

**UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO CEARÁ - UECE**

Av. Dr. Silas Munguba, 1700 -
Campus do Itaperi, Fortaleza/CE

**VARIABILIDADE DE
PRECIPITAÇÃO E
TEMPERATURA MÉDIA
SUPERFICIAL DO AR NO
NORTE DA REGIÃO DE AISÉN
– CHILE, NO PERÍODO DE
1950-2017**

Filipe Daros Idalino

Pedro Teixeira Valente

Kátia Kellem da Rosa

Jefferson Cardia Simões

Citação: IDALINO, F. D.;
VALENTE, P. T.; ROSA, K. K.;
SIMÕES, J. C. VARIABILIDADE
DE PRECIPITAÇÃO E
TEMPERATURA MÉDIA
SUPERFICIAL DO AR NO
NORTE DA REGIÃO DE AISÉN –
CHILE, NO PERÍODO DE 1950-
2017. **GeoUECE (online)**, v. 09,
número especial (2), p. 06-23, jul.
2020. ISSN 2317-028X.



**VARIABILIDADE DE PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA MÉDIA
SUPERFICIAL DO AR NO NORTE DA REGIÃO DE AISÉN – CHILE, NO
PERÍODO DE 1950-2017**

**VARIABILITY OF PRECIPITATION AND AVERAGE AIR SURFACE
TEMPERATURE ON NORTHERN AYSÉN REGION – CHILE, BETWEEN OF
1950-2017**

**VARIABILIDAD DE LA PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA PROMEDIA DE LA
SUPERFICIE DEL AIRE EN EL NORTE DE LA REGIÓN DE AISÉN – CHILE, EN
PERÍODO DE 1950-2017**

Filipe Daros IDALINO ¹

Pedro Teixeira VALENTE²

Kátia Kellem da ROSA ³

Jefferson Cardia SIMÕES ⁴

¹ Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e pesquisador no Centro Polar e Climático, e-mail: filipe.daros.idalino@gmail.com

² Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: peixeira.valente@gmail.com

³ Professora do departamento de Geografia, do programa de pós-Graduação em Geografia e do programa de pós-graduação em Sensoriamento Remoto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: katia.rosa@ufrgs.br

⁴ Professor titular de Glaciologia e Geografia Polar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, membro titular da Academia Brasileira de Ciências e Comendador da Ordem Nacional do Mérito Científico, e-mail: jefferson.simoes@ufrgs.br

RESUMO

Este artigo investiga a variabilidade de temperatura e precipitação na região do Monte Melimoyu (44°5'S-72°51'O), entre 1950 e 2017 e a possível influência do ENOS e do SAM pela proximidade com o oceano Pacífico. Foram utilizados dados de reanálise da universidade de Delaware, índice ONI 3.4 do ENOS (NOAA) e o índice SAM, de Marshall (2003). Dados de precipitação das estações meteorológicas de La Junta (43°58'S-72°25'W) e de Puerto Aysén Ad. (43°58'S-72°25'W) foram analisados e comparados com as séries de reanálise. Testes de correlação cruzada foram aplicados aos dados de precipitação e temperatura com os índices de variação do ENOS e do SAM, no software Matlab 2012R para avaliar a existência de defasagens nas anomalias de precipitação e temperatura influenciadas por estas duas oscilações. A série histórica de precipitação mostrou uma média de 2239 mm e uma tendência contínua de diminuição em -6 mm por ano, já a temperatura média superficial do ar foi de 9,87°C no período de 1950 e 2017, e uma tendência contínua de aumento em 0,04°C por ano. Os picos de anomalia positivas de precipitação do início do período e de temperatura do final do período de análise estão relacionadas a fase positiva do SAM. Contudo, os



testes com os dados do ENOS e SAM não mostram correlação direta com a variação negativa de precipitação e do aumento de temperatura na região, onde o fator de localização e as características morfológicas podem ser os maiores influenciadores no clima local.

Palavras-chave: Variabilidade Meteorológica. Monte Melimoyu. Patagônia Norte.

ABSTRACT

This article investigates the variability of temperature and precipitation in the region of Mount Melimoyu (44°5'S-72°51'O), between 1950-2017 and the possible ENOS and SAM influence by proximity with Pacific South. Reanalysis data from Delaware University, ONI 3.4 index of ENOS (NOAA) and SAM index from Marshall (2003) were used. In addition, we used precipitation data from weather stations of La Junta (43°58'S-72°25'W) and Puerto Aysén Ad. (43°58'S-72°25'W) to compare with reanalysis series. Cross correlations tests were applied to precipitation and temperature data with the variation of ENSO and SAMs indices on Matlab 2012R software to evaluate the existence of lags in precipitation and temperature anomalies influenced by these two oscillations. The historic precipitation series show 2239 mm of mean and a continuous downward trend of approximately -6 mm/year, while the average in surface air temperature was 9.87 °C in the 1950 and 2017 period and a continuous trend of increase by 0.04°C/year. Precipitation and temperature positive anomaly peaks on beginning and end of period are related with the SAM positive phase. However, tests with ENOS and SAM data do not show no direct correlation with negative variation of precipitation and temperature increase in the region, where the location factor and morphological characteristics may be the major influencers in the local climate.

Keywords: Meteorological variability. Melimoyu Mont. Northern Patagonia.

RESUMEN

Este artículo investiga la variabilidad de la temperatura y precipitación en la región de Monte Melimoyu (44°5'S-72°51'O) entre 1950 y 2017 y la posible influencia del ENOS y SAM por su proximidad con el océano Pacífico. Se utilizaron los datos de reanálisis de la Universidad de Delaware, el índice ONI 3.4 del ENOS (NOAA) y el índice SAM de Marshall (2003). Datos de precipitación de las estaciones meteorológicas de La Junta (43°58'S-72°25'W) e de Puerto Aysén Ad. (43°58'S-72°25'W) fueron analizados y comparados con la serie de reanálisis. Las pruebas de correlación cruzada se aplicaron a los datos de precipitación y temperatura con índices de variación ENSO y SAM en el software Matlab 2012R, para evaluar la existencia de retraso de las anomalías en la precipitación y de temperatura influenciadas por estas dos oscilaciones. La serie histórica de la precipitación mostró promedio de 2239 mm y una tendencia descendente continua de -6 mm por año. La temperatura media del aire en la superficie fue de 9.87°C entre 1950 y 2017 y una tendencia ascendente continua de 0.04°C por año. Los picos de anomalías positivas de la precipitación al comienzo del período y de la temperatura al final del período de análisis están relacionados con la fase positiva de SAM. Sin embargo, Sin embargo, las pruebas con datos ENSO y SAM no muestran una correlación directa con la variación negativa en la precipitación y el aumento de la temperatura



en la región, donde el factor de ubicación y las características morfológicas pueden ser los principales influyentes en el clima local.

