

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

ALICE SEBEN CAMPANA

**ANÁLISE DE ÁREAS SUSCETÍVEIS À INUNDAÇÃO NA VILLA
O'HIGGINS, PATAGÔNIA CENTRAL, CHILE, UTILIZANDO O SENSORIAMENTO
REMOTO E O PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO**

Porto Alegre
2023

ALICE SEBEN CAMPANA

**ANÁLISE DE ÁREAS SUSCETÍVEIS À INUNDAÇÃO NA VILLA
O'HIGGINS, PATAGÔNIA CENTRAL, CHILE, UTILIZANDO O SENSORIAMENTO
REMOTO E O PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito para obtenção do título de mestre em Geografia.

Orientadora: Prof^a. Dra. Kátia Kellem da Rosa

Porto Alegre

2023

CIP - Catalogação na Publicação

Seben Campana, Alice
ANÁLISE DE ÁREAS SUSCETÍVEIS À INUNDAÇÃO NA VILLA
O'HIGGINS, PATAGÔNIA CENTRAL, CHILE, UTILIZANDO O
SENSORIAMENTO REMOTO E O PROCESSO ANALÍTICO
HIERÁRQUICO / Alice Seben Campana. -- 2023.
118 f.
Orientador: Kátia Kellem da Rosa.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa
de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, BR-RS,
2023.

1. Suscetibilidade à inundação. 2. Riscos
criosféricos. 3. Resposta paraglacial. 4.
Vulnerabilidade Socioambiental. 5. Ambiente de
montanha. I. da Rosa, Kátia Kellem, orient. II.
Título.

ALICE SEBEN CAMPANA

**ANÁLISE DE ÁREAS SUSCETÍVEIS À INUNDAÇÃO NA VILLA
O'HIGGINS, PATAGÔNIA CENTRAL, CHILE, UTILIZANDO O SENSORIAMENTO
REMOTO E O PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito para obtenção do título de mestre em Geografia.

Orientadora: Prof^a. Dra. Kátia Kellem da Rosa

Banca Examinadora:

Prof^a. Dra. Carina Petsch (UFSM)

Dr. Anderson Ribeiro de Figueiredo

Prof. Dr. Marcos Wellausen Dias de Freitas (UFRGS)

Porto Alegre
2023

Dedico esta dissertação de mestrado a quem pensa e pratica a possibilidade de uma sociedade diferente, de respeito para com a natureza e os ecossistemas.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer à Universidade Federal do Rio Grande do Sul pela possibilidade de fazer uma pós-graduação em uma instituição pública, gratuita e de altíssima qualidade. Viva o ensino público!

Agradeço ao laboratório Centro Polar e Climático por mais uma vez abrir as portas para fazer ciência junto a profissionais que admiro tanto.

À professora orientadora que admiro tanto, Kátia Kellem da Rosa, por todas as orientações e apoio durante estes 2 anos intensos de mestrado. Acredito que esta pesquisa só foi possível porque tive o melhor incentivo e condução até aqui.

À banca Carina, Anderson e Marcos pelas contribuições, disponibilidade e interesse em ler e compartilhar suas ideias nessa pesquisa.

À minha família, que sempre me incentiva ao estudo e apoia as minhas decisões.

Ao meu companheiro de vida, Felipe, que esteve comigo desde o início ao fim desta etapa acadêmica, acreditando e dando todo o suporte e carinho.

Às e aos amigos, que ajudaram de alguma forma, tornando este trabalho intelectual mais leve no meu dia a dia.

¡Gracias a la vida!

“A crise ecológica, ao ameaçar o equilíbrio natural do meio ambiente, não só põe em risco a fauna e a flora, mas também e acima de tudo a saúde, as condições de vida, a própria sobrevivência da nossa espécie. O combate para salvar o meio ambiente, que é necessariamente o combate por uma mudança de civilização, é um imperativo humanista, que preocupa não somente as classes sociais, como também todo o conjunto de indivíduos, as gerações futuras.

[...]

Quem é responsável por esta situação inédita na história da humanidade? É o homem, respondem os cientistas. A resposta é justa, mas um pouco curta: o homem vive na Terra há milhares de anos, a concentração de CO₂ na atmosfera começou a converter-se em um risco somente há algumas décadas. Enquanto isso, marxistas respondem aqui: *a falta corresponde ao sistema capitalista, a sua lógica absurda e irracional de expansão e de acumulação ao infinito, ao seu produtivismo obcecado pela busca por ganância.*

[...]

A solução é instaurar uma sociedade em que a produção e o consumo sejam democraticamente decididos por um conjunto da população, de acordo com critérios sociais e ecológicos que escapam à lógica do mercado e da ganância.”

RESUMO

A região da Villa O'Higgins (48°28'2"S, 72°33'27"O), Patagônia central, Chile, está situada em um contexto de influência da dinâmica de degelo glacial, onde são constatados eventos de inundações no rio Mosco que afetam a população local e o seu modo de vida. O objetivo da dissertação é identificar as áreas de maior suscetibilidade à inundações na comunidade e relacioná-las às características de uso e cobertura da terra da área, verificando as mudanças na cobertura glacial e lacustre desde 1985, por sensoriamento remoto. Foi realizado o levantamento de informações sobre os eventos de inundações a partir de reportagens disponíveis *on-line* e dados sobre as condições socioeconômicas da população local. A variação de área dos lagos e geleiras foi obtida por imagens de satélite entre 1985 e 2021. Também foram obtidas as classes de uso e cobertura da terra com dados de 2011 e com imagens de satélite PlanetScope de 2021. Os dados geoespaciais de drenagem, elevação, declividade, geologia e o uso e cobertura da terra foram considerados ao aplicar o Processo Analítico Hierárquico (PAH) para obter as áreas suscetíveis à inundação em duas sub-bacias que influenciam a comunidade Villa O'Higgins. As inundações são consideradas um dos riscos criosféricos crescentes na comunidade. Relatos de moradores locais em mídias eletrônicas e registros do *Servicio Nacional de Geología y Minería*, indicaram que está ocorrendo o aumento do aporte d'água no Rio Mosco nos últimos anos proveniente do degelo de neve e das geleiras a montante, além do aumento de eventos de chuvas intensas. A cobertura glacial teve uma perda de 40,83% de área e a cobertura lacustre teve um aumento de 422,22% de área no período entre 1985-2021. As classes de uso e cobertura da terra predominantes na sub-bacia do rio Mosco são mata nativa e rocha exposta. As áreas com alta a muito alta suscetibilidade à inundação correspondem a 4,11% (4,16 km²) da área das sub-bacias e estão associadas às classes rural e área urbanizada. A comunidade rural está situada próxima às margens do leito fluvial de maior largura, possuindo a mais elevada suscetibilidade à inundação, pois localizam-se no curso inferior da sub-bacia, que corresponde a classe planície aluvial, de baixa declividade e menor elevação na sub-bacia. As atividades de turismo e agricultura foram impactadas durante as inundações. A identificação das áreas suscetíveis a inundação na comunidade auxiliará no entendimento dos eventos de inundações locais futuros, em estudos de vulnerabilidade socioambiental e sobre a antecipação e mitigação dos possíveis impactos das mudanças climáticas às populações.

Palavras-chave: Suscetibilidade à inundação. Riscos criosféricos. Resposta paraglacial. Patagônia. Inundação. Vulnerabilidade Socioambiental. Ambiente de montanha.

RESUMEN

La región de Villa O'Higgins (48°28'2"S, 72°33'27"O), en Patagonia Central, Chile, se sitúa en un contexto de influencia de la dinámica de deshielo glacial, en la cual se perciben eventos de inundaciones en el río Mosco que afectan al pueblo local y su vida. El objetivo de este trabajo es identificar las áreas susceptibles a inundaciones en la comunidad y relacionarlas con las características de uso y cobertura del suelo de la zona, verificando cambios en la cobertura glacial y lacustre desde 1985, por teledetección. Se realizó la búsqueda de antecedentes sobre los eventos de inundaciones a través de reportajes disponibles en línea y datos sobre las condiciones socioeconómicas de la población local. La variación del área de los lagos y glaciares se obtuvo a través de imágenes de satélite entre 1985 y 2021. Se obtuvieron las clases de uso y cobertura de la tierra con datos de 2011 y con imágenes de satélite *PlanetScope* de 2021. Los datos geoespaciales de drenaje, elevación, declividad, geología y el uso y cobertura de la tierra se consideraron cuando se aplicó el Modelo de Proceso de Jerarquía Analítica (PJA) para encontrar las áreas susceptibles a la inundación en dos subcuencas que influyen en la comunidad Villa O'Higgins. Las inundaciones se consideran uno de los riesgos criosféricos crecientes en la comunidad. Relatos de habitantes locales en medios electrónicos y registros del Servicio Nacional de Geología y Minería, presentan indicios de que está ocurriendo el aumento del aporte de agua en el Río Mosco en los últimos años procedente del deshielo de nieve y de los glaciares a montante, además del aumento de eventos de lluvias intensas. La cobertura glacial tuvo una pérdida de 40,83% de área y la cobertura lacustre tuvo un aumento de 422,22% de área en el periodo 1985-2021. Las clases de uso y cobertura de la tierra que predominan en la subcuenca del río Mosco son vegetación nativa y roca expuesta. Las clases con alta a muy alta susceptibilidad a la inundación corresponden a 4,11% (4,16 km²) del área de las subcuencas y están asociadas a las clases rural y zona urbanizada. La comunidad rural se sitúa cercana a la orilla del cauce más ancho, en la cual se observa la más alta susceptibilidad a la inundación, pues se ubica en el curso inferior del subcuenca, que corresponde a la clase llanura aluvial, a las clases de bajo relieve y menor elevación. Las actividades de turismo y agricultura sufrieron impacto durante las inundaciones. La identificación de las áreas susceptibles a inundación en la comunidad ayudará a entender eventos de inundaciones locales futuras, en estudios de vulnerabilidad socioambiental y sobre la anticipación y mitigación de probables impactos a los pueblos.

Palabras clave: Sujeción a la inundación. Riesgos criosféricos. Respuesta paraglacial. Patagonia. Inundación. Vulnerabilidad Socioambiental. Ambiente de Montaña.

ABSTRACT

Villa O'Higgins (48°28'2"S, 72°33'27"O), in central Chilean Patagonia, is influenced by the dynamics of glacier melting and suffers from floods from the Mosco River that affect the local population and their way of life. The aim of this dissertation is to investigate areas susceptible to flooding in the community and variations in glacial and lake cover since 1985 by remote sensing. A survey has been carried out on flood events from available on-line reports and data on the socioeconomic conditions of the local population. Area variation of lakes and glaciers has been obtained from satellite images between 1985 and 2021. Land use and coverage classes have been obtained from 2011 data and *PlanetScope* satellite images from 2021. Geospatial data on drainage, elevation, slope, geology and land use and coverage have been considered when applying the Analytic Hierarchy Process Model (AHP) and obtaining areas susceptible to flooding in two sub-basins that influence Villa O'Higgins' community. Floods are considered one of the growing cryospheric risks in the community, as reports from local residents in electronic media and records of the National Geology and Mining Service, indicated that there has been an increase in the supply of water to the Mosco River in recent years from the melting of snow and glaciers upstream, in addition to an increase in heavy rainfall events. The glacial coverage has suffered an area loss of 40.83% and the lacustrine coverage had an area increase of 422,22% between 1985 and 2021. The predominant land use and cover classes in the Mosco River sub-basin are native forest and exposed rock. Areas with high to very high susceptibility to flooding correspond to 4,11% (4,16 km²) of the sub-basin area and are associated with the rural classes. The area where the rural community is located is very close to the riverbed banks with greater width and is more susceptible to flooding, as they are located in the lower course of the sub-basin, which corresponds to the alluvial plain class, to the lower elevation slopes and lower sub-basin elevation. Tourism and agriculture were impacted during the floods. The identification of areas susceptible to flooding in the community will help in understanding future local flood events, in studies of socio-environmental vulnerability and in anticipating and mitigating possible impacts on populations.

