

Revista Brasileira de Geografia Física



ISSN:1984-2295

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Análise comparativa de dados de precipitação gerados pelo "Climate Prediction Center – CPC" versus dados observados para o Sul do Brasil

Camila de Souza Cardoso¹, Mário Francisco Leal de Quadro ²

Artigo recebido em 16/02/2017 e aceito em 25/04/2017

RESUMO

Com o aumento significativo da rede de observação pluviométrica no Brasil, a partir da instalação de estações meteorológicas automáticas, cada vez mais se tem a necessidade de uniformizar, tanto no espaço como no tempo, as séries diárias de precipitação. Em função disso, este estudo tem por objetivo analisar o desempenho da nova geração de dados de precipitação do Climate Prediction Center (CPC) para região Sul do Brasil, comparando com dados observados em estações meteorológicas. Neste trabalho, são utilizados dados acumulados diários de precipitação fornecidos pelo CPC/NCEP/NOAA (Climate Prediction Center/National Centers for Environmental Prediction/national Oceanic and Atmospheric Administration), que possui resolução espacial de 0.5°x0.5°, no período de 01 de janeiro de 1979 a 31 de dezembro de 2015. As análises foram realizadas através de técnicas estatísticas comparando com dados de precipitação observados em 81 estações localizadas nos três estados da região Sul do Brasil, disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A etapa de consistência dos dados observados mostrou que as séries observadas possuem falhas à nível diário, mensal e anual, que podem ter alterado o padrão climatológico da precipitação no Sul do Brasil. A análise estatística dos dados mostrou que o CPC possui bom desempenho em representar a precipitação no Sul do Brasil, com tendência a subestimar a precipitação em regiões montanhosas e os maiores erros ocorreram nas regiões oeste e litorâneas do Sul do Brasil.

Palavras-chave: Dados diários de Precipitação, análise estatística, Sul do Brasil.

Comparative analysis of precipitation data generated by Climate Prediction Center – CPC versus data observed for the South of Brazil

ABSTRACT

With the significant increase of the rainfall observation network in Brazil, with the installation of automatic meteorological stations, there is an increasing need to standardize, both in space and in time, the daily series of precipitation. Therefore, this study aims to analyze the performance of the new generation of precipitation data from the Climate Prediction Center (CPC) for the southern region of Brazil, comparing with data observed in meteorological stations. This work uses daily cumulative precipitation data provided by the CPC/NCEP/NOAA (Climate Prediction Center/National Centers for Environmental Prediction/National Oceanic and Atmospheric Administration), which has spatial resolution of 0.5° x 0.5° , considering the period from January 1st, 1979 to December 31st, 2015. The analyzes were performed by using statistical techniques to make a comparison with precipitation data observed in 81 stations located in the three southern states of Brazil, made available by the National Water Agency (ANA) and the National Institute of Meteorology (INMET). The stage of consistency of the observed data showed that the evaluated series have daily, monthly and annual faults that may have altered the precipitation climatological pattern in southern Brazil. The statistical analysis of the data showed that CPC has a good performance in representing precipitation in southern Brazil, with a trend to underestimate precipitation in mountainous regions, and the major errors occurred in the western and coastal regions of southern Brazil.

Keywords: Precipitation daily data, statistical analysis, Southern Brazil.

¹ Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Geociências, Campus Trindade Caixa Postal 476, Florianópolis - SC, Brasil, k_mila_krdoso@hotmail.com (autor correspondente). Professor do Instituto Federal de Santa Catarina, Curso Técnico de Meteorologia, Av. Mauro Ramos n.950, Florianópolis - SC, Brasil, mquadro@ifsc.edu.br.

Introdução

A ausência de séries históricas completas está entre as maiores dificuldades encontradas em estudos climatológicos. Quando se trata de análise em escala espacial e temporal, a qualidade dos meteorológicos muitas vezes comprometida dificultando estudos que exigem séries ininterruptas. Na análise de dados de precipitação, diversas metodologias empregadas para contornar esse problema, entre elas citam-se: método da ponderação regional, métodos de redes neurais artificiais, método da regressão linear, entre outros. No entanto, todos estes métodos são aplicados para preenchimentos de falhas mensais e anuais. Bertoni e Tucci (2007), apresentarem diferentes metodologias empregadas no preenchimento de falhas, ressaltam que nenhuma delas se adequa ao preenchimento de falhas diárias, devido a sua grande variação espaçomais recomendadas temporal, sendo preenchimento de falhas mensais ou anuais.

Os dados de precipitação em ponto de grade, baseados em conjunto de observações, são uma excelente fonte de informações em pesquisas climatológicas. Estes conjuntos vêm sendo amplamente utilizados na última década, em trabalhos climatológicos que especial em envolvem análises espaciais, minimizando problemas com limitações de dados com falhas e irregularidade de cobertura espacial. Entre os conjuntos de dados de precipitação em ponto de grade disponíveis, que se baseiam em dados observados por estações meteorológicas e em dados de satélite, citam-se: Climate Prediction Center - CPC (Chen et al., 2008), o Global Precipitation Climatology Project - GPCP (Huffman et al., 1997; Adler et al., 2003), o Climate Prediction Center Merged Analysis of Precipitation - CMAP (Xie e Arkin, 1997), o Global Land Data Assimilation System - GLDAS (Rodell et al., 2004) e o South America Land Data Assimilation System - SALDAS (Gonçalves et al., 2009). Quadro et al. (2012) compararam cinco conjuntos de produtos de precipitação na região da ZCAS mostrando que o ciclo anual dos produtos de observação são bastante similares, com as maiores diferenças entre os meses de outubro a março.

Chen et al. (2008) aplicaram três técnicas objetivas de interpolação em dados diários de precipitação baseado em observações (Higgins et al., 2000; Shi et al., 2001; Silva et al., 2007) realizando uma intercomparação entre as técnicas e testes de validação. Embora os três métodos sejam capazes de gerar precipitação diária com erro inferior a 1% sobre maior parte do Globo, o método

de interpolação Ótima (OI, do inglês, *Optimal Interpolation*) teve o melhor desempenho, com relativa estabilidade em regiões com rede de observação mais esparsa, já que nestas regiões a qualidade das análises diminui com a menor distribuição espacial das estações. Com intuito de criar uma rede unificada de dados diários de precipitação sobre todas as áreas terrestres do globo, Chen et al. (2008) optaram por usar a técnica OI, numa grade de resolução espacial de 0.5° lat/lon, disponibilizando os dados históricos em tempo real, e se tornando uma nova fonte de dados em alta resolução.

Diversos autores realizaram a avaliação pontual dos dados de precipitação em pontos de grade, comparando-os com dados de estações locais. Silva et al. (2007) mostraram que as séries diárias do CPC reproduzem um menor número de dias secos, maior número de dias com baixa precipitação, além de menos eventos extremos de precipitação nos pontos de grade avaliados, porém ainda existe boa correlação entre as séries temporais. Nascimento et al. (2010) avaliaram dados de precipitação diárias estimados pelo CPC, comparando com sete estações meteorológicas do INMET localizadas na calha do rio Solimões-Amazonas, obtendo resultados satisfatórios para trabalhar com series temporais diárias. Sena et al. (2012) analisaram o desempenho dos dados de precipitação do CPC utilizando dados observados de chuva para região do Cariri Paraibano durante os anos de 1979 a 2010. Os dados do CPC reproduziram o trimestre chuvoso da área de estudo, com margem de erro de inferior a 20%, considerado pequeno devido à variabilidade da precipitação na região, no entanto, discrepâncias foram encontradas no período seco, com margem de erro mais elevado, não apresentando boa resposta neste período.

