

Tabela 01 - Informações para o comitê organizador

Título em português	Sistemas Frontais sobre a América do Sul Parte I: Climatologia e intervalo de passagem em dados da Reanálise I do NCEP/NCAR
Nome completo dos autores	Luana Albertani Pampuch, Tércio Ambrizzi
e-mail	lupampuch@gmail.com, tercio.ambrizzi@iag.usp.br
Apresentador	Luana Albertani Pampuch
Forma de Apresentação	Poster (X) Oral (X)
Área Temática	Número da área: 9

Sistemas Frontais sobre a América do Sul Parte I: Climatologia e intervalo de passagem em dados da Reanálise I do NCEP/NCAR

Frontal Systems over South America Part I: Climatology and time interval passage for NCEP/NCAR Reanalysis I data

Luana Albertani Pampuch¹ e Tércio Ambrizzi²

¹Doutora, Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil

²Professor Doutor, Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil

Resumo

Uma climatologia de sistemas frontais sobre a América do Sul foi realizada para os dados da Reanálise I do NCEP/NCAR no período de 1981 a 2010, utilizando um método objetivo de rastreamento baseado na queda de temperatura em 925hPa, mudança do quadrante norte para o quadrante do sul do vento meridional em 925hPa e aumento da pressão ao nível médio do mar. Climatologias anual, sazonal e mensal mostraram que estes sistemas ocorrem em maior número em latitudes mais altas, sendo o sul da Argentina (em torno de 40°S) a região de maior ocorrência, e sua identificação ocorre em menor quantidade em latitudes mais baixas. O inverno e primavera são as estações que registraram o maior número de sistemas frontais e no verão uma menor quantidade é observada. Os sistemas frontais conseguem avançar até o sul da Bahia e também atingem o centro-oeste do Brasil, porém com menor ocorrência. Foi também determinado o intervalo de tempo médio anual e sazonal da passagem de sistemas frontais consecutivos, mostrando que a mesma região de máxima ocorrência dos sistemas, é a região em que o intervalo de passagem é menor. O maior intervalo de dias de sua passagem foi encontrado para o centro-oeste do Brasil.

Palavras-chave: sistemas frontais, climatologia, América do Sul.

Abstract

A climatology of frontal systems over South America was performed with NCEP/NCAR Reanalysis I data for 1981-2010, using a tracking objective method based on decrease of air temperature in 925hPa, shift of meridional wind in 925hPa from northern to southern quadrant and increased in sea level pressure. The annual, seasonal and monthly climatologies showed that these systems occur in higher numbers in the higher latitudes and the south of Argentina (around 40°S) is the most frequent region of occurrence, and its identification occurs in a lesser number in lows latitudes. Winter and spring are the seasons that recorded the highest number of frontal systems and in summer a smaller amount is observed. The frontal systems can move until the south of Bahia and also reach central-west of Brazil, but with a lower incidence. It was also determined the mean time interval of consecutive systems on annual and seasonal time scale, showing that the same region of maximum occurrence of them is the region in which the time interval is smaller. The biggest time interval was founded for central-west of Brazil.

Keywords: frontal systems, climatology, South America.

1 Introdução

Sistemas frontais são importantes fenômenos atmosféricos em escala sinótica que ocorrem em regiões com características atmosféricas peculiares (elevados valores de gradientes horizontais de temperatura, cisalhamento vertical e horizontal, umidade e vorticidade, sendo ainda uma região de relativa baixa pressão em que ocorre movimento vertical) e que podem ser responsáveis pela ocorrência de nuvens com grande desenvolvimento vertical e precipitação (Pettersen, 1956; Carlson, 1991; Fedorova, 1999; Andrade, 2005).

A América do Sul apresenta estas características, já que está localizada entre dois centros semi-permanentes de alta pressão (Alta Subtropical do Atlântico Sul e Alta Subtropical do Pacífico Sul), sendo então uma região favorável à ocorrência deste fenômeno (Satyamurty e Mattos, 1989) que apresenta deslocamento de sudoeste para nordeste sobre o continente e também sobre o Oceano Atlântico (Cavalcanti e Kousky, 2009).