Keywords: Flood susceptibility. Cryospheric hazards. Paraglacial response. Patagonia. Inundation. Socio-environmental vulnerability. Mountain environment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da Villa O'Higgins.	21
Figura 2. Localização da Villa O'Higgins e de suas sub-bacias hidrográficas.	22
Figura 3. Perfil esquemático do processo de inundação.	24
Figura 4. Os principais eventos perigosos da criosfera terrestre.	25
Figura 5. Relação entre conceitos.	30
Figura 6. Zona de acumulação e ablação de uma geleira.	34
Figura 7. Gráfico da precipitação média mensal (barras em cinza) e da temperatura média mensal (linha laranja) de Villa O'Higgins.	38
Figura 8. Precipitação média anual e projeção para 2061-2080.	39
Figura 9. Painel esquerdo: anomalia da temp. mínima (°C). Painel direito: anomalia da temp. máxima (°C), desde 1990 até 2017.	40
Figura 10. Precipitação Histórica Anual entre 1990 e 2022.	42
Figura 11. Fluxograma da metodologia realizada na pesquisa.	44
Figura 12. Quantidade de notícias sobre inundações encontradas por ano.	66
Figura 13. Reportagem sobre isolamento familiar devido ao aumento da vazão do Rio Mosco.	67
Figura 14. Reportagem sobre degelo glacial e aumento da vazão do Rio Mosco.	67
Figura 15. Gráfico da precipitação média mensal para o ano de 2018.	68
Figura 16. Reportagem sobre inundação na Villa O'higgins.	69
Figura 17. Reportagem sobre inundação na Villa O'higgins.	69
Figura 18. Reportagem sobre inundação na Villa O'higgins.	70
Figura 19. Fotografia da ponte rompida com a inundação.	70
Figura 20. Fotografia de residência atingida pela água.	71
Figura 21. Reportagem sobre resgate de morador em inundação.	71
Figura 22. Reportagem sobre resgate de campesinos em inundação.	72
Figura 23. Residência invadida por água e sedimentos.	72
Figura 24. Residências inundadas por água e sedimentos.	73

Figura 25. Residências inundadas por água e sedimentos.	73
Figura 26. Trecho de reportagem sobre inundação pelo derretimento da neve.	73
Figura 27. Trecho de reportagem sobre inundação pelo derretimento da neve.	74
Figura 28. Trecho de reportagem sobre aumento do degelo de geleira.	74
Figura 29. Trecho de reportagem sobre aumento do degelo de geleira.	74
Figura 30. Planície de inundação.	75
Figura 31. Reportagem sobre a prevenção de inundações no Rio Mosco.	75
Figura 32. Recuo de geleiras da área de estudo.	77
Figura 33. Variação da cobertura glacial entre 1985 e 2021 na sub-bacia do rio Mosco.	77
Figura 34. Variação de área dos lagos proglaciais na sub-bacia do Rio Mosco.	78
Figura 35. Variação na área dos lagos proglaciais entre 1985 e 2021 na sub-bacia do Rio Mosco.	78
Figura 36. Mapa do uso e cobertura da terra da área de estudo.	81
Figura 37. Mapa hipsométrico da área de estudo.	82
Figura 38. Mapa da declividade da área de estudo.	83
Figura 39. Curvas de nível, mapa geológico e de padrões de forma de relevo da área de estudo.	84
Figura 40. Mapa dos Perfis Topográficos da área de estudo.	85
Figura 41. Mapa da distância em relação ao curso d'água da área de estudo.	86
Figura 42. Mapa da suscetibilidade à inundação na sub-bacia.	87
Figura 43. Mapa da suscetibilidade à inundação na Villa O'Higgins.	88
Figura 44. Mapa da suscetibilidade à inundação na Villa O'Higgins.	89
Figura 45. Contexto do aumento de riscos em regiões criosféricas de montanha.	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Relação de anos com os fenômenos climáticos.	42
Tabela 2. Dados adquiridos.	47
Tabela 3. Chave de interpretação de imagens de satélite na composição RGB 432.	50
Tabela 4. Escala de conversão.	52
Tabela 5. Matriz de comparação pareada (A) de classes.	57
Tabela 6. Matriz de comparação pareada (A) de critérios.	59
Tabela 7. Matriz ponderada das classes.	60
Tabela 8. Matriz ponderada de critérios.	62
Tabela 9. Índice de Consistência randômico médio do PAH, segundo Saaty (1991).	63
Tabela 10. Índice e Razão de Consistência dos critérios.	64
Tabela 11. Índice e Razão de Consistência das classes.	64
Tabela 12. Variação da cobertura glacial e de lagos proglaciais entre 1985 e 2021 na sub-bacia do Rio Mosco.	66
Tabela 13. Eventos de inundação identificados nas mídias digitais.	69
Tabela 14. Dados estatísticos da Villa O'Higgins com alguns indicadores do município para o ano de 2017, segundo a DPDR (2020).	80
Tabela 15. Dados estatísticos do uso e cobertura da terra (áreas em metros e em percentual) em 2021.	81
Tabela 16. Estimativa da área de suscetibilidade à inundação.	86
Tabela 17. Medidas estruturais e não estruturais como estratégias de adaptação	99

SIGLAS

ALOS Palsar	Advanced Land Observing Satellite Palsar
DMC	Dirección Meteorológica de Chile
ENSO	El Niño-Oscilação do Sul
GLIMS	Global Land Ice Measurements from Space
GLOF	Glacial lake outburst flood
ICIMOD	International Centre for Integrated Mountain Development
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
PAH	Processo Analítico Hierárquico
RC	Razão de Consistência
SERNAGEOMIN	Servicio Nacional de Geología y Minería
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
MDE	Modelo Digital de Elevação
UTM	Universal Transversa de Mercator
WGS 84	World Geodetic System

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1 OBJETIVO GERAL	18
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
1.3. JUSTIFICATIVA	19
1.4 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	21
2. REFERENCIAL TEÓRICO	23
2.1 INUNDAÇÕES EM AMBIENTES DE MONTANHA: FATORES ASSOCIADOS ÀS FLUTUAÇÕES SAZONAIS	23
2.2 INUNDAÇÕES NOS AMBIENTES DE MONTANHA E OS RISCOS CLIMÁTICOS ASSOCIADOS À CRISE CLIMÁTICA	28
2.2.1 Riscos, suscetibilidade e vulnerabilidade socioambiental	28
2.2.2 Riscos criosféricos e vulnerabilidade socioambiental nas regiões de montanha	31
2.2.3 Mudanças climáticas e seus impactos nos ambientes de montanha	33
2.3 O CONTEXTO DA PATAGÔNIA CENTRAL	37
3. MATERIAIS E MÉTODOS	44
3.1 PESQUISA EXPLORATÓRIA	45
3.1.2 Notícias em Mídias Digitais	45
3.2 AQUISIÇÃO, PREPARAÇÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS GEOESPACIAIS	45
3.3 MODELO DE PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO (PAH)	51
3.3.1 Matriz de comparação e normalização	55
3.4 ANÁLISE DO MAPA DE SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO	65
4. RESULTADOS	66
4.1 AS INUNDAÇÕES REPORTADAS POR NOTÍCIAS EM MEIOS ELETRÔNICOS	66
4.2 O CONTEXTO DE AUMENTO DOS LAGOS E DA RETRAÇÃO DAS GELEIRAS	76
4.3 CARACTERIZAÇÃO SOCIOECONÔMICAS E ANÁLISE DOS ATRIBUTOS AMBIENTAIS	79
4.3.1 Dados censitários sobre a população	79
4.3.2 Uso e cobertura da terra	80
4.3.3 Caracterização de aspectos climáticos, geomorfométricos e da geologia das sub-bacias hidrográficas	82

	16
4.3.4 Distância da Margem do Leito Fluvial	85
4.3.5 Mapa de Suscetibilidade à inundação	86
5. DISCUSSÕES	90
5.1 A ALTA SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO NO POVOADO VILLA O'HIGGINS	90
5.2 A SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO E O CONTEXTO DE AUMENTO DOS RISCOS CRIOSFÉRICOS NAS SUB-BACIAS	90
5.3 VULNERABILIDADE AMBIENTAL E A NECESSIDADE DE ESTRATÉGIAS DE ADAPTAÇÃO NA COMUNIDADE DIANTE DAS MUDANÇAS AMBIENTAIS NA SUB-BACIA	95
5.4 O USO DE GEOTECNOLOGIAS E DO MÉTODO PAH PARA ANALISAR AS ÁREAS SUSCETÍVEIS À INUNDAÇÃO NO POVOADO	99
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	102
REFERÊNCIAS	105

1. INTRODUÇÃO

Os riscos criosféricos afetam populações em todo planeta, incluindo as áreas de montanhas como os Andes, Alpes e Himalaia, além de áreas de altas latitudes, como o Ártico e a Patagônia. O recuo de geleiras, inundações por transbordamento, rompimento de lagos glaciais, as avalanches, os deslizamentos de terra e as enxurradas e inundações relacionadas à variabilidade do aporte hídrico do degelo da neve e gelo podem levar à impactos negativos ou mesmo catastróficos para as populações regionais, conforme o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2013; 2021).

Estudos sobre as regiões de montanha que envolvem o monitoramento de geleiras tropicais são diversos e indicam várias áreas sujeitas a inundações devido ao transbordamento de lagos e rios (BAT'KA *et al.*, 2020). Os riscos criosféricos, como as inundações, também têm sido cada vez mais estudados na região da Patagônia devido a crescente preocupação da população com a retração glacial e consequente crescimento em número e tamanho de lagos proglaciais (WILSON *et al.*, 2018), já que são sensíveis e suscetíveis a alterações hídricas (ANACONA, NORTON & MACKINTOSH, 2014; WILSON *et al.*, 2018; WILSON *et al.*, 2019).

Segundo Shugar *et al.* (2020) globalmente se verifica o aumento de área dos lagos glaciais para o período de 1990 - 2018 (crescimento de volume de 48%). Os Andes Centrais e a Patagônia Norte e Sul apresentam forte tendência geral de crescimento de lagos glaciais entre 1986 e 2016 como consequência do degelo glacial (WILSON *et al.*, 2018). De acordo com os mesmos autores, foi analisado que esses lagos aumentaram em número (43%) e extensão de área (7%) durante o período de observação de aproximadamente 30 anos. Além disso, a distribuição desses lagos com maiores mudanças ocorre em direção aos territórios chilenos mais glacializados na Patagônia Sul.

A região que compreende a Villa O'Higgins, Patagônia central, sul do Chile, vem sofrendo com alterações ambientais que afetam a população local e seu modo de vida. O informe técnico produzido pelo *Servicio Nacional de Geología y Minería* (SERNAGEOMIN, 2018), aponta que a região enfrenta períodos de chuvas intensas, causando inundações no Rio Mosco. Alguns moradores sofrem com o

transbordamento do rio, principalmente aqueles que vivem próximos ao curso d'água, que invade suas propriedades e residências com água, sedimentos e detritos, ameaçando a segurança de indivíduos e grupos sociais. Essas inundações são cada vez mais frequentes devido à tendência de aumento das temperaturas do ar e eventos extremos de precipitação na região nas últimas décadas (SERNAGEOMIN, 2018). As precipitações não se mantêm em estado sólido na região montanhosa da bacia hidrográfica, aumentando o fluxo hídrico nos arroios que alimentam rios e lagos, somado ao degelo glacial, que também contribui para esse aumento hídrico (SERNAGEOMIN, 2018).

Considerando a relação entre o aumento da quantidade de lagos pelo aporte de degelo, a ocorrência de eventos de precipitação concentrada e a ocorrência de áreas inundadas a jusante, entende-se que, para diminuir os impactos negativos de uma inundação, é relevante avaliar o seu risco potencial a desastres naturais relacionados à água (ICIMOD - International Centre for Integrated Mountain Development, 2011). Com isso, como uma possibilidade de mapeamento de áreas suscetíveis à inundação, pode-se perguntar: qual o papel da análise de suscetibilidade para a sociedade frente às mudanças ambientais? Em sua análise espacial de suscetibilidade à inundação, Miranda (2016) mostra que o mapeamento dessas áreas suscetíveis ao evento de inundação é de extrema relevância para o planejamento do território, subsidiando a prevenção e o controle de desastres naturais.

As principais questões que conduzem a presente pesquisa são: a) Quais são os fatores socioambientais que influenciam nas inundações que ocorrem na Villa O'Higgins nos últimos anos e que podem ser analisados por sensoriamento remoto?; b) Quais são as áreas suscetíveis à inundação na Villa O'Higgins?; c) Quais desses fatores são influenciados pelas mudanças climáticas já relatadas na região (VEETIL & KAMP, 2021)?; d) E qual o grupo social que está mais vulnerável aos eventos de inundação na comunidade?

