

Climatologia Sazonal de Frentes Frias no Centro-sul da América do sul

Roseli de Oliveira^{1*}, Mário Francisco Leal de Quadro²

¹ Instituto Federal de Santa Catarina, *Câmpus Florianópolis/sc, Brasil*

² Instituto Federal de Santa Catarina, *Câmpus Florianópolis/sc, Brasil*

*rooliveira32@gmail.com

RESUMO

As Frentes Frias (FFs) atuantes no sul e centro-sul da América do Sul (AS) se caracterizam como causadores de eventos como chuvas intensas, temporais com ventos fortes, queda acentuada da temperatura impactando a agricultura, o setor econômico e a sociedade em geral. Este trabalho tem como objetivo realizar uma climatologia sazonal do deslocamento e da intensidade das FFs no sul e centro-sul da AS. Nesta região se delimitaram 10 áreas, sendo 5 litorâneas e 5 continentais. Com a metodologia aplicada desenvolveu-se um algoritmo computacional, denominado de Índice de Detecção de Frentes Frias Normalizado (IFFN), para detecção e caracterização das FFs por meio dos dados da reanálise do CFSR e CFSRv2, da componente meridional do vento a 10 m e da temperatura do ar a 2 m. A climatologia sazonal de FFs apresenta uma maior frequência no inverno, onde esses sistemas são mais intensos, com uma média de 20 FFs por ano; os padrões de deslocamento e intensidade mostram a diminuição de FFs conforme estas avançam em direção à latitudes menores.

Palavras-Chave: Algoritmo de detecção, Climatologia, Sistemas Frontais, frontogênese.

1. INTRODUÇÃO

A região centro-sul da América do Sul (AS), foi identificada como favorável à formação e intensificação de frentes frias, (SATYAMURTY E MATTOS, 1989, REBOITA et al., 2009, SIMMONDS et al., 2012). As frentes frias (FFs) são definidas como uma zona de transição entre duas massas de ar com densidades e temperaturas diferentes, influenciando assim nas demais variáveis meteorológicas (BJERKNES, 1919). Estes sistemas são um dos principais sistemas meteorológicos que provocam mudanças significativas no tempo e clima na região de atuação, podendo causar chuvas intensas, temporais com ventos fortes, queda acentuada da temperatura com impactos na agricultura e nos setores econômico e social.

Em diversos estudos sobre as FFs são aplicados métodos de detecção, visando melhorar a previsibilidade da atuação destes sistemas em diversos lugares do globo (RENARD E CLARKE, 1965; CLARKE E RENARD, 1966, HEWSON, 1998; BERRY, 2011; SIMMONDS et al., 2012). Na AS e no Brasil, além da detecção das FFs, muitos autores

buscam determinar uma climatologia destes sistemas nas regiões de atuação. Autores como Kousky (1979), Justi da Silva e Silva Dias (2002), Rodrigues et al. (2004), Andrade (2005), Cavalcanti e Kousky (2009), Morais et al. (2010), Silva et al. (2014), Cardozo et al. (2015), Escobar et al. (2016), utilizaram métodos de detecção de FFs para avaliar a frequência temporal e espacial da passagem das frentes na AS. Os principais resultados encontrados por estes autores foram: i) a frequência de atuação das FFs diminui em direção às baixas latitudes e; ii) nas estações de inverno e primavera austral as FFs são mais frequentes. No entanto, tais estudos não quantificaram as FFs quanto a intensidade das mesmas nas regiões estudadas. Com base nesse contexto, este estudo tem como objetivo avaliar climatologicamente o deslocamento e a intensidade de frentes frias pelo centro-sul da AS, por meio de um método objetivo de detecção.

2. DADOS E METODOLOGIA

2.1 Área de Estudo

A área de estudo abrange parte do sul e centro-sul da América do Sul. Esta região possui um relevo diversificado e sofre a influência de diversos sistemas meteorológicos, da Cordilheira dos Andes e dos oceanos Pacíficos e Atlântico. Na região de estudo foram 10 áreas, sendo 5 em áreas litorâneas (AL) e 5 em áreas continentais (AC). Ressalta-se que essas subdivisões foram feitas para avaliar o comportamento da formação (ciclogênese seguida de frontogênese) e deslocamento dos sistemas frontais sobre o cone sul da AS.

2.2 Dados

Foram utilizados dados de 1 hora de previsão de componente meridional do vento (m/s) a 10 m e temperatura do ar (C) a 2 m, a partir do conjunto de dados: (i) da reanálise do CFSR, disponível no período de 1979 até março de 2011 (Saha S. et al., 2010; Decker et al., 2012) e (ii) do CFSv2 que se trata de uma atualização da versão CFSR (Saha et al., 2014) e está disponível de abril de 2011 até o presente (<https://rda.ucar.edu/datasets/ds093.0/>). As duas versões da reanálise foram utilizadas no formato grib2, com resolução espacial de 0.50° x 0.50°, com resolução temporal de 6 horas, no período total de 30 anos (1991 a 2020).