Considerando a necessidade de dados de precipitação com séries diárias completas, bem como regularidade em sua distribuição espacial, o conjunto de dados em pontos de grade produzidos pelo CPC (Chen et al., 2008) se torna uma importante fonte de informações. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é analisar o desempenho da nova geração de dados precipitação do CPC para região Sul do Brasil quando comparado com dados observados. Para tal, foram empregadas técnicas estatísticas quantitativas para avaliar a consistência dos dados observados e, em uma segunda etapa, a comparação entre estes dados observados e o produto de precipitação disponibilizado pelo CPC.

Material e métodos

Localização da Área de Estudo

A região Sul do Brasil compreende os estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, está localizada entre as latitudes 22°30' S e 33°45' S e as longitudes 48°00' W e 57°59' W aproximadamente, com quase toda região ao sul do trópico de Capricórnio, fazendo fronteira ao Sul

com o Uruguai, a Oeste com a Argentina e Paraguai, a Leste com as águas do Oceano Atlântico e ao Norte com os estados do Mato Grosso do Sul e São Paulo (Figura 1). O clima da região, segundo a classificação de Köppen é definido por três tipos climáticos: clima subtropical (Cfa), clima temperado (Cfa) e o clima tropical (Af).

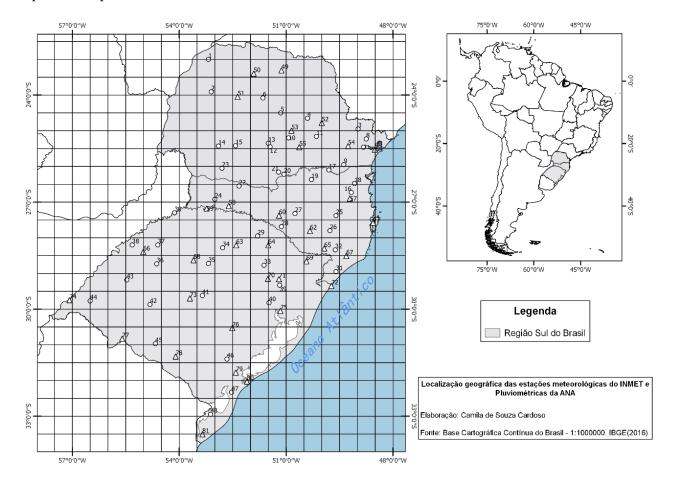


Figura 1. Mapa da Região Sul do Brasil com localização geográfica das estações meteorológicas do INMET e pluviométricas da ANA. (Numeração das estações detalhadas na Tabela 1).

Dados

Foram utilizados dados diários de precipitação da Agência Nacional das Águas (ANA) de 48 estações pluviométricas distribuídas entre os três estados do Sul do Brasil (Figura 1). As séries históricas da ANA são disponibilizadas no banco de dados do portal Hidroweb, que fornece as informações coletadas na rede todas hidrometeorológica do país, reunindo dados de cotas, vazões, chuva, entre outros. A seleção das estações pluviométricas da ANA foi baseada nos trabalhos de Minuzzi e Caramori (2011) e Minuzzi e Lopez (2014), os quais possuem as séries histórias mais completas e, este trabalho,

selecionou os dados a nível consistido. De forma complementar, utilizaram-se dados diários de precipitação de 33 estações meteorológicas convencionais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), disponibilizados no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP).

A distribuição espacial dos dois conjuntos de dados observados (ANA e INMET) é apresentada na Figura 1, e o período analisado inicia em 01 de janeiro de 1979 (exceto aquelas com início de operação após esta data), finalizando em 31 de dezembro de 2006 para os dados diários da ANA, e 31 de dezembro de 2015 para os dados

de precipitação do INMET, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Número de Referência, Código, Unidade da Federação, Nome do Município, Localização Geográfica, Ano Inicial e Final das estações meteorológicas e pluviométricas utilizadas no estudo.

N° REFERENCIAL	CODIGO	UF	MUNICIPIO	LAT (S)	LON (W)	ANO INICIAL	ANO FINAL
1	2353001 ¹	PR	Santa Isabel do Ivaí	-23,00	-53,18	1979	1998
2	2353002 ¹	PR	Mariluz	-23,91	-53,10	1979	1998
3	2449000 ¹	PR	Adrianópolis	-24,95	-48,98	1979	2000
4	2450002 ¹	PR	Tibagi	-24,65	-50,40	1979	1998
5	2451003 ¹	PR	Cândido de Abreu	-24,50	-51,15	1979	1998
6	2451014 ¹	PR	Ivaiporã	-24,08	-51,65	1979	1998
7	2548000 ¹	PR	Morretes	-25,46	-48,83	1979	1999
8	2548003 ¹	PR	Antonina	-25,23	-48,75	1979	1999
9	2549003 ¹	PR	Quitandinha	-25,95	-49,38	1982	1997
10	2550000 ¹	PR	Prudentópolis	-25,20	-50,93	1979	1998
11	2550003 ¹	PR	Ponta Grossa	-25,16	-50,15	1979	1998
12	2551000 ¹	PR	Guarapuava	-25,45	-51,45	1979	1997
13	2551010 ¹	PR	Guarapuava	-25,35	-51,50	1979	2005
14	2552000 ¹	PR	Quedas do Iguaçu	-25,43	-52,90	1982	1997
15	2552009 ¹	PR	Laranjeiras do Sul	-25,42	-52,42	1979	2005
16	2649002 ¹	SC	Pomerode	-26,73	-49,17	1979	2006
17	2649006 ¹	SC	Rio Negro	-26,10	-49,80	1982	2000
18	2649012 ¹	SC	Jaraguá do Sul	-26,48	-49,08	1979	2006
19	2650000 ¹	SC	Major Vieira	-26,37	-50,29	1982	2000
20	2651000 ¹	SC	União da Vitória	-26,22	-51,06	1982	2000
21	2651004 ¹	SC	Porto Vitória	-26,16	-51,21	1982	1997
22	2652000 ¹	SC	Abelardo Luz	-26,55	-52,32	1979	2006
23	2652009 ¹	SC	Pato Branco	-26,05	-52,8	1982	1997
24	2653007 ¹	SC	Saudades	-26,92	-53,00	1979	2006
25	2749002 ¹	SC	Ituporanga	-27,38	-49,60	1979	2006
26	2749031 ¹	SC	Bocaina do Sul	-27,80	-49,77	1979	2005
27	2750009 ¹	SC	Curitibanos	-27,32	-50,75	1979	2005
28	2751001 ¹	SC	Anita Garibaldi	-27,69	-51,13	1979	2005
29	2751007 ¹	RS	Sananduva	-27,95	-51,8	1979	2005
30	2754001 ¹	RS	Três Passos	-27,30	-54,13	1979	2006
31	2849004 ¹	SC	Araranguá	-28,95	-49,6	1979	2006
32	2850009 ¹	SC	Bom Jardim da Serra	-28,34	-49,62	1979	2006
33	2851024 ¹	RS	Nova Prata	-28,77	-51,62	1979	2006
34	2852006 ¹	RS	Carazinho	-28,28	-52,78	1979	2006
35	2853014 ¹	RS	Cruz Alta	-28,72	-53,18	1979	2006
36	2854005 ¹	RS	São Miguel Missões	-28,73	-54,63	1979	2004
37	2854006 ¹	RS	Guarani das Missões	-28,20	-54,60	1979	2004
38	2855002 ¹	RS	São Borja	-28,20	-55,32	1979	2004
39	2951022 ¹	RS	Caxias do Sul	-29,33	-51,18	1979	2006
40	2951028 ¹	RS	Sapucaia do Sul	-29,82	-51,48	1979	2006

Revista Brasileira de Geografia Física v.10, n.04 (2017) 1180-1198.