1.1 OBJETIVO GERAL

Esta pesquisa tem como objetivo identificar as áreas de maior suscetibilidade à inundações na Villa O'Higgins (48°28'2"S, 72°33'27"O) e relacioná-las às

características de uso e cobertura da terra da área, verificando as mudanças na cobertura glacial e lacustre no contexto da sub-bacia do rio Mosco, setor oeste da Sierra de Sangra, Região de Aysén, Patagônia Central, Chile.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Buscar por dados das condições socioeconômicas da população e informações referentes às inundações na Villa O'Higgins em jornais eletrônicos e outros veículos de imprensa;
- b) Levantamento das características de uso e cobertura da terra, de dados ambientais (geologia, hidrologia e geomorfometria) para mapear áreas suscetíveis à inundação no contexto das sub-bacias influenciadas pelo rio Mosco por análise multicritério (Processo Analítico Hierárquico);
- c) Quantificar a variação de lagos e geleiras de 1985 a 2021 na sub-bacia hidrográfica do Rio Mosco utilizando imagens de satélite.

1.3. JUSTIFICATIVA

A escolha da área de estudo, a Villa O'Higgins, justifica-se por estar localizada no contexto da região da Patagônia central, região classificada como Andes úmido por Schoolmeester *et al.* (2018), onde as geleiras do campo de gelo Patagônico Sul apresentaram um rápido recuo de sua frente (SAKAKIBARA & SUGIYAMA, 2014). Como resultado dessa rápida retração na Patagônia, surgem novos lagos. Os lagos e rios são importantes indicadores das mudanças ambientais, recebendo aporte hídrico conforme ocorre o degelo na estação de ablação. Conseqüentemente, se a perda de massa da geleira é constante ao longo dos anos, os lagos e rios podem ser alimentados com maior volume de água de degelo. Analisar a retração de geleiras torna-se relevante para entendermos o seu comportamento diante da crise climática e, assim, influenciando no tamanho dos lagos a montante, que pode afetar populações localizadas a jusante. Além disso, a água do degelo está relacionada com a forma de vida dessas populações localizadas próximas às geleiras, possibilitando a segurança hídrica e soberania desses povos.

As inundações de rios, como o Rio Mosco (Villa O'Higgins), têm afetado a população que vive nas margens desse curso d'água (SNGM, 2018). Entender a suscetibilidade e gerenciar os eventos como inundações e desastres de qualquer tipo é essencial para compreender a interação entre as suas forçantes sociais e ambientais (CAREY *et al.*, 2015). A partir disso, a pesquisa resultará na caracterização socioambiental da Villa O'Higgins, considerada como um ambiente de montanha. Esse estudo é relevante, pois para entender a suscetibilidade a inundações da região ocupada pela comunidade, se faz necessário compreender as complexidades ambientais da região (CARRIVICK & TWEED, 2016; WANGCHUCK, BOLCH & ROBSON, 2022).

Quando reconhecemos que o risco antecede o desastre, se abre a possibilidade de investigar quais são essas áreas suscetíveis a esse possível risco. A análise da suscetibilidade ambiental, o mapeamento e a espacialização dos dados de áreas que sofrem com a inundação possibilitará compreender, visualizar e buscar uma melhor gestão dos territórios expostos a situações de perigo, auxiliando no planejamento de estratégias de adaptação, no controle de desastres associados e de sua antecipação, como apontado em outros estudos (ANACONA, NORTON & MACKINTOSH, 2014; CARRIVICK & TWEED, 2016), compreendendo qual camada social está exposta a esse risco. Como afirma Figueiredo (2020), a sociocriofera andina apresenta elevada intensidade geodinâmica, por isso se faz importante o uso de estratégias para redução de possíveis desastres ambientais.

De forma geral, a análise de fatores e áreas susceptíveis à inundação nestes ambientes pode auxiliar no entendimento do impacto de mudanças sazonais e de longo prazo na neve e nas geleiras em resposta à crise climática nesta região de montanha. Devido à grande disponibilidade de dados gratuitos, o uso do sensoriamento remoto se mostra uma opção confiável quanto à manipulação de dados, com métodos automáticos e praticáveis. Em Figueiredo (2017), a integração de dados de sensoriamento remoto e sociocriofera permitiu compreender como os desastres em ambientes glaciais afetam as populações de Callejón de Huaylas, Peru. Assim, o presente trabalho também será uma contribuição às pesquisas na área de geotecnologias e ao sensoriamento remoto aplicado ao estudo da sociocriofera.

1.4 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A comunidade de Villa O'Higgins ($48^{\circ}28'2''\text{S}$, $72^{\circ}33'27''\text{O}$) encontra-se na região mais austral de Aysén, situando-se na fronteira entre o Chile e Argentina, próximo à região de Magallanes e o Parque Nacional Bernardo O'Higgins. O parque está localizado no Campo de Gelo Patagônico Sul, que abrange grande extensão de geleiras patagônicas na Cordilheira dos Andes. As figuras 1 e 2 localizam a Villa O'Higgins e o seu contexto no Chile, assim como as suas sub-bacias hidrográficas.

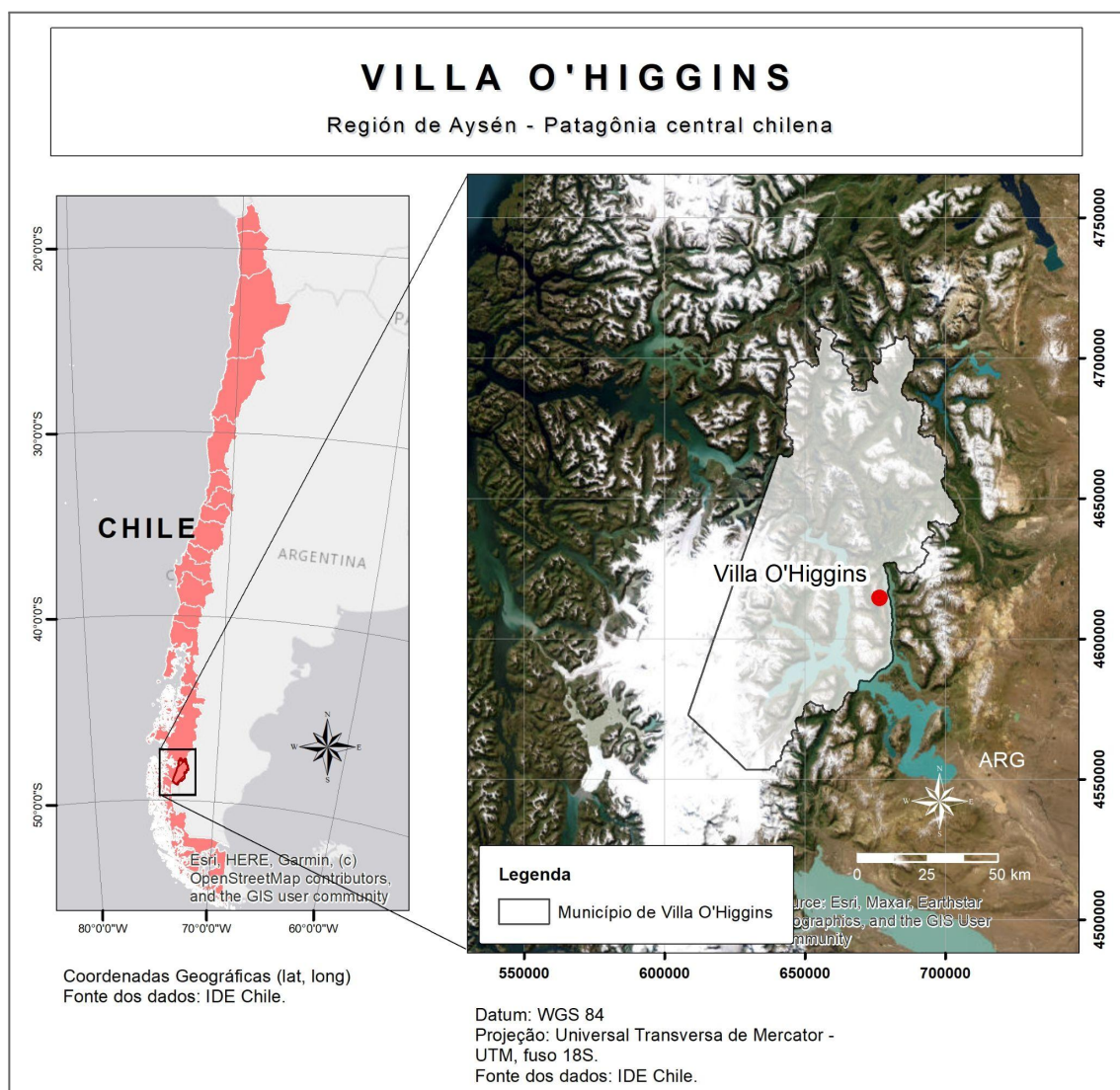


Figura 1. Localização da Villa O'Higgins. Fonte: Fonte: elaborado pela autora.

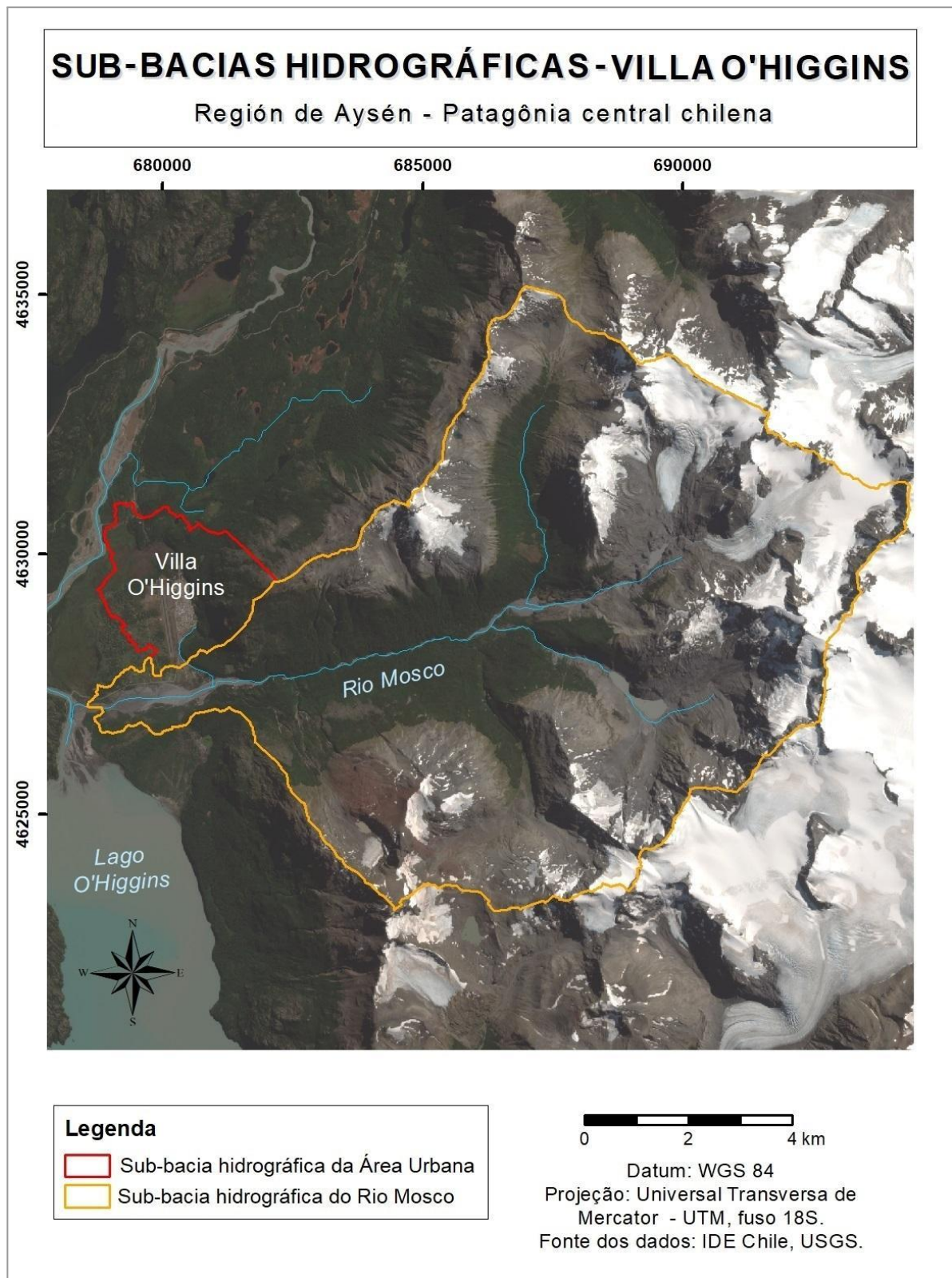


Figura 2. Localização da Villa O'Higgins e de suas sub-bacias hidrográficas. Fonte: elaborado pela autora.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo tem como objetivo abordar os principais conceitos a serem utilizados para embasar esta pesquisa. A fim de validar esta investigação, houve a necessidade da revisão bibliográfica.

