC sempre coloca valores bem mais elevados. Os dados do satélite GOES apresentam resultados bem próximos das médias das reanálises, porém em alguns casos isolados as diferenças chegam a 60 W/m^2 (bacia do rio Orinoco).

No caso do produto de reanálise do CPTEC ficou clara a sua deficiência em estimar as duas variáveis. As médias da precipitação foram praticamente subestimadas em todas as análises, enquanto que a radiação solar incidente foi superestimada para todo o continente. Esta deficiência apresentada por este produto pode estar relacionada com a parametrização de nuvens no modelo Eta usado pelo CPTEC.

Sabida a importância deste estudo, principalmente no que dizem respeito à tomada de decisão, algumas recomendações específicas para os tipos de vegetação e bacias hidrográficas aqui analisadas se fazem necessárias:

- Tipos de Vegetação: Notou-se que para todos os biomas os produtos que sempre apresentam médias próximas em todos os meses são CMAP, GPCP, LC (90) e LW (90). Porém em alguns casos específicos verifica-se que outros estão dentro da média da maioria, como para o bioma caatinga onde os produtos de reanálise do CPTEC e o CRU também apresentam resultados coerentes, no cerrado a reanálise do ERA-40 também mostra um bom resultado.
- Bacias Hidrográficas: Para a bacia do rio Amazonas os produtos que apresentaram uma melhor concordância foram o CMAP, GPCP, LW (90) e o CRU, já para a bacia do rio Orinoco foram cinco produtos (CMAP, GPCP, TRMM, CRU e LW (90)) que mostraram

resultados semelhantes. A bacia do rio Tocantins/Araguaia tem médias mensais próximas para os produtos CMAP, GPCP, CRU, LC (90) e LW (90). Na bacia do rio São Francisco os produtos de sensoriamento remoto (CMAP e GPCP), a reanálise do CPTEC e as interpolações de dados de superfície do LC (90) e LW (90) mostraram uma forte concordância entre eles. A bacia do rio Paraná/Prata verificou-se médias mensais parecidas para os produtos ERA-40, CMAP, GPCP, CRU, LC (90) e LW (90). Para a bacia dos rios da Patagônia os resultados encontrados não permitem fazer recomendações para futuros usuários destes produtos, sem antes serem realizados mais estudos nesta região.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Betts, A. K.; Ball, J. H.; Viterbo, P.; Dai, A. and Marengo, J., 2005: Hydrometeorology of the Amazon in ERA-40. *Journal of Hydrometeorology*, v. 6, p. 764–774.
- Black, T. L., 1994: The new NMC mesoscale Eta model: Description and forecast examples. *Weather and Forecasting*, v. 9, p. 265-278.
- Ceballos, J.C., M.J. Bottino, J.M. de Souza, 2004: A simplified physical model for assessing solar radiation over Brazil using GOES 8 visible imagery. *Journal of Geophysical Research*, v. 109, D02211, doi:10.1029/2003JD003531.
- Costa, M.H. and J.A. Foley, 1998: A comparison of precipitation datasets for the Amazon basin. *Geophysical Research Letters*, v. 25, p. 155-158.
- Costa, M.H. and J.A. Foley, 1999: Trends in the hydrologic cycle of the Amazon basin. *Journal of Geophysical Research*, v. 104, p. 189-197.

- Kalnay, E.; M. Kanamitsu; R. Kistler; W. Collins; D. Deaven; L. Gandin; M. Iredell; S. Saha; G. White; J. Woollen; Y. Zhu; M. Chellian; W. Ebisuzaki; W. Higgins; J. Janowiak; K. C. Mo; C. Ropelewski; J. Wang; A. Leetmaa; R. Reynolds; J. Janowiak; R. Janne and D. Joseph., 1996: The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 77, p. 437-471.
- Kållberg, P., A. Simmons, S. Uppala and M. Fuentes, 2004: ERA-40 Project Report Series No. 17. The ERA-40 archive.
- Kummerow, C.; Simpson, J.; Thiele, O.; Barnes, W.; Chang, A. T. C.; Stocker, E.; Adler, R. F.; Hou, A.; Kakar, R.; Wentz, F.; Ashcroft, P.; Kozu, T. Hong, Y.; Okamoto, K.; Iguchi, T.; Kuroiwa, H.; Im, E.; Haddad, Z.; Huffman, G.; Ferrier, B.; Olson, W. S.; Zipser, E.; Smith, E.A.; Wilheit, T. T.; North, G. Krishnamurti, T.; Nakamura, K., 2000: The Status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after Two Years in Orbit. *Journal of Applied Meteorology*, v. 39, p. 1965-198
- Leemans, R. and W.P. Cramer, 1990: The IIASA database for mean monthly values of temperature, precipitation and cloudiness on a global terrestrial grid, IIASA Working Papers, p. 90-41, Laxenburg, Austria.
- Legates, D. R. and C.J. Willmott, 1990: Mean seasonal and spatial variability in gauge corrected, global precipitation. *International Journal of Climatology*, v. 10, p. 111–127.
- Lorenz, E.N., 1969: The nature and theory of the general circulation of atmosphere. World Meteorological Organization. N.218, Geneva.
- Pohlmann, H. and Greatbatch, R.J., 2006: Discontinuities in the late 1960's in different atmospheric data products. *Geophysical Research Letters*, v. 33, L22803, doi:10.1029/2006GL027644.

- New, M., Hulme, M., Jones, P. D., 1999: Representing twentieth century spacetime climate variability. part 1: development of a 1961-90 mean monthly terrestrial climatology. *Journal of Climate*, v. 12, p. 829–856.
- Rao, V.B.; S.R. Chapa; S.H. Franchito, 1999: Decadal variation of atmosphere-ocean interaction in the tropical Atlantic and its relationship to the Northeast Brazil rainfall. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, v.77, p.63-75.
- Roads, J.O.; Chen, S.C.; Kanamitsu, M.; JUAN, G.H., 1999: Surface water characteristics in NCEP global spectral model and reanalysis. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, v.104, p.19307-19327.

APÊNDICE A

Nesta seção se tem o exemplo da conversão de resolução que foi necessário fazer nas máscaras de vegetação e bacias hidrográficas, a fim de poder serem aplicadas nos bancos de dados que se encontravam em resoluções de $1^\circ \times 1^\circ$ e $2,5^\circ \times 2,5^\circ$.

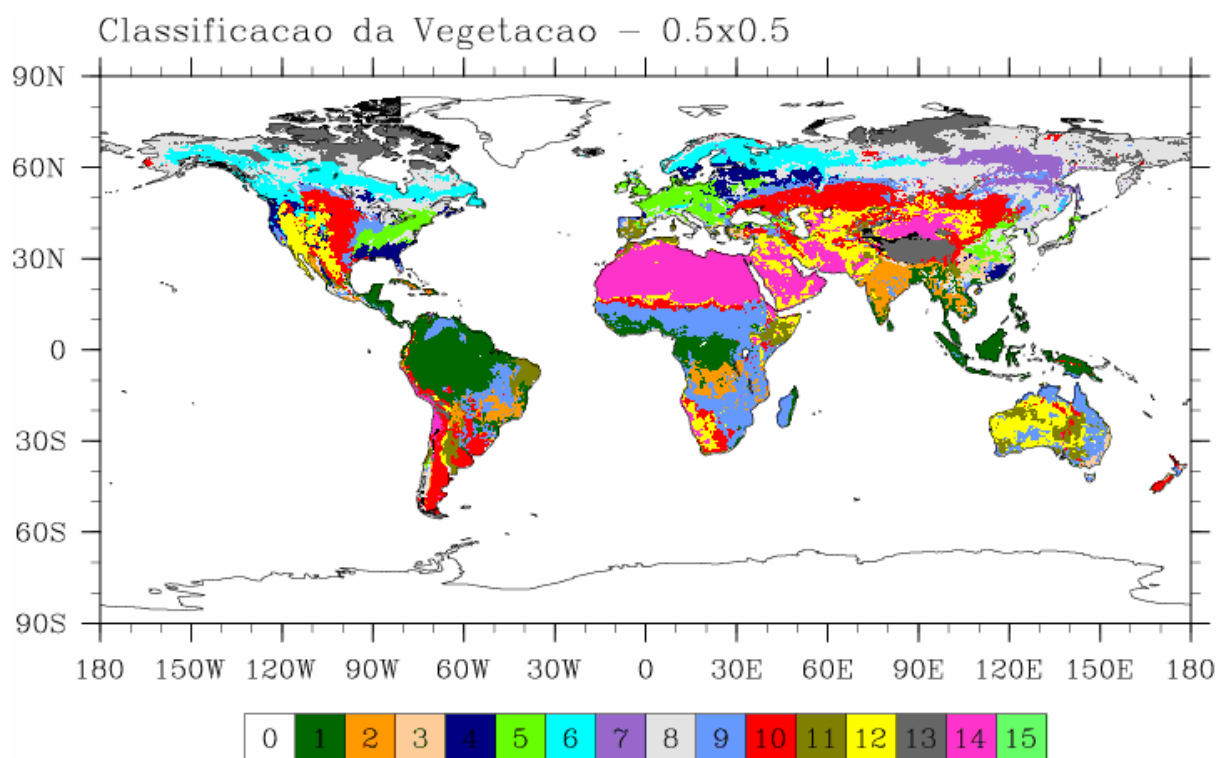


Figura 14 – Máscara com a classificação de vegetação utilizada, resolução $0,5^\circ \times 0,5^\circ$.