2.3 Metodologia

Para a detecção de FFs desenvolveu-se um algoritmo automatizado baseado na metodologia usada por Rodrigues et al. (2004), Silva et al. (2014) e Cardozo et al. (2015),

desenvolvido no software GRADS (*Grid Analysis and Display System*) fornecido pelo *Center for Ocean-Land-Atmosphere Interactions* (COLA). Uma FF era detectada quando o algoritmo sinalizava as seguintes condições simultaneamente: i) vento no quadrante norte no tempo $t-1$ (6 horas antes); ii) vento no quadrante sul do tempo t até $t+3$ indicando o giro do vento norte (valores negativos da componente meridional do vento) para o quadrante sul (valores positivos da componente meridional do vento) e persistência até 24 horas e iii) diminuição da temperatura do ar a 2 m até 24 horas após a passagem da FF, considerando o tempo $t-1$ a $t+3$.

As condições resultaram em um índice denominado de Índice de Detecção de Frentes Frias (IFF), que para torná-lo adimensional foi normalizado, em função do máximo valor do domínio. Sendo assim, se obteve o índice IFFN (IFF normalizado) em uma escala com variação de 0 a 10, na qual mostra a intensidade das FFs pelo algoritmo. A partir do IFFN, foram categorizados os eventos de FFs detectados como: i. Evento Fraco: $0.1 \leq IFFN < 4.0$, ii. Evento moderado: $4.0 \leq IFFN < 7.0$, iii. Evento Forte: $7.0 \leq IFFN \leq 10.0$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Climatologia Sazonal das FFs detectadas pelo Algoritmo

A climatologia de FFs foi definida como o estudo dos padrões das mesmas por meio de uma descrição estatística num período de 30 anos. A seguir apresenta-se a variabilidade sazonal do número de FFs (barras em cor cinza) e do IFFN (barras em cor verde) para cada uma das 10 áreas delimitadas (Figura 3).

Uma análise das áreas litorâneas (ALs) mostra que as estações com maior ocorrência de FFs são inverno e primavera e que ainda há uma diminuição no número dos sistemas das latitudes mais altas (AL1) para as mais baixas (AL5). Este resultado corrobora com estudos de Justi da Silva e Silva Dias (2002), Andrade (2005) e Reboita et al. (2009), os quais mostraram que as FFs que percorrem o litoral sulamericano e atingem, em geral, latitudes em torno de 20° S, onde inicia seu processo de dissipação, conhecido como frontólise; já o máximo da frequência frontal ocorre no sul da Argentina na estação verão, em torno de 45° S. As áreas continentais (ACs) apresentam pouca variação sazonal e menor número de FFs em relação às litorâneas.

Na AL1, observa-se um maior número de sistemas detectados e maiores valores de IFFN comparados com as demais áreas, com uma variação sazonal entre 18 no verão e 21 FFs no inverno, sendo que no verão, outono e primavera os sistemas são intensos e no inverno

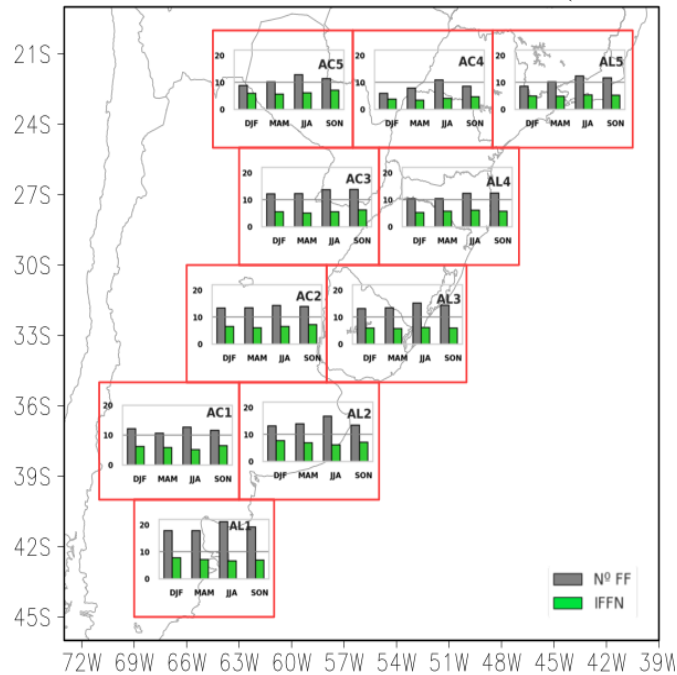
moderados. Nesta área, mesmo com a influência direta da Alta Subtropical do Pacífico Sul (ASPS) estudos mostram que algumas FFs e outros sistemas meteorológicos (cavados, baixa pressões) migram do Pacífico e conseguem passar pela Cordilheira dos Andes, alguns destes sistemas vão para o Atlântico e outros são defletidos em direção ao equador (Müller e Berri, 2007; Müller e Ambrizzi, 2007). No entanto, ao longo das estações, a maioria destes sistemas favorecem e/ou fortalecem os sistemas frontais atuantes. Outros estudos, denominam a AL1 e arredores como uma região frontogenética, a qual é mais ativa no verão ao sul da Argentina, e no inverno, esta região possui um deslocamento para latitudes mais baixas (SATYMURTY E MATTOS, 1989; REBOITA et al., 2009; SIMMONDS et al., 2012). Ainda, no cinturão onde se localiza a AL1, entre as latitudes 40° e 60°S, há uma maior frequência de FFs, embora haja uma série de assimetrias zonais no oceano, regiões próximas a Patagônia, sul da África, e sudoeste da Austrália (SIMMONDS et al., 2012).

