AVALIAÇÃO DA RETRAÇÃO DA ÁREA SUPERFICIAL DE GELO E NEVE ENTRE OS ANOS DE 2001 E 2021 NA REGIÃO DA GELEIRA GREY, PARQUE TORRES DEL PAINE/CHILE COM USO DE IMAGENS LANDSAT.

Jean Marcel de Almeida Espinoza [1], Bento Almeida Gonzaga[2], Deivid Cristian Leal-Alves [3] e Tatiana de Almeida Espinoza [4]

[1]Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina – Campus Caçador, Avenida Fahdo Thomé, 3000, Caçador - SC, Brasil, CEP: 89.500-000, jean.espinoza@ifsc.edu.br; [2]Universidade Federal de Santa Catarina – Departamento de Geociências, Campus João David Ferreira Lima, s/n - Trindade - CEP 88.040-900 - Florianópolis/SC - Brasil. Centro de Filosofia e Ciências Humanas - Bloco F (3º andar) e profbentoag@gmail.com [3] Universidade Estadual do Matogrosso do Sul – UEMS – Campus Jardim, Av. 11 de Dezembro, 1425 - Vila Camisão, Jardim - MS, 79240-000, dclealalves@gmail.com; e, [4]A Universidade Federal do Rio Grande – FURG – Campus Carreiros, Instituto de Oceanografia (IO) - Av. Itália, km 8, Rio Grande - RS, Brasil, CEP: 96.203-900, tespinoza273@gmail.com

RESUMO

A caracterização da superfície de neve e gelo é indispensável para compreender a dinâmica da Criosfera na patagônia, e torna-se mais importante quando consideramos que esta é uma área sensível às mudanças climáticas. Através do processamento de imagens dos sensores dos satélites da LANDSAT com a aplicação de limiares sobre o Índice de Neve por Diferença Normalizada (NDSI), foram obtidas imagens binárias de neve/gelo (1) e não-neve (0) para os anos de 2001 e 2021. Os resultados mostram que a variabilidade climática local, reforçada pela ocorrência do *El-Niño* extremo entre os anos de 2015 e 2016, associado a diminuição da influência da Oscilação Antártica afetou diretamente a cobertura de neve e gelo da região da geleira Grey, mostrando uma importante diminuição da cobertura no período de 2001 e 2021. Esse indicativo das mudanças climáticas locais, apesar de não ser um comportamento definitivo, serve de alerta as demais regiões planetárias.

Palavras-chave — Criosfera, NDSI, Imagens LANDSAT, Mudanças Climáticas.

ABSTRACT

The characterization of the surface of snow and ice is indispensable to understand the dynamics of the Cryosphere in Patagonia, and it becomes more important when we consider that this is an area sensitive to climate change. Through the processing of images from the sensors of the LANDSAT satellites with the application of thresholds on the Normalized Difference Snow Index (NDSI), binary snow/ice (1) and non-snow (0) images were obtained for the years of 2001 and 2021. The results show that local climate variability, reinforced by the occurrence of extreme El-Niño between 2015 and 2016, associated with the decrease in the influence of the Antarctic Oscillation, directly affected the snow and ice cover of the Gray glacier region, showing an important decrease in coverage between 2001 and 2021. This indication of local climate change, despite not being a definitive behavior, serves as a warning to other planetary regions.

Key words — Criosphere, NDSI, LANDSAT Images, Climate Changes.

1. INTRODUÇÃO

O termo criosfera descreve coletivamente todos os elementos do sistema terrestre contendo água no estado sólido. Isso inclui o gelo marinho, gelo fluvial e lacustre, a cobertura de neve, precipitação sólida, o permafrost, o solo sazonalmente congelado, geleiras, calotas de gelo os dois mantos de gelo do planeta (Antártica e Groenlândia).

No presente, o gelo permanente cobre 12% da superfície do planeta, e no passado recente (18.000 anos antes do presente) cobriu 30% [1]. A criosfera. desempenha um papel fundamental na regulação das funções do clima global. [1]

Devido às características de reflexão do gelo e da neve e suas interações físicas com a atmosfera, a Criosfera tem um papel importante no equilíbrio energético global. Devido ao seu papel de regulação do clima, é fundamental que se desenvolva soluções de monitoramento continuo das condições da Criosfera, em escalas espaciais e temporais, identificando e sinalizando situações críticas de degelo [2].