Diversos estudos realizaram climatologias de sistemas frontais sobre a América do Sul (p. ex. Justi da Silva e Silva Dias, 2002; Andrade e Cavalcanti, 2004; Andrade, 2005; Dametto e Da Rocha, 2006; Cavalcanti e Kousky, 2009; Andrade et al., 2012) mostrando que estes sistemas apresentam ocorrência em todas as estações do ano, sendo que no inverno eles avançam até latitudes mais baixas e são acompanhados por massas de ar mais frias provenientes de altas latitudes podendo causar geadas e baixas temperaturas nas regiões sul e sudeste do Brasil e chegar até o sul da Bahia, causando episódios de friagem (Cavalcanti e Kousky, 2009; Reboita et al., 2010). Já no verão, estes sistemas podem interagir com massas de ar de origem tropical podendo ser responsáveis por elevados acumulados de precipitação, principalmente na costa do Brasil entre o sudeste e o sul da Bahia (Cavalcanti e Kousky, 2009).

Em centros de previsão e monitoramento do tempo a identificação destes sistemas ocorre geralmente de forma manual. Berry et al. (2011) salientam que este procedimento introduz um

certo grau de subjetividade já que não é utilizada uma maneira universal de identificação. O uso de um método objetivo poderia unificar a maneira de identificação dos sistemas frontais e diminuir a diferença em sua quantificação.

Cavalcanti e Kousky (2009) mostraram que existe uma relação entre a passagem de sistemas frontais e variações na temperatura em 925hPa, vento meridional em 925hPa e pressão ao nível médio do mar (PNMM). A ocorrência destes sistemas é observada simultaneamente a um decréscimo na temperatura, aumento na PNMM e mudança do vento do quadrante norte para o quadrante sul, além de uma elevação no acumulado de precipitação logo após à estes registros.

Estas características podem então ser utilizadas como um método objetivo de identificação de sistemas frontais e que já foi empregada nos trabalhos de Cavalcanti e Kousky (2003), Andrade e Cavalcanti (2004) e Andrade (2005), além de Cavalcanti e Kousky (2009).

Desta forma, o objetivo deste trabalho é utilizar este método objetivo de identificação de sistemas frontais para realizar uma climatologia mensal e sazonal destes sistemas nos dados de Reanálise I do National Centers for Environment Prediction/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR), além de verificar qual seu intervalo de ocorrência sobre a América do Sul.

2 Dados e Metodologia

Foram utilizados dados de médias diárias de temperatura e vento meridional em 925hPa e PNMM da Reanálise I do NCEP/NCAR (Kalnay et al., 1996) para o período de janeiro de 1981 a dezembro de 2010. Este conjunto de dados possui resolução espacial de 2.5°x2.5° e foi selecionada a área entre 12.5°S-60°S e 90°W-2.5°W, que compreende a porção centro-sul da América do Sul, parte dos Oceanos Pacífico e Atlântico Sul.

A identificação dos sistemas frontais foi feita em cada ponto de grade através da ocorrência de

três condições simultâneas de um dia para o outro:

- 1) Diminuição da temperatura em 925hPa;
- 2) Mudança na direção do vento meridional em 925hPa do quadrante norte para o quadrante sul;
- 3) Aumento na PNMM.

Andrade (2005) salienta que esta metodologia é eficaz na identificação de sistemas frontais em dados de reanálise.

Foram realizadas médias mensais, sazonais e anual do número de sistemas frontais para o período de 1981 a 2010 a fim de determinar a climatologia destes sistemas neste conjunto de dados.

O intervalo de ocorrência destes sistemas também foi verificado, sendo definido como o número de dias entre a ocorrência de um sistema frontal e seu subsequente para o mesmo ponto de grade. A climatologia do intervalo da passagem das frentes foi realizada para as quatro estações do ano e também na escala de tempo anual.