Palabras claves: Variabilidad meteorológica. Monte Melimoyu. Patagonia del norte.

1. INTRODUÇÃO

A distribuição das terras sul-americanas em diferentes latitudes e com formas de relevo variadas proporcionam a atuação e o desenvolvimento de diferentes sistemas atmosféricos, que contribuem para a não homogeneidade climática desta região (REBOITA *et al.* 2010). Em níveis baixos no cinturão ocidental (aproximadamente latitudes 40° a 70°), observa-se um padrão complexo de sistemas móveis de alta e baixa pressão, enquanto que, entre 6000 m e 20000 m, existe um fluxo de ar constante do Oeste (BARRY & CHORLEY, 2013). Sobre esta região, as variações climáticas são produzidas principalmente por perturbações incorporadas no fluxo de oeste e são fortemente modificadas pela parte sul dos Andes (GARREAUD *et al.*, 2013). Neste caso, as regiões montanhosas da Patagônia influenciam nos ventos na atmosfera, pois, ao encontrar uma barreira topográfica, uma corrente de ar tende a ascender e, nesse processo, pode ocorrer a formação de nuvens e precipitação (REBOITA *et al.*, 2012). A elevação a barlavento leva a condições hiperúmidas ao longo da costa do Pacífico e do declive ocidental dos Andes (GARREAUD *et al.*, 2013).

Para a Patagônia, a variabilidade nos padrões de precipitação também é influenciada, em uma escala interanual e interdecenal, pelo Índice da Oscilação Antártica (Southern Annual Mode - SAM) e pelo El Niño-Oscilação Sul (ENOS) (ARAVENA & LUCKMAN, 2009; SCHAEFER *et al.*, 2013) que tem sido frequente utilizado nas últimas duas décadas (GONZÁLEZ 2004). O ENOS é um fenômeno acoplado de atmosfera oceânica enraizada no Pacífico tropical, e tem um efeito direto e forte sobre o Equador, o Peru e o norte do Chile, além de um efeito indireto (através de teleconexões atmosféricas) em grande parte da América do Sul subtropical estendendo-se também a altas latitudes (GARREAUD *et al.*, 2009).

Anomalias de chuva e temperatura associadas à ocorrência dos eventos El Niño e La Niña são a principal fonte de variabilidade interanual para a América do Sul (ROPELEWSKI & HALPERT, 1987; ACEITUNO, 1988; KILADIS & DIAZ,





1989; MARENGO, 1992). A influência da variação do ENOS deve ser levada em consideração nos estudos meteorológicos nas áreas ao Sul da América do Sul, associada a anomalias positivas na circulação anticiclônica no sudeste do Pacífico durante o verão (MONTECINOS & ACEITUNO, 2003).

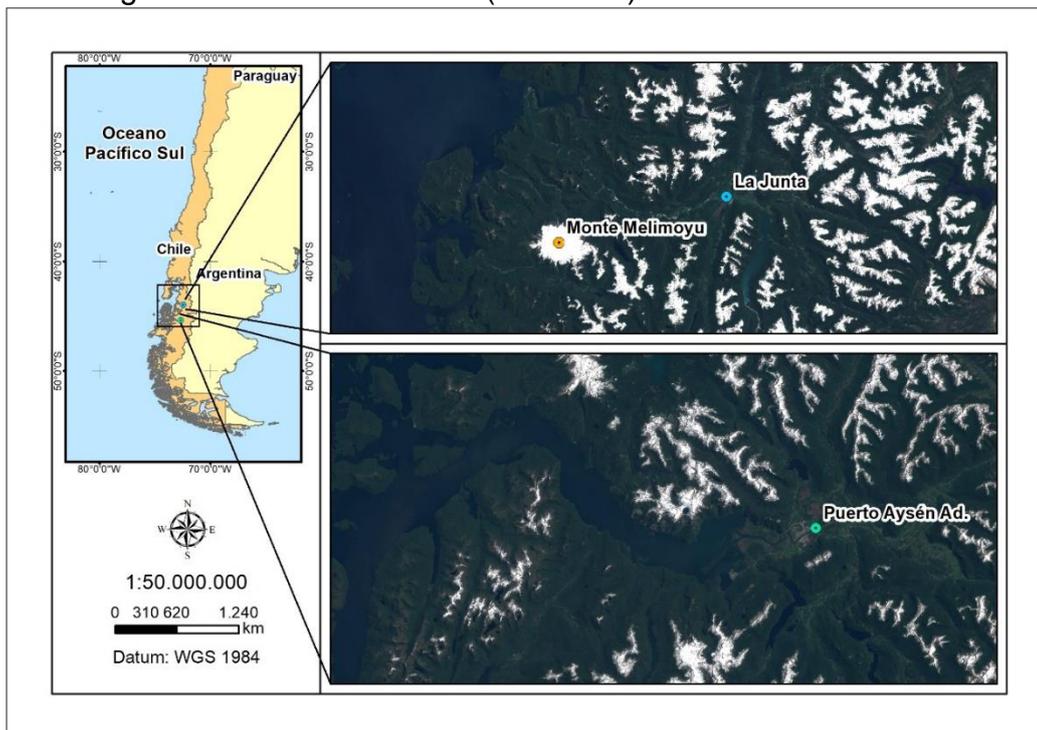
Este artigo objetiva analisar possíveis tendências na precipitação anual e da temperatura média anual superficial do ar, no período 1950-2017 para a região do Monte Melimoyu, através de dados mensais de precipitação de estações meteorológicas, bem como de dados de reanálise de Delaware também para a temperatura. O trabalho procura analisar e correlacionar os eventos de ENOS e SAM com os dados meteorológicos, em vista da falta de estudos diagnosticando o efeito destes em regiões específicas (GARREAUD *et al.*, 2009).

1.1. Área de estudo

O Monte Melimoyu é um extenso vulcão com 2400 m de altitude com aproximadamente 9,65 km de diâmetro na orientação Norte–Sul (Figura 1). Possui uma cratera circular com cerca de 1,5 km de diâmetro coberta de gelo, e suas geleiras possuem uma área de cerca de 52,19 km² em formato circular, porém irregulares. Está localizado a 44°5'S-72°51'O, ao norte da região de Aisén do General Carlos Ibañez del Campo. Segundo Köppen (1936) o clima da região de Aisén é classificado como Cfc, de regiões oceânicas e marítimas da região e das regiões costeiras ocidentais do continente, onde o clima é temperado úmido sem estação seca com verão curto e ameno.



