



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

Variações nas geleiras do Monte Melimoyu - Chile (44°S, 72°O), em resposta às condições mais secas e quentes da Patagônia Norte nas últimas décadas

Filipe Daros Idalino ^(a), Kátia Kellem da Rosa ^(b), Jefferson Cadia Simões ^(c)

^(a) Programa de Pós-Graduação em Geografia, Centro Polar e Climático (CPC), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Email filipe.idalino@ufrgs.br

^(b) Departamento de Geografia, Centro Polar e Climático (CPC), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, katiakellem@gmail.com

^(c) Instituto de Geociências, Centro Polar e Climático (CPC), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, jefferson.simoese@ufrgs.br

Eixo: Geotecnologias e modelagem aplicada aos estudos ambientais

Resumo

Este artigo investiga a relação da variação da elevação de linha de frente e área das geleiras no Monte Melimoyu com a variabilidade nos dados meteorológicos, no período 1950-2017. Aqui, nós estimamos as variações nas características geomorfométricas utilizando dados do ASTER-GDEM v.2, do Sentinel-2, do GLIMS de Idalino *et al.* (2018). Foram analisados dados de precipitação das estações meteorológicas de La Junta (43°58'S - 72°25'O) e Puerto Aysén Ad (45°23'S - 72°39'O), e dados de reanálise de temperatura de Delaware. As geleiras tiveram uma tendência à perda de área, com destaque para as geleiras 10, 12, 4, 11 e 15 (entre 65% a 44%). As geleiras 10, 11, 13, 7 e 12 apresentam maior variação de elevação da linha de frente (entre 74 m e 570 m). As tendências à condições mais secas e quentes estão relacionadas à variação das geleiras, e os contrastes entre as mesmas estão relacionados às diferenças geomorfométricas, como a declividade.

Palavras chave: Mudança climática; Variação glacial; Análise multi-temporal; Patagônia Norte chilena.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

1. Introdução

Na região Chilena e Argentina dos Andes são evidenciadas mudanças nas geleiras, como balanço negativo de massa, com a retração glacial e diminuição de volume (Casassa et al., 2007; IPCC, 2013; Rabatel et al., 2013; Pellicciotti et al., 2014; Mernild et al., 2015).

Embora o clima seja o fator preponderante no regime térmico também há influência da topografia, que por sua vez também influencia no padrão local de precipitação (Sanches, 2013). A declividade no setor frontal das geleiras pode ser um fator determinante no processo de ablação, o que pode influenciar em uma maior velocidade de deslizamento basal (Paterson, 1999).

Este artigo objetiva investigar a relação da variação da elevação de linha de frente da área das geleiras no Monte Melimoyu ($44^{\circ}5'S$, $72^{\circ}51'W$), com a variabilidade da precipitação média anual e temperatura média anual no período 1950-2017. O artigo analisa os contrastes entre as variações de elevação de linha de frente das geleiras a partir das diferenças de declividade.

1.1. Área de estudo

O Monte Melimoyu, localizado a $44^{\circ}5'S$ – $72^{\circ} 51'W$, corresponde a um estratovulcão com aproximadamente 9,65 km de diâmetro, com 52,14 km² de área glacial (Idalino et al. 2018) e uma cratera do tipo caldeira coberta de gelo (Figura 1). Está situado a 21 km de distância da costa leste do Pacífico Sul, entre os rios Palena e Moraleda, onde o degelo escoar para os fiordes em contato com o oceano.

As geleiras do Monte Melimoyu são classificadas como geleiras de montanha, que se caracterizam por qualquer geleira que flui entre as paredes de um vale de montanha, refletindo as principais feições da topografia subglacial (Simões, 2004; Christopherson & Birkeland, 2017). Por consequência da própria capacidade erosiva do seu corpo de gelo e também deposicional, na área está presente uma Geleira Rochosa (Figura 1), que foram reconhecidas pela estrutura de fluxo característica e cobertura superficial de detritos (Ferrando, 2017).