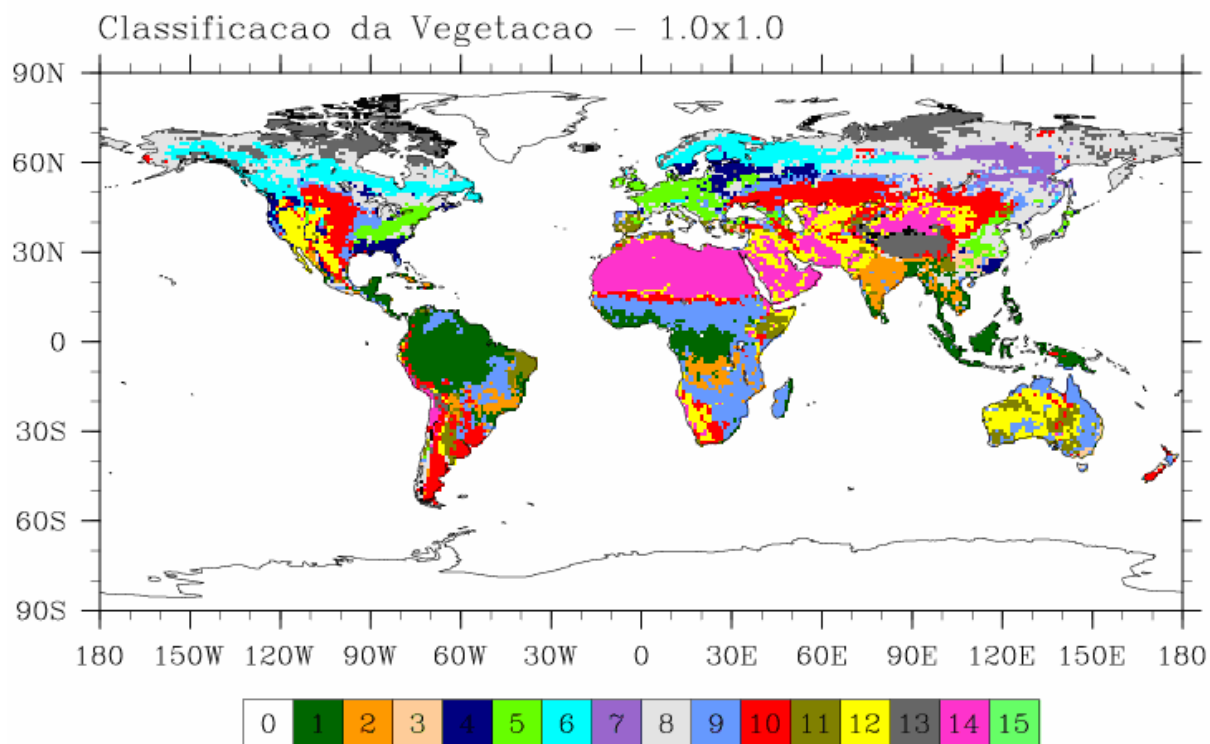


Figura 15 – Máscara com a classificação de vegetação utilizada, resolução 1,0° x 1,0°.

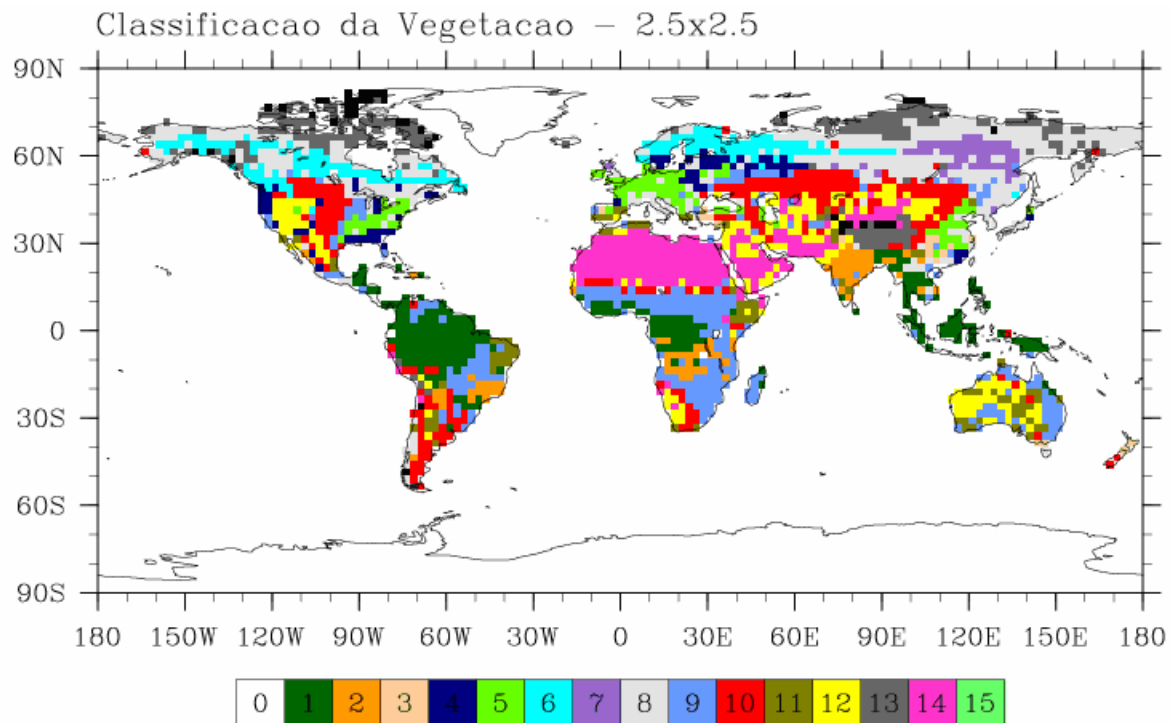


Figura 16 – Máscara com a classificação de vegetação utilizada, resolução 2,5° x 2,5°.

APÊNDICE B

No Apêndice B encontram-se os campos das médias mensais de cada produto de precipitação analisado. Estes campos foram gerados para poder se ter uma idéia do comportamento destes produtos, quando analisados mês a mês para a América do Sul.

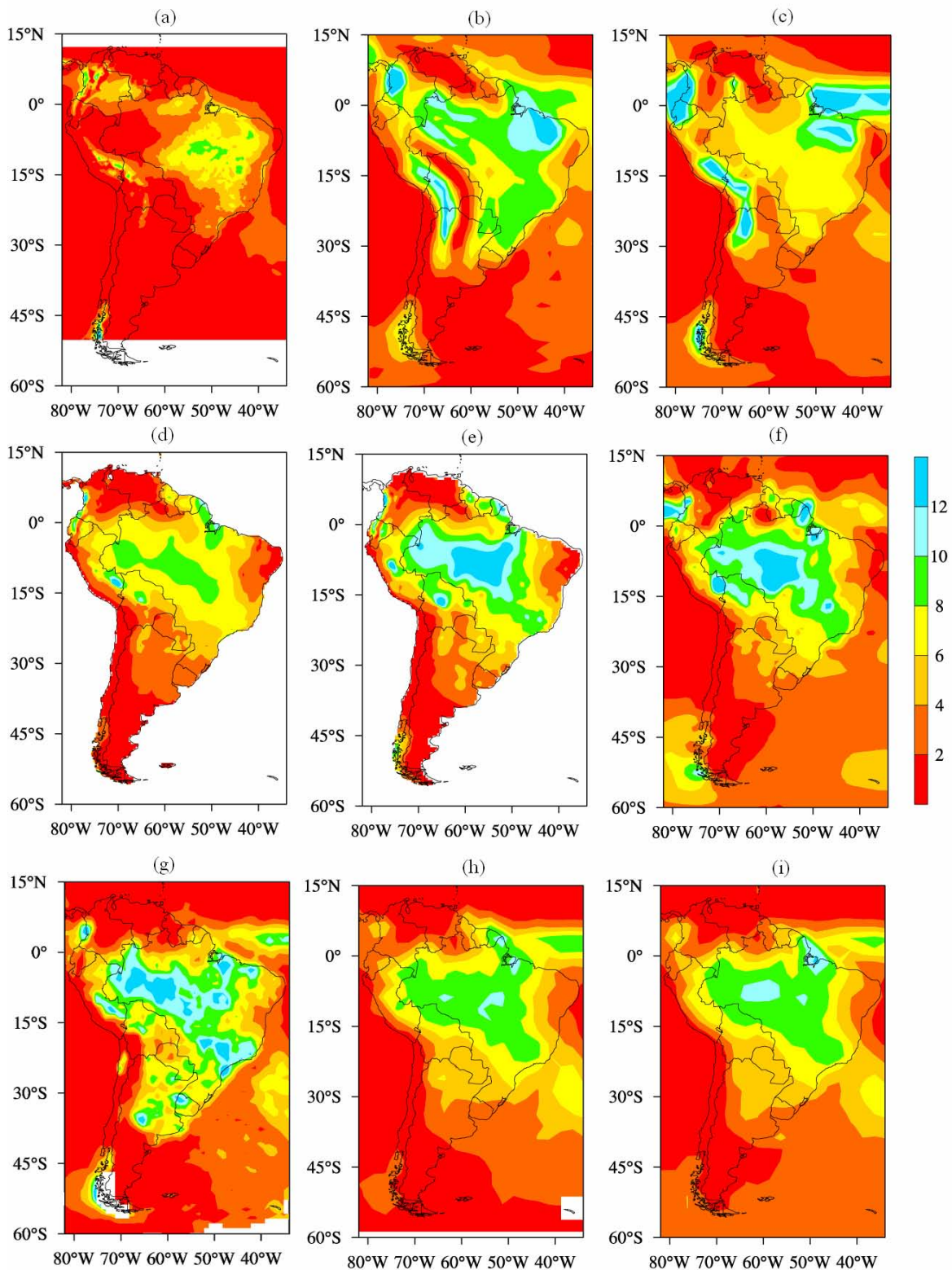


Figura 17 – Climatologia da precipitação para o mês de janeiro (mm/dia) na América do Sul, (a) CPTEC, (b) NCEP/NCAR, (c) ERA-40, (d) CRU, (e) Leemans e Cramer, (f) Legates e Willmott, (g) TRMM, (h) CMAP e (i) GPCP.