41	2953008 ¹	RS	Dona Francisca	-29,62	-53,35	1979	2006				
42	2954001 ¹	RS	Cacequi	-29,87	-54,82	1979	2005				
43	2955002 ¹	RS	Itaqui	-29,18	-55,47	1979	2005				
44	2956007 ¹	RS	Uruguaiana	-29,77	-56,50	1979	2005				
45	3054002 ¹	RS	Dom Pedrito	-30,97	-54,67	1979	2005				
46	3152003 ¹	RS	Canguçu	-31,4	-52,66	1979	2006				
47	3252006 ¹	RS	Rio Grande	-32,33	-52,53	1979	2006				
48	3253003 ¹	RS	Santa Vitória	-32,95	-53,12	1979	2006				
40	3233003	No	Palmar	-32,73	-33,12	17/7	2000				
49	83766 ²	PR	Londrina	-23,31	-51,13	1979	2015				
50	83767 ²	PR	Maringá	-23,4	-51,91	1979	2015				
51	83793 ²	PR	Campo Mourão	-24,05	-52,36	1979	2015				
52	83813 ²	PR	Castro	-24,78	-50,00	1979	2015				
53	83811 ²	PR	Ivaí	-25,00	-50,85	1979	2015				
54	83842 ²	PR	Curitiba	-25,43	-49,26	1979	2014				
55	83836 ²	PR	Irati	-25,46	-50,63	1979	2015				
56	83844 ²	PR	Paranaguá	-25,53	-48,51	1979	2015				
57	83872 ²	SC	Indaial	-26,90	-49,21	1979	2015				
58	83883 ²	SC	Chapecó	-27,11	-52,61	1979	2015				
59	83881 ²	RS	Iraí	-27,18	-53,23	1979	2015				
60	83887 ²	SC	Campos novos	-27,38	-51,20	1979	2015				
61	83897 ²	SC	Florianópolis	-27,58	-48,56	1979	2015				
62	83891 ²	SC	Lages	-27,81	-50,33	1979	2015				
63	83914 ²	RS	Passo Fundo	-28,21	-52,40	1979	2015				
64	83916 ²	RS	Lagoa Vermelha	-28,21	-51,50	1979	2015				
65	83920 ²	SC	São Joaquim	-28,30	-49,93	1979	2015				
66	83907 ²	RS	São Luiz Gonzaga	-28,40	-55,01	1979	2015				
67	83923 ²	SC	Urussanga	-28,51	-49,31	1979	2015				
68	83912 ²	RS	Cruz Alta	-28,63	-53,60	1979	2015				
69	83919 ²	RS	Bom Jesus	-28,66	-50,43	1979	2015				
70	83941 ²	RS	Bento Gonçalves	-29,15	-51,51	1979	2014				
71	83942 ²	RS	Caxias do sul	-29,16	-51,20	1979	2015				
72	83948 ²	RS	Torres	-29,35	-49,73	1979	2015				
73	83936 ²	RS	Santa Maria	-29,70	-53,70	1979	2015				
74	83927 ²	RS	Uruguaiana	-29,75	-57,08	1980	2015				
75	83967 ²	RS	Porto alegre	-30,05	-51,16	1979	2015				
76	83964 ²	RS	Encruzilhada do sul	-30,53	-52,51	1979	2015				
77	83953 ²	RS	Santana do livramento	-30,83	-55,60	1979	2014				
78	83980 ²	RS	Bagé	-31,33	-54,10	1979	2015				
79	83995 ²	RS	Pelotas	-31,78	-52,41	1979	2015				
80	83995 ²	RS	Rio grande	-32,03	-52,10	1979	2015				
81	83997 ²	RS	Santa Vitória do Palmar	-33,51	-53,35	1979	2015				
¹ E	¹ Estação pluviométrica da ANA; ² Estação meteorológica do INMET										

Com intuito de avaliar o desempenho da nova geração de produtos disponibilizados pelo *Climate Prediction Center* (CPC) pertencente ao National Centers for Environmental Prediction (NCEP) no Sul do Brasil, foram utilizados dados de precipitação diária entre 01 de Janeiro de 1979

e 31 de Dezembro de 2015. Este produto é oriundo de observações provenientes de pluviômetros, e combina dados de mais de 30.000 estações ao redor do globo utilizando a técnica de Interpolação Ótima (Gandin e Hardin, 1965). O CPC dispõe de séries diárias desde 01 de Janeiro de 1979, sendo atualizados constantemente, e grades igualmente espaçadas com resolução de 0,5° latitude x 0,5° longitude (Chen et al., 2008), tornando-se uma ferramenta robusta para espacialização identificação de eventos de precipitação. O período de acumulação diária varia dependendo a região ao redor do globo e para os países da América do Sul a precipitação diária é considerada entre as 12UTC do dia 0 e 12UTC do dia 1 (Xie et al., 2008). Foi utilizado o software GrADS (Grid Analysis and Display System) (Doty, 1995) para obtenção dos valores diários de precipitação contido no ponto de grade onde se localizava as 81 estações meteorológicas utilizadas.

Métodos

Inicialmente foi realizado a consistência dos dados observados através do levantamento detalhado das duas fontes de informações (Hidroweb e BDMEP), as quais possuem formatação diferenciada entre si e dificultam a organização das séries temporais, em especial em estudos que necessitem de séries diárias contínuas.

À padronização dos períodos entre os dados observados e do CPC são fundamentais para fins comparativos na análise proposta, por isso, todas as séries temporais utilizadas tem início em 01 de janeiro de 1979, exceto aquelas com início operacional posterior a esta data. Os dados consistidos de precipitação da ANA possuem variação quanto à data final das séries, sendo que a série mais longa se estende até 31/12/2006, conforme apresentado na Tabela 1. Os dados do INMET, por sua vez, possuem séries mais recentes, com informações atualizadas constantemente para a maioria das estações meteorológicas (Tabela 1).

Para avaliar as séries temporais de precipitação proveniente do CPC/NCEP, foram empregadas estatísticas quantitativas recomendadas pelo Joint Working Group on (World Weather Verification Research Programme/Working Group Numerical onExperimentation). A avaliação foi aplicada na comparação entre os valores de precipitação extraídos do ponto de grade onde estava posicionada a estação meteorológica e os dados de precipitação observados nas 81 estações meteorológicas (Figura 1). Nesta etapa foram calculadas as estatísticas quantitativas para

avaliação da precipitação do CPC, em relação aos conjuntos da ANA e INMET, através das seguintes parâmetros estatísticos:

a) Erro Médio (EM)

Representa a diferença média entre as intensidades de chuva obtidas do CPC (P_{CPC}) e os valores observados nas estações meteorológicas (P_{OBS}), em milímetros (mm). O EM é uma medida de tendência, indicando a possível tendência dos dados do CPC superestimar (EM>0) ou subestimar (EM<0) os dados de precipitação. Conforme Wilks (2006), o EM não dá informações sobre a magnitude dos erros individuais, e, portanto, não é uma medida de precisão. O EM é calculado como,

$$EM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (P_{CPC} - P_{OBS})$$
 (Eq. 1)

b) Raiz do Erro Médio Quadrático (RMSE)

Frequentemente é usada para representar a precisão/acurácia das previsões (Wilks, 2006). Neste trabalho será utilizada para medir a acurácia dos dados de precipitação do CPC ($P_{\rm CPC}$). Definida por,

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (P_{CPC} - P_{OBS})^2}$$
 (Eq. 2)

Elevando ao quadrado o termo da diferença, o RMSE tende a dar maior peso às grandes discrepâncias entre os campos observados e previstos (Wilks, 2006). Valores elevados do RMSE representam grandes erros nos campos de precipitação P_{CPC} . Valores próximos a zero indicam que os valores extraídos do CPC (P_{CPC}) são quase muito próximos ao observado (P_{OBS}), quase perfeitos.

c) Coeficiente de Correlação (*r*)