Figura 1. Localização das estações meteorológicas e do Monte Melimoyu. Imagens do Sentinel-2A MSI (RGB 432). Acesso em 05/12/2018.



Fonte. Elaboração própria com dados vetoriais do IBGE (2010), do Sentinel-2A (2017) ESA-USGS, e Explorador Climático (CR²).

As geleiras respondem às mudanças climáticas inerente às questões de balanço de energia e é fundamental a diferenciação entre esses fatores para a correta interpretação das alterações glaciais do passado e para a atribuição correta de mudanças atuais (ROE, 2011). Elas podem fornecer uma perspectiva de longo prazo para o estudo das variações climáticas (KLOK & OERLEMANS, 2004) e são considerados indicadores-chave para evidenciar as mudanças climáticas globais (OERLEMANS, 2001; HOELZLE *et al.*, 2003; OERLEMANS, 2005; RABATEL *et al.*, 2013; PELLICCIOTTI *et al.*, 2014).

No entanto, não há uma série temporal de longa duração, que contemple todos os anos do período de análise (1950-2017), para compreender as possíveis tendências e eventos associados à variabilidade interanual nos dados de temperatura média superficial do ar e precipitação para áreas de específicas geleiras da Patagônia Norte, como o Monte Melimoyu (Figura 1).

A obtenção de uma série temporal de longa duração possibilitará o avanço de estudos ambientais em geleiras na região do Monte Melimoyu, pois as variáveis climáticas são um dos fatores que exercem maior influência no processo



de ablação dos corpos de gelo (MASIOKAS *et al.*, 2008; PCC, 2013; PELLICCIOTTI *et al.*, 2014; MERNILD *et al.*, 2015). Uma análise detalhada sobre variabilidade nos dados meteorológicos, de décadas anteriores à 2000 é relevante para os estudos de geleiras, visto as mudanças climáticas no passado afetaram fortemente as áreas glaciais no mundo todo (IPCC, 2013), assim como as geleiras na região dos Andes, que também mostraram uma clara redução de área e volume nas décadas passadas (LÓPEZ & CASASSA, 2011).

1.2. Materiais e Métodos

Para a análise das médias anuais de temperatura superficial do ar, foi utilizado o banco de dados de reanálise de temperatura e de precipitação da Universidade de Delaware, que contém registros mensais de 1950 a 2017, com grade resolução espacial de $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$, conforme Matsuura e Willmott (2012). A reanálise foi construída a partir de dados de estações meteorológicas do Global Historical Climate Network (GHCN2) e do banco de dados dos autores. As médias mensais foram interpoladas em uma grade de $0,5^{\circ}$ graus de latitude e longitude, com os nós das grades em $0,25^{\circ}$. Como resultado, tem-se uma grade global de 720×360 pontos de grade.

A reanálise foi criada de maneira que preenchesse os lapsos das estações (BURRUGHOUS, 2007). Quando havia falta de um dado mensal era feita uma interpolação espacial com as estações de coordenadas geográficas e regiões semelhantes para se computar um valor mensal. A reanálise final era composta de séries temporais com os valores mensais de temperatura para o período total (1948-2017) onde pode ser feito um recorte espacial para uma determinada área em estudo, como neste caso. A reanálise foi analisada com os softwares Matworks® Matlab 2012R e Microsoft® Excel 2013.

Para compreender possíveis atrasos, as séries de precipitação mensal e temperatura foram cruzadas com os valores dos índices Índice Niño Oceânico (ONI) – ENOS (da NOAA), e o SAM (de Marshall, 2003) por meio da correlação cruzada, que é utilizada para identificar lapsos em duas ou mais séries temporais, fixando uma série e correlacionando a outra série conforme o um intervalo (*lag*) pré-estabelecido de 12 meses. Assim, os valores das séries de temperatura e





precipitação foram comparados com os valores dos índices ONI e SAM ocorridos doze meses antes e depois da posição inicial de cada unidade da série. Foi escolhido o período de um ano a fim de compreender algum lapso de comportamento da variabilidade do ENOS e SAM sem perder a influência dos menores ciclos de ambos os modos de variabilidade. Períodos superiores a 12 meses podem ocultar os ciclos de curta duração de ambos os modos de forma que os mesmos não sejam percebidos nas correlações.

Foram utilizados dados de precipitação mensal (em mm) das estações meteorológicas de La Junta e de Puerto Aysén Ad (Figura 1 e Tabela 1) no período de 1950-2017, para comparação com os dados de Delaware. As informações das estações meteorológicas foram fornecidas gratuitamente pelo Explorador Climático (<http://explorador.cr2.cl/>).

Tabela 1. Dados de precipitação das estações .

Estação	Localização	Distância do Monte Melimoyu	Elevação	Período dos registros
La Junta	43°58'S – 72°25'O	35 km, NE	45 m	1981 – 2017
Puerto Aysén Ad.	45°23'S – 72°39'O	147 km, SE	10 m	1950 – 2017

Fonte. Explorador Climático (CR²) - Chile. Acesso em 05/04/2018.

A análise dos dados meteorológicos disponibilizados foi realizada no software Excel 2013 da Microsoft®. A correlação de *Pearson* (r) foi aplicada para medir o coeficiente de correlação entre as amostras de precipitação das EM de La Junta e Puerto Aysén Ad, e utilizou-se da média dos valores para gerar a série completa dos dados para a região e para realizar as análises temporais. O teste de correlação de *Pearson* (r) é uma medida numérica da força da correlação entre duas variáveis que representam dados quantitativos (TRIOLA, 2013), ou seja, mede o grau de relacionamento linear entre os valores de x e y em uma amostra e é calculado através da seguinte fórmula:

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \cdot \sqrt{n(\sum y^2) - (\sum y)^2}}$$