3 Resultados e Discussões

3.1 Climatologias

O número médio dos sistemas frontais por ano é mostrado na Figura 1. O norte e centro da Argentina são as regiões que apresentam o maior número durante o ano (entre 45 e 50 sistemas).

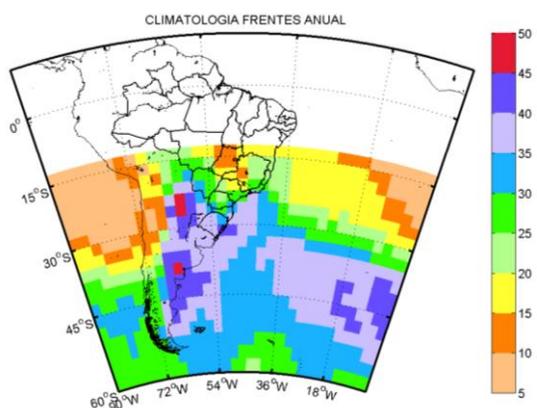


Figura 1: Climatologia anual (1981-2010) de sistemas frontais para dados da Reanálise I do NCEP/NCAR.

Sobre o Brasil, os maiores valores são observados na região sul, com cerca de 40 a 45

sistemas no litoral estado do Rio Grande do Sul e entre 30 e 35 nos estados do Paraná e Santa Catarina. Sobre o sudeste do Brasil, cerca de 25 a 30 sistemas atingem a região litorânea durante o ano e não mais do que 25 sistemas são observados no interior da região. O sul da Bahia é atingido por cerca de 20-25 sistemas frontais, sendo que este também é o número máximo registrado no centro-oeste do Brasil.

Os oceanos Pacífico e Atlântico apresentam máximos de 35 e 45 sistemas frontais, respectivamente sendo estes localizados em torno de 45°S.

Cavalcanti e Kousky (2009) encontraram resultados semelhantes, porém incluindo limiares (queda na temperatura de 2°C, aumento de 2hPa na PNN e vento de sul de pelo menos 2m/s) às mudanças consideradas.

A climatologia mensal dos sistemas frontais é mostrada na figura 2 (a-l). É possível observar que os sistemas frontais são mais frequentes em todos os meses em latitudes mais altas, característica observada também por Oliveira, (1986), Andrade (2005) e Cavalcanti e Kousky (2009).

A maior frequência em todos os meses do ano é observada no sul da Argentina entre 30°S e 45°S, chegando ao máximo de 5 sistemas nos meses de dezembro (a), janeiro (b), março (c), agosto (i) e outubro (k). No Brasil, o Rio Grande do Sul é o estado com maior incidência de sistemas frontais e ocorrem de junho a outubro (h-k) (em média 4 por mês). Entre setembro e novembro (j-l) latitudes mais altas recebem um número maior de sistemas, e estes chegam a atingir o sul e litoral do estado de São Paulo. O norte de Minas Gerais e Sul da Bahia são as regiões com menos sistemas durante o ano (em média 2 por mês), sendo que nos meses de julho (h) e agosto (i) esse valor se eleva (chega a 3 por mês).

Andrade (2005) também realizou climatologias mensais para sistemas frontais sobre a América do Sul com esta metodologia e encontrou valores mais altos. Essa diferença pode ter ocorrido devido à diferença no período analisado (1980-2002) e pela análise não ter sido realizada em ponto de grade e sim em médias de 5 pontos para cada caixa das regiões analisadas.

A figura 3 mostra a climatologia de sistemas frontais para o verão (a), outono (b), inverno (c)