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

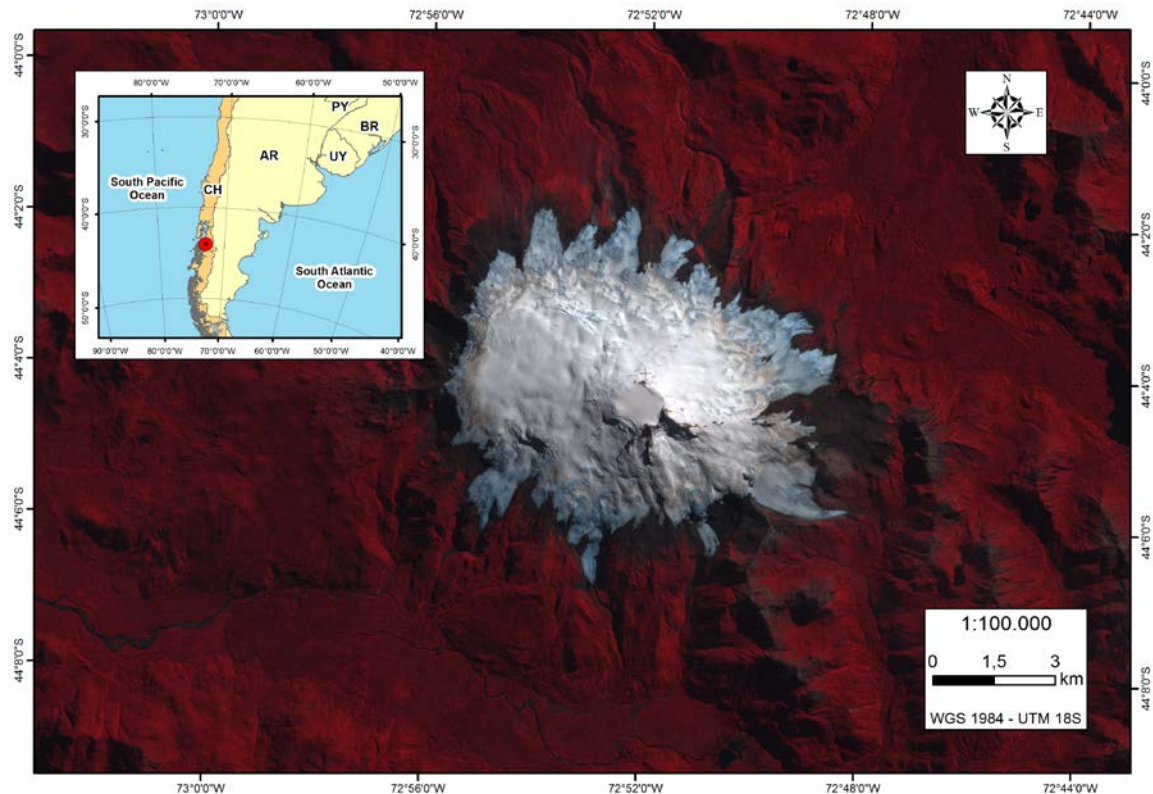


Figura 1. Localização do Monte Melimoyu. Imagem do Sentinel-2 com RGB (8-4-3), falsa cor.

Segundo Köppen (1936) o clima da região de Aisén é classificado como Cfc, de regiões oceânicas e marítimas e das regiões costeiras ocidentais do continente, onde o clima é temperado úmido sem estação seca com verão curto e ameno. O centro-sul do Chile (onde se encontra a área de estudo) apresenta um ciclo anual de precipitação com valores máximos no inverno e mínimos no verão, apresentando maior homogeneidade ao longo do ano na parte mais austral (Reboita *et al.*, 2010).