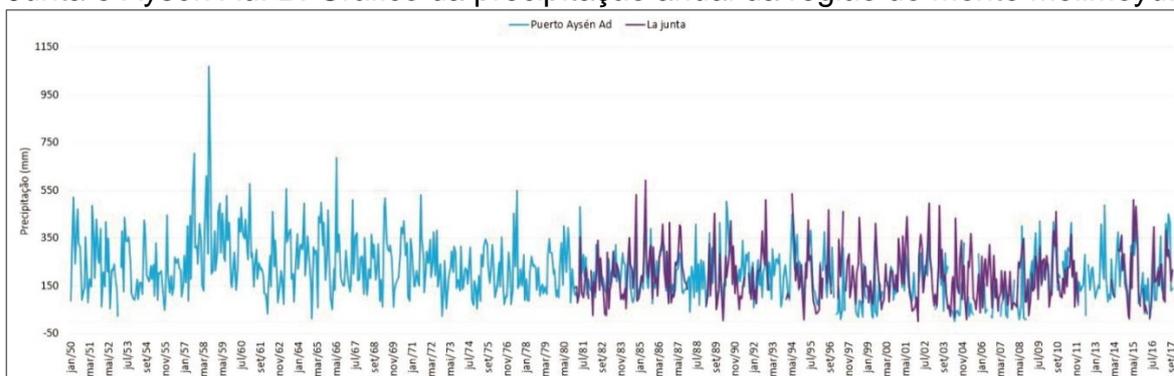
Além das análises estatísticas das amostras, foram gerados gráficos de linhas de tendência para os dados de precipitação (acumulado) e temperatura superficial do ar (média) no período de análise.

2. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Precipitação

Os dados de precipitação das EM de La Junta e Aysén Ad mostram semelhança nos valores, nos anos em que existem registros. O resultado da correlação de *Pearson* (r) entre os dados das duas estações foi de 0,57 e utilizou-se dos dados de precipitação das EM para gerar uma série completa, com maior número de registros possível (Figura 2).

Figura 2. Gráfico comparativo de precipitação das estações meteorológicas de La Junta e Aysén Ad. B: Gráfico da precipitação anual da região do Monte Melimoyu.

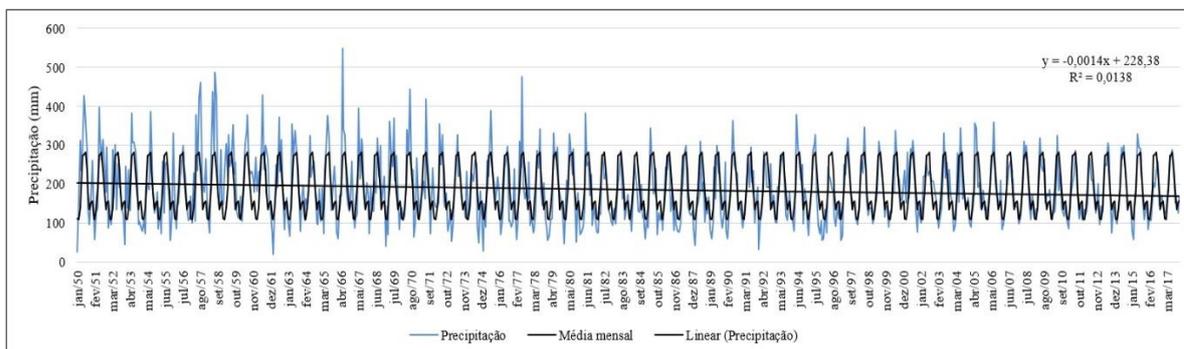


Fonte: Elaboração própria com a base de dados do Explorador Climático (CR)², NOAA - <http://explorador.cr2.cl>. Acesso em 05/04/2018.

Contudo, a distância entre as estações meteorológicas e suas diferenças nos dados inviabilizam a utilização desses dados em estatísticas significantes para o trabalho, sendo utilizados os dados de reanálise de Delaware para os testes estatísticos. Os resultados das análises com dados de reanálise mostraram uma precipitação média de 2239 mm anual, e mensal de 186 mm para a área de estudo, um déficit médio de 420 mm no período de 1950-2017 e cerca de -6 mm/ano (Figura 3).



Figura 3. Precipitação mensal na área de estudo.



Fonte: Elaboração própria com a base de dados de Delaware (GHCN2).

Os resultados vão ao encontro com outros autores na região ou proximidades. González (2004) evidencia uma tendência à diminuição na precipitação, ao analisar todas as estações meteorológicas na região da estação de Valdivia (39°38'S), no período 1961-2000. Esta apresentou -15 mm por ano entre 1961 e 2000.

Castañeda e González (2008), encontraram tendências à diminuição da precipitação na zona Ocidental da região da Patagônia (ênfase na Patagônia Argentina) no período 1950–1999 ao analisar dados de estações meteorológicas. Garreaud *et al.* (2017) encontrou um déficit entre 25% e 45% na precipitação líquida anual na região Central do Chile, junto à bacia hidrográfica de Aysén entre 2010 e 2015.

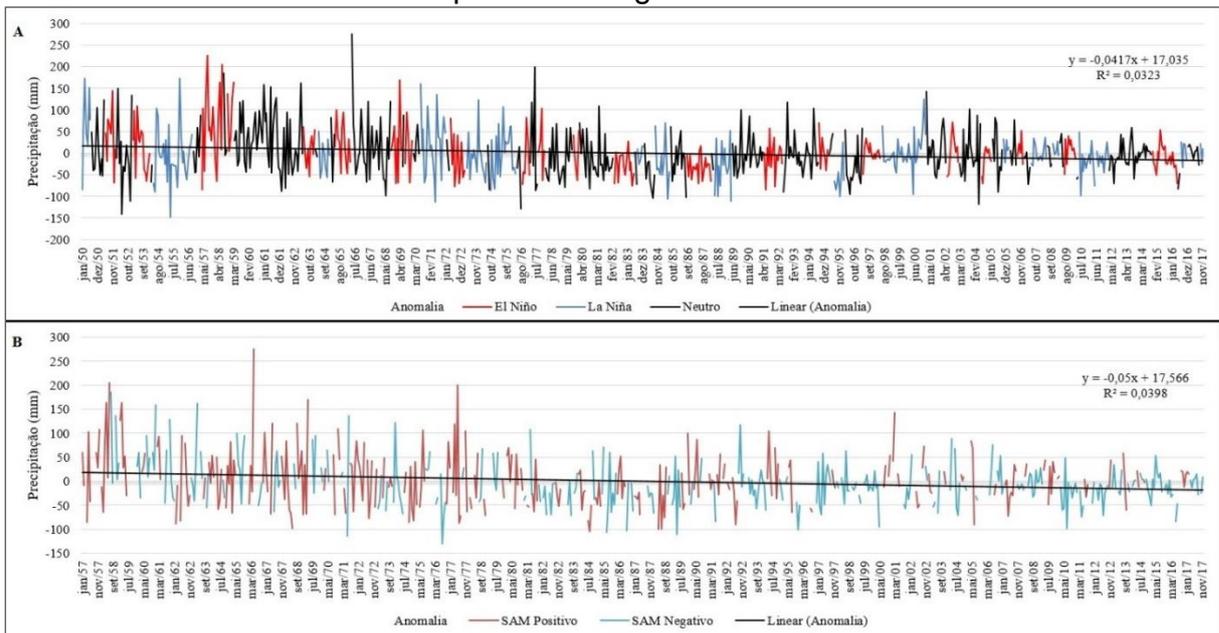
A influência do ENOS no clima da região Sul da América do Sul está associada, em sua fase quente, a uma migração norte das trilhas de tempestade durante o inverno devido à maior frequência de bloqueios sobre o Mar de Amundsen-Bellinghausen (Renwick & Revell, 1999; Pezza & Ambrizzi, 2003). Perez *et al.* (2018) afirma que durante o período de 2000 a 2016, houve cinco ocorrências de El Niño ou fase quente do ENOS (2002, 2004–2005, 2006–2007, 2009 e 2015–2016) e três ocorrências de La Niña (1999–2000, 2007–2008 e 2010–2011). Os períodos de máxima cobertura média de neve, encontrados para a bacia hidrográfica de Aysén, coincidem com os períodos de La Niña (PEREZ *et al.*, 2018), com exceção do ano de 2005.

