

## CARACTERÍSTICAS ANÔMALAS DO VERÃO DE 2019 NO SUDESTE DO BRASIL

SILVA, Paola do Nascimento - paola.silva@hotmail.com  
Universidade Federal de Itajubá / UNIFEI

CAPUCIN, Bruno César - brunocapucin23@gmail.com  
Universidade Federal de Itajubá / UNIFEI

SILVA, Bruna Andrelina - brunaandrelina@unifei.edu.br  
Universidade Federal de Itajubá / UNIFEI

REBOITA, Michelle Simões - reboita@unifei.edu.br  
Universidade Federal de Itajubá / UNIFEI

*Submetido em: 01/10/2019*

*Aceito para publicação em: 09/10/2020*

*Publicado em: 19/10/2020*

*DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v27i0.69492>*

**RESUMO:** O verão de 2019 (dez/18 e jan-fev/2019) foi um período anômalo com relação à temperatura e umidade. Em dezembro, várias estações meteorológicas no Sudeste do Brasil registraram temperaturas muito abaixo da climatologia como, por exemplo, a cidade de Itajubá (MG), em que a temperatura mínima chegou a 11,1 °C. Já o mês de janeiro foi extremamente seco no Sudeste. Diante desse contexto, o objetivo do presente estudo foi registrar e explicar tais anomalias. Para tanto, foram utilizados dados de estações meteorológicas, da análise do Global Forecast System e do Climate Prediction Center e da reanálise ERA-Interim. O período anomalmente frio esteve associado à incursão de uma onda de frio entre 7 e 10 de dezembro de 2018, enquanto o episódio seco em janeiro de 2019 esteve associado com o deslocamento do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul para oeste de sua posição climatológica, fazendo com que as anomalias de pressão atmosférica e temperatura da superfície do mar ficassem positivas; essas características dificultaram a ocorrência de precipitação no Sudeste e foram similares a da seca do ano de 2014. O modelo de previsão climática CFSV2 foi utilizado a fim de conhecer sua acurácia na previsão da seca de janeiro. Os resultados revelam que o modelo superestimou (subestimou) a precipitação (temperatura) nas regiões atingidas pelo período de estiagem na estação chuvosa.

**PALAVRAS-CHAVE:** Onda de frio, seca, precipitação, Região Sudeste

*ANOMALOUS CHARACTERISTICS OF THE 2019 SUMMER*

**ABSTRACT:** The summer of 2019 (Dec/18 and Jan-Feb/2019) was an anomalous period in terms of temperature and humidity. In December, several meteorological stations in southeastern Brazil recorded temperatures below the climatology, for example, Itajubá city, which registered 11,1°C of minimum temperature. January was extremely dry. In this context, the purpose of this study is to present and explain such anomalies. For this reason, data from meteorological stations, Global Forecast System and Climate Prediction Center analyses, and ERA-Interim reanalysis were used. The anomalous cold period was associated with the incursion of a cold wave between December 7 and 10, 2018, and the dry episode in January 2019 was associated with the displacement of the South Atlantic Subtropical High to the west of its climatological position, making the atmospheric pressure and sea surface temperature anomalies positive; these characteristics difficult the occurrence of precipitation in the Southeast and were similar to the drought of 2014. The CFSV2 climate forecasting model was used to determine its accuracy in the January drought forecast. The results show that the model overestimated (underestimated) the precipitation (temperature) in the regions affected by the dry season in the rainy season.

**KEYWORDS:** Cold wave, drought, precipitation, Southeast Region

## 1. INTRODUÇÃO

A precipitação é uma das variáveis atmosféricas que mais impacta as atividades humanas como as práticas agrícolas, geração de energia, setores de transporte, turístico etc. Entretanto, a temperatura do ar também pode causar prejuízos econômicos como, por exemplo, a queda das temperaturas ocasionadas pela incursão de ar frio nas regiões Sul e Sudeste do país que podem propiciar muitas vezes geadas e impactos na agricultura (MARENGO et al., 1997).

A região Sudeste do Brasil (RSB) concentra 42,1% da população total do país (IBGE, 2010) e é responsável por cerca de 55,4% do Produto Interno Bruto Nacional (PIB), tendo sua economia baseada na extração de minério, indústrias, petróleo, agricultura e pecuária (IBGE, 2010). O clima predominante da RSB, segundo a classificação de Köppen-Geiger, é o Aw – tropical chuvoso com inverno seco (KOTTEK et al., 2006). Portanto, essa região é caracterizada pela presença de duas estações bem definidas: um período mais seco que ocorre nos meses de inverno e um período chuvoso, registrando máximos de precipitação, nos meses de verão (REBOITA et al., 2010); o que caracteriza um regime de monção (ZHOU; LAU, 1998; MARENGO et al., 2012; ASHFAQ et al., 2020). Os principais sistemas que constituem a monção da América do Sul (AS) e que contribuem diretamente para a precipitação no verão na região Sudeste são: Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que é uma banda de nebulosidade persistente orientada no sentido noroeste-sudeste (NOGUÉS-PAEGLE; MO, 1997; CARVALHO et al., 2004), jato de baixos níveis a leste dos Andes, alta da Bolívia e escoamento do setor oeste do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). Aqui não será apresentada uma revisão ampla dos sistemas precipitantes na região Sudeste do Brasil uma vez que isso se encontra em Reboita et al. (2015a) e Silva et al. (2019).

O verão de 2019, que é constituído pelos meses de dezembro de 2018, janeiro e fevereiro de 2019, foi atípico. No mês de dezembro, ocorreu um período frio entre os dias 7 e 10. De acordo com a estação meteorológica da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), em Itajubá-MG, a temperatura mínima no dia 9 de dezembro foi de 11,1 °C e a média diária foi de 19,2 °C, ambos valores inferiores a temperatura de 20,1°C que corresponde ao percentil de 5% da série histórica dos dados de temperatura média para a cidade. Esta queda brusca na temperatura foi notícia em diversos sítios da internet como, por exemplo, no site G1 <<https://g1.globo.com/mg/sul-de-minas/noticia/2018/12/09/maria-da-fe-tem-noite-de-geada-frac-a-e-baixas-temperaturas.ghtml>> que mencionou a ocorrência de geada em Maria da Fé (MG) e no site da Climatempo <<https://www.climatempo.com.br/noticia/2018/12/08/sao-paulo-pode-ter-frio-historico-na-madrugada-do-domingo-9647>> que previu grande queda na temperatura na madrugada do dia 9. Essa onda de frio registrada no Sudeste, como será mostrada nos resultados, foi decorrente de uma incursão de ar frio de origem polar. As ondas de frio são caracterizadas por uma sequência de dias em que a temperatura do ar se torna menor do que um determinado limiar caracterizado pela climatologia (REBOITA et al., 2015a). O padrão de circulação atmosférica mais típico no inverno na região Sudeste, inclui uma frente fria com

trajetória sudoeste/nordeste e um anticiclone pós-frontal adentrando no continente através de latitudes mais altas, próximas aos 47°S. Em médios níveis há uma crista intensa no oceano Pacífico próximo do Chile e um cavado que se estende desde o interior do continente até o oceano Atlântico Sul, assim como encontrado por Escobar (2007) e Reboita *et al.* (2015b).

Enquanto o mês de dezembro teve um período frio no Sudeste do Brasil, o mês de janeiro de 2019 foi caracterizado pela precipitação abaixo da média climatológica. Na estação meteorológica da UNIFEI, o déficit foi de 30,6% e, de acordo com os dados obtidos pelo Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP - <https://bdmep.inmet.gov.br/>), no Estado de São Paulo, na estação de São Carlos, o déficit foi de 53,6%, no Estado do Rio de Janeiro, na estação de Rezende, foi de 21,6% e no Espírito Santo foi registrado os maiores déficits, sendo de 93,1% em Vitória. Nos últimos verões têm ocorrido episódios de escassez de precipitação no Sudeste do Brasil. Coelho *et al.* (2016) e Reboita *et al.* (2015a) descreveram a circulação atmosférica associada com o padrão anômalo do verão de 2014. Foi verificado que diversos fatores influenciaram no déficit de precipitação, tais como um trem de ondas emanado da Austrália que determinou a posição do ASAS, contribuindo para a redução da convecção e enfraquecimento da ZCAS, reduzindo a chuva no continente, além do aumento da Temperatura de Superfície do Mar (TSM), favorecido pela anomalia de alta pressão, que atuou de forma a enfraquecer o deslocamento de frentes frias.

Diante do contexto apresentado, esse estudo tem três objetivos: (1) descrever a onda de frio que atuou em dezembro de 2018; (2) comparar a circulação atmosférica de janeiro de 2019 com os padrões descritos por Coelho *et al.* (2016) e Reboita *et al.* (2015a) a fim de verificar se ocorreu algum padrão similar para explicar o déficit de precipitação na região Sudeste do Brasil e (3) validar a performance do modelo climático CFSv2 em prever a precipitação no verão de 2019.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 CARACTERIZAÇÃO DO VERÃO (DEZ/18 E JAN-FEV/19)**

A primeira etapa do estudo consiste em caracterizar o verão anômalo. Para isso, foram utilizados dados diários de precipitação, temperaturas mínima, máxima e média provenientes do *Climate Prediction Center (CPC)* do *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)* para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro dos anos entre 1979 e 2019. Estes dados são disponibilizados através dos sítios eletrônicos < [ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/precip/CPC\\_UNI\\_PRCP/GAUGE\\_GLB/RT/](ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/precip/CPC_UNI_PRCP/GAUGE_GLB/RT/) > e < [ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/precip/PEOPLE/wd52ws/global\\_temp/](ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/precip/PEOPLE/wd52ws/global_temp/) >, possuem resolução espacial de 0,5° e é resultado da junção de diversas fontes de informação (HUFFMAN *et al.*, 2001). Determinou-se a climatologia de cada um dos meses de verão (1979-2019) e, após isso, os meses do verão de 2019 foram comparados com a climatologia a fim de se destacar os padrões anômalos.