2.1 INUNDAÇÕES EM AMBIENTES DE MONTANHA: FATORES ASSOCIADOS ÀS FLUTUAÇÕES SAZONAIS

Segundo Cred (2021), as inundações configuram-se como um dos desastres ambientais mais recorrentes no mundo. Podem ser graduais, no qual o aumento da vazão e o transbordamento do rio ocorrem lentamente, ou bruscamente, ocorrendo de forma repentina e ocasionando pouco tempo para emissão de alerta para as comunidades (GOERL & KOBIYAMA, 2005).

A inundação ocorre quando a descarga d'água atinge uma magnitude que pode superar a capacidade de descarga do canal do curso d'água, extravasando para áreas próximas que habitualmente não são ocupadas pelas águas (IPT, 2007). Amaral e Ribeiro (2009) afirmam que as inundações são eventos naturais que podem ocorrer com o transbordamento de cursos d'água após chuvas fortes e rápidas ou de longa duração, atingindo, assim, a planície de inundação ou áreas de várzea (figura 3). Esse processo faz parte de uma bacia hidrográfica, que converge e escoar a água para partes mais baixas da mesma (HOFFMANN *et al.*, 2014).

A área que recebe periodicamente o transbordamento dos cursos d'água é chamada de planície de inundação (IPT, 2007). Essas são áreas relativamente planas que recebem os excessos de água de rios e o canal de drenagem que confina um curso d'água denominado leito menor e a planície de inundação representa o leito maior do rio (Figura 3) (IPT, 2007).

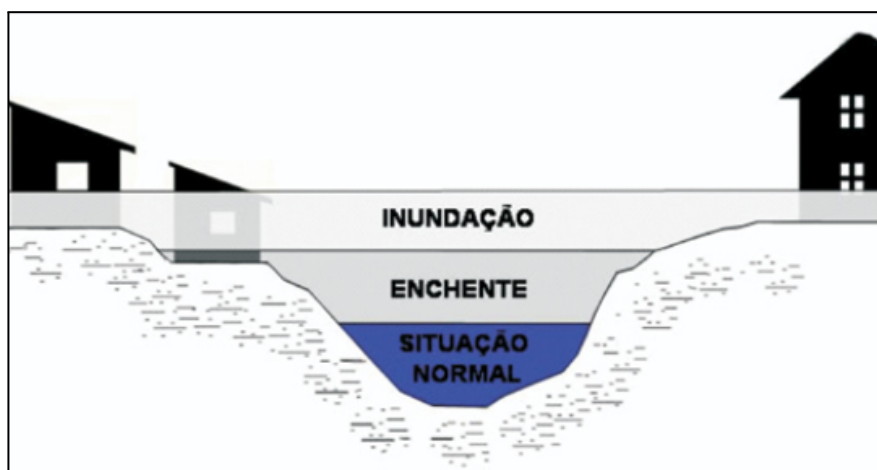


Figura 3. Perfil esquemático do processo de inundação. (IPT, 2007)

A análise de áreas susceptíveis a esses eventos considera que as inundações são resultado de interações entre fatores, como relevo, solo, clima, e cobertura e uso da terra (HOFFMANN *et al.*, 2014). Nas áreas de alta montanha, a água do degelo é a principal fonte hídrica em direção a jusante, de acordo com Barnett *et al.* (2005). Esses sistemas influenciados pela geleira são chamados de paraglaciais (BALLANTYNE, 2002). Para Knight e Harrison (2018), estas áreas são passíveis de mudanças constantes. Há diversos processos que influenciam os sistemas paraglaciais e estes respondem ao que ocorre nas geleiras e nos lagos represados por morainas ou por gelo (WILSON *et al.*, 2019).

Em sua pesquisa sobre geleiras de montanhas no Platô Tibetano, Chen *et al.* (2017), investigaram sobre como a neve e o derretimento de geleiras contribuem para o escoamento hídrico de uma bacia hidrográfica e influenciam em eventos de inundações. A cobertura de neve e a geleira desempenham papéis diferentes na criosfera, sendo a primeira dependente da condição meteorológica; a segunda, de condições do sistema climático em larga escala de tempo (HAEBERLI & WHITEMAN, 2015).

Ao considerar as mudanças na cobertura de neve e derretimento ao longo do ano, Benn e Evans (2010) afirmam que a rede de drenagem de bacias influenciadas por geleiras desenvolve-se completamente durante a estação de derretimento, aportando água de degelo até o fim da temporada de ablação. Essas mudanças sazonais têm um grande impacto nos processos hidrológicos (por exemplo,

inundação na primavera) e nas atividades humanas a jusante (por exemplo, produção agrícola, energia hidrelétrica e abastecimento de água).

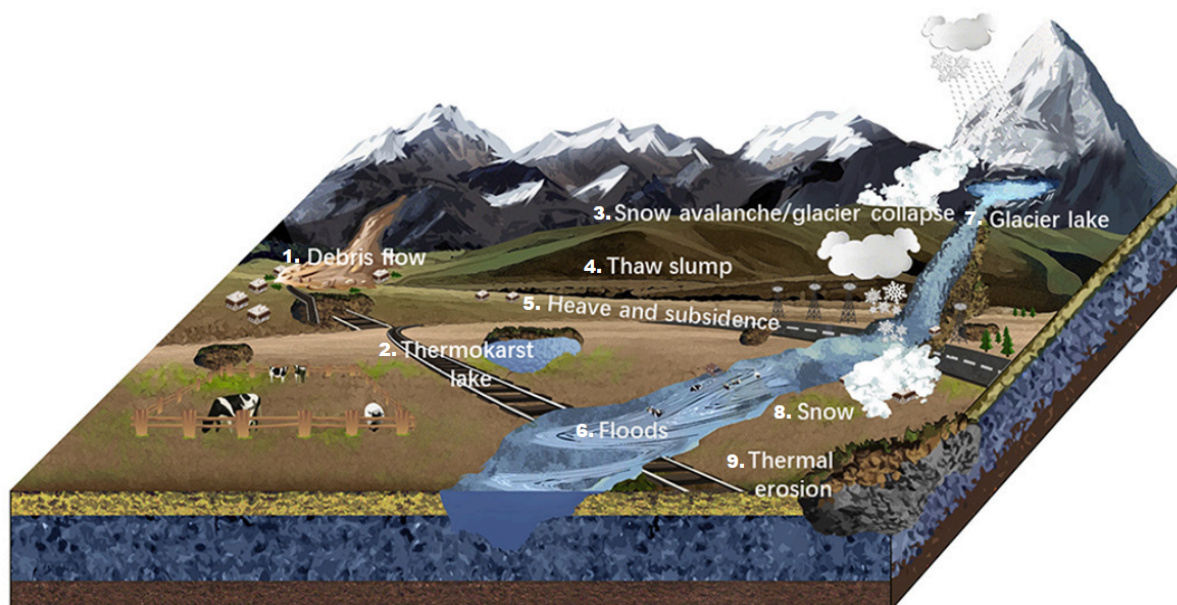


Figura 4. Os principais eventos perigosos da criosfera terrestre (tradução nossa): 1. Fluxo de detritos; 2. Lago Thermokarst; 3. Avalanche de neve/colapso da geleira; 4. Deslizamento de solo em descongelamento; 5. Elevação e subsidência do solo; 6. Inundações; 7. Lago glacial; 8. Neve; 9. Erosão termal (DING *et al.* 2021).

Assim, as inundações nesses ambientes podem ser associadas ao ciclo de derretimento de neve e gelo e ocorrem principalmente na primavera e verão. Em áreas altas de montanhas, a elevação da temperatura média do ar ao longo dos dias pode levar ao rápido derretimento sazonal das geleiras e aumentar o suprimento de água para canais fluviais e lagos (DING *et al.*, 2016). O monitoramento e a previsão de mudanças sazonais e de longo prazo na neve e nas geleiras em resposta à emergência climática é essencial para a compreensão dos processos hidrológicos na criosfera e da gestão dos recursos hídricos nas regiões de montanha (CHEN *et al.*, 2017).

Os GLOFs (*Glacial lake outburst flood*) são tipicamente gerados pela ruptura de lagos represados por gelo ou represados por morainas (CARRIVICK & QUINCEY, 2014). Os lagos glaciais podem ser classificados como lago de erosão glacial, lago represado por moraina, lago represado por gelo, lago supraglacial, lago subglacial e outros lagos glaciais, incluindo lagos represados por materiais gerados por

deslizamento de terra, avalanche, fluxo de detritos, etc. (Figura 4, DING *et al.*, 2021). Os processos de recuo de geleiras geram esses lagos glaciais (WARREN & ANIYA, 1999; CLAGUE & O'CONNOR, 2015). Os GLOFs são particularmente significativos, pois têm o potencial de impactar áreas de dezenas a centenas de quilômetros a jusante da localização do lago (UNEP, 2007). Assim, têm o potencial de alterar significativamente os canais dos rios a jusante e inundar áreas agrícolas e urbanas (HARRISON *et al.*, 2018). A região da Patagônia, por exemplo, foi impactada por um grande GLOF em dezembro de 2015, no Vale do Chileno (46,52°S, 73,12°W). Os dados hidrográficos sugerem que a inundação continuou por cerca de oito dias com uma descarga total estimada de 105,6×106m³ de água. Como resultado da sequência de eventos, até áreas mais a jusante receberam grandes quantidades de sedimentos, os quais foram depositados na cabeceira de uma planície aluvial e causaram inundações e grandes danos ao setor cultivado desta planície (WILSON *et al.*, 2019).

Durante a primavera e o verão, se ocorrerem eventos de precipitação intensa, haverá uma inundação do lago glacial e o pico dependerá da temperatura antes da chuva e da intensidade da chuva (HAEBERLI, 1983; POVEDA *et al.*, 2020). Chuvas intensas e/ou de longa duração favorecem a saturação dos solos, o que aumenta o escoamento superficial na bacia, provocando inundações fluviais (AMARAL & RIBEIRO, 2009; POVEDA *et al.*, 2020). Assim, diante de eventos extremos de precipitação, as bacias hidrográficas influenciadas por geleiras estão cada vez mais suscetíveis à inundação por transbordamento e rompimento do represamento do degelo acumulado de geleiras (HAEBERLI, 1983).

A cobertura vegetal é um fator relevante na avaliação da suscetibilidade à inundação, visto que a presença de vegetação auxilia na infiltração da água no solo e diminui a velocidade do escoamento superficial (AMARAL & RIBEIRO, 2009). Além disso, suas raízes auxiliam na percolação da água, influenciando na resistência do solo frente aos processos erosivos e movimentos de massa (PEREIRA & RODRIGUES, 2020). Se há um processo de escoamento superficial acelerado, podemos entender que esse solo não possui boa capacidade de absorver, armazenar e drenar a água, acarretando em assoreamento nas regiões a jusante, culminando em enchentes e inundações em ambientes sociais (GUERRA *et al.*, 2017; PEREIRA & RODRIGUES, 2020). Assim, se o solo é composto por grãos maiores, como a

areia, será de fácil permeabilidade, entretanto sua capacidade erosiva será maior também, pois a distância entre os grãos gera um sistema mais poroso e com isso não gera agregados resistentes, diferentemente dos grãos mais finos, como o silte e a argila, que possuem uma maior proximidade entre as partículas, portanto, gerando maior resistência entre agregados (ZINN, *et al.*, 2011; PEREIRA & RODRIGUES, 2020).

De acordo com as características do vale é possível prever a velocidade do processo de inundação. Os vales encaixados (em V) e vertentes com altas declividades predispoem as águas a atingirem grandes velocidades em curto tempo, causando inundações bruscas e mais destrutivas. Os vales abertos, com extensas planícies e terraços fluviais predispoem inundações mais lentas (graduais), devido ao menor gradiente de declividade das vertentes do entorno (AMARAL & RIBEIRO, 2009).