Representa a associação linear entre o valor extraído do CPC (P_{CPC}) e o valor observado pela estação meteorológica (P_{OBS}). Assume valores que variam entre -1 e 1, e é definido por:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_{CPC}.P_{OBS}}{\left[\left(\sum_{i=1}^{n} P_{CPC}^{2} \right) \left(\sum_{i=1}^{n} P_{OBS}^{2} \right) \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (Eq. \ 3)$$

Para testar a significância estatística da relação existente entre as duas variáveis, aplicouse nos resultados de r o teste t de Student (Spiegel et al., 2000), utilizando um nível de significância de 5 % ($P \le 0.05$). O teste t é dado pela equação (4) e consiste em comparar a relação do $t_{calculado}$ com o

valor de $t_{critico}$ tabelado, para a qual aceita ou rejeita a hipótese estatística (H_0).

$$t = \frac{r\sqrt{n}}{1 - r^2} \qquad (Eq. 4)$$

onde r representa o coeficiente de correlação (r) e n é o número de dias com registro de precipitação (ou número de eventos).

d) Coeficiente de Eficiência Nash-Sutcliffe (NS)

O coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe (Nash e Sutcliffe, 1970) é frequentemente utilizado para quantificar a precisão das previsões hidrológicas, neste trabalho será para quantificar o desempenho do conjunto de dados do CPC (P_{CPC}) em representar a precipitação observada no Sul do Brasil.

Os valores do coeficiente de eficiência NS podem variar de $-\infty$ a 1. Se NS = 1 corresponde a uma combinação perfeita do P_{CPC} aos dados observados P_{OBS} . Quando NS = 0 indica que os valores de precipitação do P_{CPC} são tão precisos como a média das observações P_{OBS} , enquanto que o coeficiente de eficiência inferior a zero (NS < 0) ocorre quando a média observada (P_{OBS}) é melhor do que valores P_{CPC} .

O coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe é definido por:

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} (P_{CPC} - P_{OBS})^{2}}{\sum_{i=1}^{n} (P_{OBS} - P_{OBS})^{2}}$$
 (Eq. 5)

Em que os termos nas equações (1), (2), (3), (4) e (5) são: n representa o número de dias avaliados (ou eventos), P_{CPC} é precipitação extraída do CPC/NCEP, P_{OBS} a precipitação observada nas estações do INMET e ANA, e P_{OBS} é a precipitação média observada no intervalo de tempo analisado.

Resultados e discussão

Consistência dos dados observados

A avaliação da primeira etapa do trabalho, baseada nas duas fontes de informações (Hidroweb e BDMEP), mostra que os dados observados apresentavam falhas contínuas nas séries diária, mensal e anual. A Figura 2 mostra o percentual de falhas para todo período analisado. Das 81 estações utilizadas no estudo, 43 estações apresentam percentual de falhas menor que 20%, sendo 29 estações da ANA e 14 do INMET, e 8 estações (cerca de 10% delas) apresentam falhas em mais de 40% da série histórica, sendo 6 da ANA

e 2 do INMET. A estação 83953, de Santana do Livramento-RS, apresentou o maior percentual de falhas (52.2%), seguida de Lagoa Vermelha-RS (83916) com 49.2%, e 45.8% de falhas na estação Urussanga-SC (83923). O levantamento detalhado das informações contidas nas 81 estações utilizadas mostrou a complexidade quando se trabalha com dados meteorológicos observados. Além disso, esta análise mostra a importância de uma análise prévia da fonte de informação principalmente quando seu uso for para estudos climatológicos, já que sucessivas falhas em suas séries temporais comprometem resultados para este fim, como por exemplo, os totais anuais de precipitação e suas respectivas médias anuais.

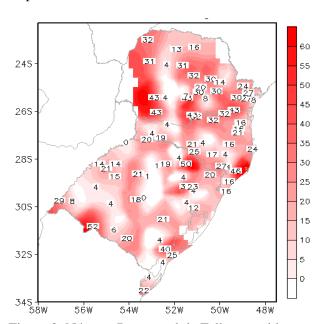


Figura 2. Número Percentual de Falhas contidas nas 81 estações meteorológicas.

Análise Qualitativa

A Figura 3 apresenta a precipitação climatológica anual para o conjunto de dados do CPC e para os dados observados, bem como uma diferença entre os dois conjuntos de dados. Em geral, os dados do CPC (Figura 3A) representam a distribuição da precipitação média anual bem distribuída espacialmente no Sul do Brasil, superando 1000 mm anuais em toda Região. Destaca-se valores máximos superiores a 1800 mm anuais principalmente no litoral do PR e o setor oeste da Região Sul, e os menores valores médios anuais observados em uma estreita faixa no norte do Paraná e litoral sul do RS, com valores entre 1200 e 1300 mm. A Figura 3B mostra o campo climatológico de precipitação anual para as

estações disponíveis no estudo. Ressalta-se que a interpolação feita para a mesma grade do CPC foi feita através do método de Cressman, (Cressman, 1959), a partir dos valores médios anuais de precipitação em cada estação utilizada. Esse fato pode explicar a diferença entre os campos, pois o acumulado anual do CPC é feito a partir da interpolação dos dados diários. No entanto, sugerese que este método apresentado na Figura 3B é mais realista (menos suavizado) do que a climatologia anual do CPC. Este fato pode ser caracterizado através da estação de Saudades (número 24 na Tabela 1), em Santa Catarina, onde sua série entre os anos de 1979 a 2006, apresenta 4% de falhas, e sua média anual é inferior a apresentada pelo CPC (Figura 3A). Por outro lado, nas estações próximas, a P_{OBS} é maior que a P_{CPC} .

Em função da irregularidade temporal destas séries de dados observados, não é possível inferir qual padrão de precipitação deve ser o mais representativo no oeste de Santa Catarina. O comportamento análogo pode mesmo encontrado em outras localidades da Região. A diferença mais expressiva entre as duas fontes (valores em verde da Figura 3c) é verificada no meio-oeste catarinense, serra catarinense, nordeste e região central do RS, com diferenças que podem superar os 500 mm anuais. Apesar destas diferenças serem significativas, em torno de 30%, elas podem estar associadas a localização das estações bem como sua distribuição espacial, adicionado ao fato de que os resultados foram interpolados, como citado anteriormente.

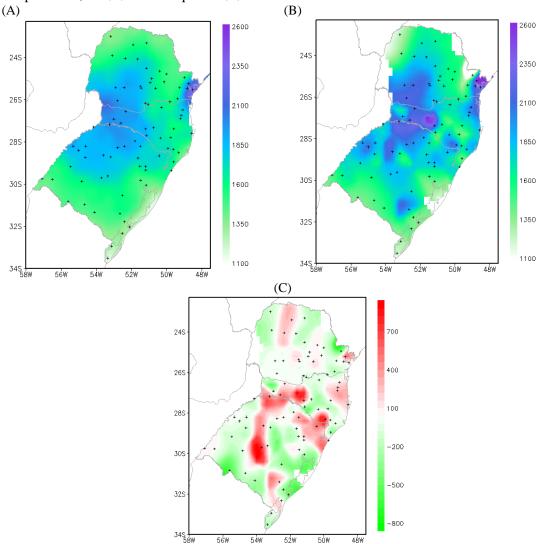


Figura 3. Média Climatológica Anual entre os anos de 1979 e 2015 para (A) CPC, (B) dados observados nas 81 estações e (C) diferença entre a precipitação estimada pelo CPC e os dados observados (em mm). Os sinais '+' em preto representam a localização das estações utilizadas no estudo.