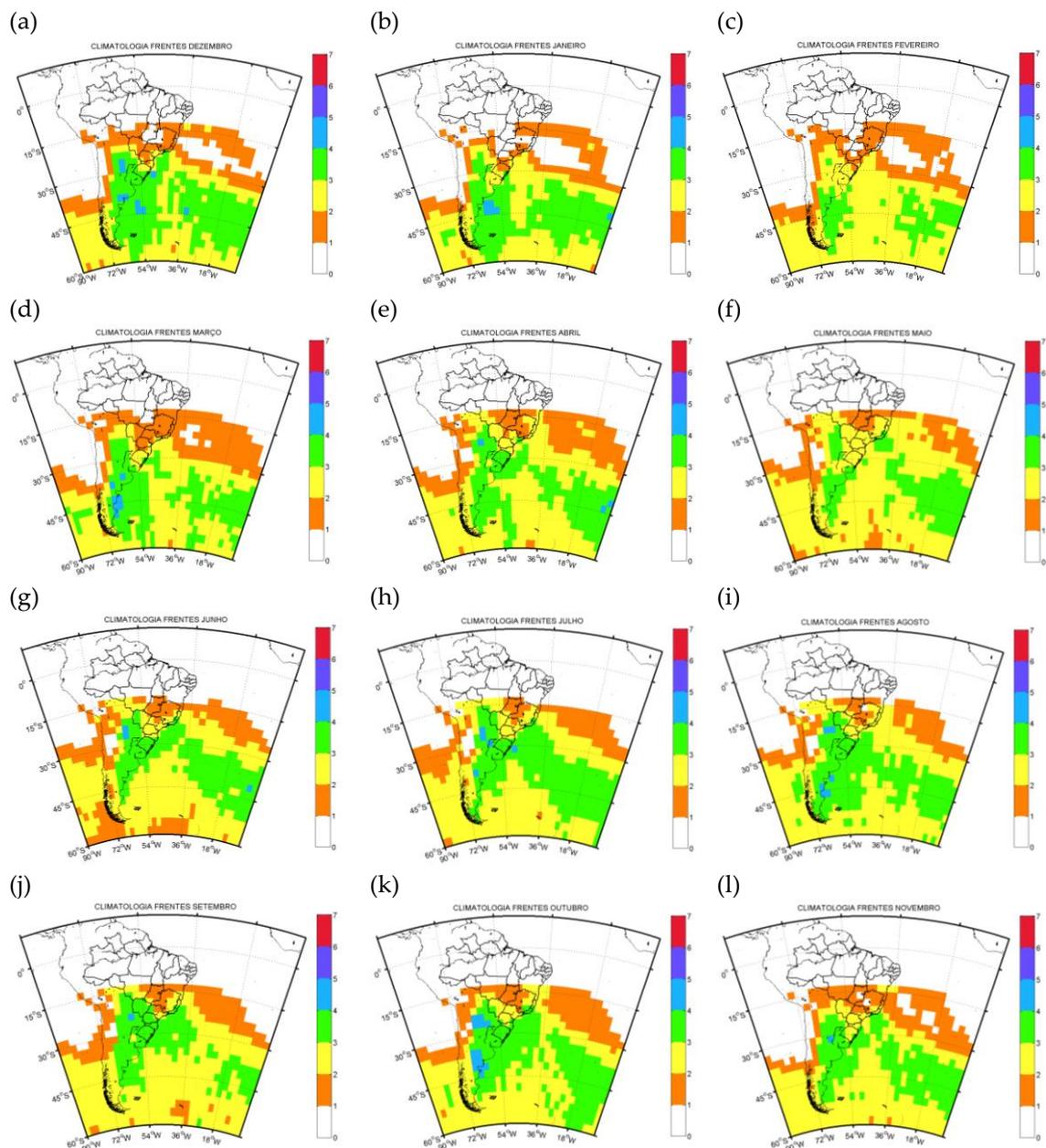


Figura 2: Climatologia Mensal (1981-2010) de sistemas frontais em (a) dezembro; (b) janeiro; (c) fevereiro; (d) março; (e) abril; (f) maio; (g) junho; (h) julho; (i) agosto; (j) setembro; (k) outubro e (l) novembro para dados da Reanálise I do NCEP/NCAR.

e primavera (d). Apesar de uma característica comum ser observada em todas as estações (maior incidência entre 30°S e 45°S), sua ocorrência é marcada por sazonalidade.