Nesse sentido, é relevante o uso de ferramentas tecnológicas na análise ambiental, as quais compreendem o sensoriamento remoto, o uso de SIGs (Sistemas de Informações Geográficas), processamento digital de imagens ou radar, uso de GPS e outros. O uso de um SIG permite a consulta, estruturação e atualização de bancos de dados geográficos de distintas naturezas, possibilitando uma análise espacial integrada a diferentes componentes, podendo ser analisada de diferentes lógicas (COSTA & RIBEIRO, 2020). Além disso, pode ser uma ferramenta poderosa, gerenciam uma grande quantidade de dados envolvidos em análises de decisões com vários critérios (FERNÁNDEZ & LUTZ, 2010). Dessa forma, o uso do sensoriamento remoto se torna extremamente relevante e é uma alternativa possível de análise e captura de dados em relação a locais de difícil acesso, como é o caso das montanhas andinas e da área de estudo.

Recapitulando, o tipo de uso e cobertura da terra influenciam no processo de transbordamento e inundação de um rio ou corpo d'água. Em ambientes glaciais de montanha, as inundações podem estar associadas ao ciclo de derretimento da neve e gelo durante a primavera e o verão. Com isso, alterações climáticas nesses ambientes, como o aumento de temperatura do ar, influenciam no derretimento de geleiras e, conseqüentemente, no aporte de água em cursos e corpos d'água. No

próximo subcapítulo, serão abordados os riscos climáticos e a vulnerabilidade socioambiental nesses ambientes associados às mudanças climáticas.

2.2 INUNDAÇÕES NOS AMBIENTES DE MONTANHA E OS RISCOS CLIMÁTICOS ASSOCIADOS À CRISE CLIMÁTICA

2.2.1 Riscos, suscetibilidade e vulnerabilidade socioambiental

Definindo o conceito de risco, Mendonça (2014) introduz que na esfera das discussões acerca das mudanças climáticas globais, os riscos climáticos apresentam relevância fundamental. Para o mesmo autor, os discursos predominantes são consensuais quanto à afirmação de que os riscos naturais se intensificaram nos tempos modernos, sendo que suas magnitudes e recorrências aumentarão num futuro próximo como resultado dos impactos das atividades humanas sobre a Terra.

A distribuição dos riscos socioambientais não pode ser considerada “democrática” (ACSELRAD, MELLO & BEZERRA, 2009). Segundo Wisner *et al.* (2004), os impactos dos perigos e, conseqüentemente, dos riscos climáticos, atuam de maneira bastante heterogênea sobre os diferentes grupos sociais. Desta forma, destaca que a vulnerabilidade socioambiental é uma condição de risco. Isso significa que uma mesma sociedade não sofrerá da mesma forma com os impactos socioambientais do evento devido às diferentes classes e condições sociais, econômicas, de gênero, etnia, etc. A compreensão desses riscos está relacionada à condição social como um elemento de grande importância, principalmente na sua gestão. Ou seja, para entendermos o conceito, precisamos destacar, antes de tudo, que questões de vulnerabilidades socioambientais estão conectadas à realidade em que vive uma comunidade, e como as desigualdades direcionam esses grupos a situações de risco (MENDONÇA, 2014).

Em concordância com Cardoso *et al.* (2020), o conceito de risco está associado às condições sociais da população envolvida no evento:

O conceito de risco está associado ao socioambiental, ampliando a sua dimensão para as implicações no ambiente e na organização espacial das sociedades ao mesmo tempo em que a vulnerabilidade está interligada aos

riscos. Os riscos geram inseguranças que afetam principalmente os mais vulneráveis - os que são atingidos por eventos, fenômenos naturais -, ocasionando incertezas e a necessidade de uma nova dinâmica e organização socioespacial. (CARDOSO *et al.*, 2020, p. 14).

Moretto e Gentili (2021) argumentam que o risco antecede o desastre socioambiental. Castro *et al.* (2000) corrobora com essa abordagem, afirmando que o evento pode ou não se materializar. Quando isso ocorre, há possibilidade de provocar danos sobre um grupo social ou bens materiais que possuem algum valor, visto que não existe risco sem o entendimento de perda.

Para Medeiros e Barbosa (2016), o conceito de risco também pode ser considerado como algo subjetivo através da noção humana ou social; uma construção social. Assim, o risco não é algo físico, mas sim de natureza abstrata, se materializando no desastre. São as mudanças ambientais e sociais que inserem um grupo social num cenário de risco. A antropóloga Boholm (2003) aborda que o risco é construído socialmente por meio de representações que são compartilhadas coletivamente, pois apresenta aspectos culturais, morais e históricos. Para a mesma autora, não há uma racionalidade única na forma como o risco é conhecido ou gerido.

Vinculado ao risco, como verificadona figura 5, o conceito de suscetibilidade ambiental nos traz o entendimento sobre a probabilidade de um determinado grupo social ou região estar exposta a um risco, que é uma situação ou circunstância em que há a presença de uma ameaça ou perigo:

A suscetibilidade é o quão provável um determinado fenômeno pode ocorrer independente dos fatores sociais, mas tendo a sociedade como elemento de interferência que acelera ou retarda. Dentro dessa perspectiva, o semiárido é suscetível às secas, as planícies de inundação às inundações e as áreas de elevação topográfica aos movimentos de massa. A ação humana atua como ferramenta de modificação da dinâmica natural, acelerando-a ou retardando-a. Outro ponto é que a suscetibilidade é específica a um fenômeno. Assim, as características do meio podem o tornar mais vulnerável aos movimentos de massa e menos às inundações, por exemplo (GIRÃO, RABELO e ZANELLA, 2018).

Compreendendo que a suscetibilidade é a possibilidade de um desastre atingir um indivíduo ou uma população, é entendido que, grupos sociais estão vulneráveis e suscetíveis ao risco, já o ambiente natural está suscetível à degradação (GIRÃO, RABELO & ZANELLA, 2018). Ou seja, de acordo com os autores, não há risco ou vulnerabilidade sem ter um grupo social envolvido (ALCÁNTARA-AYALA, 2018). Para chegar a esse resultado, as variáveis para determinar e mensurar esses conceitos são as características sociais e/ou condições físico-naturais.

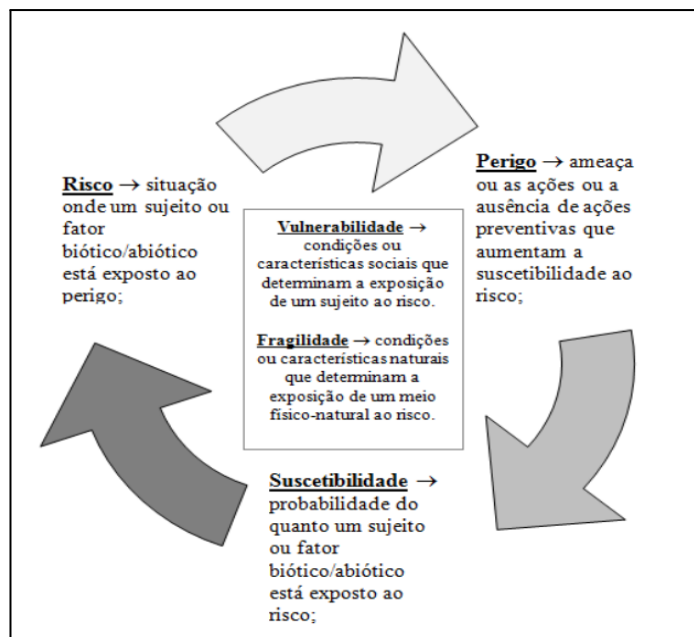


Figura 5. Relação entre conceitos. (GIRÃO, RABELO e ZANELLA, 2018)

Carey *et al.* (2015) e Silva *et al.* (2020) afirmam que reconhecer situações de risco, entender a suscetibilidade e identificar quais populações se encontram vulneráveis é de extrema relevância para direcionar corretamente ações de prevenção e mitigação. A condição de vulnerabilidade está associada à prática e ao desenvolvimento social no ambiente e está relacionada à forma como nos organizamos e estabelecemos socialmente em um determinado espaço geográfico (SILVA *et al.*, 2020). Isso significa que, embora toda uma população residente de uma área seja acometida por um evento, a maneira como as pessoas se afetarão será de forma diferente (SILVA *et al.*, 2020).

Ao tratarmos sobre desastres naturais e suas consequências, destaca-se que os países latino-americanos têm sido criticamente afetados a partir da segunda

metade do século XX, pois as perdas estão relacionadas muito mais à vulnerabilidade da sociedade e a ocorrência desses fenômenos do que em relação à sua magnitude e intensidade (HUBP & INBAR, 2002; SANTOS, 2015).

As estratégias de prevenção e gestão dos riscos são diversas, devendo estar dentro da realidade da comunidade e da amplitude do risco. Segundo Masure (1989) e Thouret (2007), primeiramente é necessário avaliar o nível do risco, introduzir sobre o tema nas populações que se encontram ameaçadas por determinado evento, fundar a participação das comunidades locais na educação e informação sobre o risco e o meio ambiente, adotar procedimentos para prevenção e gestão de riscos, e definir uma estratégia a longo prazo, “principalmente uma política de planificação urbana que integre o desenvolvimento dos bairros frágeis (THOURET, 2007).”

Compreendendo o conceito de risco como sendo uma exposição a um possível perigo, e que a suscetibilidade é a probabilidade de um grupo social estar exposta a esse risco, vincular o conceito de vulnerabilidade socioambiental é de extrema importância para entendermos qual grupo social está exposto a esse risco, pois não há risco sem um indivíduo ou grupo envolvido. No próximo tópico, abordaremos sobre os riscos em ambientes de montanha e a sua relação com a vulnerabilidade socioambiental.

2.2.2 Riscos criosféricos e vulnerabilidade socioambiental nas regiões de montanha

Riscos criosféricos são todos os eventos que geram perigo e ameaçam vidas humanas e seu bem-estar e que são causados ou relacionados aos processos da criosfera (DING *et al.* 2021). Para Carey *et al.* (2015), esses riscos podem afetar adversamente pessoas por desastres associados tais como inundações, movimentos de massa, instabilidade de *icebergs*, bem como riscos relacionados à variação do derretimento e escoamento da água de degelo em ambientes de montanha. Estes perigos não são simplesmente biofísicos, mas são eventos interligados com a dinâmica socioecológica dos sistemas. Em cada desastre, há um contexto socioeconômico de cada local e isto implica na capacidade de adaptação e resiliência (CAREY *et al.*, 2015).

Assim, verifica-se que os eventos em ambientes criosféricos de montanha são responsáveis por desastres em povoados a jusante, como os associados às inundações (CAREY *et al.*, 2015). Em concordância com DING *et al.* (2021), as mudanças em ambientes glaciais verificados nas últimas décadas como desprendimento da frente glacial, avalanche de gelo e rochas, inundações por derretimento de neve e geleira, inundações por rompimento de lagos glaciais, evolução do *thermokarst*, elevação e subsidência do solo no setor da camada ativa do permafrost (conforme visto na figura 4), podem levar à desestabilização desse sistema, ocasionando eventos que podem afetar vidas humanas e não humanas de forma extrema.

A partir da formação de lagos proglaciais, com a tendência interanual do derretimento de neve e geleiras, as inundações glaciais podem acontecer em áreas de montanhas e representam um grande perigo para as populações locais (HOFFMANN *et al.*, 2014). Quando planícies de inundação estão ocupadas por habitações ou atividades econômicas, formando conflitos de uso da terra por estarem em áreas de preservação permanente, os riscos de inundação são formados (HOFFMANN *et al.*, 2014). As inundações podem ocorrer em ambientes urbanos e rurais, embora esse último, o risco não seja tão comum quanto em ambientes urbanos devido à baixa densidade demográfica (HOFFMANN *et al.*, 2014).

Ao mesmo tempo em que a perda do equilíbrio no sistema criosférico pode induzir a mudanças climáticas, a tendência a aumento da temperatura do ar regional pode provocar um aporte positivo de água em canais fluviais devido ao derretimento de geleiras (BAJRACHARYA, 2020). Outro efeito possível, é a mudança de ordem pluviométrica, como uma maior quantidade de chuvas intensas, que contribuem com o aumento do volume dos rios e desencadeiam inundações nas comunidades a jusante:

“Chuvas intensas podem deflagrar inundações e enxurradas, entre outros eventos, e com isso causar sérios danos à população, principalmente à parcela mais carente que, em geral, se encontra em situação de maior vulnerabilidade” (COSTA, NASCIMENTO JR. & FREZ, 2020).