Análise Quantitativa

A Figura 4 apresenta os histogramas da diferença entre a precipitação diária do CPC e das observações. Para fins demonstrativos selecionaram-se estações que possuem percentual de falhas inferior a 4%. Para os três Estados da região Sul do Brasil, as estações exemplificadas apresentam uma distribuição de frequência próxima da distribuição normal, sendo a maior frequência das diferenças centrada entre -0.5 e 0.5 mm.dia⁻¹. A estação Dona Francisca-RS (número 41 na Tabela 1) foi a que apresenta o maior percentual na faixa central (entre -0.5 e 0.5 mm.dia⁻¹

1), próximo a 60%, dentro desta faixa (Figura 4C), seguida pela estação de Abelardo Luz-SC (número Tabela (Figura na 1) 4B), aproximadamente 45%, enquanto que Laranjeiras do Sul-PR (número 15 na Tabela 1) tem a maior frequência de diferenças na faixa central em torno de 35% (Figura 4A). Outro fato importante a ser analisado é que as três estações apresentam uma frequência maior dos desvios positivos, notado claramente nas Figuras 4A e 4B, indicando que os dados do CPC tendem a superestimar as observações no período analisado, para estas estações.

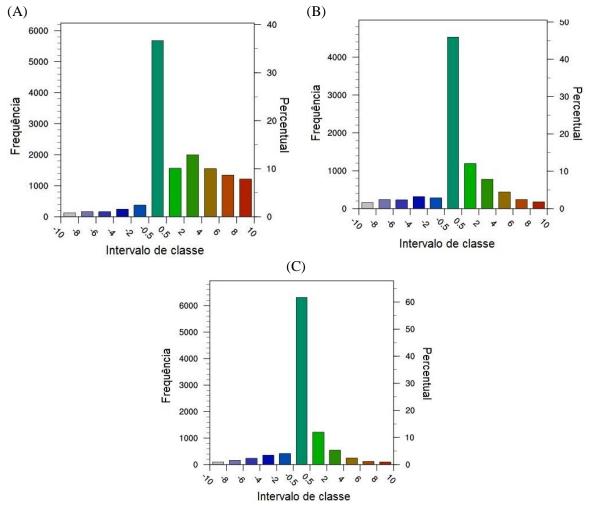


Figura 4. Histogramas da diferença de precipitação média diária (mm.dia⁻¹), entre o CPC e as observações, para as estações (A) Laranjeiras do Sul – PR, (B) Abelardo Luz – SC e (C) Dona Francisca – RS, para o período de 1979 a 2015.

Na Figura 5A percebe-se que no campo do Erro Médio (EM), em geral, os valores de precipitação são subestimados pelo CPC (áreas negativas em vermelho), principalmente no litoral de SC e centro-leste do RS, em 48 estações meteorológicas (59% das estações). Ressalta-se

que a Figura 5A apresenta valores pequenos de EM, que oscilam entre -1.18 e 1.02 mm. Este fato indica que, apesar do CPC subestimar os valores observados, não se verifica um EM significativo entre as duas séries. Para Silva et al. (2007), pequenas variações nos valores individuais do EM

podem estar associados às características orográficas locais, resultando na variabilidade do EM para o Sul do Brasil. Por outro lado, as estações de Urussanga-SC e Antonina-PR apresentaram os maiores valores negativos do EM (-1.18 mm e -1.04 mm, consecutivamente), ou seja, os dados do CPC subestimam a precipitação (Figura 5A) nestas estações. A Figura 5B indica que os dados do CPC apresentam forte correlação (r) com os dados observados do INMET e ANA (acima de 0.8) em 83% das estações analisadas. Desse percentual, 33 das estações estão localizadas no estado do RS, que apresentou correlação inferior a 0.8 somente em três estações. O menor valor de correlação encontrado foi na estação de Bom Jardim da Serra-SC, 0.62, sendo este valor uma boa correlação entre P_{OBS} e P_{CPC} . Saldanha et al. (2015), ao avaliarem o desempenho dos dados mensais de precipitação do GCPC para o estado do RS, encontraram forte correlação em 95% das estações analisadas. Os resultados do coeficiente de correlação também concordam com os obtidos por Sena et al. (2012),

que avaliaram o mesmo conjunto de dados do CPC para a região do Cariri Paraibano entre os anos de 1979 e 2010, com o menor valor de correlação de 0.58 e o maior de 0.89. No mapa de RMSE (Figura 5C), que mede a acurácia dos dados, ressaltam-se os maiores erros, com valores variando entre 4.36 e 10.03 mm, principalmente nas regiões oeste, que podem estar associados aos extremos precipitação nos períodos de maior atividade convectiva, e litorânea, devido ao topográfico. O coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe, apresentado na Figura 5D, reflete o padrão do resultado apresentado na Figura 5C, mostrando boa precisão dos dados do CPC em representar a precipitação para o Sul do Brasil, com valores maiores que 0.6 para 72 estações (88,8%), e os valores mais baixos ocorrendo especialmente nas regiões montanhosas, como exemplo, a estação de Adrianópolis-PR com E=0.45 e Bom Jardim da Serra - SC, que teve o menor coeficiente de eficiência, com E=0.35.

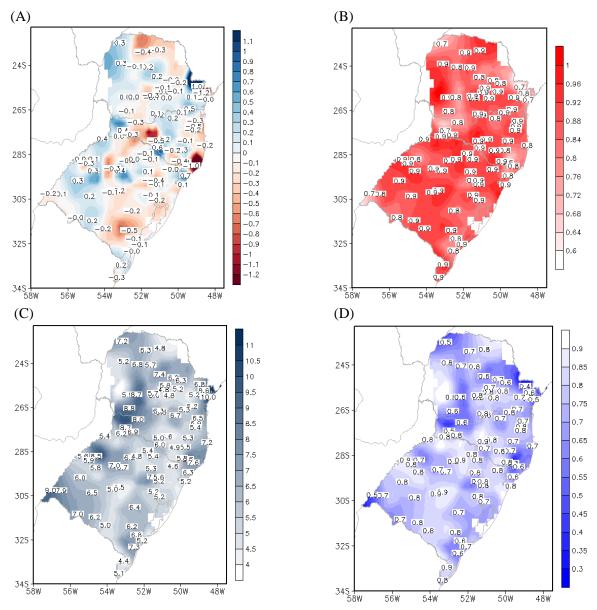


Figura 5. Erro Médio (A), Coeficiente de correlação (B), Raiz do Erro Quadrático Médio (C) e Coeficiente de Eficiência de Nash-Suticliffe (D), para série temporal diária de precipitação, entre os anos de 1979 e 2015, considerando apenas os dias em que houve registro acima de 1 mm de precipitação.

A distribuição temporal da *P*_{OBS} nas estações de Urussanga-SC (número 67 na Tabela 1) e Antonina-PR (número 8 na Tabela 1) (Figura 6) mostra a tendência do CPC em subestimar os valores de precipitação, em especial nos dias com maior acumulado de precipitação. Ambas apresentam a oeste a formação montanhosa da Serra Geral e Serra do Mar, respectivamente, com um relevo de Planície a leste, fatores que

favorecem a ocorrência de precipitação orográfica, o que pode levar a subestimativa dos dados do CPC, devido ao método de interpolação ótima utilizado nos dados. Rodrigues (2015), ao analisar eventos extremos de precipitação concluiu que o aumento na precipitação no Litoral Sul de SC está associado à interação entre o relevo com a evaporação do mar.

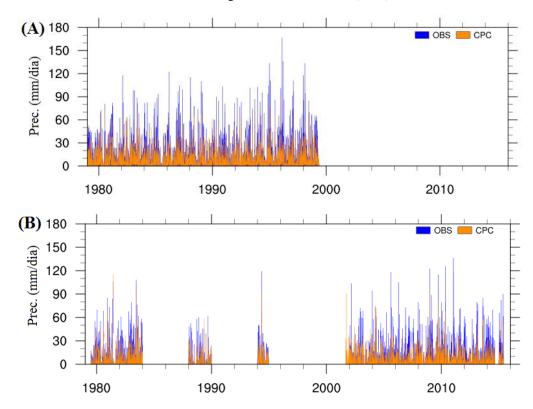


Figura 6. Distribuição temporal da precipitação, de 01 de Janeiro de 1979 a 31 de Dezembro de 2015, para a estações meteorológicas de (A) Antonina-PR e (B) Urussanga-SC. As falhas nos dados correspondem a dias com ausência de dados observados.