Na patagônia, a redução das áreas glaciais é particularmente notória [3; 4]. Ao sul dos 50°S, os campos de gelo patagônico estão sujeitos a uma precipitação bem distribuída durante todo o ano, mostrando certa estacionalidade na acumulação de neve durante o inverno [5].

O uso do sensoriamento remoto (SR) é uma ferramenta que tem permitido melhorar o conhecimento dos processos de áreas de gelo e neve nos glaciais de montanha, já que permitem uma grande cobertura espacial e uma amostragem temporal regular, que possibilitam o monitoramento da presença de gelo e neve sobre aquelas áreas de difícil acesso [6; 7].

Para o estudo da Criosfera, o SR permite analisar e determinar vários dos parâmetros da neve e gelo [5], entre eles a refletância, processo pela qual a radiação de um objeto é refletida [6] e, que varia entre 1 e 0. As diferenças nas refletâncias medidas em valores numéricos e em faixas de comprimento de onda diferentes permitem a delineação de superfícies glaciais como também a classificação dos tipos de superfície (Fig. 1) [7; 8].

A variabilidade do clima na patagônia austral é um importante indicador das mudanças locais na Criosfera [9], servindo de indicador de variações climáticvas globais. Devido a sensibilidade desse ecossistema às variações térmicas e pela sua localicação mais próxima da linha do equador mudanças detectadas na patagônia Chilena serve como alerta as demais regiões.

As anomalias nas temperaturas e precipitações regionais teriam relação, principalmente, com as diferenças na pressão atmosférica entre latitudes médias e altas e com a influência dos ventos de oeste, fenômeno conhecido como Oscilação Antártica - OA [10].

Nesta região, também exerce influência o fenômeno *El Niño/Southern Oscillation* (ENSO), o qual é caracterizado por alterações na interação oceano-atmosfera sobre o oceano Pacífico Equatorial que causam mudanças no balanço térmico/hídrico em escala planetária com ocorrência entre 5 e 7 anos, afetando assim, os regimes de chuva em regiões tropicais e de latitudes médias [11].

O objetivo do presente estudo foi analisar o desempenho da metodologia de uso do Índice de Neve por Diferença Normalizada (NDSI, *Normalized Difference Snow Index*) aplicada na obtenção da superfície coberta de neve e gelo na região da geleira Grey/Parque Torres del Paine/Chile (Fig. 1), e relacionar esses resultados com dados climáticos da região, buscando compreender as varições presentes na cobertura de gelo e neve para essa região da patagônia.

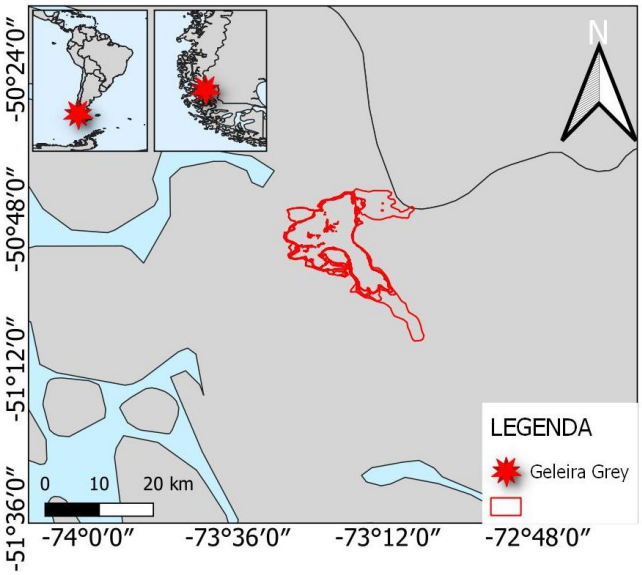


Figura 1. Localização da área de estudo.

Mudanças detectadas nessa região, servem de subsídio e alerta a mudanças de regimes pluviométricos em regiões tropicais e de latitudes médias e altas. Bem como, indicador de degelo em outras geleiras.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para análise proposta, foram utilizdas duas imagens da série LANDSAT, ambas do verão (janeiro), sendo uma imagem de 2001 do sensor TM/LANDSAT-5 e outra de 2021 do sensor OLI/LANDSAT-8. Essas imagens foram obtidas do repositório eletrônico do Serviço Geológico Americano (USGS), sem custos. As etapas metodológicas estão descritas na Figura 2.