Os riscos criosféricos nas regiões montanhosas provocam uma preocupação contínua por parte dos cientistas, formuladores de políticas públicas e populações expostas (CAREY *et al.*, 2015). As pesquisas que se empenham em compreender como as culturas dessas populações estão vulneráveis a essas mudanças, em qual intensidade as mudanças climáticas e eventos climáticos extremos impactarão as culturas andinas e como estas responderão a essas alterações são relevantes (FIGUEIREDO, 2017; SCHOOLMEESTER *et al.*, 2018), ou seja, a ocorrência de um evento perigoso, como o de inundação, afeta de forma desigual as diferentes classes sociais.

Sendo a vulnerabilidade uma condição social de determinado grupo ou indivíduo, a antecipação dos potenciais riscos crescentes requer uma consideração integral de sistemas ambientais e suas interações entre os setores mais elevados e mais baixos das montanhas (CAREY *et al.*, 2015). A antecipação dos desastres é especialmente importante, porque as mudanças estão progredindo rapidamente e os efeitos resultantes provavelmente persistirão por muitas gerações (SCHNEIDER *et al.*, 2014; CAREY *et al.*, 2015). Portanto, e essa vulnerabilidade a mudanças ambientais dependerá do nível de sensibilidade às ameaças e à capacidade de adaptação das pessoas (SCHNEIDER *et al.*, 2014; CAREY *et al.*, 2015).

2.2.3 Mudanças climáticas e seus impactos nos ambientes de montanha

Com o aumento da temperatura média superficial do ar global nas últimas décadas, o equilíbrio dos sistemas terrestres encontra-se ameaçado. Segundo o IPCC (2013; 2021), a crise climática já está acontecendo e de forma acelerada. Ding (2021), relata que regiões de altas latitudes e altitudes já experimentam de 2 a 3 vezes o aumento da temperatura do ar do que a média global, que resulta em mudanças drásticas nas regiões criosféricas, podendo afetar a circulação global do ar e do oceano.

De acordo com Ramírez (2008), as mudanças são visíveis em diferentes ecossistemas do planeta, manifestando-se de formas diferentes, como é o caso das geleiras, que são importantes recursos hídricos suscetíveis a essas alterações. Em um nível global, os sistemas glaciais estão exibindo alterações significativas

derivadas do balanço de massa negativo das geleiras. Esse balanço é determinado em grande parte pelo equilíbrio entre o acúmulo de neve e o derretimento na superfície da geleira, impulsionado principalmente pelas condições atmosféricas (IPCC, 2019).

O processo de ganho e a perda de gelo em sistemas de geleiras é conhecido como balanço de massa (BENN & EVANS, 2010), e crescem onde as condições climáticas e topográficas permitem que as entradas excedam as perdas (BENN & EVANS, 2010). As geleiras ganham massa pela entrada de neve e outras formas de gelo que se acumulam em suas superfícies e sofrem perda de massa (ablação) por derretimento, desprendimento de *icebergs* e outros processos, conforme a figura 6. A evolução da massa total da geleira dependerá do equilíbrio entre acumulação e ablação (BENN & EVANS, 2010). A maior parte das geleiras estão divididas em zonas de acumulação e zonas de ablação, sendo separadas pela linha de equilíbrio, que tem sua posição influenciada pela topografia e clima local/regional (BENN & EVANS, 2010).

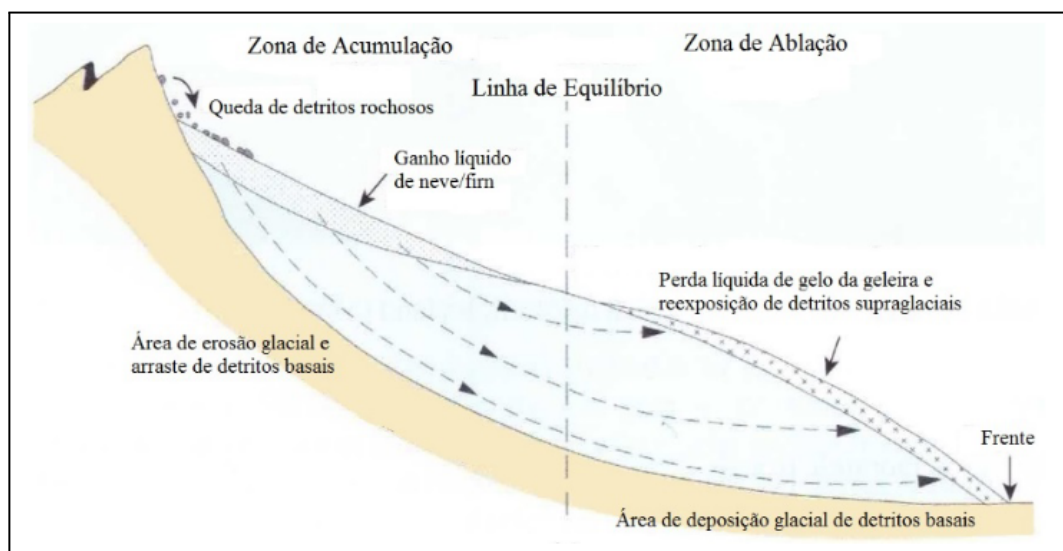


Figura 6. Zona de acumulação e ablação de uma geleira (Hambrey & Alean, 2017).

Quando o acúmulo de neve é inferior ao derretimento, temos como resultado a perda de massa da geleira. Através de registros, têm-se observado mudanças em suas morfologias superficiais, apontando que são importantes indicadores das tendências climáticas (FERRANDO, 2017). As alterações na área da geleira, do seu

volume e da sua forma são resultantes dessas mudanças climáticas mais expressivas, com períodos consecutivos de verões mais quentes, por exemplo (EMBLETON & KING, 1975).

As taxas anuais de perda de massa indicam que geleiras podem desaparecer em algumas cadeias de montanhas ainda neste século, enquanto que regiões com grande quantidade de geleiras continuarão a contribuir com o aumento do nível do mar após 2100 (ZEMP *et al.*, 2019). As geleiras de montanha representam uma importante fonte de água através do degelo, derretendo no verão quando a precipitação é menor e a demanda de água pela sociedade é maior (IMMERZEEL, BEEK VAN & BIERKENS, 2010; PELTO, 2017). O momento e a magnitude do derretimento das geleiras são sensíveis às mudanças climáticas, com isso, a gestão desse bem depende do entendimento das mudanças futuras nos recursos hídricos de regiões de montanhas (IMMERZEEL, BEEK VAN & BIERKENS, 2010; PELTO, 2017).

Segundo o IPCC (2019), rápidas mudanças em geleiras de montanha têm múltiplos impactos para os sistemas sócio-ecológicos, afetando não somente as propriedades biofísicas, como o volume e fluxo de escoamento de sedimentos em rios alimentados por geleiras, riscos associados e aumento do nível do mar. Também é responsável por afetar ecossistemas e meios de subsistência das populações, atividades socioeconômicas, setores como agricultura e turismo e valores culturais das comunidades.

Em 2010, 10% da população mundial vivia em regiões de montanhas (JONES & O'NEILL, 2016). Isso equivale a aproximadamente 671 milhões de pessoas distantes a menos de 100 quilômetros de geleiras ou do permafrost em áreas de montanhas. Isso significa que grande parte da população terrestre está vinculada ao uso direto e indireto da água do degelo de geleiras. Com as mudanças climáticas globais e regionais, além do uso e cobertura do solo inadequado, esses ambientes podem se colapsar de forma mais rápida, segundo os mesmos autores, afetando tanto as populações locais, quanto aquelas que vivem fora das áreas de montanhas, que também são afetadas pelas mudanças na criosfera.

Como consequência dessas mudanças climáticas globais em curso em decorrência do sistema capitalista (LÖWY, 2011), muitas populações ficam vulneráveis a eventos extremos, que têm se intensificado, como derretimentos de

geleiras, aparecimento de lagos glaciais e rompimento dos mesmos, chuvas concentradas, secas prolongadas, ondas de calor e frio, ocasionando consequências graves para a sociedade, como inundações, enchentes, alagamentos, deslizamentos, perdas agrícolas, falta de água para abastecimento, entre outras. Esses eventos são responsáveis por perdas materiais e humanas de forma significativa, não sendo sentidos de forma igual por toda a população (ALCÁNTARA-AYALA, 2002). Quando há ocorrência de prejuízo material e/ou social muitas vezes são denominados como desastres naturais (ALCÁNTARA-AYALA, 2002; CARDOSO *et al.*, 2020). Assim, através dos desastres ecológicos, a lógica capitalista continuará ameaçando a saúde e a vida de milhões de pessoas, até mesmo a sobrevivência da nossa espécie (LÖWY, 2005).

O estudo de Huss & Hock (2018) salienta que a maioria das pesquisas sugerem que o pico hidrológico do degelo glacial andino já ocorreu ou ocorrerá nos próximos 20 anos, isso significa que as geleiras continuarão a retroceder, caso ainda não tenham atingido o seu ápice de degelo. Em resposta às mudanças climáticas, muitos perigos associados a ambientes glaciais, como inundações glaciais relacionados a lagos (GLOFs), aumentaram nas últimas décadas, representando riscos para as atividades humanas nas regiões montanhosas (CARRIVICK e TWEED, 2016). Além disto, o número e o volume de água dos lagos glaciais alimentados pelo degelo de geleiras aumentou em muitas regiões montanhosas ao redor do mundo, resultando em um aumento da probabilidade de eventos GLOF (CARRIVICK e QUINCEY, 2014; WANG *et al.*, 2014; WILSON *et al.*, 2018; NIE *et al.*, 2018).

Em ambientes de montanhas, a água do degelo faz parte de um importante ciclo hidrológico regional que abastece, com uma certa frequência, comunidades situadas a jusante dessas áreas (COOK *et al.*, 2016). Essa água do degelo pode formar um rio, percorrendo um caminho até a planície de inundação. Esses ambientes são caracterizados por inundações em determinados períodos do ano, principalmente durante a primavera e o verão, quando o aporte de água é maior durante essa estação. Quando ocorrem mudanças nesses ambientes glaciais, como o aumento da temperatura média do ar e retração de geleiras, o aporte de água (positivo ou negativo) introduzido no sistema será alterado, afetando grupos sociais que dependem desse bem para sobreviver (SCHOOLMEESTER *et al.*, 2018).

Monitorar essas alterações é relevante diante das mudanças climáticas globais, pois, além de prevenir possíveis desastres, ambientes glaciais de montanha representam e fazem parte do universo cultural, místico, social e econômico de diversos povos andinos que dependem dessa fonte de água, principalmente durante o período de seca (UNEP & WGS, 2008). Nesse sentido, a relação entre esses povos e a água do degelo está relacionada à sua forma de vida, sendo um importante bem natural que ainda não foi efetivamente investigado, e promove a segurança e soberania das comunidades regionais.

2.3 O CONTEXTO DA PATAGÔNIA CENTRAL

Sendo o “*Atlas de Glaciares y Aguas Andinos*” (SCHOOLMEESTER *et al.*, 2018) um compilado de informações e caracterizações sobre as montanhas andinas, foi utilizado nesta pesquisa como uma base para entendermos sobre o clima andino no contexto da área de estudo. Segundo os seus autores, Schoolmeester *et al.* (2018), na Cordilheira dos Andes, as condições climáticas variam conforme a latitude e longitude, isso significa que as precipitações e temperaturas podem variar bastante pela cordilheira, pois as montanhas atuam como barreiras da circulação atmosférica. Para Garreaud (2009), os Andes tropicais e subtropicais são amenos e secos na costa do Oceano Pacífico e na encosta ocidental, enquanto nas orientais apresentam condições quentes e úmidas. A situação é diferente ao sul dos 35°, em que as encostas ocidentais são úmidas e as orientais semiáridas.

A umidade da Cordilheira Austral e Ocidental é consequência dos fortes ventos associados à passagem de sistemas frontais que se originam no pacífico, recebendo precipitação abundante nessas regiões (GARREAUD, 2009). Durante o inverno, os ventos são mais fortes, chegando mais ao norte, elevando-se por cima dos Andes e produzindo precipitações importantes nas encostas em frente ao Pacífico (ARAVAENA & LUCKMAN, 2009).