As anomalias de precipitação foram comparadas com as fases do ENOS, de 1950 a 2017 (Figura 4A), e do SAM, de 1957 a 2017 (Figura 4B), onde revelam uma influência significativa nas anomalias no início do período de estudo



(1950 a 1980), quando a oscilação nos valores é maior, se tornando gradativamente menos variável a partir dos anos 1980 até 2017 (Figura 4). No entanto, na comparação com os dados do SAM, esses picos de anomalia da precipitação aconteceram em maior número e intensidade na fase positiva, mostrando uma possível relação entre as mesmas (Figura 4B).

Figura 4. A: Anomalias de precipitação em meses de El Niño (ENOS positivo), La Niña (ENOS negativo) e Neutro. **B:** Anomalias de precipitação em meses de SAM positivo e negativo.

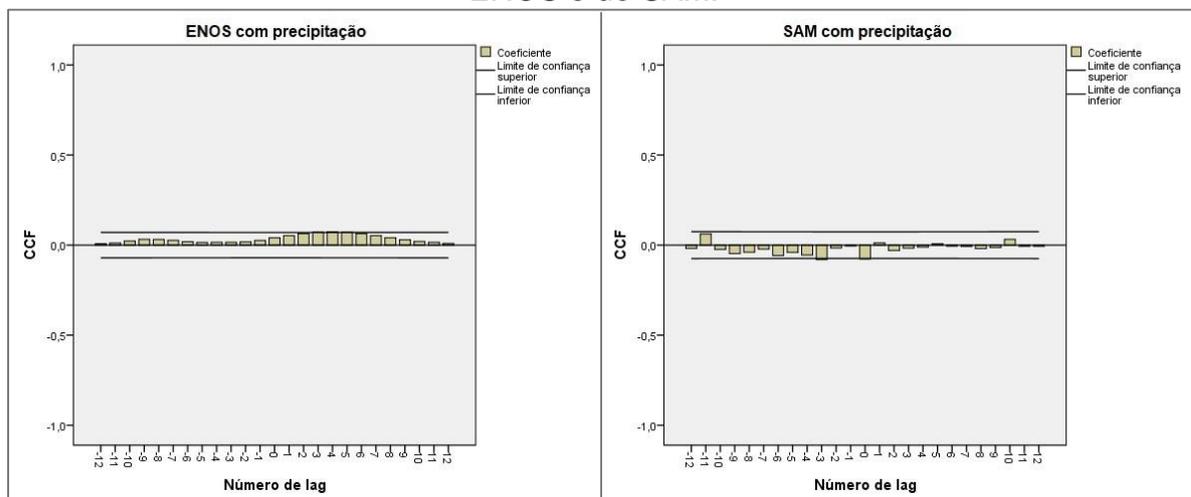


Fonte: Elaboração própria com dados de Delaware (GHCN2) da NOAA e de Marshall (2003).

Com relação as estatísticas entre os dados, não foram evidenciados estatisticamente efeitos diretos da variabilidade do ENOS e do SAM nos dados de precipitação na área de estudo, onde os testes de correlação cruzada mostram baixos valores de correlação entre os dados (Figura 5). O cruzamento dos dados de precipitação com o ENOS mostrou o valor máximo de 0,07 nos *lag*'s de 3 e 5 meses posteriores ao evento, enquanto que o cruzamento com o SAM mostrou um valor máximo de -0,08 no *lag* de -3 meses anteriores ao evento (Figura 5).



Figura 5. Correlação cruzada nos dados de precipitação com a variabilidade do ENOS e do SAM.



Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados de Delaware (GHCN2), do ENOS (NOAA) e do SAM (Marshall, 2003).

Cai *et al.* (2014) ressalta que os eventos de El Niño estão associados frequentemente com incrementos na precipitação, em escalas regionais, podendo também aumentar a temperatura do ar, que juntos podem ter um efeito de altitude pronunciado na cobertura de neve durante a primavera e o outono. Neste sentido, um aumento na temperatura do ar faz a isoterma de 0°C ascender para maiores elevações, resultando em uma maior proporção de precipitação líquida ao invés de neve (MERNILD *et al.*, 2008; MALMROS *et al.* 2018).

Dados de reanálises também sugerem que o fluxo de oeste diminuiu principalmente sobre a Patagônia Norte-Central durante as últimas quatro décadas, causando uma tendência de seca a oeste dos Andes (GARREAUD *et al.*, 2013). A tendência observada nos dados de precipitação (para as recentes décadas) na região pode impactar o ciclo da água de importantes rios e a vegetação, assim como destaca Perez *et al.* (2018) ao considerar a tendência de diminuição da cobertura de neve na bacia hidrográfica de Aysén no período 2000-2016.