Após a aquisição, essas imagens foram pré-processadas, recebendo: (a) calibração radiométrica, (b) correção atmosférica pelo método do pixel negro (DOS – *dark object subtract*) e (c) corregistro das cenas.

Em sequência, realizou-se a identificação da extensão da cobertura de neve através do emprego do Índice de Neve por Diferença Normalizada (NDSI). Por fim, os resultados de variação da cobertura de neve e gelo foram comparados com dados climáticos locais, buscando gerar o entendimento a cerca da dinâmica dessa cobertura sobre as variações climáticas locais.

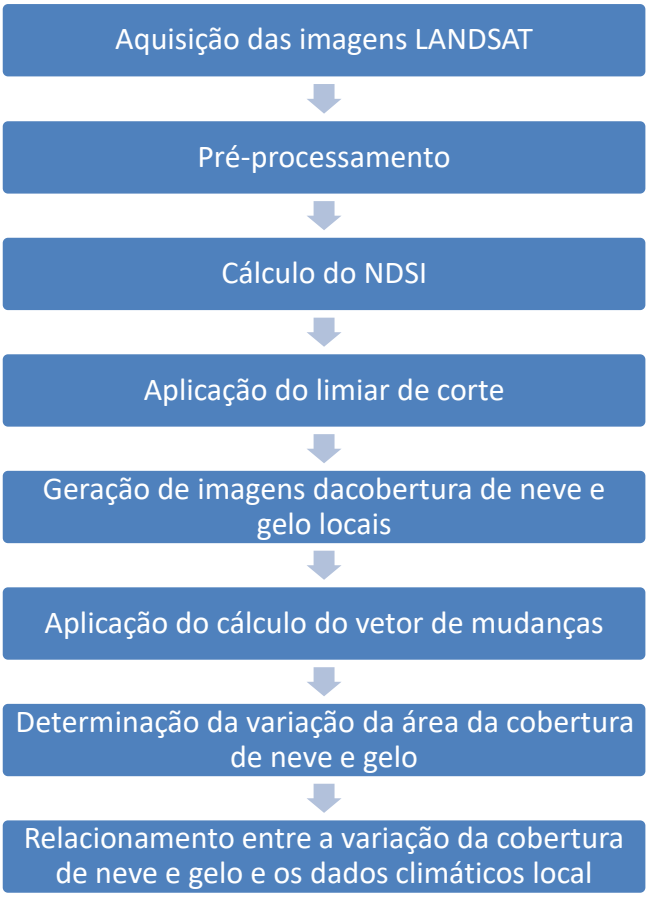


Figura 2. Fluxograma metodológico.

O NDSI: Utiliza as bandas espectrais de alta reflectância do espectro visível e a baixa reflectância do infravermelho de onda curta, através das seguintes equações (1 e 2):

- NDSI L5-TM = (b2 - b5) / (b2 + b5) (1)
- NDSI L8-OLI = (b3 - b6) / (b3 + b6) (2)

Os valores do NDSI variam entre -1 e 1, [6]. Para determinar a presença de neve e devido a constante presença de nuvens, o que poderia afetar nos cálculos de superfície nevada, foi utilizado um algoritmo de classificação por limiares, onde a presença de neve pode ser admitida quando o valor do NDSI é superior a 0,4 [7]. O NDSI obtido para as cenas de janeiro 2001 e janeiro 2021 foram classificados como 1 (neve/gelo) quando os valores foram superiores ao limiar 0,4 e como 0 (não-neve/gelo)

3. RESULTADOS

A análise da variação da área superficial de neve e gelo para área da geleira Grey com uso de imagens LANDSAT a partir da geração de imagens de neve e gelo via cálculo do NDSI e aplicação de limiar apontou uma redução na cobertura superficial de neve e gelo de 24.527,61 Hectares (Fig. 3.).