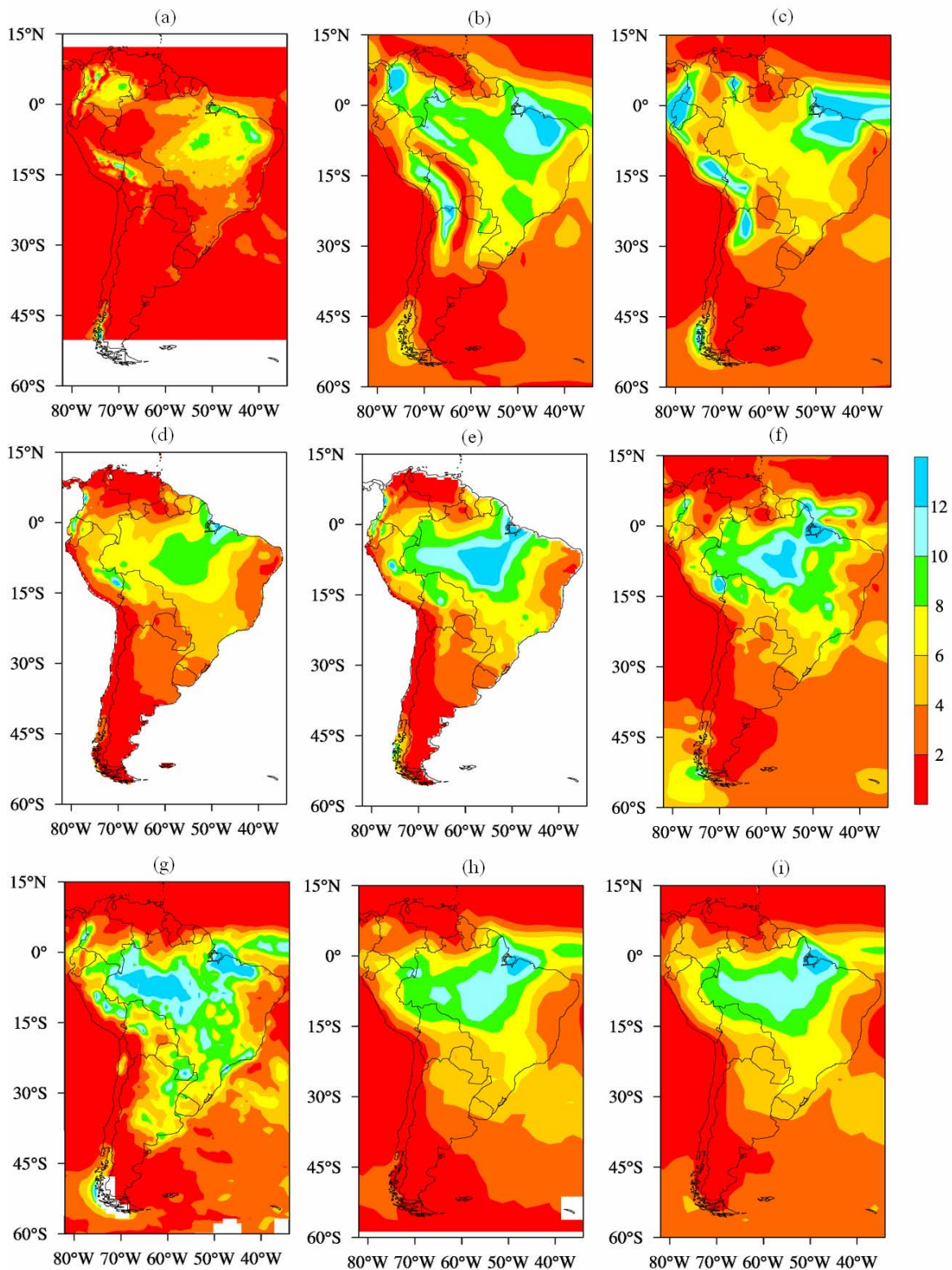


Figura 18 – Climatologia da precipitação para o mês de fevereiro (mm/dia) na América do Sul, (a) CPTEC, (b) NCEP/NCAR, (c) ERA-40, (d) CRU, (e) Leemans e Cramer, (f) Legates e Willmott, (g) TRMM, (h) CMAP e (i) GPCP.

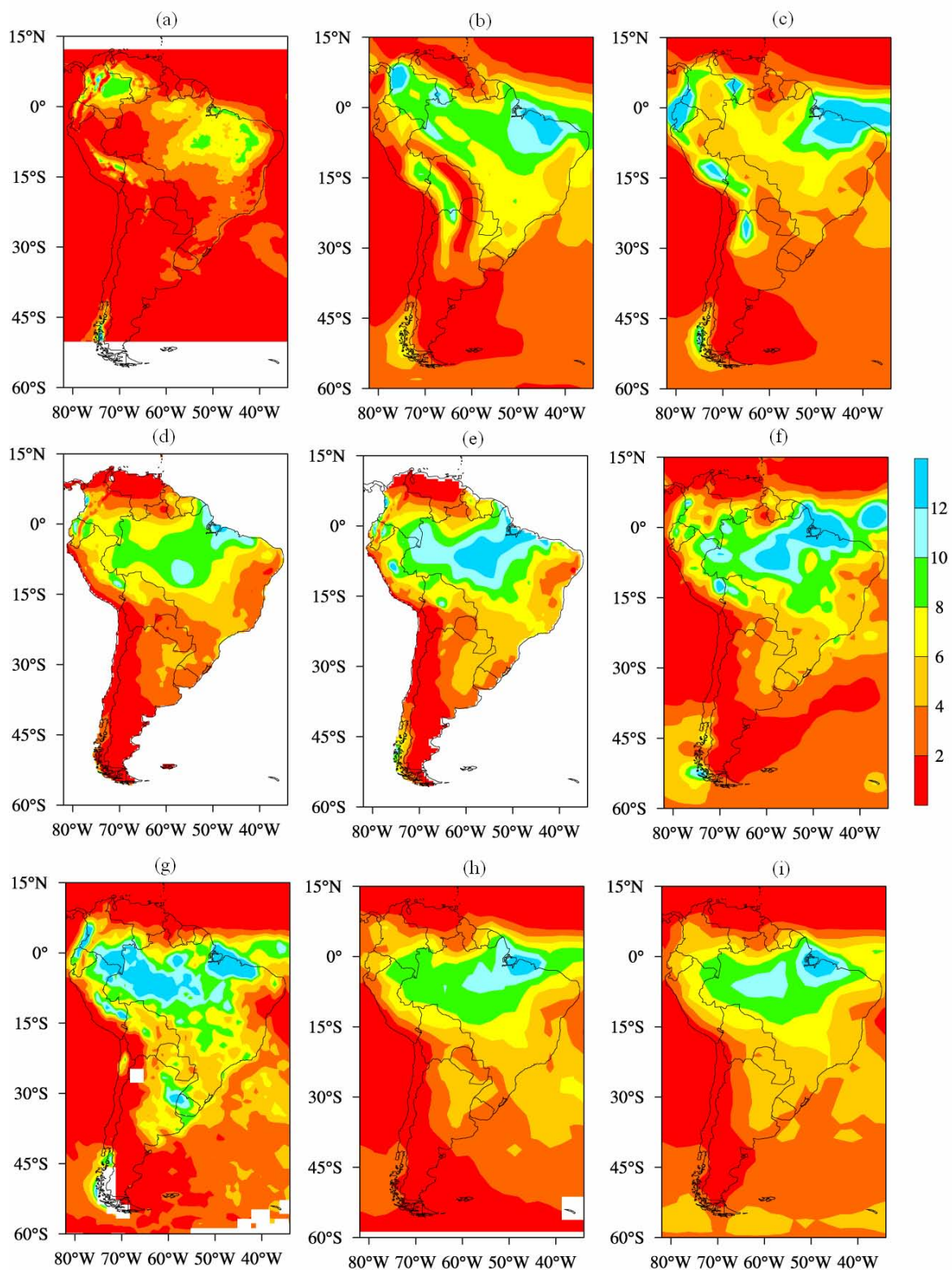


Figura 19 – Climatologia da precipitação para o mês de março (mm/dia) na América do Sul, (a) CPTEC, (b) NCEP/NCAR, (c) ERA-40, (d) CRU, (e) Leemans e Cramer, (f) Legates e Willmott, (g) TRMM, (h) CMAP e (i) GPCP.