## 2.2 ONDA DE FRIO

O objetivo aqui é apresentar o padrão espacial dos campos atmosféricos para descrever a incursão de ar frio sobre a AS e que atingiu a região Sudeste do Brasil. Para isso, foram obtidos dados da análise do *Global Forecast System* (GFS) do *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) para dezembro de 2018. Os dados foram obtidos através do sítio eletrônico <https://www.ncei.noaa.gov/thredds/catalog/model-gfs-g4-anl-files-old/catalog.html>, e possuem resolução espacial de 0,5° e resolução temporal de 6 horas. Para esse estudo selecionaram-se apenas os dados do horário sinótico das 12Z. A Tabela 1 indica as variáveis utilizadas. Além disso, foram empregados dados de temperatura mínima, média e máxima coletadas na estação meteorológica da UNIFEI, a fim de registrar o comportamento da temperatura durante o mês de dezembro de 2018.

**Tabela 1** - Variáveis utilizadas da análise do GFS.

Variáveis	Níveis (hPa)
Altura geopotencial	1000 e 500
Componente zonal e meridional do vento	1000, 850, 500 e 250
Pressão ao Nível médio do mar (PNMM)	-
Temperatura	1000 e 850
Umidade relativa	850

A seleção das datas da evolução da incursão da onda de frio no Sudeste do Brasil foi realizada com base na metodologia do percentil (Nairn e Fawcett, 2013) aplicado aos dados da estação meteorológica da UNIFEI. Considerando a série de temperatura média diária para os meses de novembro a março de 2010 a 2019, foi obtido o percentil de 5%. Comparando-se a temperatura média diária em dezembro de 2018 com o valor do percentil, foi verificado que os dias de maior queda ocorreram entre 7 e 10 de dezembro. Deste modo selecionaram-se estes dias para representação dos campos atmosféricos.

Com relação aos campos atmosféricos são apresentados a advecção de temperatura em 1000 hPa e PNMM; advecção de vortacidade relativa e altura geopotencial em 500 hPa; jato em 250 hPa e linhas de corrente em 850 hPa; jato em 250 hPa, espessura da camada 500/1000 hPa e PNMM; umidade relativa e isoterma de 0 °C em 850 hPa. O campo de advecção de temperatura permite identificar quais regiões estão recebendo ar frio e qual a sua intensidade. Por outro lado, a altura geopotencial 500 hPa mostra o padrão de onda, enquanto a advecção de vortacidade indica as áreas propícias para a ciclogênese (anticiclogênese) a leste do cavado (crista). O campo que junta as variáveis como o jato em altos níveis, espessura da camada e a PNMM tem a finalidade de facilitar a localização das frentes meteorológicas, a partir do acoplamento dos sistemas em vários níveis da troposfera. Por fim, o campo de umidade específica ajuda a localizar a extensão da massa de ar frio através dos baixos valores de umidade.

## 2.3 DÉFICIT DE PRECIPITAÇÃO EM JANEIRO DE 2019

Para o estudo da circulação atmosférica que propiciou o déficit de precipitação em janeiro, utilizaram-se dados da reanálise ERA-Interim do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) (Dee *et al.*, 2011) para os horários sinóticos (00, 06, 12 e 18 Z) do período de 2000 a 2019, obtidos do sítio eletrônico < <https://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/levtype=sfc/>>. Essa reanálise possui resolução espacial de 0,75° (~80 km) e a escolha destes dados se deu pela disponibilidade de uma série histórica com tamanho apropriado para o cálculo das anomalias das variáveis descritas na Tabela 2. Aqui, anomalia corresponde à média de uma determinada variável no mês de janeiro subtraído da climatologia dessa no período de 2000 a 2019. Os resultados obtidos serão comparados com os padrões descritos nos trabalhos de Reboita *et al.* (2015b) e Coelho *et al.* (2016).

Tabela 2 - Variáveis utilizadas da Reanálise ERA-Interim.

Variáveis	Níveis (hPa)
Altura geopotencial	850 e 250
Componente zonal e meridional do vento	850 e 250
Componente vertical do vento	500
Divergência	250
PNMM	-
TSM	-
Umidade específica	850

## 2.4 VALIDAÇÃO DA PREVISÃO CLIMÁTICA PARA JANEIRO DE 2019

A fim de verificar a performance do modelo *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR), versão 2 (SAHA *et al.*, 2010), em prever a precipitação e a temperatura do ar em janeiro de 2019, compararam-se as rodadas iniciadas em outubro, novembro e dezembro com a observação do *Climate Prediction Center* (CPC). Foi realizado o *ensemble* (média) das simulações, iniciadas nos dias 01, 05, 10, 15, 20 e 25 de cada mês. Além disso, também foi realizado o *ensemble* composto por todas as dezoito rodadas iniciadas entre outubro e dezembro de 2018. A resolução temporal e espacial utilizada nesta análise foi, respectivamente, diária e 1° (~111 km) de latitude por longitude, para ambos os conjuntos de dados.

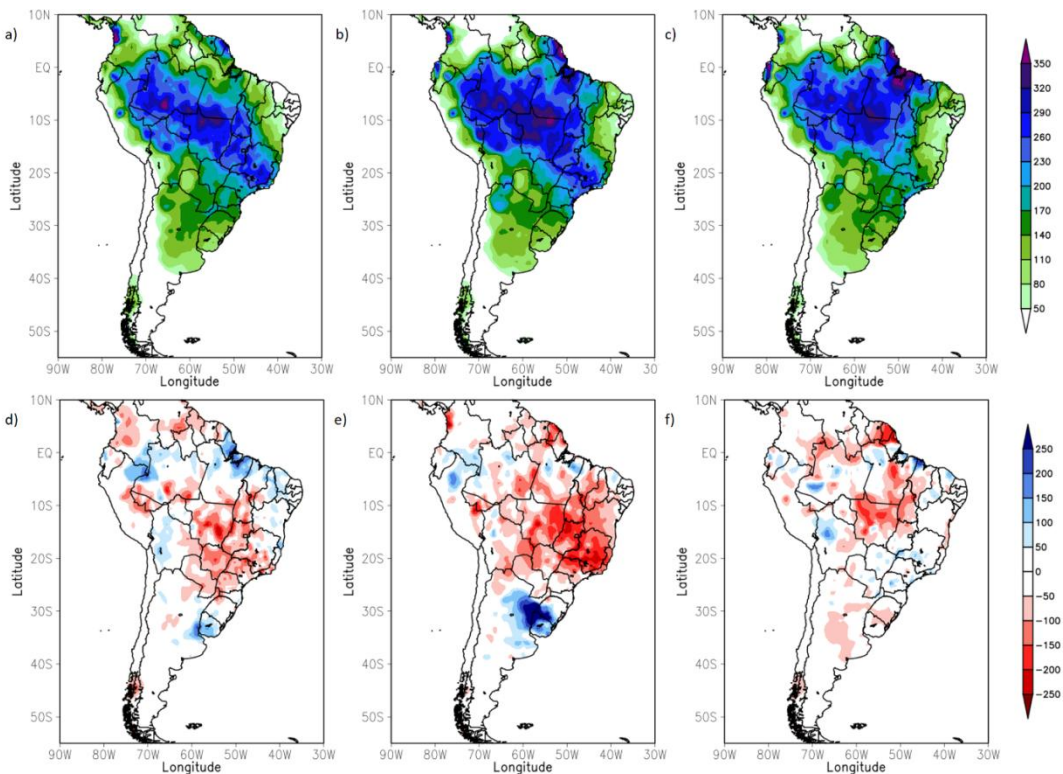
A média entre a temperatura máxima e a temperatura mínima do CPC foi calculada para obtenção da média diária a fim de ser utilizada na validação da temperatura média prevista pelo CFSv2. Com relação a precipitação, não foram necessários ajustes.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DO VERÃO (DEZ/18 E JAN-FEV/19)

Para conhecer o padrão da precipitação e das temperaturas no verão em estudo, inicialmente computou-se a anomalia dessas variáveis em relação ao período de 1979 a 2019, considerado como climatológico. A figura 1a-c mostra a

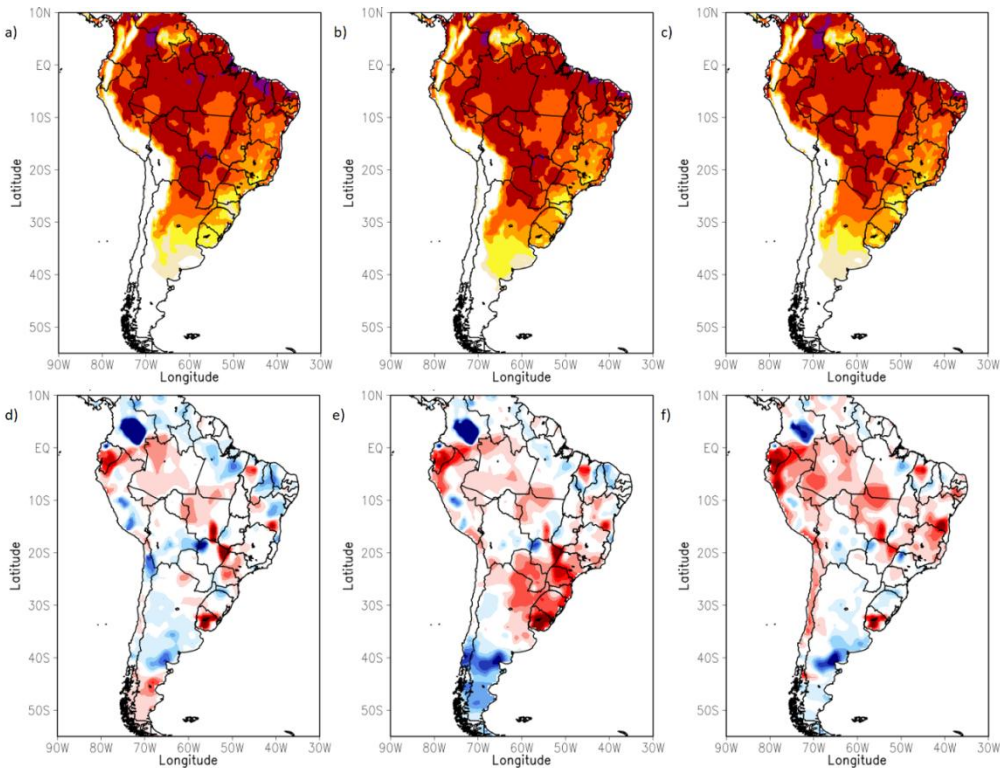
climatologia da precipitação, onde os maiores totais de precipitação no Sudeste são encontrados no mês de janeiro (figura 1b). Com relação às anomalias, janeiro se destaca com os maiores déficits sobre o sudeste do Brasil (figura 1e). No entanto, a região Sul do país é caracterizada por anomalia positiva. Esse padrão é similar ao descrito por Nogués-Paegle e Mo (1997) e Carvalho et al., (2004), que destacam que quando há anomalia negativa de chuva no Sudeste, no Sul há anomalia positiva. Em geral, os meses de dezembro e janeiro foram marcados por uma predominância de anomalia negativa de chuva para quase todo Brasil, mas em fevereiro os totais pluviométricos voltaram a subir, fazendo com que a anomalia fosse ligeiramente positiva, exceto na região Centro-Oeste (figura 1f).