O verão é a estação em que as frentes frias se apresentam menos frequentes ao norte de 25°S, sendo que o litoral do estado de São Paulo recebe cerca de 7 sistemas, o seu interior 3 e o estado de Minas Gerais, Espírito Santo e sul da Bahia até 5 sistemas são identificados. Cavalcanti e Kousky (2009) salientam que a baixa quantidade encontrada para esta estação é devido ao fato de

que o critério de identificação das frentes pode não rastrear os sistemas que interagem com a ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul).

Já no inverno estas latitudes ao norte de 25°S recebem até 8 sistemas. Este fato ocorre, pois um maior contraste térmico é observado no inverno e massas de ar mais frias com origem de latitudes mais baixas conseguem avançar até latitudes mais altas (Cavalcanti e Kousky, 2009).

Além do inverno, a primavera é a outra estação em que maior número de sistemas é observado em latitudes mais baixas, em que

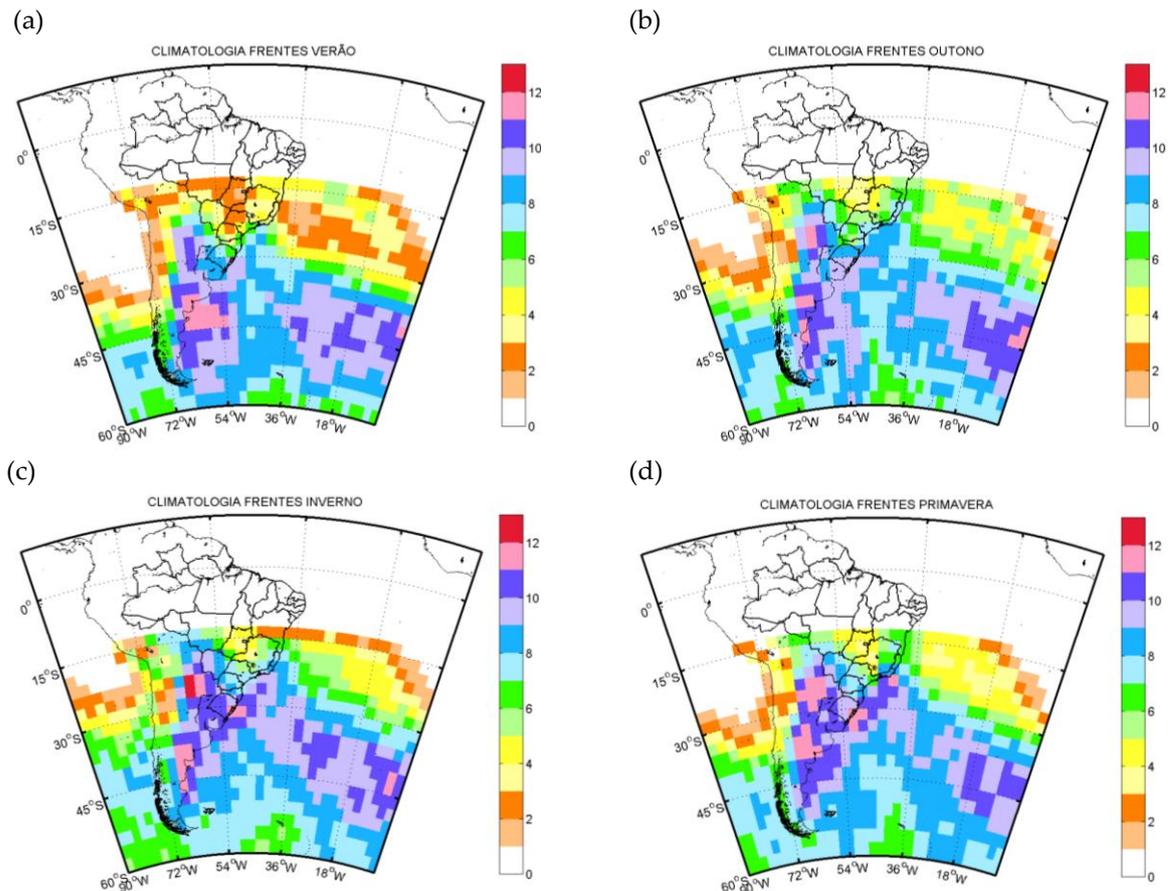


Figura 3: Climatologia (1981-2010) de sistemas frontais no (a) verão; (b) outono; (c) inverno e (d) primavera para dados da Reanálise I do NCEP/NCAR.

cerca de 10 a 12 sistemas são observados no Rio Grande do Sul e Oceano Atlântico adjacente (entre 20°S e 35°S). Este número é observado apenas ao sul de 35°S no verão e outono.