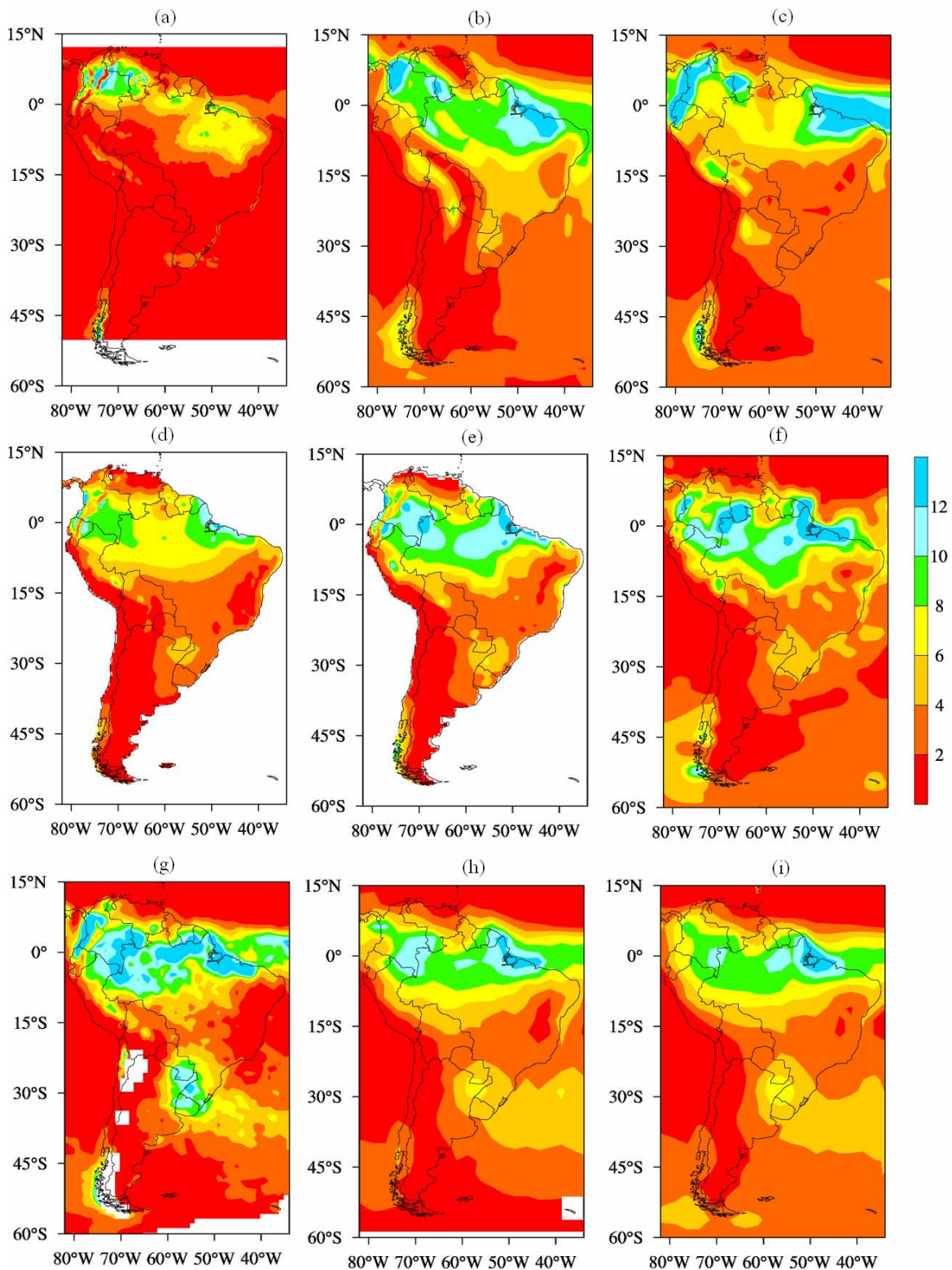


Figura 20 – Climatologia da precipitação para o mês de abril (mm/dia) na América do Sul, (a) CPTEC, (b) NCEP/NCAR, (c) ERA-40, (d) CRU, (e) Leemans e Cramer, (f) Legates e Willmott, (g) TRMM, (h) CMAP e (i) GPCP.

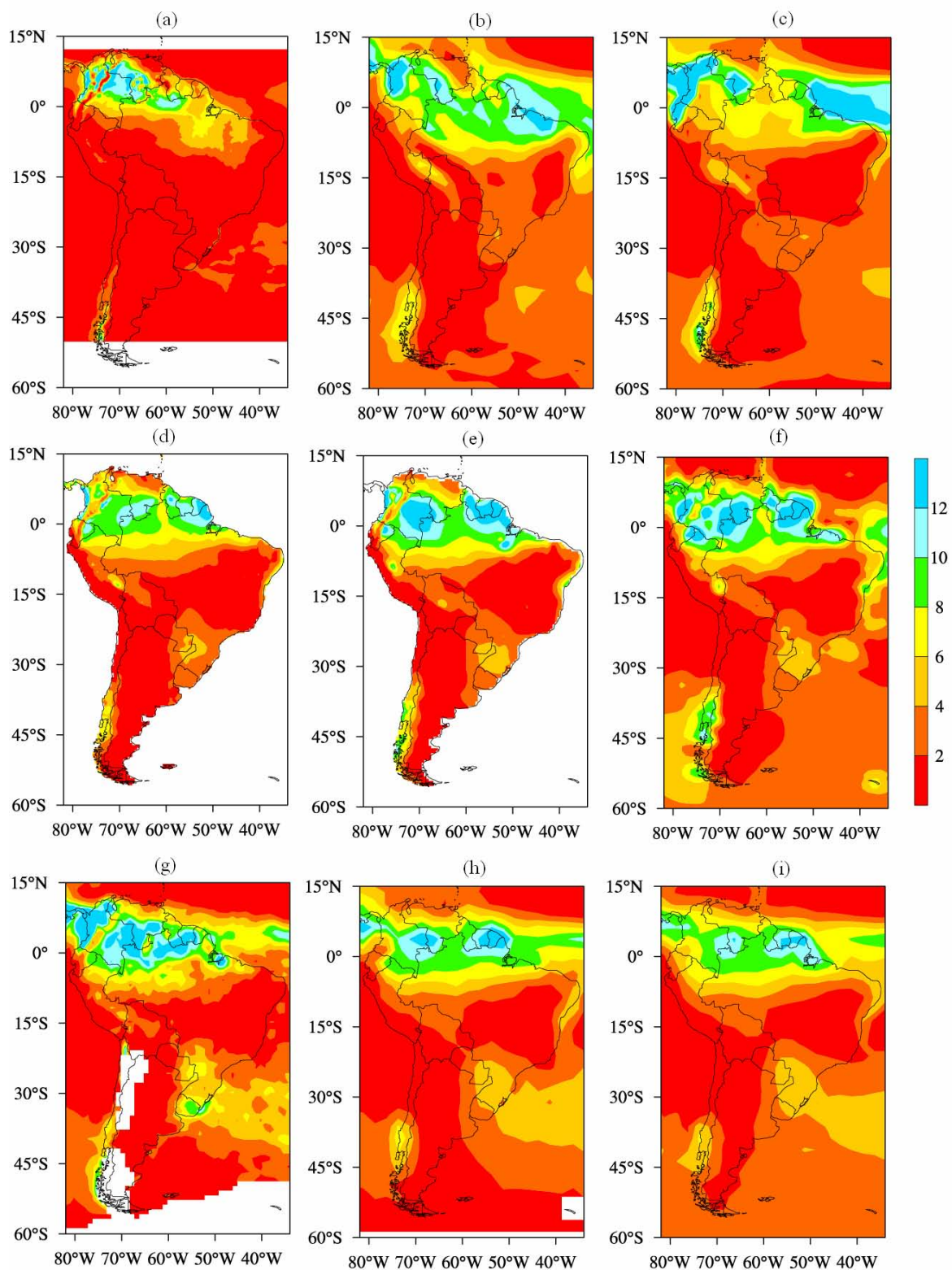


Figura 21 – Climatologia da precipitação para o mês de maio (mm/dia) na América do Sul, (a) CPTEC, (b) NCEP/NCAR, (c) ERA-40, (d) CRU, (e) Leemans e Cramer, (f) Legates e Willmott, (g) TRMM, (h) CMAP e (i) GPCP.