2. Materiais e métodos

Para a execução da metodologia foram utilizados o MDE ASTER-GDEM v.2 (2011), uma cena do Sentinel 2 – MSI, LC1 (17/03/2017), dados de área das geleiras em formato



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

shapefile do Global Land Ice Measurements from Space (GLIMS, 2015), para os anos de 1970, 1986 e 2000, e de Idalino et al. (2018) para 2017. Foi escolhido o sistema de projeção UTM, fuso 18S – Datum WGS 1984 como padrão para os dados deste trabalho. A detecção da variação da elevação da linha de frente foi estimada a partir dos valores das cotas de elevação mínima das geleiras, avaliada com o ASTER-GDEM v.2 e os dados de área do GLIMS. Os dados foram processados no software ArcGis, versão 10.3.1 (by ESRI®).

Para as análises meteorológicas, foi utilizada a série de dados de precipitação média anual da região a partir dos dados das estações de La Junta (43°58'S - 72°25' O) e Puerto Aisén Ad. (45°23'S – 72°39'O) entre 1950-2017. As análises das médias anuais de temperatura superficial do ar foram realizadas com os dados de reanálise de Delaware, no período de 1948-2017, realizada com os softwares Matworks® Matlab 2012R e Microsoft® Excel 2013. A comparação entre as médias anuais dos dados de temperatura superficial do ar, e de precipitação com a variação de área total nos períodos de 1970, 1986, 2000 e 2017 foi realizada através da análise das tendências lineares entre os dados e de testes de r^2 .

3. Resultados e discussões

A área total coberta por gelo (16 geleiras) do Monte Melimoyu em 1970 era de 80,97 km² e de 52,14 km² em 2017. Em relação ao total de área coberta por gelo em 1970, a geleira 13 mostrou área nos setores representados pelas classes de 175-200 m, 201-400 m, e na classe de 401-600 m, juntamente com as geleiras 6, 7 e 16 (Tabela 1), apresentando alterações em 2017. As geleiras 13 e 16 apresentaram área nos setores representados pelas classes de 601-800 m, enquanto que as geleiras 6 e 7 apresentaram área nos setores representados pelas classes de 801-1000 m. O comportamento de retração apresentado vai ao encontro dos resultados encontrados para outras áreas da Patagônia por Aniya (2007), Möller et al. (2007), Masiokas et al. (2008), Lopez et al. (2010), Garreaud et al. (2013), Schaefer et al. (2013) e Pellicciotti et al. (2014).



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

As variações das cotas mínimas de elevação são produto do processo de retração frontal experimentado por todas as geleiras entre 1970–2017, apresentado por Idalino *et al.* (2018), o que resultou na perda de área total nestas classes, não restando mais áreas de geleiras nas classes de elevações de 175-200 m, 201-400 m e 401-600 m em 2017 (Tabela 1).

Geleira	Mínima em 1970	Mínima em 2017
1	639	737
2	1149	1295
3	763	891
4	702	962
5	610	802
6	449	854
7	521	998
8	599	987
9	846	1168
10	642	1387
11	805	1375
12	676	1144
13	175	700
14	1002	1180
15	802	1080
16	427	670

Tabela 1. Variação da elevação da linha de frente das geleiras.

Os dados de reanálise de Delaware mostraram uma temperatura média de 9,87°C para o período de 1948-2017, e uma tendência de aumento da temperatura (Figura 2). A média entre 1948 e 1960 foi de 8,25°C, subindo para 8,88°C entre 1960 e 1970 (Figura 2). A média das temperaturas teve um aumento de 1,49°C entre 1970 e 1986, subindo para 10,37°C (Figura 2), seguido de um aumento de 0,16°C na média entre 1986 e 2000, de 10,53°C, e de 0,04°C entre 2000 e 2017, alcançando a marca de 10,57°C na temperatura média deste período (Figura 2).