3.2 Intervalo de Passagem

O intervalo médio anual de passagem de sistemas frontais é mostrado na figura 4. É possível notar que entre 30°S-45°S (no sul da Argentina e Rio Grande do Sul) este intervalo é de 7 a 9 dias (o menor para a região analisada). Entre o litoral dos estados de Santa Catarina e de São Paulo valores entre 8 e 11 dias foram encontrados. Os trabalhos de Rodrigues et al. (2004) e Stech & Lorenzetti (1992) obtiveram os valores de 8 e 5-6 dias, respectivamente, sendo o resultado aqui encontrado coerente. No norte de Minas Gerais e Sul da Bahia o tempo entre a ocorrência de uma frente e sua seguinte chega a 15 dias e no centro-oeste do Brasil esse valor pode chegar a 22 dias.

A figura 5 mostra o intervalo médio da passagem de sistemas frontais no verão (a), outono (b), inverno (c) e primavera (d). Em todas as estações do ano o menor valor é encontrado para o sul da Argentina (em torno de 40°S),

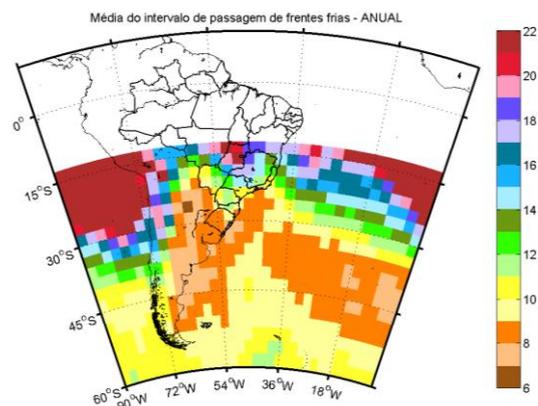


Figura 4: (a) Climatologia (1981-2010) Anual e (b) Média anual do intervalo de passagem de sistemas frontais para dados da Reanálise I do NCEP/NCAR.

mostrando que não é superior a 7 dias o intervalo de passagem entre um sistema e seu subsequente. Este valor também é registrado no outono inverno e primavera para o norte da Argentina (em torno de 30°S). No estado do Rio Grande do Sul o intervalo de passagem entre dois sistemas frontais consecutivos é menor no inverno e primavera (cerca de 7 a 8 dias), seguidas do outono (8-9 dias) e verão (até 11 dias). Entre o litoral de Santa Catarina e São

Paulo a passagem dos sistemas ocorre em média entre 10 e 13 dias para o verão, sendo este valor reduzido no outono, inverno e primavera (entre 8 e 11 dias). No centro-oeste do Brasil e sul da Bahia, regiões já mostradas na seção 3.1 como com menor ocorrência de sistemas frontais, o tempo entre a ocorrência de uma frente e a sua subsequente pode ser de 22 dias no verão, 18 dias no outono e primavera e 17 dias no inverno.