Analisando sazonalmente os coeficientes estatísticos, observam-se diferenças nos valores extremos de todos os coeficientes avaliados, principalmente no período de verão, seguido pelas estações de transição (primavera e outono). A Figura 7 mostra a variabilidade sazonal do EM, onde o destaque maior dos desvios é encontrado nas estações litorâneas em região serrana. Durante o verão (Figura 7A), o EM apresenta valores que oscilam entre -1 e 1 mm em 78 estações (94% das estações), superestimando a precipitação na estação de Adrianópolis-RS, com EM de 1.88 mm, e em Araranguá-SC, com EM de 1.51 mm. Em três estações os dados do CPC tendem a subestimar a precipitação, com EM de -2.36 e -2.13 mm nas estações de Antonina-PR e Urussanga-SC. No outono (Figura 7B) o EM tende a diminuir quando comparado com as estações mais quente do ano, ficando entre -0.6 e 0.9 mm, em 79 estações, sendo que os máximos de subestimativa (erro médio negativo) apresentam valores de -2.14 e -1.18 mm também nas estações de Antonina-PR e Urussanga-SC. Durante o inverno (Figura 7C) o EM oscila entre -0.84 e 0.6, ou seja, sem valores extremos

quando comparado a maioria das estações. Na Primavera (Figura 7D), o EM apresentou valores entre -1 e 1 mm em 65 estações (80%), com superestimativa dos valores de precipitação em 9 estações, sendo o EM máximo de 3.84 mm na estação de Adrianópolis-RS, localizado na região metropolitana de Curitiba, com relevo compartimentado e montanhoso, e EM de 2.91 mm em Araranguá-SC, que fica localizada no Litoral Sul de SC numa região de Planície Costeira, e as demais estações apresentaram superestimativa inferior a 2 mm. As estações Antonina-PR e Urussanga-SC apresentaram os valores mais baixos do EM, de -4.84 e -4.18 respectivamente. Silva et al. (2007) ao analisarem dados do CPC durante os meses DJF(Dezembro-Janeiro-Fevereiro) para o Sudeste do Brasil e FMA (Fevereiro-Março-Abril) para região Nordeste obtiveram valores máximo de subestimativa (EM negativo) de -3.22 mm e -2.78 respectivamente, associando variabilidade nos valores do EM a fatores locais, como a orografia.

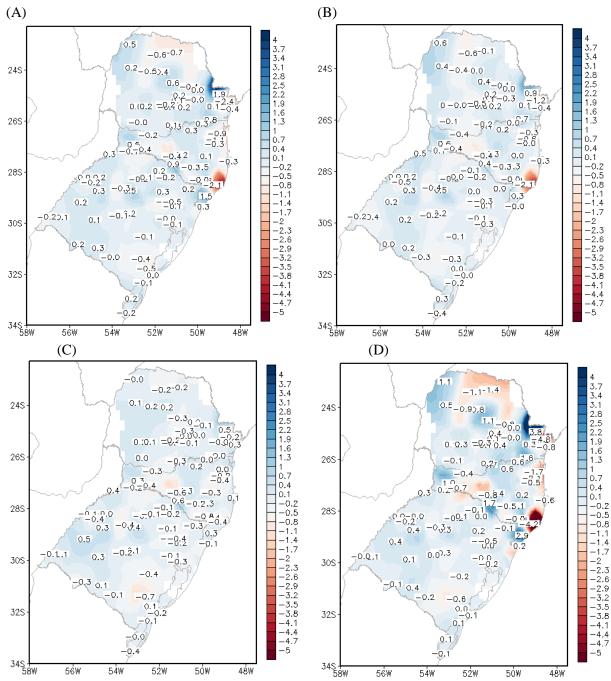


Figura 7. Erro Médio Sazonal para Verão (A), Outono (B), Inverno (C) e Primavera (D) do Hemisfério Sul.

A avaliação do RMSE sazonal é mostrada na Figura 8. Assim como na avaliação do EM (Figura 7), nos meses de verão (inverno) do Hemisfério Sul (HS) os dados do CPC apresentam maiores (menores) valores de RMSE e, consequentemente, maior (menor) acurácia na medida de precipitação. Ressalta-se que estas diferenças nos erros aparecem em todas as estações, porém são mais significativos em localidades que apresentam peculiaridades quanto as características do relevo, refletindo nos valores médios anuais. Durante os meses de verão austral

os valores de RMSE oscilam entre 4.66 e 15.28 mm, sendo que em 7 estações (a maioria na faixa litorânea dos Estado de SC e PR) a RMSE ficou acima de 10 mm. No Outono, o RMSE varia entre 3.65 e 10.60 mm. Na Primavera, os valores do RMSE variam entre 3.48 e 9.25 mm. Já no inverno a variação do RMSE é menor, ficando entre 2.79 e 8.65 mm. Uma média aritmética dos valores de RMSE para todas as estações mostra que a RMSE média é de 7.47 mm no verão, 6.04 no outono, 5.84 na primavera e 4.89 no inverno, ou seja, em média os maiores erros ocorridos nos

dados de precipitação do CPC ocorrem durante o verão. Silva et al. (2007) encontraram RMSE

oscilando entre 12.11 e 13.89 mm para os dias com precipitação maior que 1 mm.

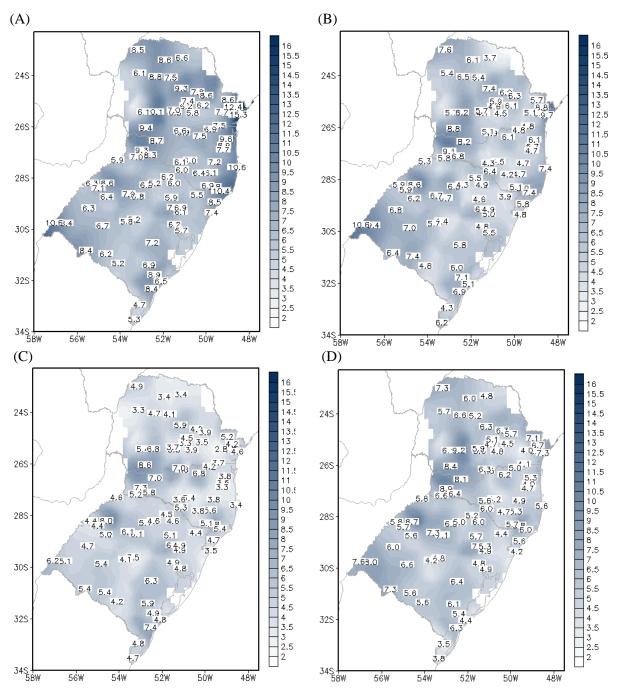


Figura 8. Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) Sazonal para Verão (A), Outono (B), Inverno (C) e Primavera (D) do Hemisfério Sul.