No Atlas citado anteriormente, há informação de que as precipitações anuais nessas regiões a oeste dos Andes austrais podem exceder os 5000 mm, enquanto aquelas localizadas à leste podem receber menos de 1000 mm, e como

consequência dessa grande umidade temos mais vegetações em altitudes menores e geleiras em altitudes maiores (SCHOOLMEESTER *et al.*, 2018).

Devido à ausência de registros anteriores, a longo prazo torna-se difícil determinar as tendências de precipitação andina, pois ela é bastante variável anualmente e depende da localização e da atividade do fenômeno El Niño. Embora sejam dados escassos ou de difícil acesso, a tendência à diminuição da linha e cobertura de neve, aumento de lagos e áreas de inundação a jusante de geleiras, são indícios de que mudanças na temperatura regional estão ocorrendo, precisando de constante investigação sobre esses ambientes (SCHOOLMEESTER *et al.*, 2018).

No contexto da Villa O'Higgins (280 metros), segundo o sítio eletrônico da prefeitura local (<http://www.villaohiggins.com/>), o microclima é caracterizado por precipitações bem distribuídas durante o ano, com médias entre 850 e 1000 mm anuais. De acordo com a figura 7, percebemos pouca variação mensal da pluviosidade durante o ano.

Em relação à temperatura, os meses mais frios estão localizados entre junho e agosto, com médias variando entre, aproximadamente, 3° e 6° C, que corresponde ao inverno austral. Já os meses mais quentes variam, em média, entre 9° e 12° C, conforme o gráfico abaixo. Segundo a prefeitura local, em alguns invernos a temperatura atinge temperaturas negativas, como -15°C.

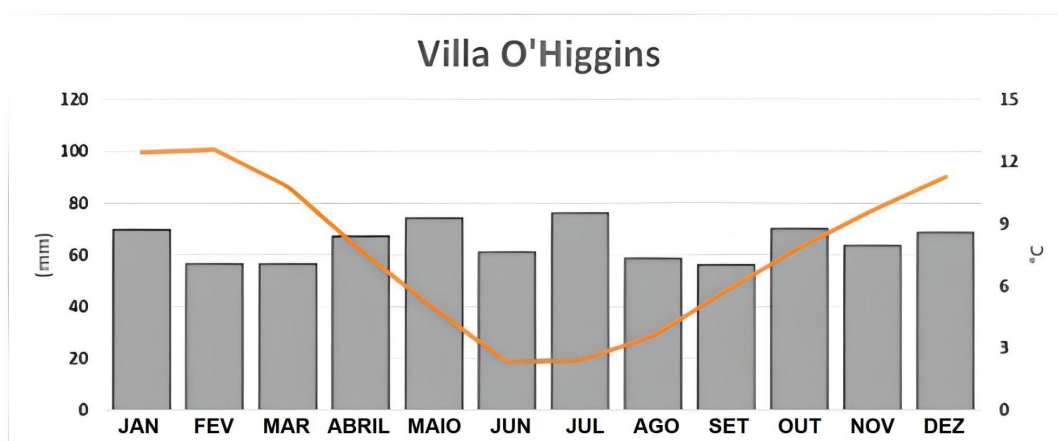


Figura 7. Gráfico da precipitação média mensal (barras em cinza) e da temperatura média mensal (linha laranja) de Villa O'Higgins. Fonte: DELGADO (2020).

A figura 8 espacializa os dados das precipitações médias anuais ocorridas entre 1950 e 2000 e como serão as suas projeções entre as décadas de 2061 e 2080,

apresentando significativa modificação do padrão anterior. No setor norte da cordilheira, haverá aumento da precipitação média anual, enquanto na cordilheira sul há tendência de diminuição das precipitações, possivelmente aumentando os casos de seca na região de estudo.

O fenômeno El Niño - Oscilação Sul (El Niño - Southern Oscillation - ENSO) é um forte modulador e o mais importante da hidroclimatologia global quando a escala de tempo é interanual (POVEDA *et al.*, 2020). Schoolmeester *et al.* (2018) aponta que em função da localização ou da influência de fenômenos influenciados pelo ENSO, a precipitação pode mudar de forma relevante, inclusive intensificando-se.

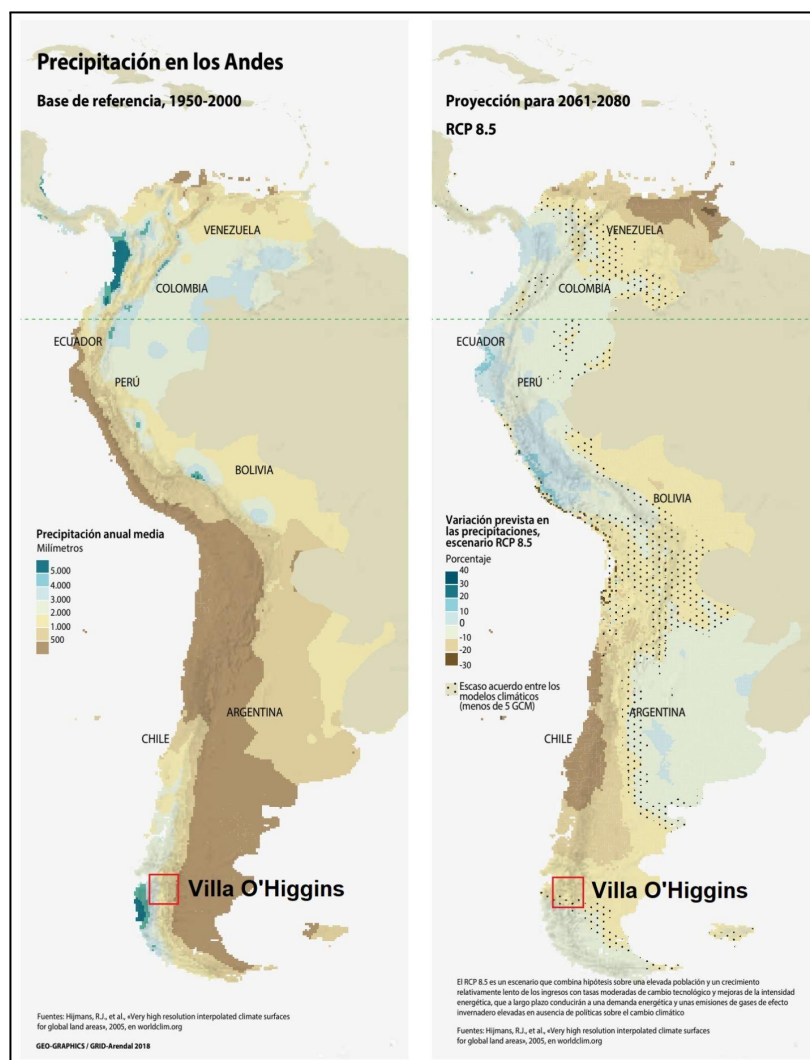


Figura 8. Precipitação média anual e projeção para 2061-2080.

Fonte: Alteração de Schoolmeester *et al.* (2018).

De acordo com a Comissão Econômica para América Latina e Caribe (CEPAL), os fenômenos El Niño e La Niña correspondem a anomalias térmicas no Oceano

Pacífico, definindo-se através de três fases: fase El Niña, fase La Niña e uma fase Normal (ausência de anomalias). Na fase La Niña ocorre o resfriamento das águas do pacífico e a diminuição da chuva na costa andina, enquanto a fase El Niño (ENSO) é caracterizada pelo aquecimento das águas do pacífico, provocando precipitações intensas em baixas altitudes na Cordilheira dos Andes (Schoolmeester *et al.*, 2018), e duas vezes maior se comparado a fase normal (POVEDA *et al.*, 2020). O mesmo autor destaca que o ENSO está associado ao aumento da precipitação durante o inverno, junho a setembro, na região sul da zona central chilena e Patagônia, de junho a setembro (VERBIST *et al.*, 2010; ROBERTSON *et al.*, 2013; SCHOOLMEESTER *et al.*, 2018).

Quanto à temperatura, a tendência é de aumento nas montanhas andinas nas últimas décadas. Há evidências de que as temperaturas médias do ar se elevarão mais rapidamente em altitudes maiores: nos andes chilenos e argentinos, as temperaturas aumentaram entre 0,2°C e 0,3°C por década desde os anos 70 (SCHOOLMEESTER *et al.*, 2018).

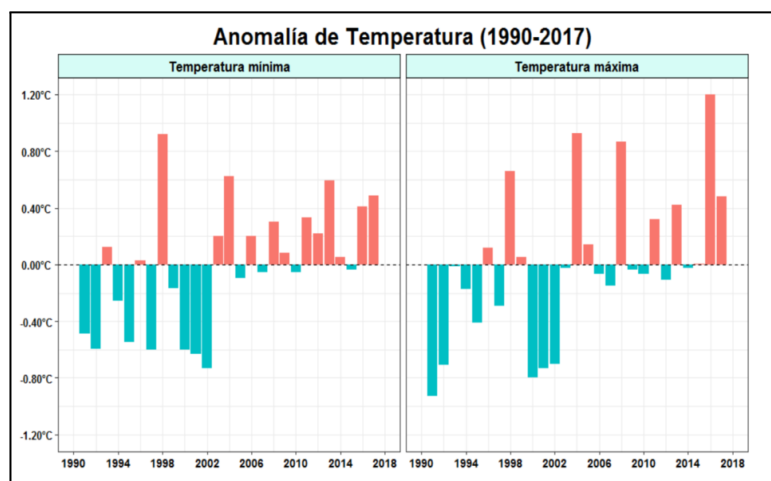


Figura 9. Painel esquerdo: anomalia da temperatura mínima (°C). Painel direito: anomalia da temperatura máxima (°C), desde 1990 até 2017. Fonte: DELGADO (2020).

Delgado (2020), através de sua pesquisa sobre os impactos das mudanças climáticas na navegação aérea na Patagônia, mostra que entre os anos de 1990 e 2002, tanto a temperatura mínima quanto a máxima ficaram abaixo da média climatológica. A partir do ano de 2003, predominaram temperaturas mais altas que a média, chegando a passar 1,2°C da média da temperatura máxima em 2016,

convertendo-se no ano mais quente desde 1990, como podemos observar na figura 9 de anomalia da temperatura do ar entre 1990 e 2017 (DELGADO, 2020).

Segundo o Inventário Nacional de Glaciares (2018), geleiras localizadas próximas à área de estudo (fronteira entre Chile e Argentina), setor oriental da Sierra de Sangra, estão retraindo como resposta às mudanças climáticas regionais. O mesmo inventário descreve que entre os anos de 1984 e 2005, a área total coberta por geleiras nessa região diminuiu aproximadamente 18,3% em poucas décadas, com surgimento de lagos proglaciais, como é o caso do Lago Narváez, da geleira Narváez. No caso dessa geleira, a retração foi de aproximadamente 2 km de extensão nos últimos 50 anos, conforme evidenciado por Escosteguy *et al.* (2017).

Poveda *et al.* (2020) trazem informações referentes às inundações em períodos de El Niño na região. É comum que inundações ocorram durante tempestades de inverno, com precipitação significativa (acima de 50mm/dia) e com características quentes, produzindo, assim, altos índices de congelamento, ou que durem por mais de 3 dias. Esses eventos foram observados no Chile, do sul ao norte do país (VALENZUELA & GARREAUD, 2019), sendo associados a rios atmosféricos (VIALE *et al.*, 2018; POVEDA *et al.*, 2020). Para os anos de 1975 e 2008, na zona temperada andina (36-38°S), foi realizada uma análise de tendência para os picos anuais de vazão dos rios (PIZARRO *et al.*, 2014), e foi observada uma tendência positiva em 57% das estações na região.

O gráfico da figura 10 apresenta a série de precipitação acumulada anualmente entre os anos de 1990 e 2022, evidenciando, assim, os anos de maior precipitação nas últimas três décadas (2003, 2005, 2006, 2017 e 2019). Estes são dados diários obtidos a partir do sítio eletrônico *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation* (CHIRPS *Daily*), com lacunas na série (2012 a 2016 e 2017) preenchidas com informações obtidas na *Dirección Meteorológica de Chile* e CHIRPS *Pentad* (dados registrados de 5 em 5 dias). Se compararmos aos dados da tabela 1, abaixo, obtidos pelo *Physical Sciences Laboratory*, da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), podemos identificar os períodos que ocorreram os fenômenos de El Niño e La Niña, assim como os períodos em que a temperatura do oceano se encontrava mais neutra.