**Figura 1** - a, b, c) Climatologia da precipitação (mm) na América do Sul para dezembro, janeiro e fevereiro respectivamente, para o período de 1979 a 2019; d, e, f) anomalia de chuva entre dezembro de 2018 e fevereiro de 2019 na América do Sul em relação a climatologia.

Em relação à temperatura mínima na AS (figura 2), a climatologia apresenta valores mais baixos nas regiões Sudeste e Sul do país, variando de 16 a 22 °C, fato que está associado ao efeito topográfico dessas regiões (REBOITA et al., 2015a). No geral, a temperatura mínima tem um padrão espacial semelhante nos 3 meses. Em relação à anomalia, o mês de dezembro apresentou menores áreas com anomalias do que os outros dois. Na região Sudeste é observada uma pequena área com anomalia negativa entre o sul de Minas Gerais e o leste de São Paulo (figura 2d). Em janeiro ocorreram os maiores valores positivos de anomalia na região Sul (figura 2e), indicando que a temperatura mínima ficou acima da média. Uma vez que ocorreu anomalia positiva de precipitação nessa região em janeiro (figura 1e), a nebulosidade impediu a perda radiativa, implicando no aumento da média da temperatura

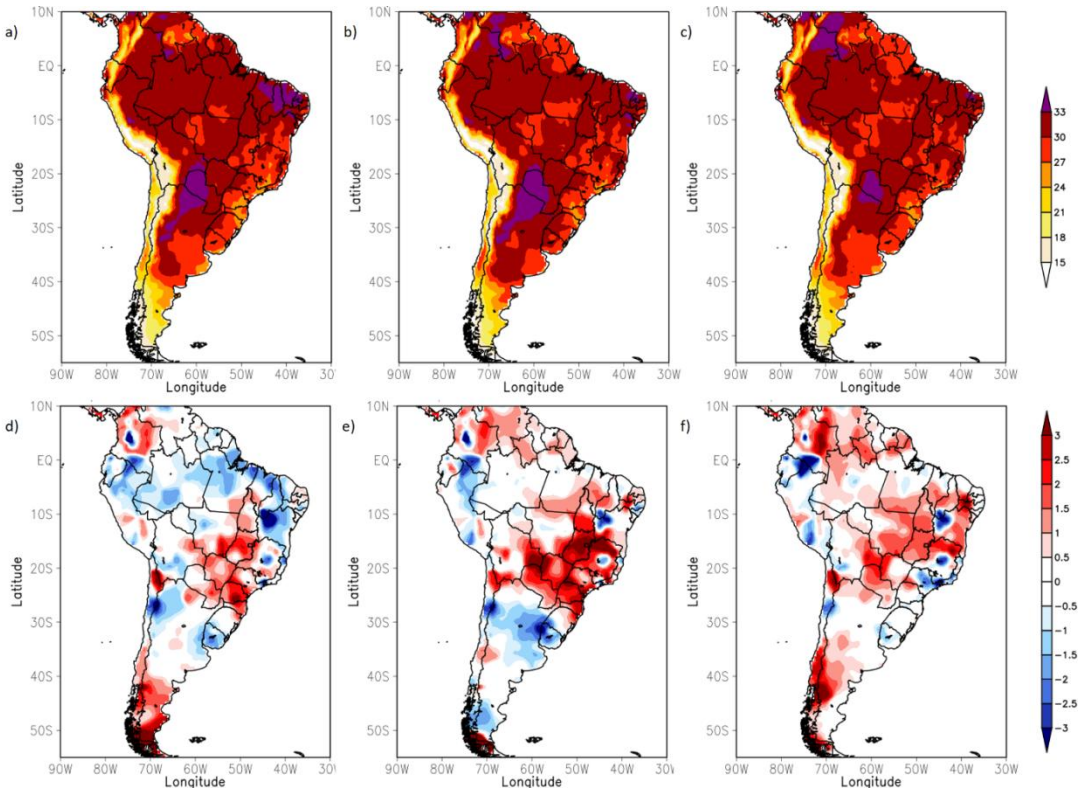
mínima (figura 2b). Em suma. O mês de fevereiro foi caracterizado pelo predomínio de anomalias positivas de temperatura mínima entre a Região Norte e Sudeste do Brasil. Na Região Sudeste do Brasil, isso pode estar associado em parte com as anomalias positivas de precipitação mostradas na Figura 1f.



**Figura 2** - a, b, c) Climatologia da temperatura mínima (°C) na América do Sul para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro respectivamente, para o período de 1979 a 2019; d, e, f) anomalia da temperatura mínima na América do Sul em relação à climatologia.

A climatologia da temperatura máxima (figura 3a) mostra maiores temperaturas do norte da Argentina para latitudes mais baixas, enquanto as menores ocorrem nos Andes, sul da AS e entre o Sul do Brasil ao leste da região Sudeste. No estado de Minas Gerais, no mês de dezembro, a temperatura máxima é um pouco mais baixa do que nos outros dois meses, principalmente no setor norte (figura 3a). Já a anomalia (figura 3d-f) mostra valores negativos entre o extremo sul de Minas Gerais e São Paulo; No mês de dezembro, o Norte e Nordeste tiveram temperaturas abaixo da média e o Centro-Oeste e Sul acima da média (figura 3d). Nos meses de janeiro e fevereiro, as anomalias positivas de temperatura máxima predominaram em quase todo o país, sendo os maiores valores registrados nas regiões Centro-Oeste e Sudeste.

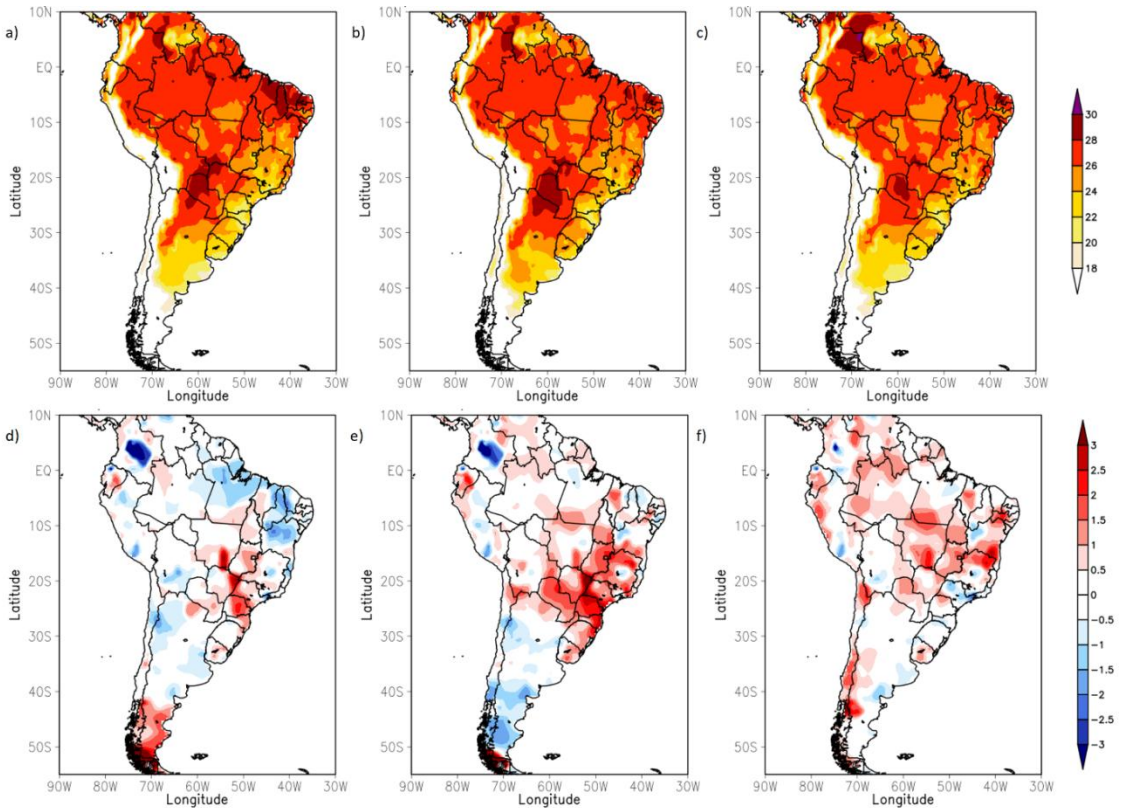




**Figura 3** - a, b, c) Climatologia da temperatura máxima (°C) na América do Sul para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro respectivamente, para o período de 1979 a 2019; d, e, f) anomalia da temperatura máxima na América do Sul em relação a climatologia.

As maiores temperaturas médias nos meses de verão (figura 4a-c) encontram-se no Norte e Nordeste, variando entre 26 e 30 °C, e no Paraguai (28 a 30 °C). Em geral, quase todas as regiões do Brasil registraram temperaturas acima da média climatológica durante os três meses de verão. No mês de dezembro, há algumas regiões no Sudeste com valores negativos de anomalia (figura 4d), indicando que a temperatura ficou abaixo da média, podendo ter relação com a incursão de uma onda de frio que houve neste mês. Ressalta-se que ocorreu um único episódio de onda de frio no mês de dezembro, esse pode não ter sido suficiente para alterar grandemente as anomalias das temperaturas.