Os valores do coeficiente de correlação sazonal mostram que, em geral, os dados do CPC apresentam boa associação linear com os dados observados, sendo o menor valor sazonal de correlação verificado no Verão austral (Figura 9A) quando r varia entre 0.47 e 0.92. Nesta estação do ano a correlação apresenta-se bastante consistente, pois em apenas 37 estações os valores de r são

menores que 0.8. O trabalho de Silva et al. (2007) mostra valores menores de r para os meses de FMA oscilando entre 0.34 e 0.58 para região Nordeste do Brasil e para região sudeste do Brasil valores do coeficiente de correlação entre 0.59 e 0.84 para os meses de DJF. No restante do ano a correlação é um pouco mais significativa e nos meses de transição, outono (Figura 9B) e primavera (Figura

9D), o coeficiente de correlação oscila entre 0.59 e 0.95 e 0.67 e 0.96, respectivamente, e inferior a 0.8 em dez estações no outono e oito estações na primavera. O período de inverno austral (Figura 9C) apresenta os melhores resultados, onde r varia entre 0.65 e 0.97, sendo inferior a 0.8 em apenas

cinco estações meteorológicas. Saldanha et al. (2015) também encontraram bastante similaridade na variabilidade dos coeficientes de correlação sazonal, com r variando entre 0.62 e 0.96 durante o inverno do HS.

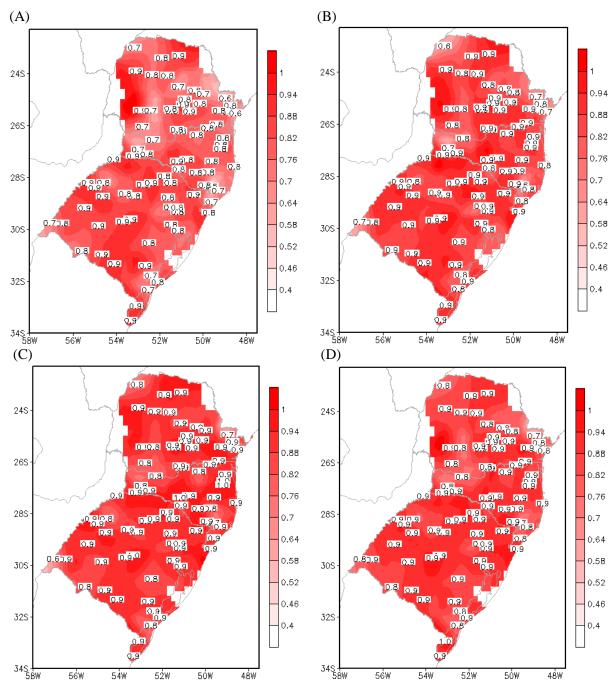


Figura 9. Coeficiente de Correlação (r) Sazonal para Verão (A), Outono (B), Inverno (C) e Primavera (D) do Hemisfério Sul.

O coeficiente de Eficiência de Nash-Sutcliffe sazonal (Figura 10) utilizado para avaliar a precisão dos dados do CPC, com valores mais próximos de 1 (um) os melhores resultados, mostra variabilidade anual marcante entre as estações, sendo o verão (Figura 10A) a estação que apresenta o menor coeficiente de eficiência, com média de 0.62 para toda região, e um mínimo de 0.14 e

máximo de 0.84. De forma geral, o melhor coeficiente de eficiência sazonal ocorre no inverno (Figura 10C) quando a média das 81 estações é de

0.80, e valores acima de 0.6 ocorre em 77 estações (95%).

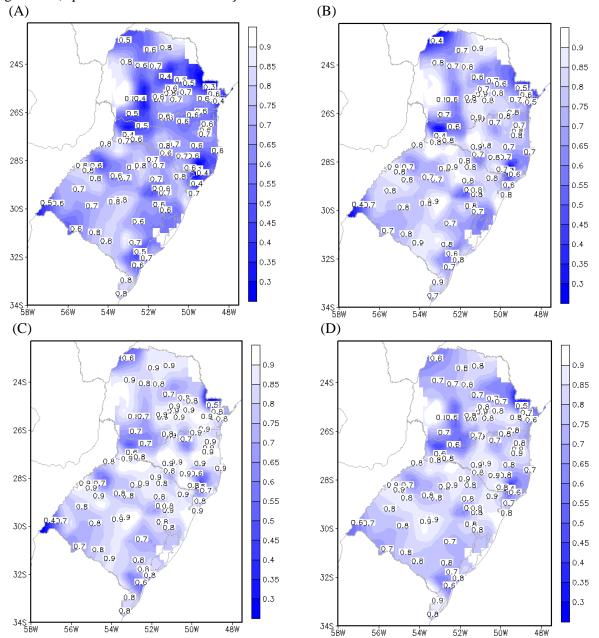


Figura 10. Coeficiente de Eficiência de Nash-Suticliffe (E) sazonal para Verão (A), Outono (B), Inverno (C) e Primavera (D) do Hemisfério Sul.

Na Figura 11 os diagramas de Taylor apresentam o desempenho dos dados de precipitação do CPC com relação ao conjunto de dados de referência (dados observados nas estações da ANA e INMET), os quais foram separados por estados. Os pontos de observação dos estados do PR, SC e RS para maioria das estações se agrupam bem próximos ao ponto de referência, com correlação acima de 0.8, e menor valor de correlação (0.6) nas estações de Bom Jardim da Serra-SC (número 32 na Tabela 1), localizada na

região serrana catarinense, com altitude de até 1450 m, e São Borja-RS (número 38 na Tabela 1), que fica localizada na região noroeste do RS, sendo frequentemente afeta por sistemas convectivos, em especial na primavera. Analisando o desvio padrão das séries (CPC normalizado em relação à observação), as estações dos três estados (PR, SC e RS) possuem valores menores do que o valor de referência (entre 0.75 e 1), indicando que a variabilidade os dados do CPC é um pouco menor que as observações. Assim como comentado

anteriormente, sugere-se aqui que o efeito da interpolação dos dados suaviza a série temporal e

reduz, com isso, a variabilidade do conjunto do CPC.

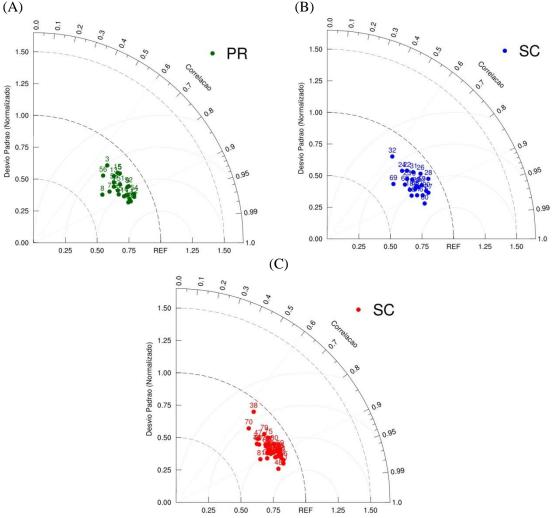


Figura 11. Diagrama de Taylor para correlação e desvio padrão médio usando como referência as estações meteorológicas da ANA e INMET (observações) para os estados do Paraná (A), Santa Catarina (B) e Rio Grande do Sul (C). Os números são o referencial conforme Tabela 1.

Conclusões

A avaliação realizada entre as séries de dados pluviométricos utilizados neste estudo teve a finalidade avaliar o desempenho dos dados em ponto de grade do CPC, comparando com 81 estações meteorológicas distribuídas nos três estados da região Sul do Brasil. De forma geral, a análise preliminar da estrutura dos dados observados das estações meteorológicas mostra que, embora os bancos de dados HidroWeb e BDMEP possuam fácil acesso, estes apresentam problemas quando a sua formatação e organização diferenciada dos dados. Além disso, estes bancos apresentam falhas em suas séries temporais que ocorrem tanto na frequência diária, quanto mensal e anual. Das séries analisadas, 53% das estações

possuem percentual de falhas menor que 20%, e 10% das estações analisadas possuem falhas superior a 40%, com destaque para as estações de Santana do Livramento-RS (número 77 na Tabela 1), Lagoa Vermelha-RS (número 64 na Tabela 1) e Urussanga-SC (número 67 na Tabela 1). Este resultado mostra a importância de uma análise detalhada das séries temporais, já que falhas sucessivas comprometem resultados produzidos em estudos climatológicos que exigem séries contínuas.