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

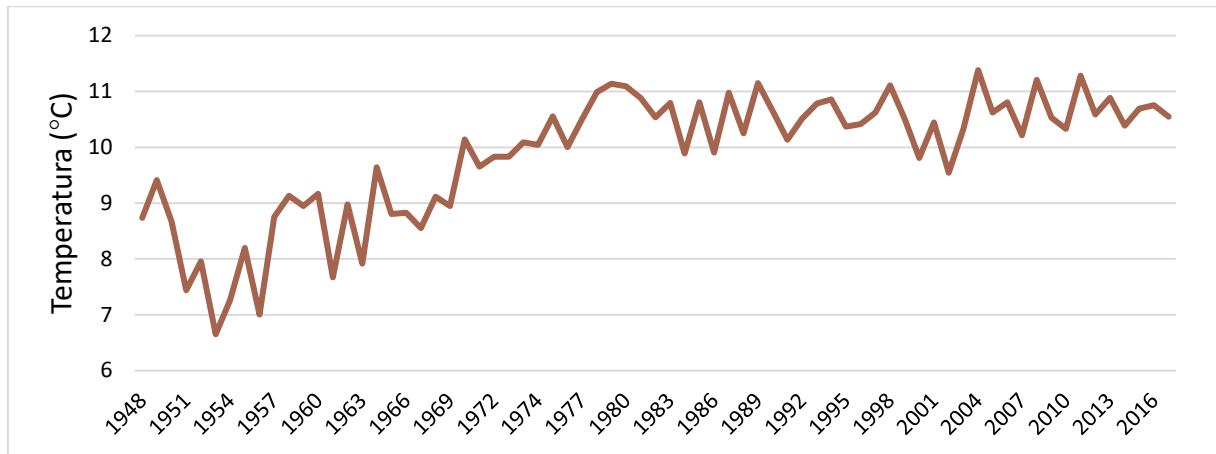


Figura 2. Gráfico de médias anuais da temperatura superficial do ar, a partir dos dados de reanálise de Delaware.

Disponível em: <http://climate.geog.udel.edu/>. Acesso em 13/12/2018

A série temporal apresenta uma precipitação média de 2359 mm, e uma tendência linear decrescente, com uma diminuição da precipitação de -18 mm por ano entre 1950 e 2017, (Figura 3). A média entre 1950 e 1960 foi de 3196 mm, diminuindo para 3135 mm entre 1960 e 1970 (Figura 3). Os valores de média da precipitação diminuíram em cerca 630 mm, comparados ao período anterior, chegando a 2505 mm entre 1970 e 1986 (Figura 3), registrando a maior diferença entre os dados, continuando com a tendência negativa, alcançando 2294 mm entre 1986 e 2000, e 2105 mm entre 2000 e 2017 (Figura 3).

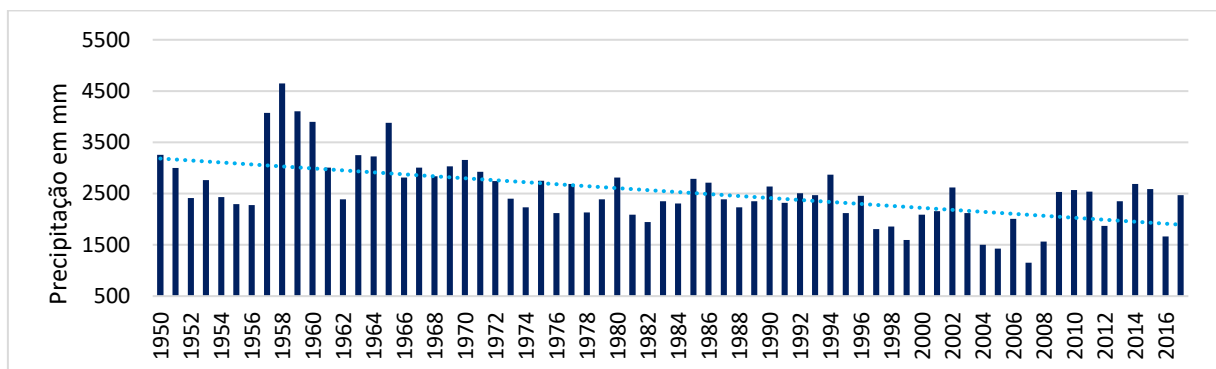


Figura 3. Gráfico da precipitação média anual das estações meteorológicas de La Junta e Puerto Aisén Ad.