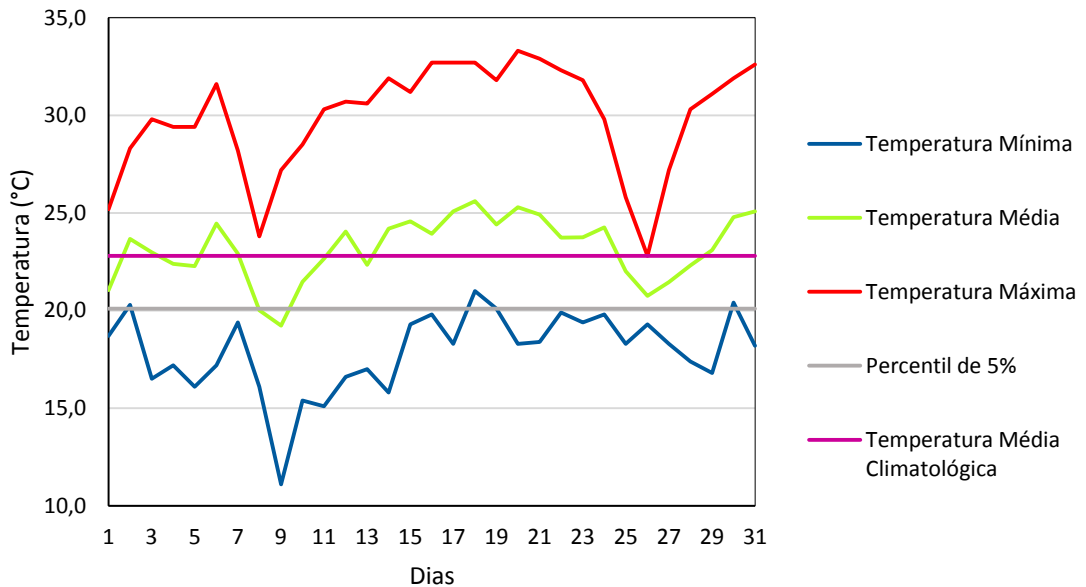




**Figura 4** - a, b, c) Climatologia da temperatura média (°C) na América do Sul para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro respectivamente, para o período de 1979 a 2019; d, e, f) anomalia da temperatura média na América do Sul em relação a climatologia.

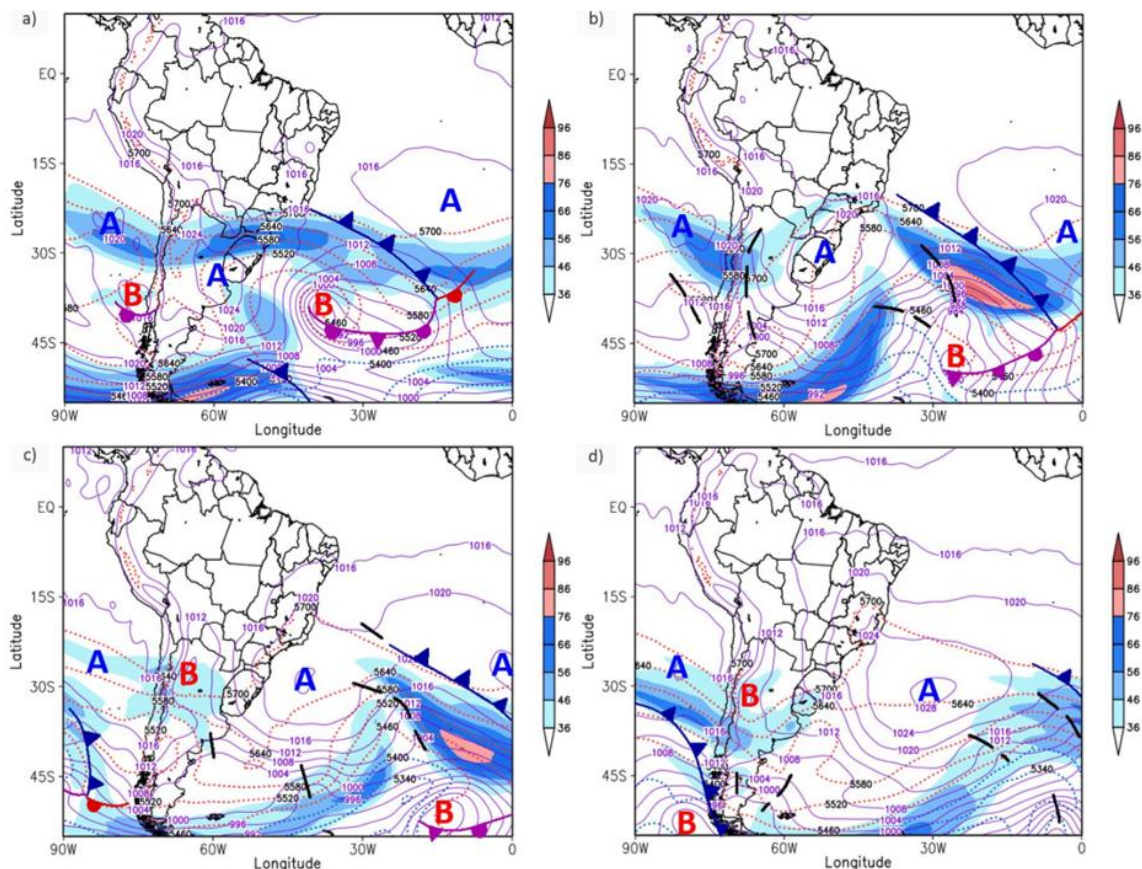
### 3.2 ONDA DE FRIO

A figura 5 apresenta a evolução diária das temperaturas em Itajubá no mês de dezembro de 2018. Nota-se que a temperatura média entre os dias 7 e 10 está abaixo da média climatológica (2010 a 2019). Também é bem evidente o declínio acentuado que ocorre nas temperaturas máxima e mínima entre esses dias e, logo após, o aumento dessas. Ao analisar o percentil de 5%, calculado com dados de temperatura média de novembro a março (20,1 °C para Itajubá), a temperatura média ficou abaixo desse limiar nos dias 8 e 9, indicando que o período foi caracterizado como de ocorrência de uma onda de frio de acordo com a metodologia de Reboita *et al.* (2015b). Esses autores adaptaram a metodologia de Nairn e Fawcett (2013) em que deve haver pelo menos 3 dias consecutivos com temperatura média diária abaixo do percentil de 5%, porém Reboita *et al.* (2015b) restringiram esse período para pelo menos 2 dias no sul de Minas Gerais. A justificativa ocorre pelo fato de que as massas de ar frio que chegam no sul de Minas Gerais não conseguem atuar por vários dias consecutivos, isso porque o ar frio perde intensidade na medida em que se move em direção ao subtropical e trópico.



**Figura 5** - Evolução temporal das temperaturas na cidade de Itajubá-MG no mês de dezembro de 2018. O percentil de 5% foi obtido para o período de novembro a março de 2010 a 2019

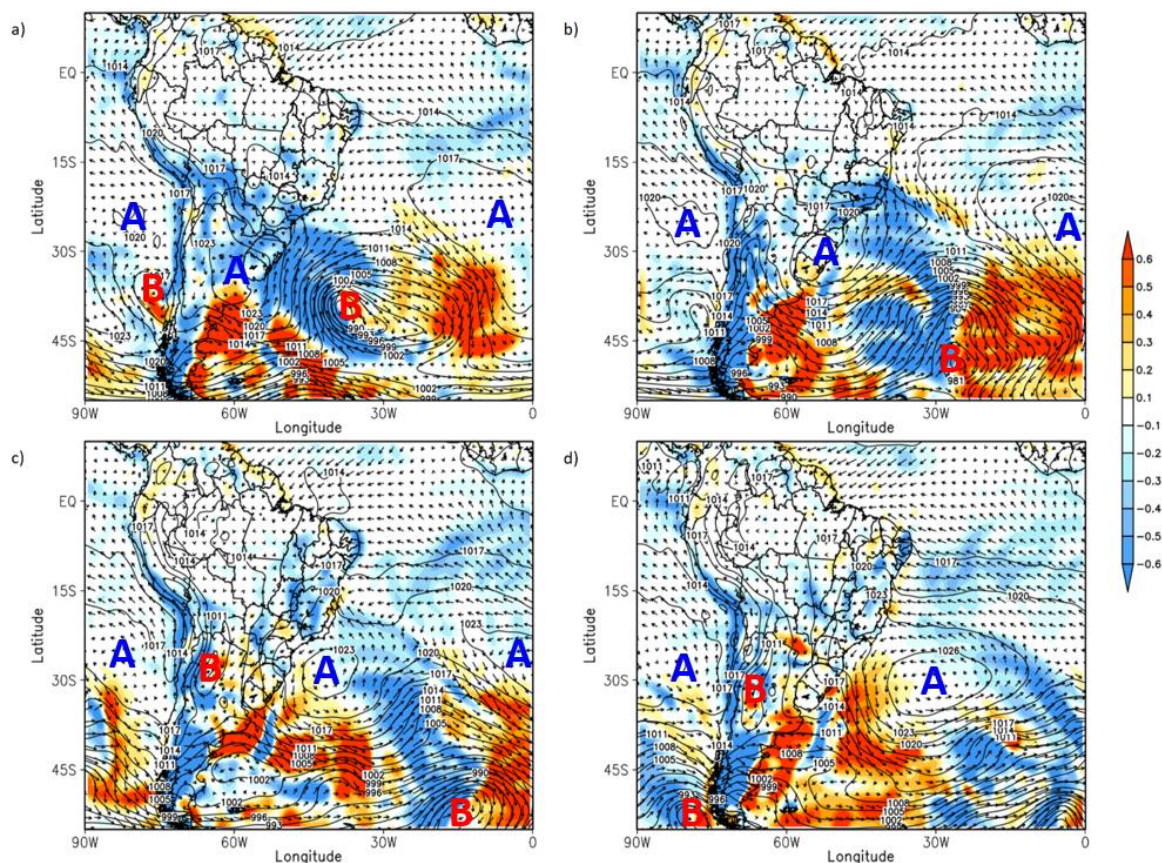
A redução dos valores de temperaturas registrada em dezembro na região Sudeste ficou caracterizada como uma onda de frio, com o maior declínio no dia 9. Desta forma, foram plotados campos atmosféricos para caracterizar o padrão sinótico associado com essa queda das temperaturas entre os dias 7 e 10 no Sudeste do Brasil. Na figura 6a é possível analisar os jatos em 250 hPa, a PNMM, a espessura da camada de 500/1000 hPa e os sistemas frontais e de pressão. A junção dessas informações indica a posição dos sistemas frontais em superfície. No dia 7, uma onda frontal oclusa está sobre o Atlântico Sul e sua frente fria se encontra no litoral norte do Rio de Janeiro. Na região da foz do rio da Prata entre o Uruguai e a Argentina, há um sistema de alta pressão pós-frontal com isóbara central de 1024 hPa. No dia seguinte (figura 6b), o sistema frontal se propaga mais para o norte ao longo do litoral do Sudeste e a alta pós-frontal tem o seu centro posicionado entre o Sul do Brasil e o Atlântico adjacente. Neste dia, a isóbara de 1016 hPa está sobre o sul de Minas Gerais, incluindo a região de Itajubá. Nos dias 9 e 10 (figuras 6c-d), a onda frontal se afasta para leste saindo do domínio da figura. É possível verificar que a alta pós-frontal também se move para leste. No entanto, sua crista ainda se posiciona em de Minas Gerais. Portanto, entre os dias 08 a 10, a presença de parte da alta pós-frontal sobre a região Sudeste do Brasil indica o predomínio de uma massa de ar mais fria sobre a região.