A análise qualitativa avaliou as médias anuais, bem como a diferença entre os dados do CPC e as observações, apresentando diferença expressiva em algumas áreas da região que podem estar associadas a interpolação de Cressman, que

suaviza a série, reduzindo a variabilidade do CPC em relação aos dados diários.

A análise da consistência dos dados mostra que, apesar dos dados do CPC possuírem um EM baixo, tendem a subestimar os valores de precipitação, em especial nas estações próximas a regiões montanhosas, como o caso das estações de Urussanga-SC e Antonina-PR. No entanto, as séries analisadas apresentam forte correlação, com destaque para o estado do RS. A acurácia dos dados mostrou bom desempenho dos dados do CPC quando comparado ao INMET e ANA, e os maiores erros ocorrem nas regiões oeste e litorânea do Sul do Brasil, podendo ser associado aos extremos de precipitação.

Sazonalmente, os dados do **CPC** apresentaram melhor desempenho em todos os parâmetros estatísticos avaliados. As estações de verão austral apresentaram inverno e o desempenho inferior comparado as demais estações, mas ainda assim os parâmetros estatísticos mostraram boa representação do conjunto de dados de precipitação do CPC, ficando evidente em todas as análise a influência do relevo nas estimativas de precipitação.

O bom desempenho encontrado, assim como nos estudos de Silva et al. (2007) e Sena et al. (2012), mostram que os dados do CPC podem ser utilizados para estudos de precipitação na região Sul do Brasil.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Catarina, ao Programa Demanda Social (DS) da CAPES pelo apoio financeiro durante parte do trabalho, e sua ex-orientadora Prof. a Dr. a Magaly Mendonca (in Memorian), sendo este trabalho parte de sua tese de Doutorado.

Referências

Adler, R., Huffman, G., Chang, A., Ferraro, R., Xie, P., Janowiak, J., Rudolf, B., Schneider, U., Curtis, S., Bolvin, D., Gruber, A., Susskind, J., Arkin, P., Nelkin, E., 2003. The version-2 global precipitation climatology project (GPCP) monthly precipitation analysis (1979-present). Journal of hydrometeorology, [on line] 4(6), 1147-1167. Disponível: http://dx.doi.org/10.1175/1525-7541(2003)004%3C1147:TVGPCP%3E2.0.C O;2. Acesso em: março, 2016.

Bertoni, J. C., Tucci, C. E., 1993. Precipitação, in: TUCCI, C.E. (Org.) Hidrologia: ciência e

- aplicação. Editora da Universidade ABRH/EDUSP. Porto Alegre, pp.943.
- Chen, M., Shi, W., Xie, P., Silva, V., Kousky, V. E., Higgins, R. W., Janowiak, J. E., 2008. Assessing objective techniques for gauge-based analyses of global daily precipitation. Journal of Geophysical Research: Atmospheres [on line], 113(D4). Disponível: 10.1029/2007JD009132. Acesso: Março, 2016.
- Cressman, G. P., 1959. An Operational Objective Analysis System. Monthly Weather Review, 87(10), 367-374.
- Doty, B. E., Kinter III, J. L., 1995. Geophysical data analysis and visualization using the Grid Analysis and Display System.
- Gandin, L. S., 1965. Objective analysis of meteorological fields. R. Hardin (Ed.). Jerusalem: Israel program for scientific translations.
- Goncalves, L. G. G., Shuttleworth, W. J., Vila, D., Larroza, E., Bottino, M. J., Herdies, D. L., Houser, P., 2009. The South American land data assimilation system (SALDAS) 5-yr retrospective atmospheric forcing datasets. Journal of Hydrometeorology [on line], 10(4), Disponível 999-1010. http://dx.doi.org/10.1175/2009JHM1049.1. Acesso em: Março, 2016.
- Higgins, R. W., Shi, W., Yarosh, E., Joyce, R., 2000. Improved United States precipitation control system and analysis. NCEP/Climate prediction center atlas, 7, 40.
- Huffman, G. J., Adler, R. F., Arkin, P., Chang, A., Ferraro, R., Gruber, A., Schneider, U., 1997. The global precipitation climatology project (GPCP) combined precipitation dataset. Bulletin of the American Meteorological Society, 78(1), 5-20. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1175/1520-0477(1997)078<0005:TGPCPG>2.0.CO;2 Março, 2016.
- Minuzzi, R. B., Caramori, P. H., 2011. Seasonal and annual climatic variability of rainfall and dry spells in the state of Paraná, Brazil. Revista Ceres, 58(5), p. 593–602. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/S0034-737X2011000500009. Acesso: Marco, 2016.
- Minuzzi, R. B., Lopez, F. R., 2014. Variabilidade de índices de chuva nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Bioscience Journal, 30, p. 697-706.
- Nascimento, T. S., Saraiva, J. M. B., Senna, R., Aguiar, F. E. O., 2010. Preenchimento de falhas em banco de dados pluviométricos com base em dados do CPC (Climate Pprediction Center):

- estudo de caso do rio Solimões-Amazonas. Revista Brasileira de Climatologia, 7.
- Nash, J. E., Sutcliffe, J. V., 1970. River flow forecasting through conceptual models part I: A discussion of principles. Journal of hydrology [on line], 10(3), 282-290. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/0022-
- 1694(70)90255-6. Acesso em: Fevereiro, 2016. Quadro, M. F. L., Silva Dias, M. A. F., Herdies, D. L., Goncalves, L. D., 2012. Análise climatológica da precipitação e do transporte de umidade na região da ZCAS através da nova geração de reanálises. Revista Brasileira de Meteorologia, 27(2), 152-162.
- Rodell, M., et al., 2004. The global land data assimilation system. Bulletin of the American Meteorological Society, 85(3), 381-394.
- Rodrigues, M. L. G., 2015. Eventos de chuva orográfica em Santa Catarina: climatologia e simulações numéricas. Tese (Doutorado). São Paulo, Universidade de São Paulo.
- Saldanha, C. B., Radin, B., Cardoso, M. A. G., Rippel, M. L., Fonseca, L. L. D., Rodriguez, F., 2015. Comparison of precipitation data generated by GCPC versus recorded data for state of Rio Grande do Sul. Revista Brasileira de Meteorologia, 30(4), 415-422.
- Sena, J. P. O., Melo, J. S., Lucena, D. B., Melo, E.
 C. S., 2012. Comparação entre dados de chuva derivados do Climate Prediction Center e observados para a região do cariri paraibano.

- Revista Brasileira de Geografia Física, 2, 412-420
- Shi, W., Higgins, R. W., Yarosh, E., Kousky, V. E., 2000. The annual cycle and variability of precipitation in Brazil. NCEP/Climate Prediction Center Atlas, 9, 25.
- Silva, V. B., Kousky, V. E., Shi, W., Higgins, R. W., 2007. An improved gridded historical daily precipitation analysis for Brazil. Journal of Hydrometeorology [on line], 8(4), 847-861. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1175/JHM598.1. Acesso em: Março, 2016.
- Spiegel, M. R., Schiller, J. J., Srinivasan, A. L.,2000. Schaum's outline of probability and statistics. McGraw Hill Professional.
- Wilks, D. S., 2006. Statistical methods in the atmospheric sciences. Academic press.
- Xie, P., Chen, M., Shi, W., 2010. CPC unified gauge-based analysis of global daily precipitation. In: PREPRINTS, 24TH CONF. ON HYDROLOGY, 2, 2010. Atlanta, GA, Amer. Meteor. Soc.
- Xie, P., Arkin, P. A., 1997. Global precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs. Bulletin of the American Meteorological Society, 78(11), 2539-2558.