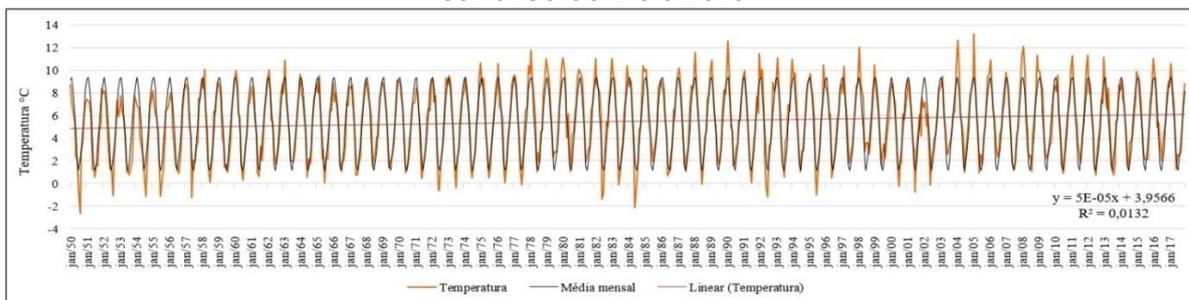
Temperatura

Os resultados da reanálise apresentam uma variabilidade entre as médias anuais, apresentando valores mais baixos e mais elevados que a média anual de 9,87°C para o período de 1948-2017 (Figura 6). A série de dados de



reanálise mostrou uma constante tendência de aquecimento durante todo o período (1948 e 2017), que representa um aumento de 0,04°C por ano.

Figura 6. Gráfico de temperatura média anual da região do Monte Melimoyu, da reanálise de Delaware.



Fonte. Elaboração própria com a base de Dados de Delaware (GHCN2).

Segundo Masiokas *et al.* (2008) as temperaturas na região noroeste da Patagônia experimentaram uma variabilidade interanual acentuada e padrões distintos de baixa frequência (escala decenal) dentro dessa tendência de longo prazo. Os autores apontam ainda que as temperaturas mais elevadas da estação quente ocorreram em 1943 com temperaturas mais quentes entre 1950 e o início dos anos 1960, e novamente entre o final das décadas de 1970 e 1990 (com uma anomalia média de + 0,82° C).

Rivera & Casassa (1999), ao avaliar o aquecimento para a temperatura mínima média de verão de 1,58°C na estação de Punta Arenas, para o período de 1960 – 1992 apontado por Rosenbluth *et al.* (1997), concluíram que a Patagônia passou por um aumento na temperatura atmosférica nas três décadas anteriores (1960 – 1990), o que corrobora com os dados apresentados pela série de reanálise na região (Figura 6).

Dados da estação de radiossonda de Puerto Montt (41°26'S) indicaram um aquecimento troposférico entre 0,019°C e 0,031°C por ano para o período de 1961-2000, que está provavelmente relacionado a uma intensificação do efeito estufa (González 2004). O aumento das temperaturas na região favorece o derretimento das camadas de gelo, forçando o processo de ablação das geleiras, assim como ressaltam Masiokas *et al.* (2008) e Pellicciotti *et al.* (2014).

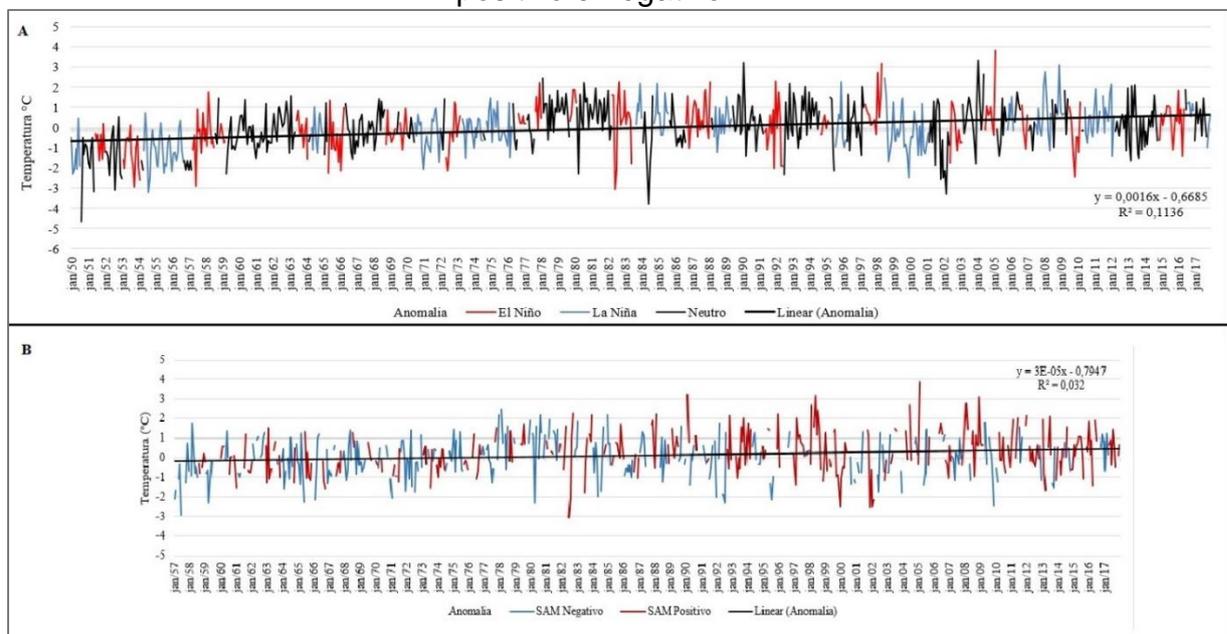
As anomalias de temperatura foram comparadas com as fases do ENOS, de 1950 a 2017 (Figura 7A), e do SAM, de 1957 a 2017 (Figura 7B). Na comparação com os dados de variabilidade do ENOS, a variabilidade nas



anomalias, tanto negativas quanto positivas de temperatura, se torna mais intensa a partir da metade da década de 1970, alcançando maiores picos nas fases positivas e também neutras do ENOS (Figura 7A).

Na comparação com o SAM, as anomalias positivas de temperatura estão associadas às fases positivas, se tornando mais frequentes e mais intensas a partir da década de 1990, o que pode significar uma resposta direta as fases positivas do SAM (Figura 7B).

Figura 7. A: Anomalias de temperatura em meses de El Niño (ENOS positivo), La Niña (ENOS negativo) e neutro. **B:** Anomalias de temperatura em meses de SAM positivo e negativo.