**Figura 6** - Corrente de jato em 250 hPa (m/s) (sombreado), espessura da camada 500/1000 (hPa) (linhas pontilhadas), PNMM (hPa) (linhas contínuas), sistemas de alta (A) e baixa pressão (B), cavados (linha tracejada preta), frente fria (em azul), frente quente (em vermelho) e frente oclusa (em roxo) a) 07/12/18; b) 08/12/18; c) 09/12/18 e d) 10/12/18.

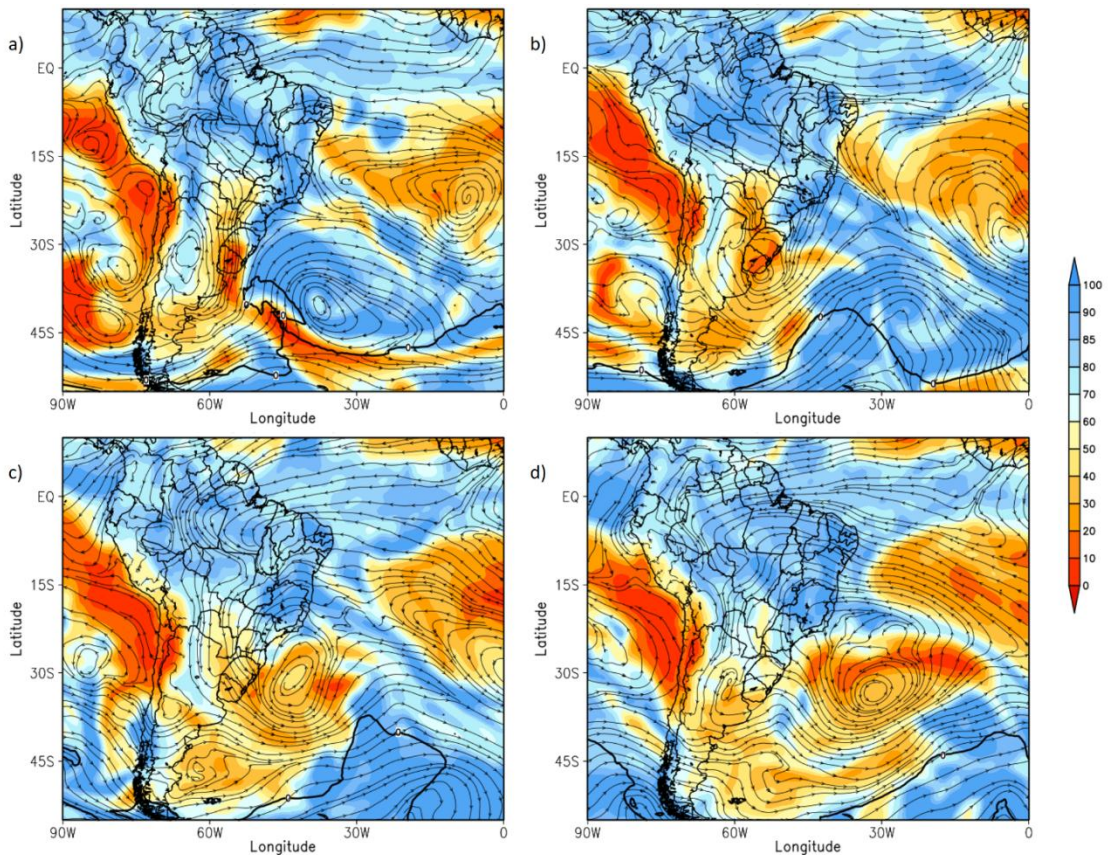
Através da advecção de temperatura, vento em 1000 hPa e a PNMM é possível descrever os padrões da atmosfera durante a passagem da onda de frio (figura 8). No dia 7, há um sistema de baixa pressão atmosférica próximo à região Sul, que está relacionado com a frente fria. O lado leste deste sistema advecta ar quente, já no lado oeste predomina a advecção de ar frio. Toda a região Sul e grande parte do Sudeste estão sob o domínio de advecção de ar frio. No dia 8, a baixa pressão atmosférica encontra-se mais deslocada para o oceano, porém se verifica o mesmo padrão, onde no lado leste há advecção de ar quente e no lado oeste de ar frio. Ainda é possível notar um anticiclone pós-frontal que auxilia na advecção fria em direção ao Sudeste. No dia 9, este anticiclone encontra-se mais deslocado para o oceano Atlântico, porém ainda é responsável pela advecção fria no Sudeste. No dia 10, o anticiclone ainda mostra deslocamento para leste, diminuindo a advecção de ar frio sobre a região Sudeste. A advecção fria foi mais intensa sobre o Sul de MG no dia 8, conforme mostra a figura 8.





**Figura 8** - Advecção horizontal de temperatura do ar em 1000 hPa ( $^{\circ}\text{C/s}$ )\* $10^{-4}$  em sombreado, vento em 1000 hPa (m/s; setas), PNMM (hPa; linhas contínuas) e sistemas de alta (A) e baixa pressão (B) a) 07/12/18; b) 08/12/18; c) 09/12/18 e d) 10/12/18.

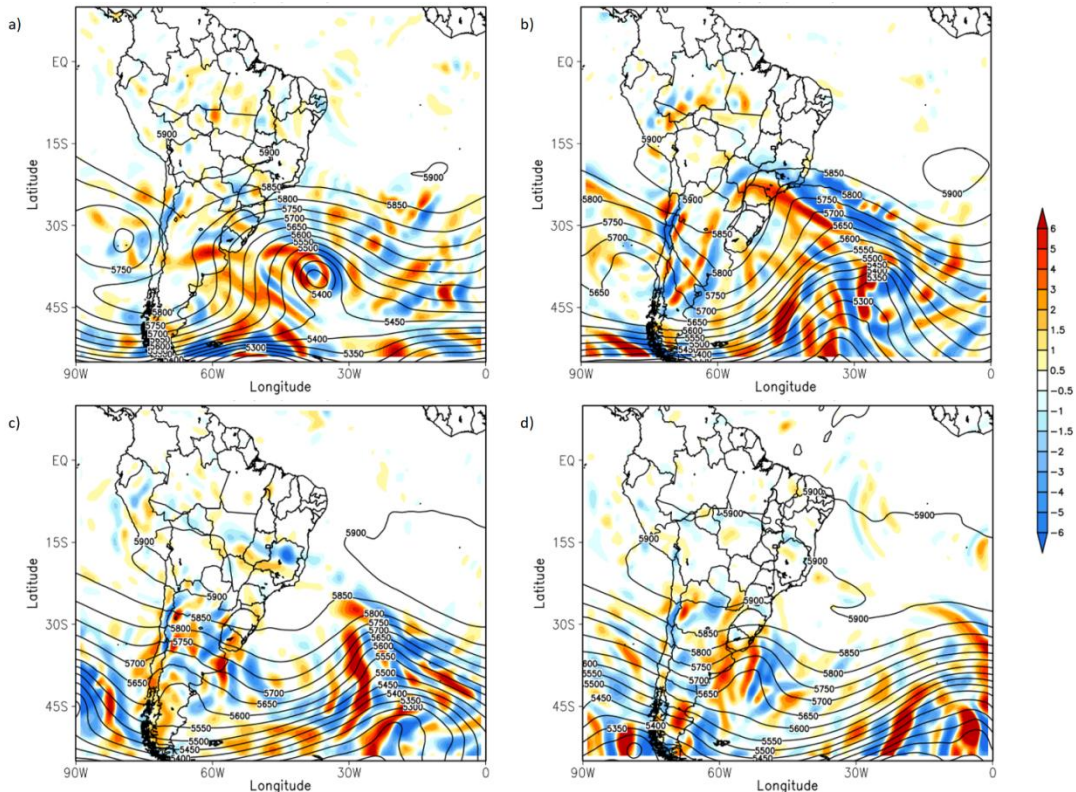
A composição da umidade específica ajuda a identificar a quantidade de umidade relacionada às massas de ar (figura 9). A isoterma de  $0^{\circ}\text{C}$  plotada neste campo, ajuda na localização do limite do ar polar. No dia 7, há valores mais altos de umidade relacionados com a circulação ciclônica; já na anticiclônica os valores são menores; sobre o continente há bastante disponibilidade de umidade, o que é normal para a estação do verão. É possível notar que onde se encontra a frente fria há grande disponibilidade de umidade. No dia 8, há convergência de umidade orientada no sentido noroeste-sudeste, se estendendo do Amazonas até o oceano Atlântico Sul, relacionada com valores mais altos de umidade. No Sul do Brasil, há uma circulação anticiclônica relacionada a baixos valores de umidade e a isoterma de  $0^{\circ}\text{C}$  está mais ao sul se comparada ao dia anterior. No dia 9, a circulação anticiclônica se desloca no sentido nordeste e a isoterma de  $0^{\circ}\text{C}$  segue a circulação ciclônica. Ainda há bastante umidade sobre o continente, exceto na região Sul do país. No dia 10, a circulação anticiclônica encontra-se próximo da costa do Sul e Sudeste. Já a isoterma de  $0^{\circ}\text{C}$  se desloca juntamente com a circulação anticiclônica e praticamente desaparece. Sobre o continente, assim como nos demais dias, há valores altos de umidade relativa.



**Figura 9** - Umidade relativa em 850 hPa (sombreado), isoterma de 0 °C (linha contínua) e linhas de corrente em 850 hPa a) 07/12/18; b) 08/12/18; c) 09/12/18 e d) 10/12/18.