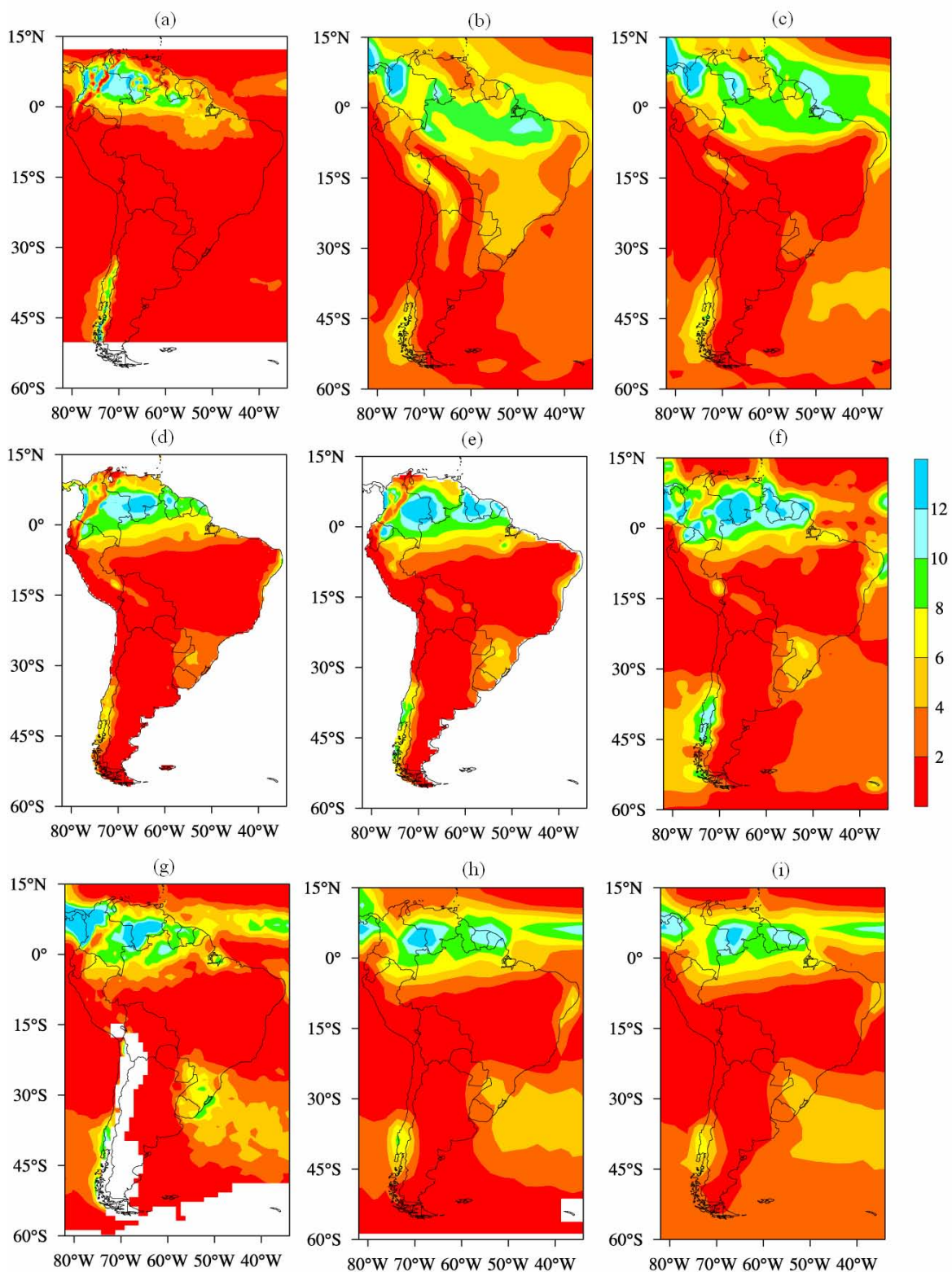


Figura 22 – Climatologia da precipitação para o mês de junho (mm/dia) na América do Sul, (a) CPTEC, (b) NCEP/NCAR, (c) ERA-40, (d) CRU, (e) Leemans e Cramer, (f) Legates e Willmott, (g) TRMM, (h) CMAP e (i) GPCP.

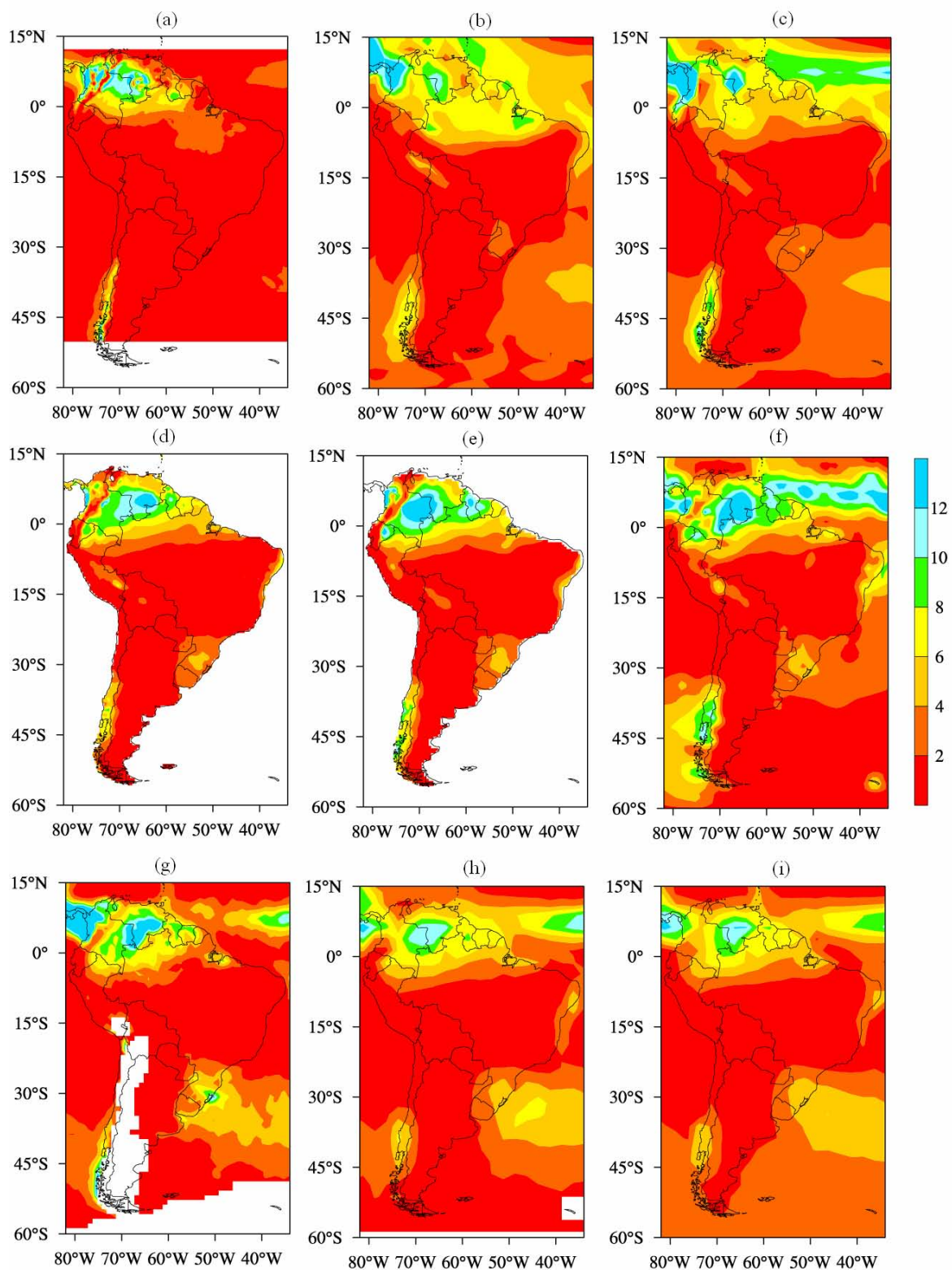


Figura 23 – Climatologia da precipitação para o mês de julho (mm/dia) na América do Sul, (a) CPTEC, (b) NCEP/NCAR, (c) ERA-40, (d) CRU, (e) Leemans e Cramer, (f) Legates e Willmott, (g) TRMM, (h) CMAP e (i) GPCP.

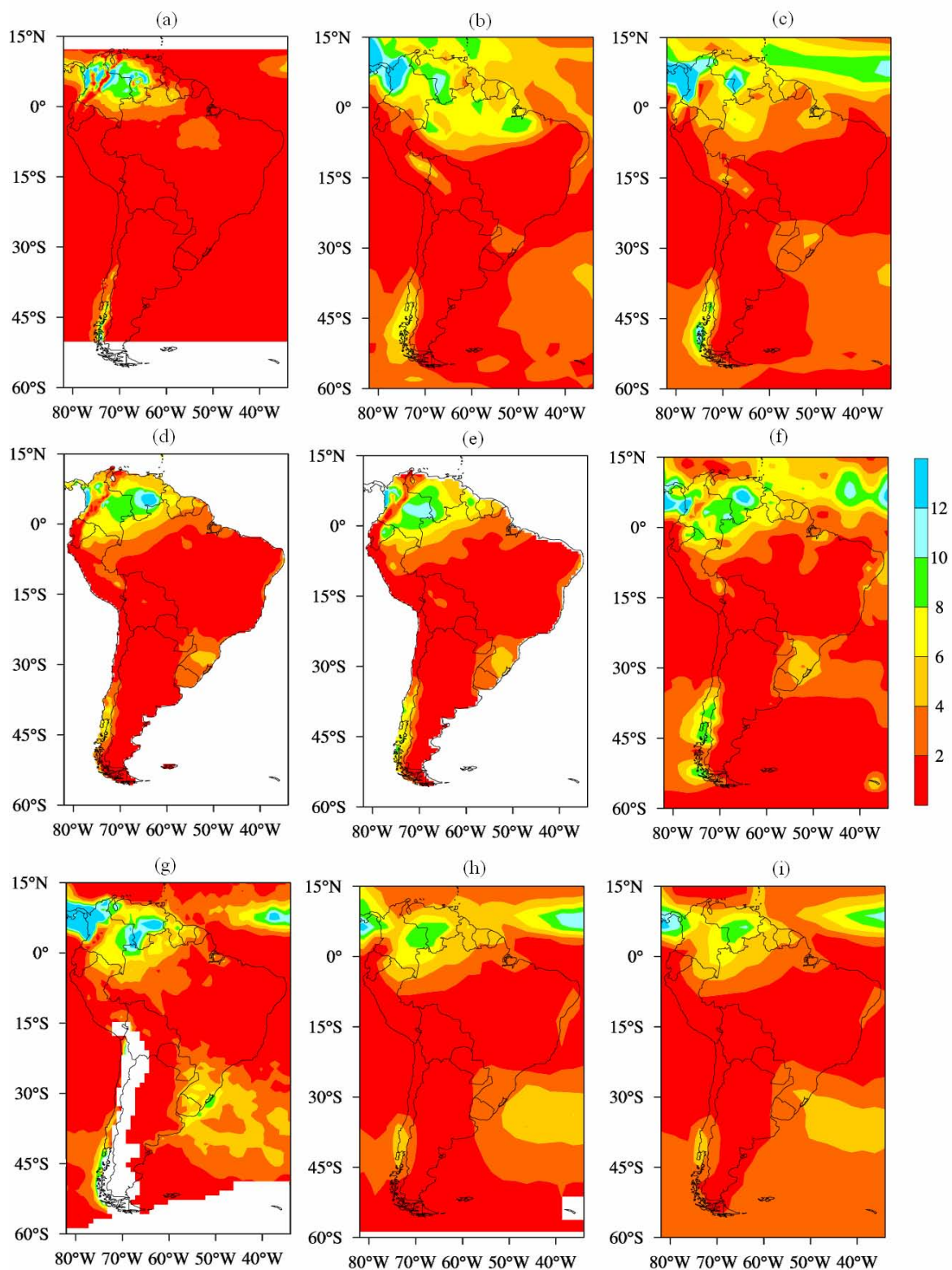


Figura 24 – Climatologia da precipitação para o mês de agosto (mm/dia) na América do Sul, (a) CPTEC, (b) NCEP/NCAR, (c) ERA-40, (d) CRU, (e) Leemans e Cramer, (f) Legates e Willmott, (g) TRMM, (h) CMAP e (i) GPCP.