Na AC1, a variabilidade sazonal de FFs se mostra com menor número de sistemas em relação a AL1, variando entre 11 FFs no outono e 13 no inverno. Esta região também sofre a influência da ASPS e como é mais continental, a maioria das FFs não consegue adentrar ao continente. A intensidade média dos sistemas na AC1 também diminui em relação a AL1, sendo que, em todas as estações a intensidade média das FFs é moderada. Nas áreas AC2 e AC3, as estações que mais ocorrem FFs são o inverno e primavera com aproximadamente 14 sistemas. Em relação ao IFFN na AC2 as FFs são intensas na primavera, nas demais estações os sistemas que ocorrem são moderados como na AC3 onde em todas as estações as FFs são de intensidade moderada.

Na AL2, as FFs são mais frequentes no inverno com média de 17 sistemas, e a intensidade das mesmas é menor em relação às outras estações. Na AL3, o número médio de FF varia de 13 a 15 sistemas, sendo o inverno a estação com maior ocorrência, seguida da primavera (14 FFs). Na área AL4 a maior frequência de FFs ocorre na primavera com aproximadamente 13 sistemas, na sequência vem o inverno com 12 e as outras estações com a média de 10 FFs. Sobre a intensidade, tanto na AL3, quanto na AL4 os sistemas se apresentam em todas as estações com intensidade moderada.

Nas áreas AL5, AC4 e AC5, destaca-se o inverno com maior ocorrência de FFs com número médio de 12, 11 e 13, respectivamente. O verão se apresenta nas três áreas citadas com menor número de sistemas. A análise do IFFN nas três áreas mostra que na AL5 as FFs são moderadas, na AC5 são intensas na primavera e moderada nas demais estações, na AC4 as FFs são moderadas no inverno e primavera e fracas no verão e outono.

Figura 3: Número Médio Sazonal de Frentes Frias e do Valor Médio Mensal do Índice de Frente Fria Normalizado nas Áreas Litorâneas e Continentais (1991-2020).



Fonte: os autores (2022).

4. CONCLUSÃO

A pesquisa mostrou que a maior frequência sazonal de FFs ocorre no inverno em concordância com estudos de Andrade, (2005), Reboita et al. (2009), Silva et al. (2014), os quais afirmam que no inverno os sistemas frontais conseguem avançar para latitudes mais baixas e longitudes mais a oeste comparadas às demais estações do ano. E isso é devido a existência de um maior contraste térmico separando as massas de ar, tal contraste faz com que estas massas cheguem até a Região Central do Brasil. Destaca-se a AC2, AC3, AL3 e AL4 que além da estação inverno também registram na primavera maior número de FF. Referente ao IFFN médio sazonal de cada área, tem-se que na AL1, no verão, outono e primavera os sistemas são intensos e no inverno moderados. Na AC1, AL3 e AL4 em todas as estações as FFs possuem intensidade moderada. Na AC2 as FFs são intensas na primavera, nas demais estações os sistemas que ocorrem são moderados como na AC3 onde em todas as estações as FFs são de intensidade moderada. Na AL5 as FFs são moderadas, na AC5 são intensas na primavera e moderada nas demais estações, na AC4 as FFs são moderadas no inverno e primavera, e fracas no verão e outono.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Santa Catarina por meio do Programa de Mestrado em Clima e Ambiente pela participação do Projeto de Pesquisa - Monitoramento Climático e Ambiental

Gestão de Eventos Meteorológicos Extremos em Santa Catarina - PG001-2021, AVISO Nº 10/2021 PROEX/PROPI/DPP E-Campus Florianópolis EPE Integração.