Para analisar os padrões sinóticos em médios níveis, foi elaborada a figura de advecção de vorticidade relativa e altura geopotencial em 500 hPa (figura 10). No dia 7, há um cavado (região de ar mais frio) com pequena amplitude sobre a região Sul e, a leste do cavado há advecção de vorticidade relativa negativa, indicando que a mesma é ciclônica e proporcional à divergência de massa. A oeste deste cavado, a advecção de vorticidade é positiva, o que significa que a mesma é anticiclônica. No dia 8 o cavado se amplifica e fica sobre a região Sudeste, já em relação a advecção da vorticidade, o padrão ainda é mantido, onde os valores positivos se encontram a oeste do cavado e os negativos a leste. No sul de Minas Gerais os valores são negativos. Já no dia 9, o cavado se desloca para o oceano e a região Sul e Sudeste ficam com valores positivos de advecção de vorticidade, exceto no norte de Minas Gerais. Também há uma crista no Oceano Pacífico, próximo ao Chile. No dia 10, aparece uma crista no oceano Atlântico e o padrão de advecção de vorticidade no continente continua parecido ao do dia 9, exceto que o norte de MG agora também possui valores positivos (figura 10d).

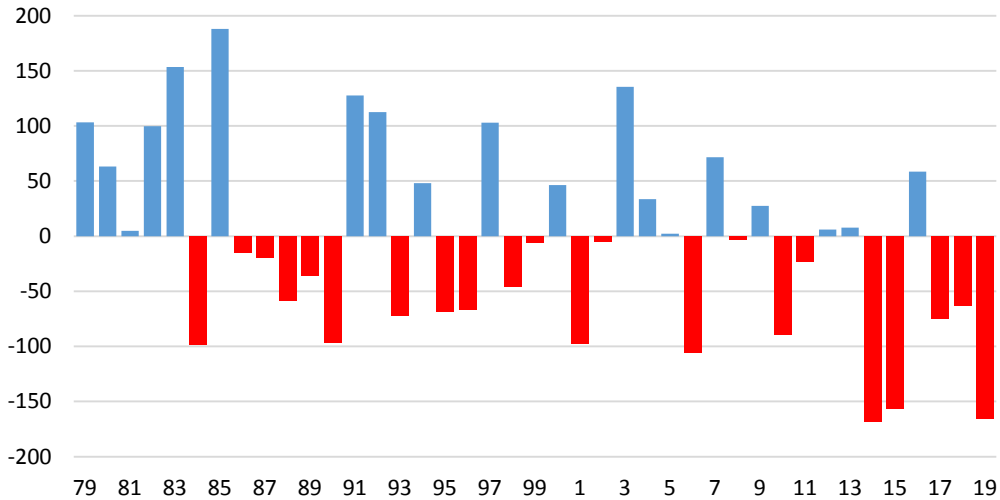




**Figura 10** - Advecção de vorticidade relativa em 500 hPa  $(1/s) \cdot 10^{-9}$  e altura geopotencial em 500 hPa (metros, linhas contínuas) a) 07/12/18; b) 08/12/18; c) 09/12/18 e d) 10/12/18.

### 3.3 DÉFICIT DE PRECIPITAÇÃO EM JANEIRO DE 2019

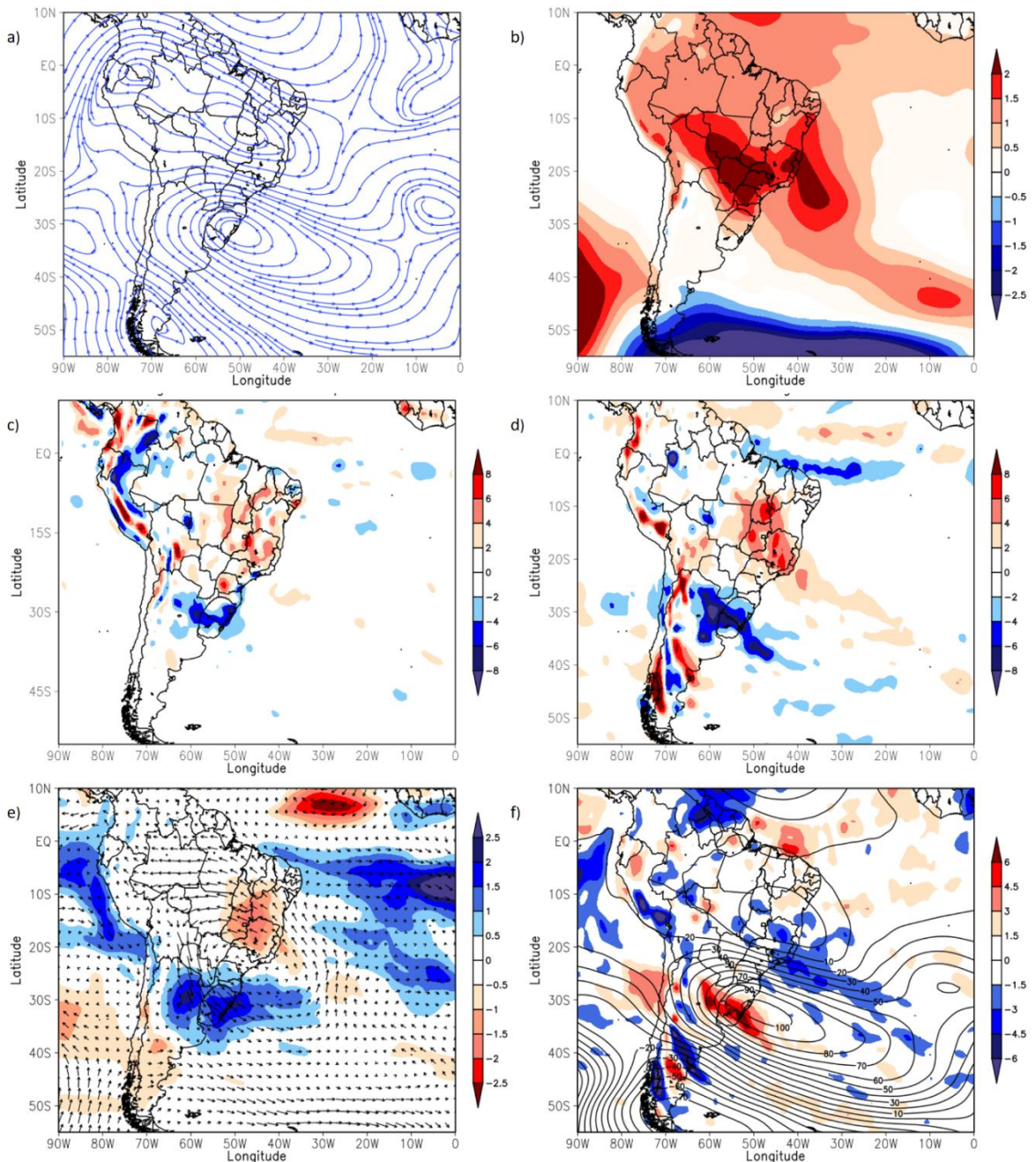
Como já visto na figura 1d, janeiro de 2019 foi o mês mais seco do verão de 2019, com anomalia negativa em quase todo o país, especialmente na região Sudeste. Para acompanhar o comportamento da precipitação no mês de janeiro, elaborou-se um gráfico com as anomalias de 1979 a 2019 (figura 11). Para tanto, foi computada uma média na área (entre  $51^{\circ}$  a  $41^{\circ}$ O e  $23^{\circ}$ S a  $17^{\circ}$ S) com os dados do CPC. Desde 2014 há predomínio de anomalias negativas de precipitação na região Sudeste no mês de janeiro e a magnitude da anomalia de 2019 só não é maior do que a de 2014, quando o período seco predominou por quase todo o verão (Reboita *et al.*, 2015a).



**Figura 11** - Anomalias de precipitação (mm) no mês de janeiro para o período de 1979 a 2019 na região Sudeste, compreendida entre 51°O a 41°O e 23°S a 17°S.

Para compreensão do que ocorreu na atmosfera em janeiro de 2019, a figura 12 apresenta as anomalias de algumas variáveis para o referido mês. A anomalia de linhas de corrente em 250 hPa (figura 12a) mostra uma anomalia de circulação ciclônica com centro no Centro-Oeste e uma circulação anticiclônica com centro no Sul do país, configurando um padrão de bloqueio do tipo dipolo. Para anomalia de PNMM (figura 12b), é possível notar que o ASAS se encontra deslocado mais a oeste de sua posição climatológica, proporcionando anomalias positivas de pressão sobre as regiões Sudeste e Nordeste do país. Ainda há anomalias positivas de pressão no interior do continente. Padrões similares foram encontrados por Reboita *et al.* (2015a), no estudo para janeiro de 2014 e 2015, que também tiveram chuvas abaixo da média climatológica.