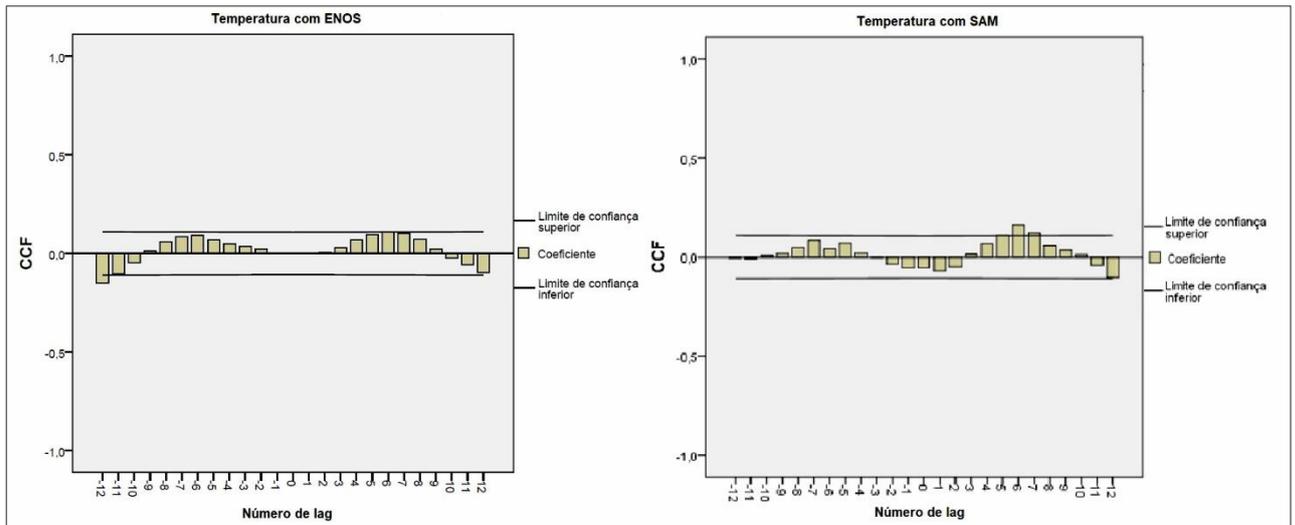


Fonte: Elaboração própria com dados de Delaware (GHCN2), da NOAA e de Marshall (2003).

Assim como nos dados de precipitação, não foram evidenciados estatisticamente efeitos diretos da variabilidade do ENOS e do SAM na temperatura da área de estudo, onde os testes de correlação cruzada mostram baixos valores de correlação entre os dados (Figura 8). O cruzamento dos dados de temperatura com o ENOS mostrou o valor máximo de 0,109 em um *lag* de 6 meses posteriores, e -0,15 em um *lag* de -12 meses anteriores ao evento, enquanto que, o cruzamento com o SAM mostrou um valor máximo de -0,16 nos *lag* de 6 meses posteriores ao evento (Figura 8).



Figura 8. Correlação cruzada nos dados de temperatura com a variabilidade do ENOS e do SAM.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados de Delaware (GHCN2), do ENOS (NOAA) e do SAM (Marshall, 2003).

3. CONCLUSÕES

A aplicação da metodologia aos dados das EM e de reanálise possibilitaram a compreensão da variabilidade do Melimoyu, tanto de precipitação quanto de temperatura. Contudo, foi possível analisar as principais características que possibilitaram a comparação dos valores e os testes de correlação entre os dados.

As Estações Meteorológicas mostraram uma descontinuidade temporal nos registros em vários anos do período de análise, o que gerou a necessidade de utilizar os dados de reanálise de Delaware, para obter uma melhor compreensão dos reais padrões no comportamento da atmosfera da região. Esta ausência é comum em locais como estes de difícil acesso logístico, mas mesmo assim, o Chile apresenta uma malha de dados consideravelmente grande, disponibilizada gratuitamente via *web* e atualizada diariamente pelas instituições que a compõe.

Os baixos valores resultantes dos testes de correlação cruzada, entre os dados meteorológicos com a variabilidade do El Niño Oscilação Sul (ENOS) e do Southern Annular Mode (SAM), não mostraram exercer efeitos diretos aos dados por reanálise. O fator local na análise destes dados pode ser uma variável de grande influência para as baixas taxas de correlação entre os dados amostrados,



visto que em pequenas áreas, as chances de eventos de teleconexões induzir alterações nas médias de precipitação e temperatura são muito remotas.

Microclimas, especialmente em regiões montanhosas, como a Patagônia Norte chilena, é muito relativo e sofre influências de diferentes fatores presentes na região. No entanto, os picos nas anomalias de temperatura e precipitação podem estar diretamente ligados a variabilidade com as fases do ENOS e do SAM. Com isso conclui-se que variabilidade nos dados meteorológicos da área de estudo está relacionada indiretamente com destes eventos, e que outras variáveis devem ser levadas em consideração para análises futuras, como a pressão e a umidade relativa do ar, e que outros testes estatísticos podem provar essas relações.

Os resultados mostram ainda uma clara necessidade de uma continuidade nos estudos de variabilidade meteorológica, para melhor compreender os impactos futuros das tendências apresentadas para estes ambientes. A disponibilização destas séries temporais e dos resultados obtidos pelas análises em meios digitais, podem ser extremamente úteis para trabalhos futuros, que venham utilizar destas informações para novas análises na região da Patagônia Norte chilena.

4. AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado acadêmico, fundamental para a realização deste trabalho. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS), pelos apoios financeiros para a realização das pesquisas científicas. Ao Centro Polar e Climático (CPC), pelo apoio tecnológico e estrutural e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (POSGEA) – UFRGS.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEITUNO, P. On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part I: surface climate. **Mon. Weather Rev.** 116. 505–524. 1988.

ARAVENA, J. C; LUCKMAN, B. H. Spatio-temporal rainfall patterns in Southern South America. **International Journal of Climatology.** 29: 2106–2120. 2009.



BARRY, R. G; CHORLEY R. J. **Atmosfera, tempo e clima**. 9º ed. Porto Alegre. Bookman. 512. 2013.

BURROUGHS, W. J. **Climate Change: A Multidisciplinary Approach**. Cambridge. University Press: Cambridge, 2ªed. UK. 378 pp. 2007.

CAI, W, *et al.* Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming. **Nat. Clim. Chang.** 4. 111–116. 2014.

CASTAÑEDA. M; GONZÁLEZ. M. 2008. Statistical analysis of the precipitation trends in the Patagonia region in southern South America. **Atmósfera**. 21(3). 303-317. 2008

DGA. Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas. Gobierno de Chile. **Informaciones de los datos pluviométricos**. Disponível em: <http://www.dga.cl/acercadeladga/Paginas/default.aspx>.