6. REFERÊNCIAS

ANDRADE, K. M. **Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais -INPE - São José dos Campos, 185 p, 2005.

BERRY, Gareth; REEDER, Michael J.; JAKOB, Christian. A global climatology of atmospheric fronts. **Geophysical Research Letters**, v. 38, n. 4, 2011.

BJERKNES, J. On the structure of moving cyclones. **Geofysiske Publikationer**, v. 1, n. 2, p. 1-8, 1919.

RELAÇÃO COM O MODO ANULAR SUL (CLIMATOLOGY OF COLD FRONTS OVER SOUTH AMERICA AND ITS RELATION WITH THE SOUTHERN ANNULAR MODE). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 17, 2015.

Decker, Mark, Michael A. Brunke, Zhuo Wang, Koichi Sakaguchi, Xubin Zeng, Michael G. Bosilovich, 2012: Evaluation of the Reanalysis Products from GSFC, NCEP, and ECMWF Using Flux Tower Observations **J. Climate**, **25**, 1916-1944 (DOI: 10.1175/JCLI-D-11-00004.1).

ESCOBAR, J. C. G.; SELUCHI, E. S.; ANDRADE, K. Classificação Sinótica de Frentes Frias Associadas a Chuvas Extremas no Leste de Santa Catarina (SC). **Revista Brasileira de Meteorologia**. V. 31, n. 4, p. 649-661, Fev. 2016.

CARDOZO, Amanda Balbino et al. CLIMATOLOGIA DE FRENTES FRIAS NA AMÉRICA DO SUL E SUA HEWSON, T. D., 1998: Objective fronts. **Meteor. Appl.**, **5**, 37-65.

JUSTI DA SILVA, M. G. A.; SILVA DIAS, M. A. F. A Frequência de Fenômenos Meteorológicos na América do Sul: uma Climatologia. **In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2002**, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu: SBMET, 2002.

KOUSKY, V. E. Frontal Influences on Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, n. 107, pp. 1140-1153, 1979.

MORAIS, Marcos Antônio de; CASTRO, Wagner Antonio Chiba de; TUNDISI, JoséGalizia. Climatologia de frentes frias sobre a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), esua influência na limnologia dos reservatórios de abastecimento de água. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, p. 205-217, 2010.

Müller, G. V., and G. J. Berri, 2007: Atmospheric Circulation Associated with Persistent Generalized Frosts in Central-Southern South America. **Mon. Wea. Rev.**, **135**, No. 4, pages 1268-1289.

Müller, G. V., and T. Ambrizzi, 2007: Teleconnection Patterns and Rossby Wave Propagation Associated to Generalized Frosts over Southern South America. **Clim. Dyn.**, **29**, No. 6, 633-645.

RENARD, Robert J.; CLARKE, Leo C. Experiments in numerical objective frontal analysis. **Monthly Weather Review**, v. 93, n. 9, p. 547-556, 1965.

REBOITA, M.S.; IWABE, C.; DA ROCHA, R.P.; AMBRIZZI, T. Análise de um ciclone semi-estacionário na Costa Sul do Brasil associado a bloqueio atmosférico: o Evento de 02 a 06 Maio de 2008. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n.4, p. 407-422, 2009.

REBOITA, M.S., Gan M. A., da Rocha R. P., Ambrizzi T. Regimes de Precipitação na América do Sul: Uma Revisão Bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, **25**(2):185-204, 2010.

RODRIGUES, Maria Laura Guimarães; FRANCO, Davide; SUGAHARA, Shigetoshi. Climatologia de frentes frias no litoral de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 22, n. 2, p. 135-151, 2004.

SAHA, Suranjana, et. al., 2010: The NCEP Climate Forecast System Reanalysis **Bull. Amer. Meteor. Soc.**, **91**(8), 1015-1057 (DOI: 10.1175/2010BAMS3001.1).

SAHA, Suranjana, at. al., 2014: The NCEP Climate Forecast System Version 2. **J. Climate**, **27**, 2185-2208.

SATYAMURTY, P.; MATTOS, L. F. Climatological Lower Tropospheric Frontogenesis in the Midlatitudes due to Horizontal Deformation and Divergence. **Monthly Weather Review**, **117**, n. 6, p. 1355-1364, 1989.

SILVA, L. J.; REBOITA, M. S.; ROCHA, R. P. Relação da Passagem de Frentes Frias na Região Sul de Minas Gerais (RSMG) com a Precipitação e Eventos de Geadas. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.14, n. 10, p.232-235, 2014.

SIMMONDS, Ian; KEAY, Kevin; TRISTRAM BYE, John Arthur. Identification and climatology of Southern Hemisphere mobile fronts in a modern reanalysis. **Journal of Climate**, v. 25, n. 6, p. 1945-1962, 2012.