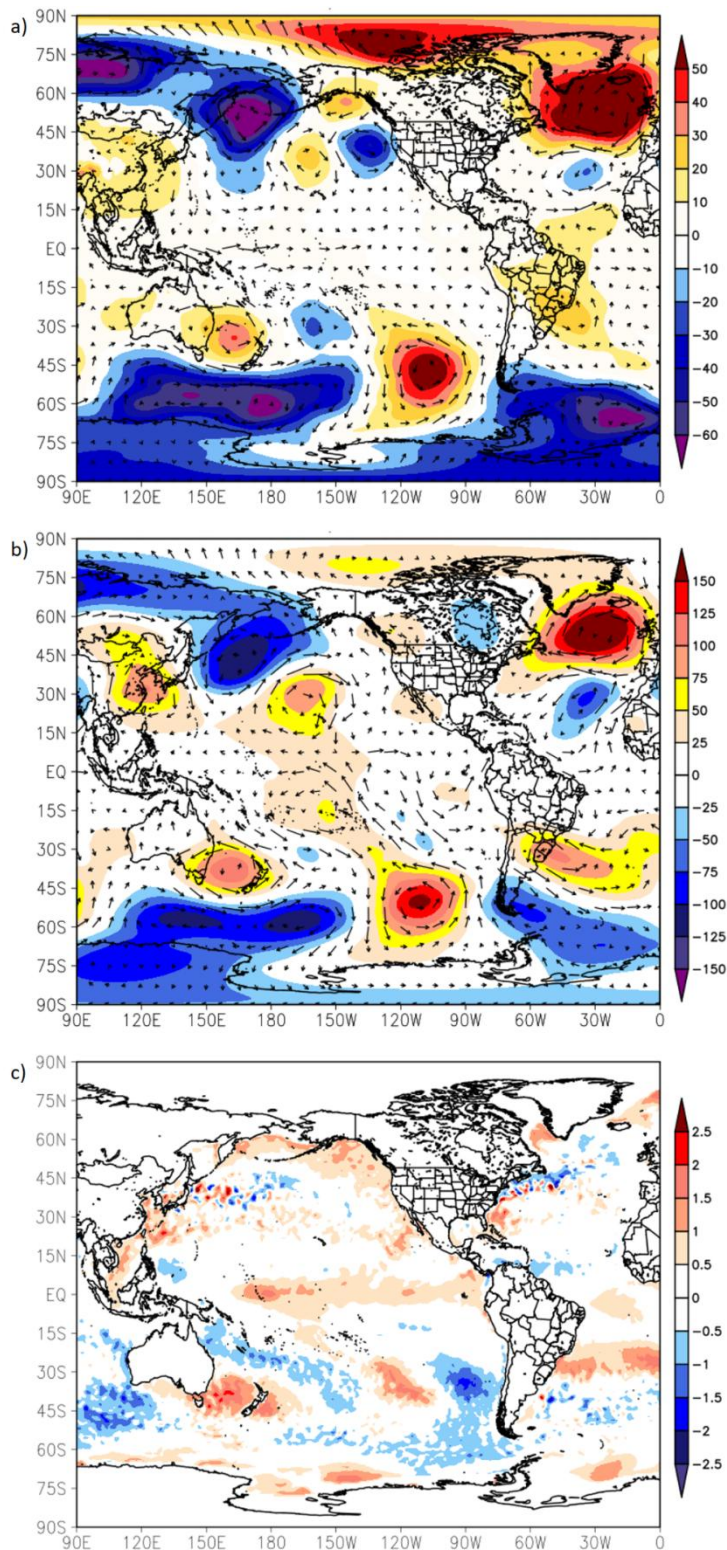


**Figura 12** - Anomalias dos campos atmosféricos na América do Sul em relação à climatologia (2000 a 2019) para janeiro de 2019: a) linhas de corrente em 250 hPa; b) PNMM; c) divergência do fluxo de umidade específica em 850 hPa; d) movimento vertical ( $\omega$ ) em 500 hPa; e) umidade específica e vento em 850 hPa e f) divergência e altura geopotencial em 250 hPa.

Há maior divergência do fluxo de umidade no Centro-Oeste e Sudeste e menor divergência no Sul do Brasil (figura 12c). Assim como para a figura 12c, o movimento vertical ( $\omega$ ) (figura 12d) também teve anomalia positiva para o Sudeste e Centro-Oeste, indicando maior movimento descendente, e anomalia negativa para o Sul, indicando maior movimento ascendente. Através da figura

12e, verifica-se que, no Sudeste, a umidade específica encontra-se abaixo da média climatológica, enquanto no Sul a umidade está acima da média, além de haver uma circulação anticiclônica que contribui para o aumento da umidade no Sul. Na figura 12f notam-se anomalias negativas de divergência em altos níveis na região Sudeste, indicando menor convergência em superfície, já no Sul do Brasil há anomalia positiva de divergência, indicando maior convergência em superfície. Os maiores valores de altura geopotencial encontram-se na mesma região que há uma circulação anticiclônica.

As figuras 13a e 13b mostram que quando a anomalia da altura geopotencial é positiva (negativa), o predomínio é de circulação anticiclônica (cyclônica). O padrão de circulação em 250 e 850 hPa são similares indicando um padrão barotrópico da atmosfera. Além disso, há indicação da ocorrência de um trem de ondas emanado da Austrália para a AS, com um centro de alta pressão entre a região Sudeste e o oceano Atlântico. Coelho et al. (2016) e Reboita *et al.* (2015a) encontraram um padrão similar durante a seca de 2014. Portanto, esse padrão de onda pode ser um dos responsáveis pela alteração na posição climatológica do ASAS. A anomalia positiva de pressão entre o Sudeste e o oceano Atlântico inibe os movimentos verticais na atmosfera, o que impede a formação de nuvens. Com um céu mais claro, a radiação solar atinge facilmente a superfície oceânica aquecendo suas águas superficiais, portanto, isso justifica as anomalias positivas mostradas no oceano Atlântico nas latitudes da região Sudeste na figura 13c. Por outro lado, a TSM acima da média na costa Sul e Sudeste do Brasil enfraquece as massas de ar frio associadas com as frentes frias, que são sistemas que podem causar chuvas no Sudeste do país. Estas alterações na atmosfera contribuíram ainda para a inibição da ocorrência de ZCAS no mês de janeiro, fator que também afetou para a ausência de chuva, uma vez que a ZCAS é um dos principais sistemas meteorológicos que contribuem para a ocorrência de chuva na região Sudeste (Silva *et al.*, 2019). Embora, as condições atmosféricas tenham sido desfavoráveis para as frentes frias, segundo as cartas sinóticas do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), um sistema frontal passou pelo litoral do Estado de São Paulo no mês de janeiro de 2019, o que corresponde ao valor médio climatológico do mês de janeiro.



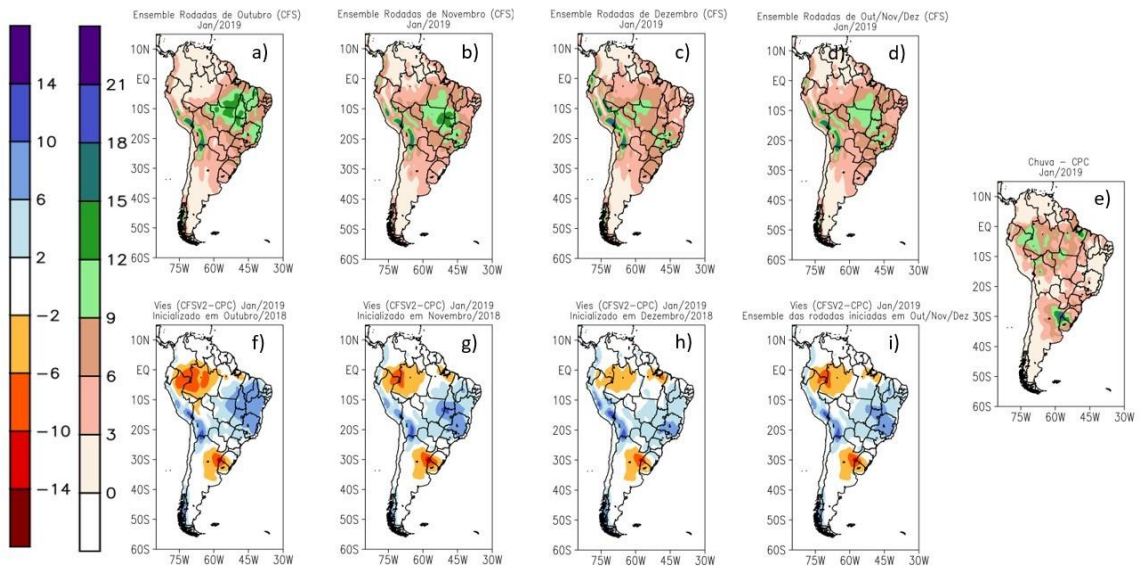
**Figura 13** - Anomalias dos campos atmosféricos para todo o globo em relação à climatologia (2000 a 2019) para janeiro de 2019: a) altura geopotencial (metros) e vento (m/s) em 850 hPa; b) altura geopotencial e vento em 250 hPa e c) TSM (°C).



### 3.4 VALIDAÇÃO DA PREVISÃO CLIMÁTICA PARA JANEIRO DE 2019

A figura 14a-c mostra a precipitação prevista na AS no mês de janeiro de 2019 com o modelo CFSv2 inicializado nos meses de outubro, novembro e dezembro de 2018 e considerando para cada mês um *ensemble* (detalhes na metodologia), enquanto a figura 14d é uma média das previsões mostradas em a-c. Já a figura 14f-i apresenta os vieses em relação à precipitação observada pelo CPC (figura 14e). Como o CFSv2 apresentou melhor performance nas rodadas inicializadas em dezembro de 2018 (figura 14c), já que foi obtido o menor viés (figura 14h). Todas as previsões indicaram maior volume de precipitação na região Sudeste do Brasil do que o observado; fato que pode estar associado à má representação do ASAS no modelo.

No sul e noroeste do domínio observam-se subestimativas do CFSv2; tal característica se mantém em todas as rodadas. Os resultados mostrados aqui indicam que a previsão sazonal do CFSv2 na região Sudeste não foi promissora, porém em grande parte do continente o modelo teve boa performance como na região Centro-Oeste e leste da região Norte onde os vieses foram pequenos.

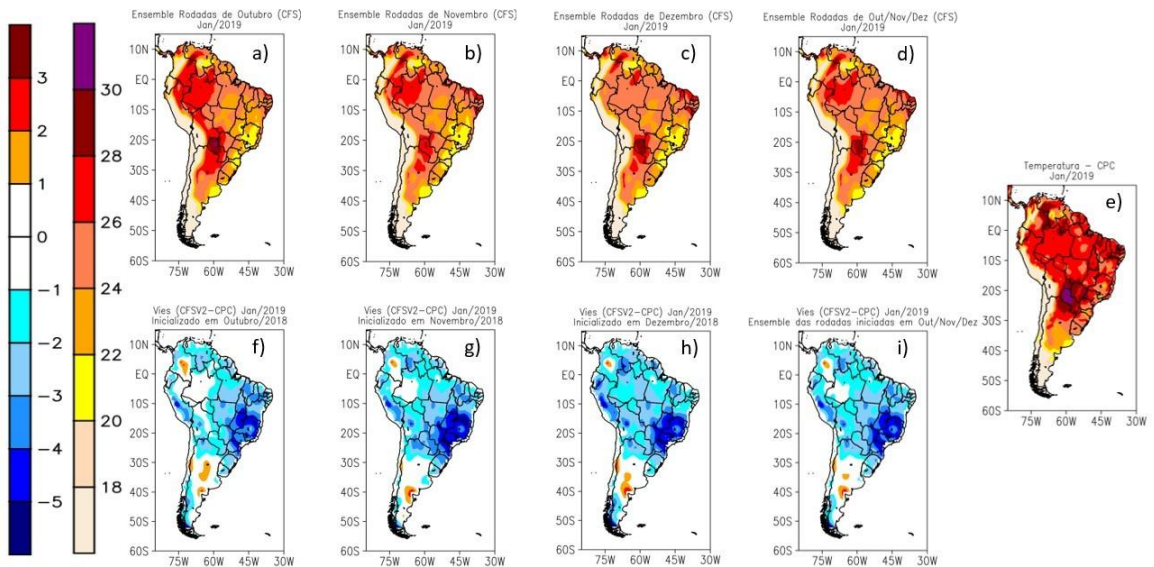


**Figura 14** - Simulação de precipitação (mm/dia) em janeiro de 2019: a) *ensemble* entre as rodadas inicializadas em outubro de 2018; b) *ensemble* entre as rodadas iniciadas em novembro de 2018; c) *ensemble* entre as rodadas iniciadas em dezembro de 2018; d) *ensemble* entre as rodadas iniciadas em outubro, novembro e dezembro de 2018; e) observação do CPC referente a janeiro de 2019; f) viés entre as rodadas inicializadas em outubro de 2018 e o CPC; g) viés entre as rodadas inicializadas em novembro de 2018 e o CPC; h) viés entre as rodadas iniciadas em dezembro de 2018 e o CPC; i) viés entre as rodadas iniciadas em outubro, novembro e dezembro de 2018 e o CPC.