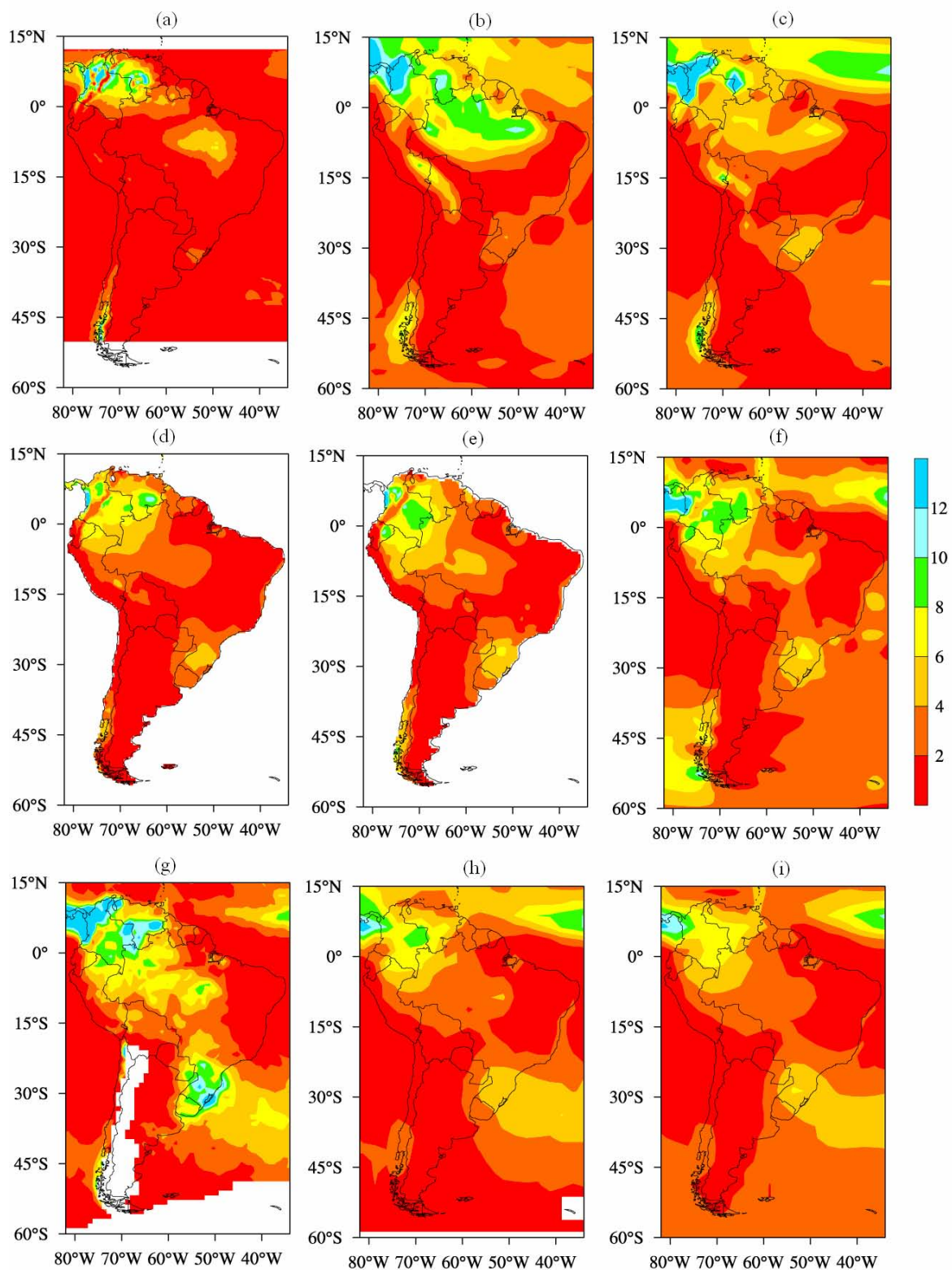


Figura 25 – Climatologia da precipitação para o mês de setembro (mm/dia) na América do Sul, (a) CPTEC, (b) NCEP/NCAR, (c) ERA-40, (d) CRU, (e) Leemans e Cramer, (f) Legates e Willmott, (g) TRMM, (h) CMAP e (i) GPCP.

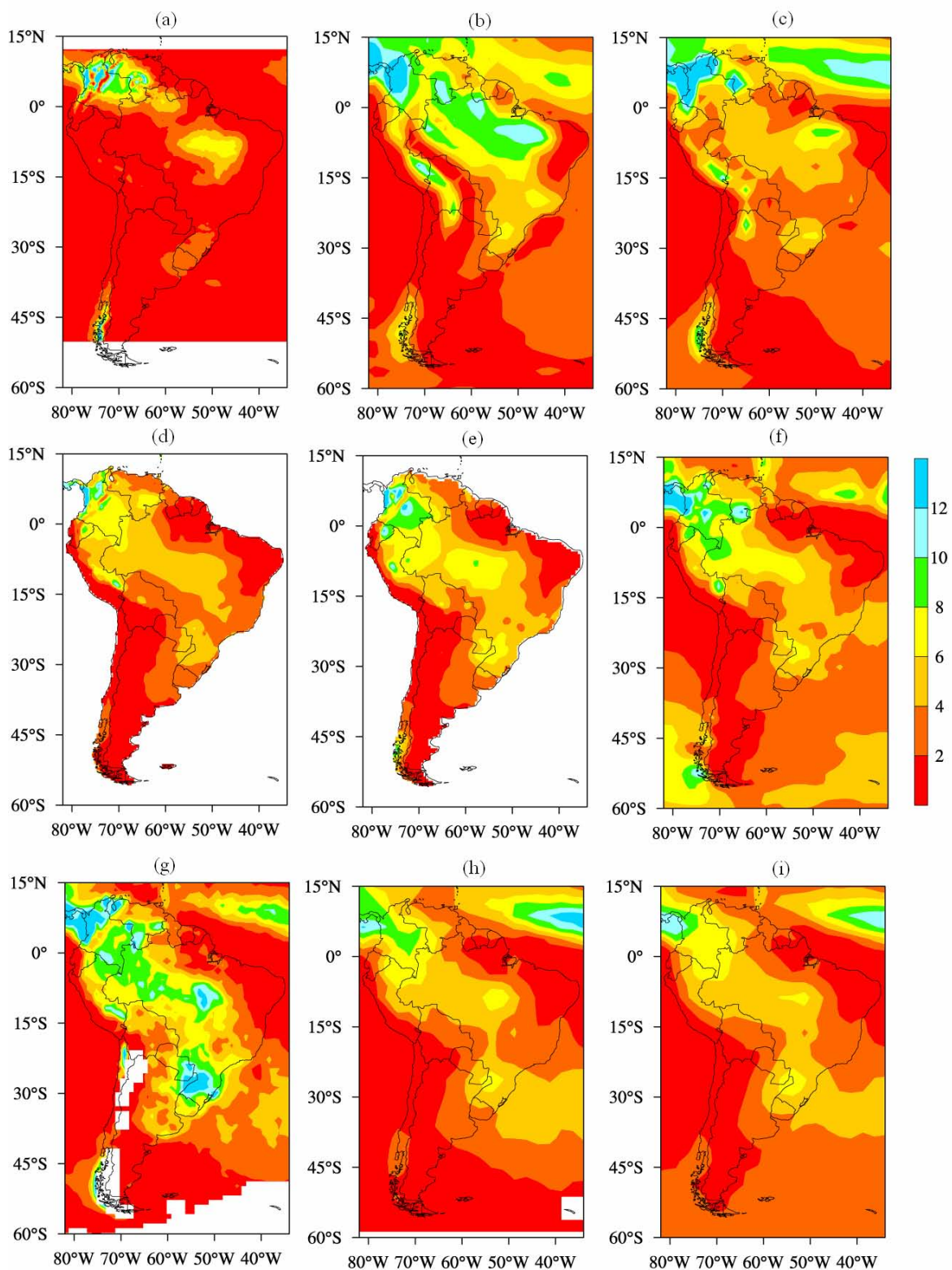


Figura 26 – Climatologia da precipitação para o mês de outubro (mm/dia) na América do Sul, (a) CPTEC, (b) NCEP/NCAR, (c) ERA-40, (d) CRU, (e) Leemans e Cramer, (f) Legates e Willmott, (g) TRMM, (h) CMAP e (i) GPCP.