Fonte: Explorador Climático (CR)² - <http://explorador.cr2.cl>. Acesso em 05/04/2018



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

A análise da variabilidade meteorológica destas décadas iniciais do período de estudo é relevante, pois o processo de retração foi mais acentuado no período de 1970-1986 (Tabela 2), o que responde diretamente ao comportamento da atmosfera nas décadas anteriores.

A partir da verificação dessas tendências, as análises estatísticas aplicadas mostram altos valores de r^2 entre os dados de variação de área total com a variação da temperatura média, de 0,9 e com a variação de precipitação média, de 0,92 nos períodos de 1970-1986, 1986-2000 e 2000-2017.

Período	Área
1970	80,98
1986	62,33
2000	58,39
2017	52,14

Tabela 2. Área total por período de análise. Fonte: GLIMS, 2015 e Idalino et al. (2019).

Apesar das pequenas séries de dados e suas visíveis tendências dos dados apresentados, os resultados evidenciam a relação entre a variabilidade dos dados meteorológicos e a variação de área experimentada pelas geleiras do Monte Melimoyu entre 1970 a 2017. O comportamento de retração das geleiras pode estar relacionado à tendência dos dados de precipitação e temperatura dos anos e décadas anteriores a esta, entre outros aspectos.

Em termos de declividade, as classes que continham maior número de área total em 1970 foram as de 8-20° e 20-45°, com 36,78 km² e 32,34 km², totalizando 45,42% e 39,93% da área total glacial de 80,97 km² (Idalino et al., 2018) (Figura 5). Em 2017, as áreas das classes de 8-20° e de 20-45° somam 27,61 km² e 19,16 km², totalizando 52,95% e 36,75% da área total glacial de 52,14 km² (Idalino et al., 2019), continuando como sendo as classes de maior área total para o período (Figura 5).

Em 1970 as classes de 45-70° e >70° de declividade apresentavam os menores valores de área, com 3,20 km² e 0,014 km² de área total (Figura 5). Em 2017, a classe de 45-70° apresenta 0,28 km² (0,55%) de área total, e nenhuma geleira apresentou valores de área na classe de >70° no ano de 2017 (Figura 5).