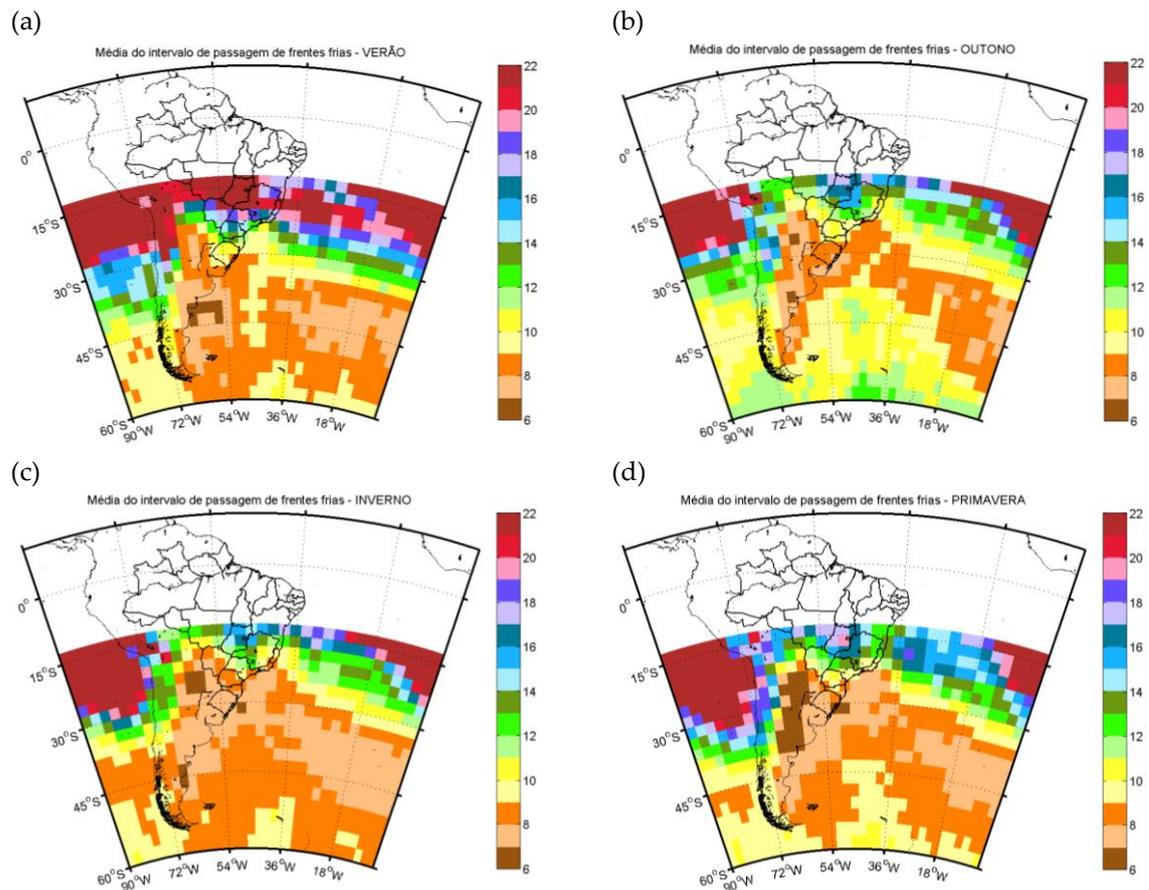


Figura 5: Média do intervalo de passagem de sistemas frontais (1981-2010) no (a) verão; (b) outono; (c) inverno e (d) primavera para dados da Reanálise I do NCEP.

4 Conclusões

Este trabalho realizou uma climatologia e determinou o intervalo de passagem de tempo dos sistemas frontais entre 1981 e 2010 sobre a América do Sul em dados da Reanálise I do NCEP/NCAR através de um método objetivo de rastreamento: queda na temperatura em 925hPa, mudança do vento meridional em 925hPa (do quadrante norte para o quadrante sul) e aumento na PNMM.

As análises climatológicas mostraram que as frentes frias ocorrem em maior quantidade em

latitudes mais altas, sendo norte e centro da Argentina identificadas como as regiões mais frontogenéticas da América do Sul, seguida do estado do Rio Grande do Sul.

A análise mensal mostrou que os sistemas frontais ocorrem com maior frequência de junho a outubro, sendo que entre setembro e novembro um maior número de sistemas conseguem avançar até o sul da Bahia e centro-oeste do Brasil.

A análise sazonal mostrou que o inverno e a primavera são as estações com maiores registros

de sistemas frontais sobre a América do Sul, sendo que estes conseguem avançar até latitudes mais baixas. O verão apresentou os menores registros destes sistemas, sendo o maior número concentrado abaixo de 35°S.