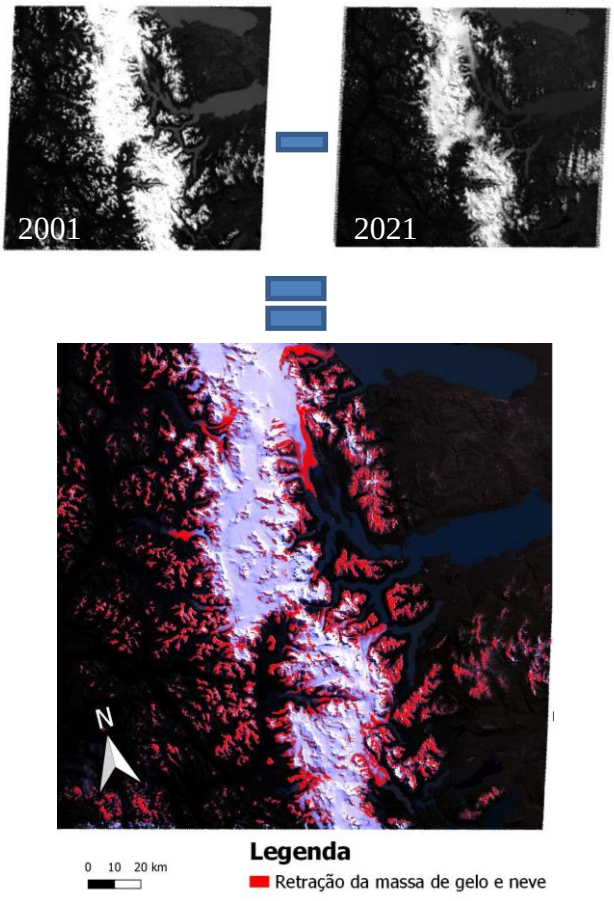


Figura 3. Variação na cobertura de neve e gelo no período.

As áreas de retração das massas de gelo e neve extraídas pela imagem diferença (Fig. 03) apontou uma retração superficial de 24.527,61 Hectares.

Assim, considerando a geomorfologia montanhosa e acidentada da região, as condições climáticas extremas dominantes, o NDSI utilizado com limiares de recorte, apresentou-se como uma alternativa robusta e de fácil aplicação para o mapeamento de áreas de cobertura de neve e gelo.

Os limiares aplicados para obter o NDSI foram capazes de classificar e diferenciar os alvos correspondentes a áreas de neve e gelo. O cálculo do vetor de mudanças permitiu determinar as variações na área de cobertura de neve e gelo. Esses resultados de variação acentuada da cobertura de neve e gelo (aproximadamente 25 mil hectares) apontaram grande correlação com a variação da temperatura media local que se elevou aproximadamente +2.6ºC no período [11].

4. DISCUSSÃO

O período analisado conteve cinco eventos de *El Niño* extremos mais fortes registrados nos últimos 72 anos: 2002, 2009, 1015, 2016 e 2018 [12]. Esses extremos podem ser reflexo das mudanças climáticas retratadas, o que expõe eventos extremos do clima, através de quebras de padrões climáticos e máximos e mímios além dos intervalos normais [1].

O início do ciclo quente se fortaleceu a partir de 2015, com anomalias da temperatura entre os +0,5º e +2,6°C além da média esperada. Além disso, [9] relata o deslocamento dos ventos de oeste para latitudes maiores, que está relacionado à fase quente do fenômeno da Oscilação Antártica.

A sobreposição desses fenômenos determinou uma importante diminuição nas precipitações, afetando, principalmente, o lado ocidental da região analisada. As flutuações das geleiras e superfícies nevadas locais são dirigidas, principalmente, pelas variações nas precipitações mais que pelas flutuações das temperaturas. Isso acontece devido ao fato de que sem precipitações não há acumulo de neve que venha a formar massas de gelo.

A área da geleira Grey, assim como as outras áreas de geleiras com acumulação de inverno, é mais sensível às precipitações [13], pois é a precpitação a componente base formadora de neve, e por consequência, das geleiras de acumulação. Neste mesmo sentido, para ter mais exatidão no momento de diferenciar superfícies, seria necessário aplicar uma máscara de nuvens. Enquanto que para diferenciar os pixeis de neve dos corpos de água poderia se aplicar o “Indice Diferencial de Àgua Normalizado” (NDWI, *Normalized Difference Water Index*) ou outras metodologias semelhantes para não subestimar os cálculos de superfície de neve.