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

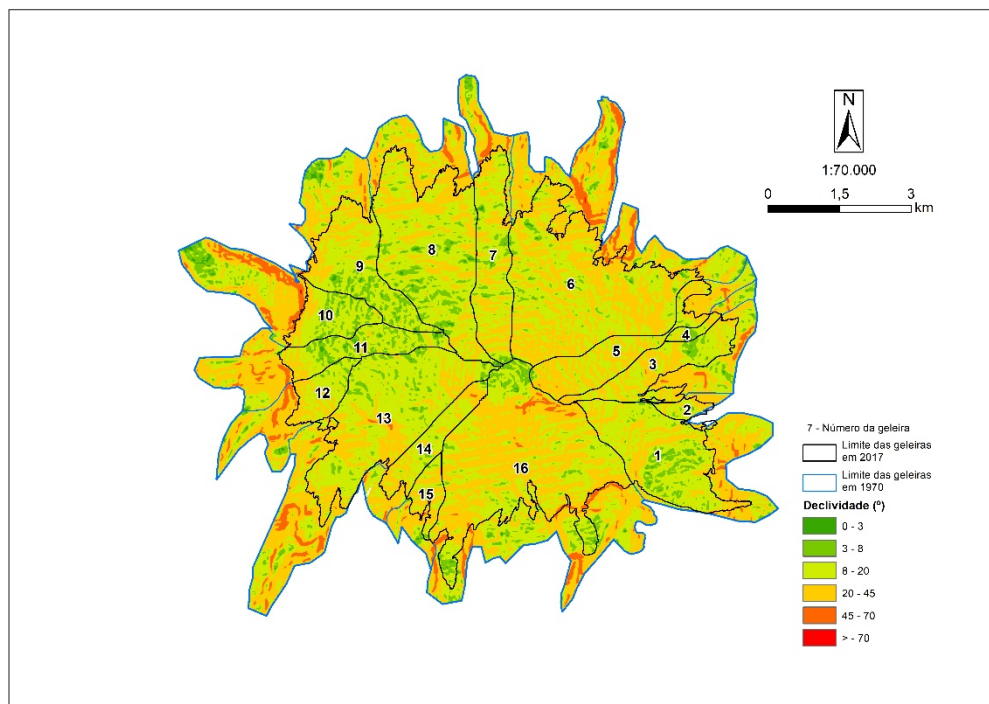


Figura 6. Declividade das geleiras no Monte Melimoyu em 1970 e 2017. Imagem do Sentinel-2 com RGB 432 cor-verdadeira.

Evidencia-se que a magnitude da resposta de cada geleira na área de estudo às forçantes pode ser modulada pelos fatores topográficos, como a declividade, a qual pode estar relacionada à declividade da topografia basal. A declividade proglacial obtida neste estudo, correspondente a área que se tornou livre de gelo entre 1970 a 2017, pode relevar as características desta topografia basal no setor próximo à frente da geleira (*snout*). Aniya & Enomoto (1986) ressaltam a relevância de entender a tipologia e topografia da zona de ablação no estudo dos diferentes comportamentos das geleiras na Patagônia Norte.

Avalanchas são especialmente condicionadas a terrenos íngremes. Este processo é responsável pelo transporte de camadas espessas de neve dessas áreas (Pellicciotti *et al.*, 2014; Kuhn *et al.*, 1999). A presença de área das geleiras em setores com declividade, principalmente as iguais ou maior que 70°, pode ter uma alta influencia no processo de retração experimentado pelas geleiras do Monte Melimoyu. Ainda que o efeito de uma determinada flutuação climática



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

no balanço de massa da geleira depende da distribuição área-altitude da geleira (Nesje & Dahl, 2000).

A geleira rochosa (destacada na Figura 1), identificada por Ferrando (2017) e Idalino *et al.* (2018), aparentemente se encontra em um processo de isolamento térmico ocasionado pela cobertura de detritos, que deriva de uma geleira branca regenerada (Ferrando, 2017), o que deve estar mantendo a geleira livre das variações apresentadas.

4. Conclusões

Ao analisar as médias dos dados de temperatura e precipitação no período 1970-2017 foram encontradas tendências de aumento nas médias de temperatura superficial anual e diminuição nas médias de precipitação média anual. Os dados de área total das geleiras apresentaram uma tendência contínua de diminuição de área percentual em todo o período. As tendências de condições mais secas e quentes analisadas no período podem estar diretamente relacionadas com o comportamento das geleiras analisadas. Estes resultados vão ao encontro de outros estudos na Patagonia por Masiokas *et al.* (2008), Schaefer *et al.* (2013) e Pellicciotti *et al.* (2014) sobre as variações das geleiras nas últimas décadas na região.

Coincidindo com estes resultados, as geleiras possuíam, no início do período de análise, os mais baixos valores de elevação nos setores frontais, bem como áreas frontais em locais de alta declividade, de maneira que a combinação destes fatores pode explicar os contrastes entre as variações de elevação de linha de frente e de área de geleiras do Monte Melimoyu no período de análise. Desta forma, a intensidade da resposta de cada geleira na área de estudo às forçantes pode ser modulada pelos fatores topográficos, como a declividade, a qual pode estar relacionada à declividade da topografia basal. Os resultados possibilitaram a disponibilização de um banco de dados atualizados em SIG, contendo informações relevantes das características das geleiras do Monte Melimoyu. Os dados podem ser úteis, de forma a colaborar com monitoramentos futuros sobre as mudanças ambientais de geleiras da região.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

5. 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.

6. Referências Bibliográficas

ACEITUNO, P. Relacion entre la posicion del anticiclone subtropical y la precipitación en Chile. **Relatório do Projeto no E.551.791 do Departamento de Geofísica da Universidade do Chile**. 14 p. 1980.