ESA. U.S. **Geological Survey**. Sentinel-2A. 17 de março de 2017. 43°49'51.39"S, 73°04'24.36"W. Informações disponíveis em: <https://earthexplorer.usgs.gov/metadata/10880/1207546/>.

GARREAUD, R. D, *et al.* Present-day South American climate. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**. 281: 180–195. 2009. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.palaeo.2007.10.032>

GARREAUD, R. D, *et al.* Large-Scale Control on the Patagonian Climate. **J. Clim.** 1. 215-230. 2013. DOI: doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00001.1

GARREAUD, R. D, *et al.* The 2010–2015 megadrought in central Chile: Impacts on regional hydroclimate and vegetation. **Hydrol. Earth Syst. Sci.** 21. 6307–6327. 2017.

GONZÁLEZ, F. B. **Cambios climáticos en la Región de Los Lagos y respuestas recientes del Glaciar Casa Pangue (41°08'S)**. Trabalho de conclusão de curso. Santiago. 2004. Universidade do Chile, Departamento de Geografia. 114p.

IPCC. **Climate change 2013: The physical science basis** T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P.M. Midgley (Eds.), Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2013. 1535.

JABERALANSAR, Z; TARKESH, M; BASSIRI, M. Spatial downscaling of climate variables using three statistical methods in Central Iran. **Journal of Mountain Science**. 15. 606-617. 2018. <https://doi.org/10.1007/s11629-016-4289-4>



- KILADIS, G. N; DIAZ, H. Global climatic anomalies associated with extremes in the Southern Oscillation. **J. Climate**. 2. 1069–1090. 1989.
- KLOK, E. J; OERLEMANS, J. Modelled climate sensitivity of the mass balance of Morteratschgletscher and its dependence on albedo parameterization. **International Journal of Climatol-ogy**. 24: 231–245. 2004.
- KÖPPEN, W; GEIGER, R. **Classificação climática de Köppen**. 1936. Disponível em: https://portais.ufg.br/up/68/o/Classifica_____o_Clim__tica_Koppen.pdf.
- LÓPEZ, P; CASASSA, G. Recent acceleration of ice loss in the Northern Patagonia Icefield based on an updated decennial evolution. **The Cryosphere Discuss**. 5. 3323–3381. 2011. Doi:10.5194/tcd-5-3323-2011
- MALMROS, J. K, *et al.* Snow cover and snow albedo changes in the central Andes of Chile and Argentina from daily MODIS observations (2000–2016). **Remote Sens. Environ**. 209. 240–252. 2018. DOI: 10.1016/j.rse.2018.02.072.
- MARENGO, J. Interannual variability of surface climate in the Amazon basin. **Int. J. Climatol**. 12. 853–863. 1992.
- MARSHALL, G. J. Trends in the Southern Annular Mode from observations and reanalyses. **Journal of Climate**. 16: 4134–4143. 2003. Doi: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2003\)016%3C4134:TITSAM%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016%3C4134:TITSAM%3E2.0.CO;2)
- MASIOKAS, M. H, *et al.* 20th-century glacier recession and regional hydroclimatic changes in northwestern Patagonia. **Global and Planetary Change**. 60. 85–100. 2008.
- MATSUURA, K; WILLMOTT, C. J. **Terrestrial Air Temperature: 1900-2010 Gridded Monthly Time Series**. Disponível em: http://climate.geog.udel.edu/~climate/html_pages/Global2011/README.GlobalTsT2011.html. Acesso em 13/12/2018.
- MERNILD, S. H, *et al.* Snow, runoff, and mass balance modeling for the entire Mittivakkat Glacier (1998–2006), Ammassalik Island, SE Greenland. **Geogr. Tidsskr.-Dan. J. Geogr**. 108. 121–136. 2008.
- MERNILD, S. H, *et al.* Mass loss and imbalance of glaciers along the Andes Cordillera to the Sub-Antarctic islands. **Global and Planetary Change**. 133. 109–119. 2015.
- MONTECINOS, A; ACEITUNO, P. Seasonality of the ENSO-related rainfall variability in central Chile and associated circulation anomalies. **J. Clim**. 16. 281-296. 2003.
- OERLEMANS, J. **Glacier and Climate Change**. Amsterdam, Balkema. 148 p. 2001.



OERLEMANS, J. Extracting a climate signal from 169 glacier records. **Science**. 308(5722): 675–677. 2005.

PELLICCIOTTI, F, *et al.* Changes of Glaciers in the Andes of Chile and Priorities for Future Work. **Science of the Total Environment**. 493. 1197–1210. 2014.

PÉREZ, T; MATTAR, C; FUSTER, R. Decrease in Snow Cover over the Aysén River Catchment in Patagonia, Chile. **Water**. 2018. 10(5). 619. 1-16. DOI: 10.3390/w10050619

PEZZA, A. B.; AMBRIZZI, T. Variability of Southern Hemisphere cyclone and anticyclone behavior: further analysis. **J. Clim.** 16(7). 1075-1083. 2003.

RABATEL, A, *et al.* Current state of glaciers in the tropical Andes: a multi-century perspective on glacier evolution and climate change. **The Cryosphere**. 7. 81–102. 2013.

REBOITA, M. S, *et al.* Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**. 25(2): 185–204. 2010.

REBOITA, M. S, *et al.* Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul. **Terra e Didática**. 8(1). 34–50. 2012.

RENWICK, J. A; REVELL, M. J. Blocking over the south pacific and rossby wave propagation. **Mon. Weather Rev.** 127. 2233-2247. 1999.

RIVERA, A; CASASSA, G. Volume changes on Pio XI glacier, Patagonia: 1975-1995. **Global and Planetary Change**. 22(1). 233-244. 1999.

ROE, G. H. What do glaciers tell us about climate variability and climate change? **Journal of Glaciology**. 57. 567-578. 2011. Doi: doi.org/10.3189/002214311796905640

ROSENBLITH, B; FUENZALIDA, H. A; ACEITUNO, P. Recent temperature variations in southern South America. **Int. J. Climatol**. 17(1). 67-85. 1997.

ROPELEWSKI, C; HALPERT, M. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. **Mon. Weather Rev.** 115, 1606–1626. 1987. doi.org/10.1175/1520-0493(1987)115%3C1606:GARSPP%3E2.0.CO;2

SCHAEFER, M, *et al.* Modeling past and future surface mass balance of the Northern Patagonia Icefield. **Journal of Geophysical Research**. 118. 571–88. 2013.

TRIOLA, M. F. **Introdução à estatística**: atualização da tecnologia. Rio de Janeiro. LTC, 2013.