A análise do intervalo da passagem dos sistemas frontais mostrou que a região de maior registro também é a região em que demora menos tempo entre a passagem de um sistema e o seguinte. O centro-oeste do Brasil foi a região com maior intervalo de passagem de sistemas frontais, principalmente no verão. O inverno e a primavera são as estações em que ocorre o menor intervalo de tempo para a passagem dos sistemas frontais.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio financeiro da FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) processos nº 2011/08191-4 e 2012/14316-7 e 2008/58101-9. TA agradece também ao CNPq pelo financiamento parcial desta pesquisa. LAP agradece ao CNPq processo 150243/2015-4.

Referências

- Andrade, K. M. (2005). Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul. 185págs. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Meteorologia) – INPE, São José dos Campos.
- Andrade, K. M., Cavalcanti, I. F. A. (2004). Climatologia dos sistemas frontais e padrões de comportamento para o verão na América do Sul. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 13, Fortaleza- CE. Anais SBMET.
- Andrade, K., Muller, G. V., Cavalcanti, I.F.A., Long, M.E.F., Bidegains, M., Berri, G. (2012). Avaliação de mudanças na frequência de sistemas frontais sobre o sul da América do Sul em projeções do clima futuro. Meteorologica, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, v. 37, n. 1, jun.
- Berry, G., Reeder, M. J., Jakob, C. (2011) A global climatology of atmospheric fronts. Geophys. Res. Lett., 38, L04809, doi:10.1029/2010GL046451.
- Carlson, T.N. (1991). Mid-latitude weather systems. London: Harper Collins Academic, 50p.
- Cavalcanti, I. F. A., Kousky, V. E. (2003) Climatology of South American cold fronts. In: International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, 7., Wellington, New Zealand, 2003. Proceedings... New Zealand: American Meteorological Society.
- Cavalcanti, I. F. A., Kousky, V. E. (2009). Frentes Frias sobre o Brasil. In: Cavalcanti, I. F. A., Ferreira, N. J., Justi da Silva, M. G. A.; Silva dias, M. A. F. Tempo e clima no Brasil. São Paulo: Oficina de textos. Cap. 9, p. 133-147.
- Dametto, G. S., Da Rocha, R. P. (2006). Características Climáticas dos Sistemas Frontais na cidade de São Paulo. Congresso Nacional de Meteorologia. Anais.
- Fedorova, N. (1999). Meteorologia sinótica, Pelotas: UFPEL, v.1.
- Justi da Silva, M.G. A., Silva Dias, M. A. F. (2002). A frequência de fenômenos meteorológicos na América do Sul: uma climatologia. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 11., 2002, Foz do Iguaçu-PR. Anais.Foz do Iguaçu: SBMET.
- Kalnay E., Kanamitsu, M., Kirtler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K. C., Ropelewski, C., Wang, J., Leetma, A., Reynolds, R., Jenne, R., Joseph, D. (1996). The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. Bull. Amer. Meteorol. Soc. 77: 437–471.
- Petterson, S. (1956). Weather analysis and forecasting. New York: Mc-Graw-Hill.
- Satyamurty, P., Mattos, L. F. (1989). Climatological lower tropospheric frontogenesis in the midlatitudes due to horizontal deformation and divergence. Monthly Weather Review, v.117, n. 6, p. 1355-1364, June.
- Reboita, M. S., Gan, M. A., Da Rocha, R. P., Ambrozzi, T. (2010). Regimes de Precipitação

na América do Sul: Uma Revisão Bibliográfica. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 25, 185-204.

Rodrigues, M. L. G., Franco, D., Sugahara, S. (2004). Climatologia de Frentes Frias no Litoral de Santa Catarina. Revista Brasileira de Geofísica, v.22, n. 2, p. 135-151.

Stech, J. L., Lorenzetti, J. A. (1992). The response of the South Brazil Bight to the Passage of Wintertime Cold Fronts. Journal of Geophysical Research, 97, C6, 9507-9520.