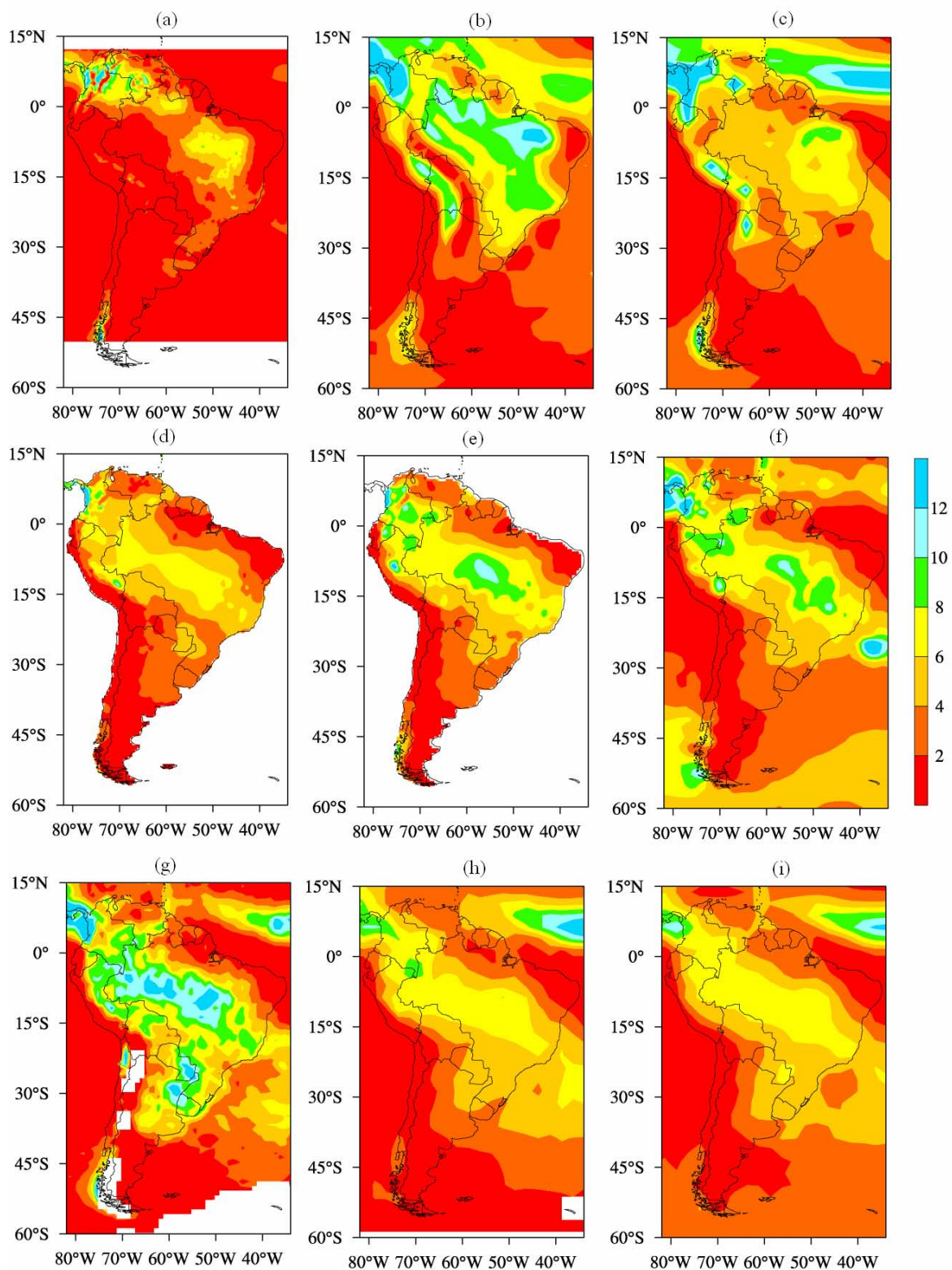


Figura 27 – Climatologia da precipitação para o mês de novembro (mm/dia) na América do Sul, (a) CPTEC, (b) NCEP/NCAR, (c) ERA-40, (d) CRU, (e) Leemans e Cramer, (f) Legates e Willmott, (g) TRMM, (h) CMAP e (i) GPCP.

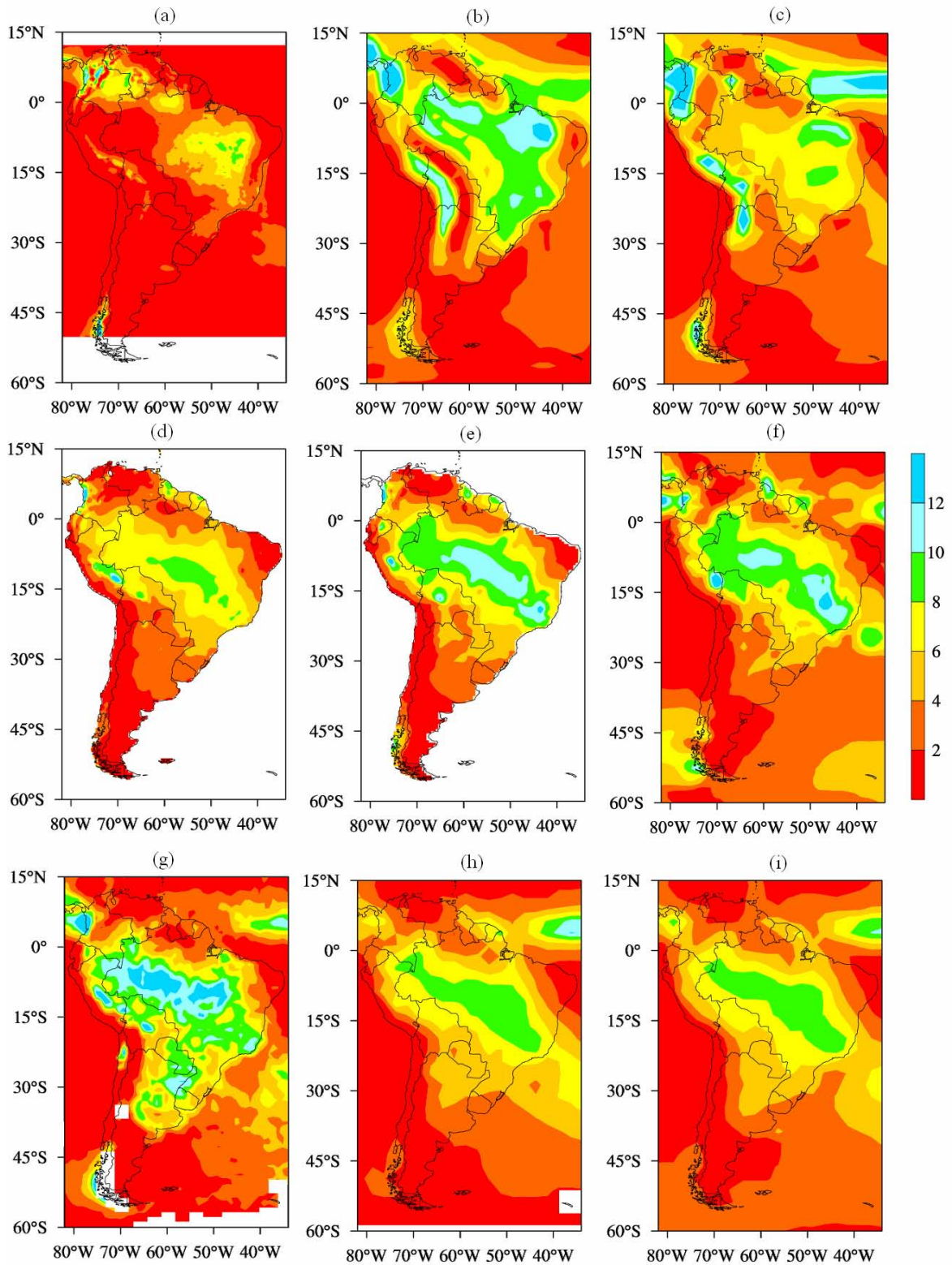


Figura 28 – Climatologia da precipitação para o mês de dezembro (mm/dia) na América do Sul, (a) CPTEC, (b) NCEP/NCAR, (c) ERA-40, (d) CRU, (e) Leemans e Cramer, (f) Legates e Willmott, (g) TRMM, (h) CMAP e (i) GPCP.

APÊNDICE C

Nesta Apêndice C encontram-se os campos das médias mensais de cada produto de radiação solar incidente analisado. Estes campos foram gerados para poder se ter uma idéia do comportamento destes produtos, quando analisados mês a mês para a América do Sul.