As flutuações se associam principalmente, as mudanças das temperaturas médias locais. Enquanto que [13] assegura que as geleiras com acumulação de verão são mais sensíveis à temperatura que aqueles com acumulação de inverno.

5. CONCLUSÕES

Esta investigação é uma aproximação para quantificar a dinâmica da superfície de neve na região da geleira Grey e sua relação com as condições climáticas da região. Foram utilizadas imagens orbitais LANDSAT-5/TM e LANDSAT-8/OLI para calcular a superfície de neve e gelo para o perído de 2001 a 2021, sendo assim relacionadas com dados climáticos locais.

Os resultados mostram uma importante diferença negativa na extensão da área da superfície de neve e gelo calculada durante as datas selecionadas, com uma redução de aproximadamente 25 mil hectares. Isso impacta fortemente o albedo local e a capacidade de desprendimento de radiação desse ambiente, o que se reflet numa tendência de aquimento local com *feedback* positivo.

Estes resultados não podem ser considerados como um padrão de comportamento da superfície de neve e gelo na região durante a estação, uma vez que o perído de 20 anos, climaticamente falando, é limitado. Para definir uma relação mais precisa entre mudanças na superfície de neve e gelo e o clima da patagônia austral do Chile, é necessário ampliar as investigações dos dados climáticos e relacionar eles com índices históricos de fenómenos atmosféricos que afetem a região, assim como também uma amostragem continua, temporal e espacial, da superfície de neve e gelo locais.

8. REFERÊNCIAS

[1] T. F., STOCKER,; D., QIN; G. K., PLATTNER; L. V., ALEXANDER; S. K., ALLEN; N. L., BINDOFF; P., FORSTER. Technical summary. In Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, p. 33-115. Cambridge University Press, 2013.

[2] A., BHARDWAJ; L., SAM; A., BHARDWAJ; F. J., MARTÍN-TORRES. LiDAR remote sensing of the cryosphere: Present applications and future prospects. Remote Sensing of Environment, v. 177, p. 125-143, 2016.

[3] M. H., MASIOKAS; A., RIVERA; L. E., ESPIZUA; R., VILLALBA; S., DELGADO; J. C., ARAVENA. Glacier fluctuations in extratropical South America during the past 1000 years. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, v. 281(3), p. 242-268, 2009.

[4] P., LOPEZ; P., CHEVALLIER; V., FAVIER; B., POUYAUD; F., ORDENES; J., OERLEMANS. A regional view of fl uctuations in glacier length in southern South America. Global and Planetary Change, v. 71(1), p. 85-108, 2010.

[5] E., SAGREDO; T., LOWELL. Climatology of andean glaciers: A framework to understand glacier response to climate change. Global and Planetary Change, Elsevier, v. 86, p. 101-109, 2012.

[6] J. R., JENSEN. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Parêntese Editora, p. 53, 2009.

[7] W. G., REES. Remote sensing of snow and ice. [S.l.]: CRC press, p. 230, 2005.

[8] A., SEBEN-CAMPANA; K. K., ROSA; J., SIMÕES. O uso do sensoriamento remoto na detecção de mudanças na geleira Znosco, ilha Rei George, Antártica. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p. 919-924, 2015.

[9] R. D., GARREAUD; VUILLE, M.; R., COMPAGNUCCI; J., MARENGO. Presentday South American climate. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, v. 281(3), p. 180-195, 2009.

[10] N. P., GILLETT; D. W., THOMPSON. Simulation of recent southern hemisphere climate change. Science, American Association for the Advancement of Science, v. 302(5643), p. 273-275, 2003.

[11] A. M., GRIMM. Variabilidade interanual do clima no Brasil, in: Cavalcanti, I.F., Ferreira, A.N.J., Justi da Silva, M.G., Silva Dias, M.A.F. (Org.). Tempo e Clima no Brasil. 1ª ed. Oficina de Textos, São Paulo, pp. 353-374, 2009.

[12] NOAA. National Oceanic and Atmospheric Administration. Disponível em: https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/ enso.shtml. Acesso em: 21 set. 2022.

[13] K., FUJITA, Effect of precipitation seasonality on climate sensitivity of glacier mass balance. Earth and Planetary Science Letters, v. 276(1), p. 14-19, 2008.