ANIYA, M., ENOMOTO, H. Glacier Variations and Their Causes in the Northern Patagonia Icefield, Chile, since 1944. **Arctic and Alpine Research**. v. 18, n. 3 p. 307-316, 1986. <https://doi.org/10.1080/00040851.1986.12004092>.

ANIYA, M. Glacier variations of Hielo Patagónico Norte, Chile, for 1944/45-2004/05. **Bull. Glaciol. Res.** v. 24. p. 59–70, 2007.

CHRISTOPHERSON, R. W., & G. H. BIEKERLAND. Geossistemas, uma introdução à Geografia Física – 9ª Ed. **Bookman**. Porto Alegre, 656 p. 2017.

FERRANDO, F. Sobre la distribución de Glaciares Rocosos en Chile, análisis de la situación y reconocimiento de nuevas localizaciones. **Investigaciones Geográficas**. V. 54, p. 127–144, 2017.

GARREAUD, R., LOPEZ, P., MINVIELLE, M., ROJAS, M. Large-Scale Control on the Patagonian Climate. **Department of Geophysics**. v. 26, p. 215-230, 2013.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

IDALINO, F. D., ROSA, K. K., ACUÑA, F. F., VEETIL, B. K., SIMÕES, J. C., SOUZA JR, E. Recent glacier variations on Mount Melimoyu (44°50'S-72°51'W), Chilean Patagonia, using Sentinel-2 data. **Geocarto International**. 2018. No prelo.

IPCC. 2013. The physical Science basis – Summary for policymakers. https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WGIAR5_SPM_brochure_en.pdf

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. Klimate der Erde. **Gotha: Verlag Justus Perthes**. 1928. Wall-map.

KUHN, M; DREISEITL, E; HOFINGER, S; MARKL, G; SPAN, N; KASER, G. Measurements and models of the mass balance of hintereisferner. **Geografiska Annaler**. V. 81, n. 4, p. 659–670, 1999.

LOPEZ, P; NAJIB, K; CARRASCO, J; CASASSA, G. Analysis of meteorological data from NCEP/NCAR reanalysis, radiosonde data and surface stations, and its relation with glacier behaviour in Patagonia during the last 50 years. Proceedings Fourth EGU Alexander von Humboldt Int. **Conf., Santiago, Chile, EGU**. v. 73, 2010.

MASIOKAS, M; VILLALBA, R; LUCKMAN, B; LASCANO, M; DELGADO, S; STEPANEK, P. 20th-century glacier recession and regional hydroclimatic changes in northwestern Patagonia. **Global and Planetary Change**. v. 60, p. 85-100, 2008.

MERNILD, SH., BECKERMAN, AP., Y, DE JC., HANNA, E., MALMROS, JK., WILSON, R., ZEMP, M. Mass loss and imbalance of glaciers along the Andes Cordillera to the Sub-Antarctic islands. **Global and Planetary Change**. v. 133, 109–119. 2015.

MÖLLER, M; SCHNEIDER, C; KILIAN, R. Glacier change and climate forcing in recent decades at Gran Campo Nevado, southernmost Patagonia. **Annal of Glaciology**. v. 46, 136–144, 2007.

NESJE, A; DAHL, S, O. Glaciers and Environmental Change. Key issues in Environmental Change. **Hodder Education**. 203 p. 2000.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

PATERSON, W, S, B. *The Physics of Glaciers*. **Butterworth-Heinemann, third edition**. 1999.

PELLICCIOTTI, F., S. RAGETTLI., M. CARENZO., J. MCPHEE. Changes of Glaciers in the Andes of Chile and Priorities for Future Work. **Science of the Total Environment**. 493: 1197–1210. 2014.

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

REBOITA, M. S., M. A. GAN., R. P. DA ROCHA., AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 25, n. 2. p. 185–204. 2010.

SANCHES, A. M. **Variações na extensão da cobertura de gelo do Nevado Cololo, Bolívia**. Dissertação de Mestrado. UFRGS. 93p. 2013. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/72104>>.