A figura 15 é similar à 14, mas para a temperatura do ar. O CFSv2 previu na maior parte do continente temperaturas mais baixas do que o observado e, em geral, as menores temperaturas ocorreram nas áreas em que o modelo superestimou a precipitação. Isso está relacionado ao fato de que a ocorrência de precipitação está associada à presença de nuvens e essas dificultam a chegada de energia solar à superfície. Portanto, é esperado temperaturas mais

baixas nas regiões com maior precipitação, como é o caso da região Sudeste (figura 15a-d).

As previsões com melhor performance foram as inicializadas em outubro de 2018, contrariando o que foi observado nas simulações de precipitação.



**Figura 14** - Simulação de temperatura (°C) em janeiro de 2019: a) *ensemble* entre as rodadas inicializadas em outubro de 2018; b) *ensemble* entre as rodadas iniciadas em novembro de 2018; c) *ensemble* entre as rodadas iniciadas em dezembro de 2018; d) *ensemble* entre as rodadas iniciadas em outubro, novembro e dezembro de 2018; e) observação do CPC referente a janeiro de 2019; f) viés entre as rodadas inicializadas em outubro de 2018 e o CPC; g) viés entre as rodadas iniciadas em novembro de 2018 e o CPC; h) viés entre as rodadas iniciadas em dezembro de 2018 e o CPC; i) viés entre as rodadas iniciadas em outubro, novembro e dezembro de 2018 e o CPC.

#### 4. CONCLUSÃO

O período frio registrado em dezembro de 2018 esteve associado com uma incursão de ar frio, o que caracterizou uma onda de frio entre os dias 7 e 10 de dezembro de 2018, como registrado pela estação meteorológica em Itajubá no sul de Minas Gerais. O padrão da circulação atmosférica dessa onda de frio seguiu o descrito na literatura como em Escobar (2007) e Reboita *et al.* (2015b).

Com relação às anomalias negativas de precipitação no mês de janeiro de 2019 (em relação à climatologia de 1979 a 2019 com os dados do CPC), os padrões da circulação atmosférica foram similares ao da seca de 2014 descritos por Coelho *et al.* (2016) e Reboita *et al.* (2015a). Assim como foi discutido no trabalho de ambos, sugere-se que um trem de ondas emanado da Austrália para a América do Sul influencia a posição do ASAS, fazendo com que reduza a convecção e, conseqüentemente, a chuva no continente. A alteração da TSM também é um fator importante para a redução das chuvas, uma vez que quando a mesma se encontra mais aquecida, enfraquece as massas de ar que se

deslocam de maiores para menores latitudes e, portanto, as frentes não avançam.

A previsão climática para a precipitação de janeiro de 2019 com o modelo CFSv2 superestimou a precipitação na região Sudeste e subestimou a temperatura do ar.

A previsão numérica do clima não é trivial de ser realizada e sua interpretação não deve levar em consideração apenas as saídas de precipitação dos modelos climáticos. Esses modelos servem de ferramentas para os cientistas atmosféricos unirem com seus conhecimentos teóricos e práticos do clima.

## 5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF), *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR) e *Climate Prediction Center* (CPC) pela disponibilização dos dados e a CAPES, CNPq, FAPEMIG e o projeto Previsor de Afluência para Simulação do PLD AES Tiete, 2018, pelo apoio financeiro.

## 6. REFERÊNCIAS

ASHFAQ, M., CAVAZOS, T., REBOITA, M. S., TORRES-ALAVEZ, J. A., IM, E., OLUSEGUN, C. F., ALVES, L., KEY, K., ADENIYI, M. O., TALL, M., SYLLA, M. B., MEHMOOD, S., ZAFAR, Q., DAS, S., DIALLO, I., COPPOLA, E., GIORGI, F. Robust late twenty-first century shift in the regional monsoons in RegCM-CORDEX simulations. **Climate Dynamics**, 2020.

CARVALHO, L. M. V., JONES, C., LIEBMANN, B. The South Atlantic Convergence Zone: Intensity, Form, Persistence, and Relationships with Intraseasonal and Interannual Activity and Extreme Rainfall. **Journal of Climate**, v. 17, p. 88-108, 2004.

COELHO, C. A. S., OLIVEIRA, C. P., AMBRIZZI, T., REBOITA, M. S., CARPENEDO, C. B., CAMPOS, J. L. P. S., TOMAZIELLO, A. C. N., PAMPUCH, L. A., CUSTÓDIO, M. S., DUTRA, L. M. M., ROCHA, R. P., REHBEIN, A. The 2014 southeast Brazil austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections. **Climate Dynamics**, v. 46, n. 11-12, p. 3737-3752, 2016.

DEE, D. P., UPPALA, S. M., SIMMONS, A. J., BERRISFORD, P., POLI, P., KOBAYASHI, S., ANDRAE, U., BALMASEDA, M. A., BALSAMO, G., BAUER, P., BECHTOLD, P., BELJAARS, A. C. M., van de BERG, L., BIDLOT, J., BORMANN, N., DELSOL, C., DRAGANI, R., FUENTES, M., GEER, A. J., HAIMBERGER, L., HEALY, S. B., HERBACH, H., HÓLM, E. V., ISAKSEN, I., KÄLLBERG, P., KÖHLER, M., MATRICARDI, M., McNALLY, A. P., MONGE-SANZ, B. M., MORCRETTE, J.-J., PARK, B.-K., PEUBEY, C., de ROSNAY, P., TAVOLATO, C., THÉPAUT, J.-N., VITART, F. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 137, p. 553-597, 2011.

ESCOBAR, G. C. J. Padrões sinóticos associados a ondas de frio na cidade de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 2, p. 241-254, 2007.

HUFFMAN, G. J., ADLER, R. F., MORRISSEY, M. M., BOLVIN, D. T., CURTIS, S., JOYCE, R., MCGAVOCK, B., SUSSKIND, J. Global precipitation at one-degree daily resolution from multisatellite observations. **Journal of hydrometeorology**, v. 2, n. 1, p. 36-50, 2001.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br>>. Acesso em: 15 de maio de 2019.

KOTTEK, M., GRIESER, J., BECK, C., RUDOLF, B., RUBEL, F. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006.

MARENGO, J., CORNEJO, A., SATYAMURTY, P., NOBRE, C., SEA, W. Cold Surges in Tropical and Extratropical South America: The Strong Event in June 1994. **Monthly Weather Review**, v. 125, n. 11, p. 2759-2786, 1997.

MARENGO, J. A., LIEBMANN, B., GRIMM, A. M., MISRA, V., SILVA DIAS, P. L., CAVALCANTI, I. F. A., CARVALHO, L. M. V., BERBERY, E. H., AMBRIZZI, T., VERA, C. S., SAULO, A. C., NOGUES-PAEGLE, J., ZIPSER, E., SETH, A., ALVES, L. M. Recent developments on the South American monsoon system. **International Journal of Climatology**, v. 32, n. 1, p. 1-21, 2012.

MARIA da Fé tem noite de geada fraca e baixas temperaturas. **G1**, 2018. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/sul-de-minas/noticia/2018/12/09/maria-da-fe-tem-noite-de-geada-fraca-e-baixas-temperaturas.ghtml>>. Acesso em: 15 de maio de 2019.

NAIRN, J., FAWCETT, R. Defining heatwaves: heatwave defined as a heat impact event servicing all community and business sectors in Australia. **CAWCR Technical Report** No. 060, 2013.

NOGUÉS-PAEGLE, J., MO, K. C. Alternating wet and dry conditions over South America during summer. **Monthly Weather Review**, v. 125, n. 2, p. 279-291, 1997.

PEGORIM, Josélia. São Paulo pode ter frio histórico na madrugada do domingo. **Climatempo**, 2018. Disponível em: <<https://www.climatempo.com.br/noticia/2018/12/08/sao-paulo-pode-ter-frio-historico-na-madrugada-do-domingo-9647>>. Acesso em: 15 de maio de 2019.

REBOITA, M. S., GAN, M. A., da ROCHA, R. P., AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, 2010.

REBOITA, M. S., OLIVEIRA, D. M., FREITAS, C. H., OLIVEIRA, G. M., PEREIRA, R. A. A. Anomalias dos Padrões Sinóticos da Atmosfera na América do Sul nos Meses de Janeiro de 2014 e 2015. **Revista brasileira de energias renováveis**, v. 4, n. 4, 2015a.

REBOITA, M. S., ESCOBAR, G., LOPES, V. S. Climatologia sinótica de eventos de ondas de frio sobre a região sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, 2015b.



SAHA, S., MOORTHY, S. PAN, H. L., WU, X., WANG, J., NADIGA, S., LIU, H. The NCEP climate forecast system reanalysis. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 91, n. 8, p. 1015-1058, 2010.

SILVA, J. P. R., REBOITA, M. S., Escobar, G. C. J. CARACTERIZAÇÃO DA ZONA DE CONVERGÊNCIA DO ATLÂNTICO SUL EM CAMPOS ATMOSFÉRICOS RECENTES. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 25, p. 355-377, 2019.

ZHOU, J., LAU, K. M. Does a monsoon climate exist over South America?. **Journal of climate**, v. 11, n. 5, p. 1020-1040, 1998.