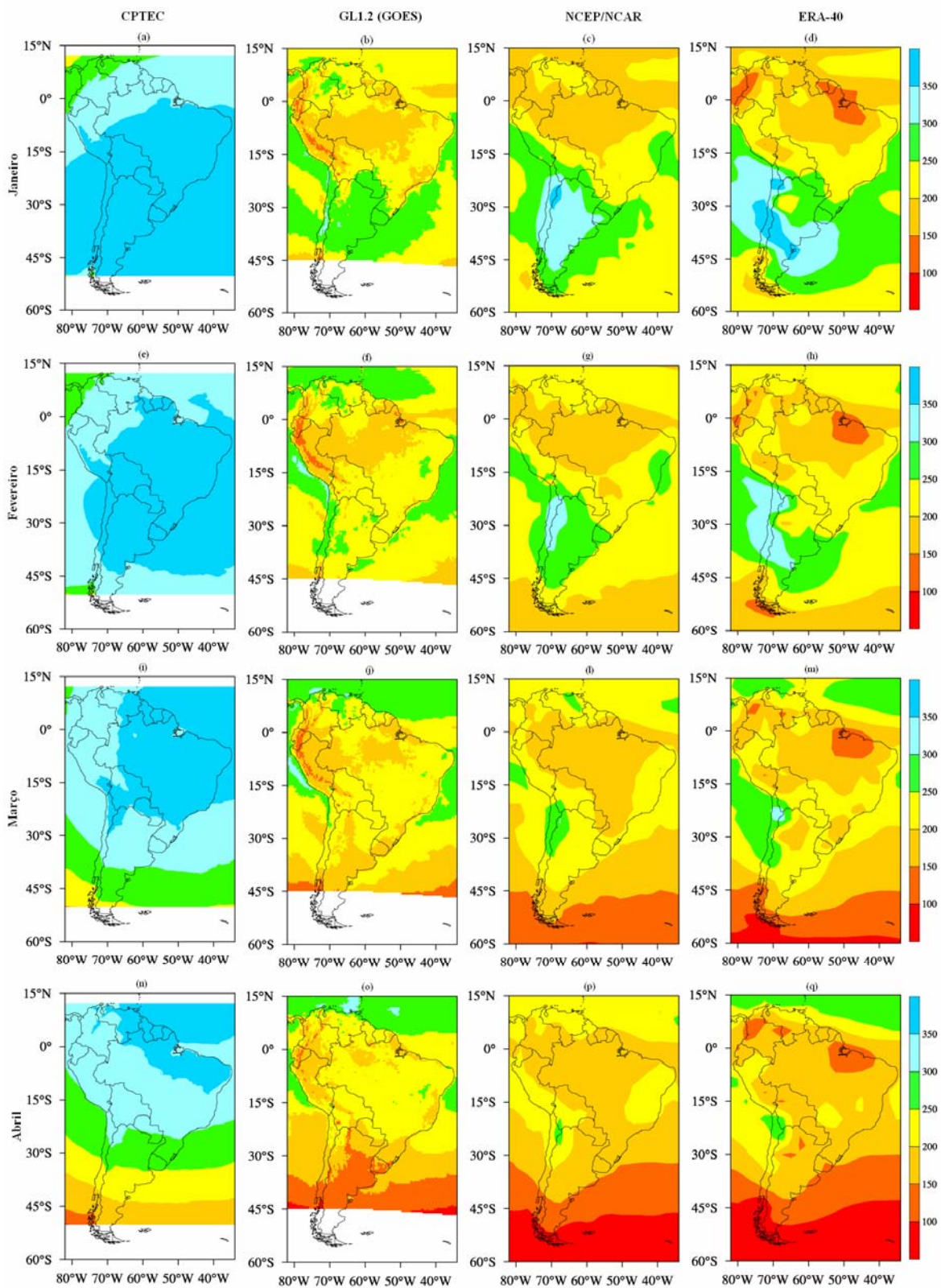


Figura 29 – Climatologia da radiação solar incidente para os meses de janeiro, fevereiro, março e abril (W/m²) na América do Sul.

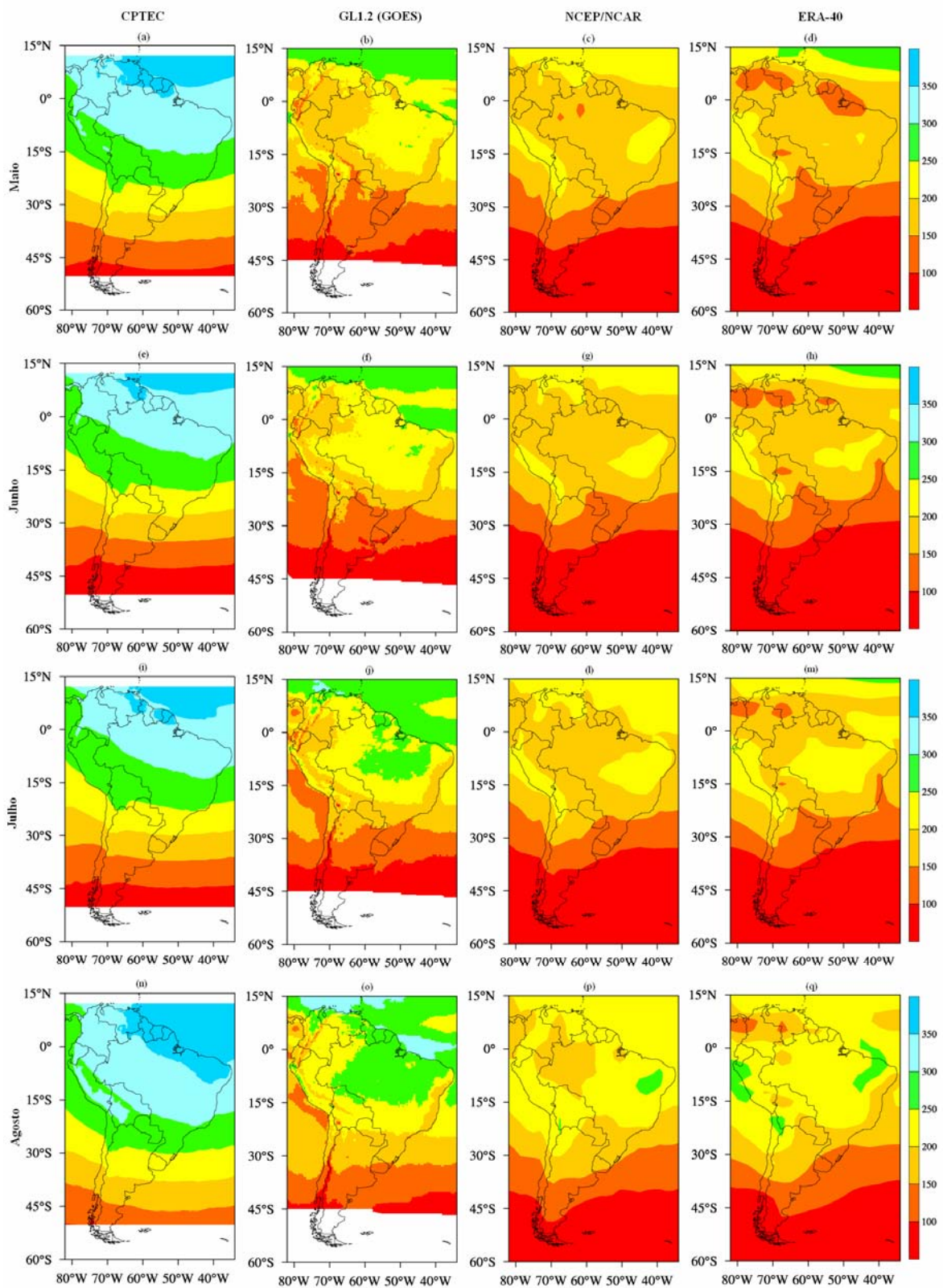


Figura 30 – Climatologia da radiação solar incidente para os meses de maio, junho, julho e agosto (W/m^2) na América do Sul.

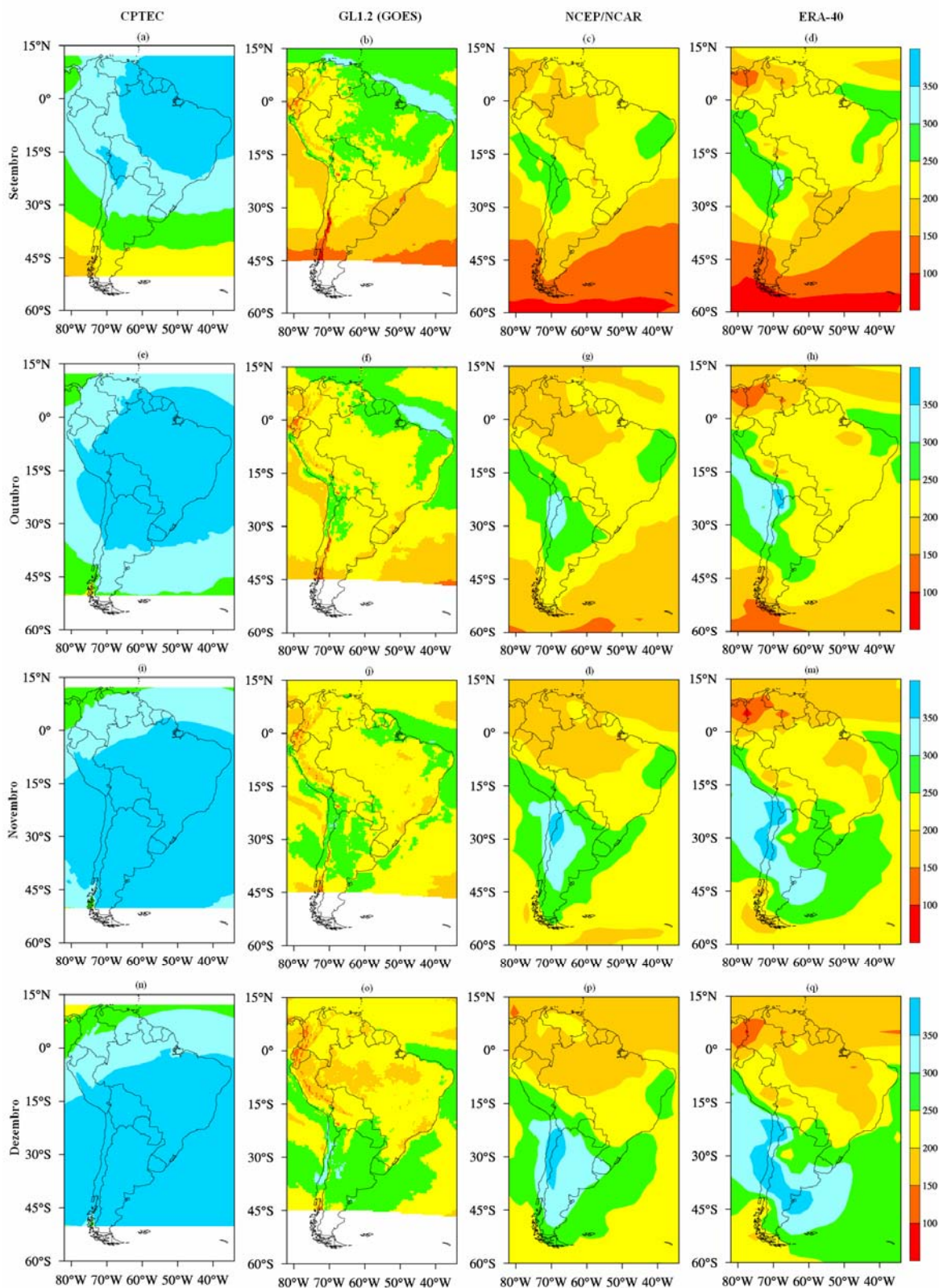


Figura 31 – Climatologia da radiação solar incidente para os meses de setembro, outubro, novembro e dezembro (W/m^2) na América do Sul.