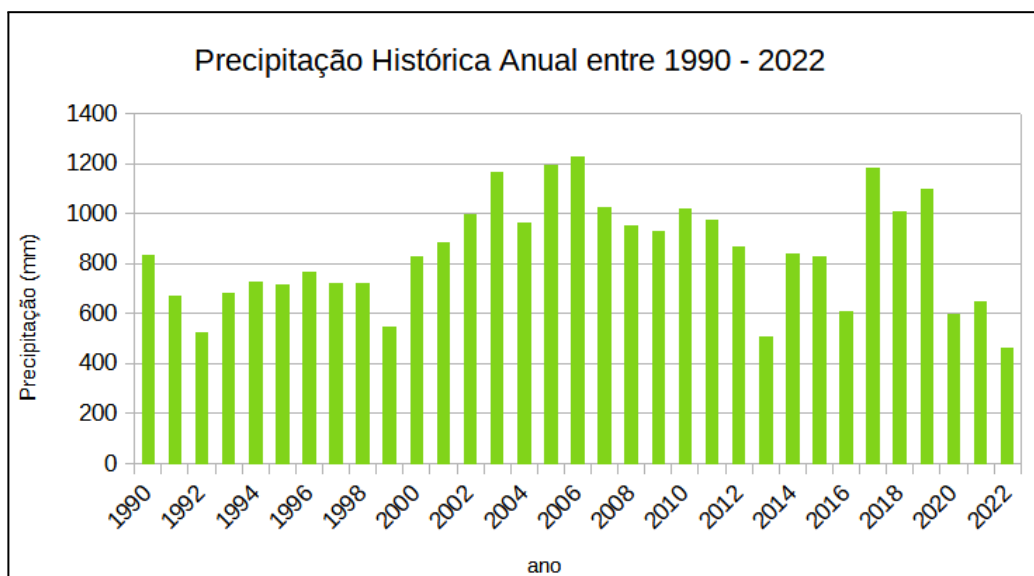


Figura 10. Precipitação Histórica Anual entre 1990 e 2022. Fonte: Dirección Meteorológica de Chile - Servicios Climáticos e CHIRPS Daily e CHIRPS Pentad.

El Niño	Neutro	La Niña
1992	1990-1991	1989
1995	1993-1994	1999
1998	1996-1997	2000
2003	2001-2002	2008
2007	2004-2006	2011
2010	2009	2012
2016	2013-2015	2021
	2017-2020	2022

Tabela 1. Relação de anos com os fenômenos climáticos. Fonte: Physical Sciences Laboratory (NOAA).

A partir da compreensão dos motivos (períodos de El Niño, degelo glacial, transbordamento de lagos proglaciais, etc) que levam às inundações nas regiões glaciais, é preciso também conceber a similaridade desses eventos num contexto geral, como nos países andinos. Entre os anos de 2000 e 2018, aproximadamente

2.494 pessoas vieram a óbito por eventos de inundações repentinas, por inundações fluviais e outros fatores nos países andinos (SCHOOLMEESTER *et al.*, 2018). Só no Chile, foram 270 pessoas:

“En general, los países andinos se caracterizan por su vulnerabilidad inherente a los efectos e impactos del cambio climático, debido a la combinación de múltiples aspectos de la vulnerabilidad. Entre estos se incluye la pobreza generalizada y extrema que se concentra principalmente en las zonas rurales, la desigualdad social, la importancia de la agricultura en la economía, la urbanización de zonas expuestas a riesgos, la elevada incidencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos e instituciones deficientes (Doornbos, 2009). También cabe señalar la repercusión cultural, ya que muchas comunidades andinas han tenido un fuerte vínculo con los glaciares por medio de creencias culturales, percepciones y valores sociales. Se considera que la desaparición de los glaciares y los cambios en el paisaje natural tradicional tienen un significado simbólico, que puede asociarse con las comunidades locales y las amenazas para sus medios de vida futuros (Kaenzig, 2015; Vuille *et al.*, 2018).” (SCHOOLMEESTER *et al.*, 2018, p. 55).

Evidenciado pelo trecho acima, de Schoolmeester *et al.* (2018), enfatiza-se que alguns povos e comunidades andinos se encontram em vulnerabilidade socioambiental frente a esses eventos extremos devido à desigualdade social existente em nossa sociedade, à pobreza extrema e generalizada geralmente concentrada em zonas rurais, a áreas urbanas situadas em áreas de risco, entre outros fatores.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia deste trabalho consiste em realizar uma análise espacial das áreas suscetíveis à inundação. Desta forma, usando como base o estudo realizado por Miranda (2016), um conjunto de técnicas e procedimentos foram utilizados como instrumentos de mapeamento em questão, são eles: Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e sensoriamento remoto, e um Processo Analítico Hierárquico.

O método PAH decompõe hierarquicamente critérios escolhidos de acordo com a influência no processo de inundação da Villa O'Higgins e teve como unidade espacial de análise de suscetibilidade à inundação a sub-bacia hidrográfica do Rio Mosco e a sub-bacia hidrográfica da área urbanizada, regiões afetadas por inundações. A finalidade foi a produção de um mapa de áreas suscetíveis à inundação (Figura 11). Ademais, abordaremos sobre a metodologia utilizada para a análise da retração glacial e aumento de lagos proglaciais na área de estudo, dos dados socioeconômicos, assim como dos eventos de inundação noticiados em jornais eletrônicos da região.

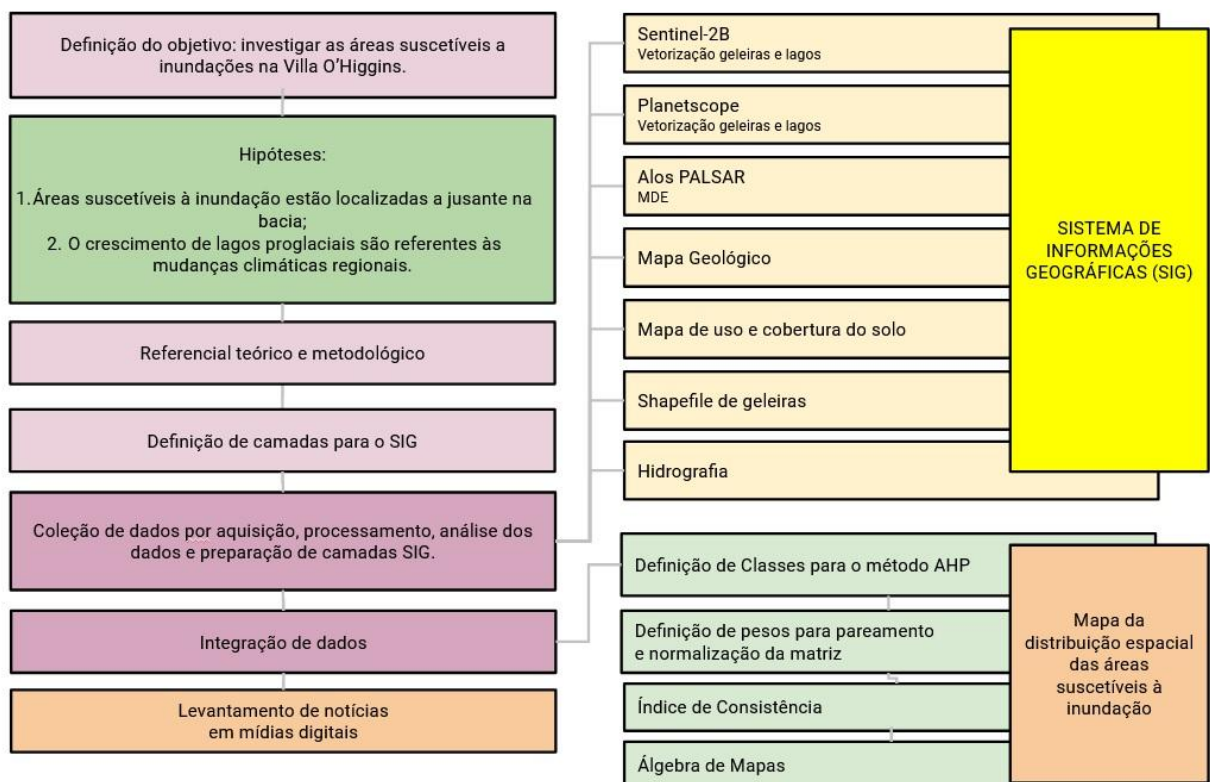


Figura 11. Fluxograma da metodologia realizada na pesquisa.

3.1 PESQUISA EXPLORATÓRIA

Com o objetivo de investigar as possíveis causas das inundações que ocorrem na área de estudo, foi realizado um levantamento bibliográfico sobre a área de estudo no contexto da Patagônia Central para obter dados ambientais e socioeconômicos da comunidade, como quantidade de habitantes, densidade demográfica, escolaridade média, setores econômicos, etc., fornecidos pelo *Instituto Nacional de Estadísticas* chileno (<https://www.ine.cl/>) com a finalidade de descrever as características da estrutura da população local.

Foram buscadas informações no Google e no Google Acadêmico sobre: **a)** Há zoneamentos de áreas susceptíveis à inundação no setor da planície aluvial onde está inserida a comunidade de análise? **b)** Como foram alguns dos eventos recentes de inundações como o de 2018? e **c)** Na sub-bacia hidrográfica da geleira Mosco, há estudos avaliando as mudanças nos lagos proglaciais e nas geleiras nas últimas décadas?

3.1.2 Notícias em Mídias Digitais

A etapa metodológica deste subcapítulo consistiu na análise de jornais digitais e/ou outras fontes que divulguem notícias sobre as inundações na Villa O'Higgins, disponíveis digitalmente, no período 2015-2022, compilando informações como dias de ocorrência de eventos e locais atingidos. O período utilizado refere-se à disponibilidade de informações localizadas em sítios eletrônicos. Foram usadas as seguintes palavras-chaves na ferramenta digital *Google* (<https://www.google.com/>): *inundación, Villa O'Higgins, crecida de río e Río Mosco*.

A seguir, detalharemos os procedimentos metodológicos a serem executados nesta pesquisa na elaboração dos mapas para análise espacial das inundações.

3.2 AQUISIÇÃO, PREPARAÇÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS GEOESPACIAIS

Neste subcapítulo, serão apresentados os dados adquiridos e procedimentos metodológicos utilizados para a elaboração de mapas para análise espacial das

inundações. A tabela 2 reúne estas informações de forma a visualizar o tipo de arquivo, a data, a escala ou resolução, a sua utilidade e a ferramenta utilizada, assim como a fonte do material.

É possível verificarmos diferentes escalas/resoluções e baixa precisão em algum dos dados utilizados neste trabalho, como o mapa geológico e o Modelo Digital de Elevação, por exemplo. Apesar de serem arquivos de fácil acesso, nem sempre essa disponibilidade representa um produto de melhor qualidade. Contudo, ressaltamos que, apesar desse obstáculo, buscamos representar e analisar os mapas de forma a compreender as suas possíveis limitações e influências no resultado.

As imagens de satélite Sentinel 2B e Landsat 5 (conforme tabela 2) foram co-registradas no *software* ArcGIS a partir da imagem de satélite PlanetScope, com 3 metros de resolução espacial, e da hidrografia local. O erro da medida de área foi de aproximadamente $< 0.003\text{km}^2$, baseado no cálculo de Li *et al.* (2015), que considera a resolução espacial da imagem e o erro no co-registro.

Tabela 2. Dados adquiridos.

Dado	Data	Escala/ Resolução	Produção	Ferramenta	Fonte
Sentinel-2B (Composições RGB 432 e RGB 832)	21/02/21	10 m	<i>Shapefile</i> de geleiras e lagos Atualização do <i>shapefile</i> uso e cobertura da terra	Edição e vetorização	Earth Explorer- USGS
Landsat 5 (Composição RGB 321)	27/01/1985 23/01/1994 20/02/2011	30 m	<i>Shapefile</i> de geleiras e lagos	Edição e vetorização	Earth Explorer- USGS
Mapa de uso e cobertura da terra	2011	1:50.000	Atualização	Edição e vetorização	Geoportal de Chile
Mapa Geológico	2003	1:1.000.000	<i>Shapefile</i> geológico	Co-registro e vetorização	SERNAGEOMIN
Mapa inundação 2018	05/02/2018 19/04/2018	1:47.222,22	<i>Shapefile</i> da área atingida pela inundação	Co-registro e vetorização	SERNAGEOMIN
MDE ALOS Palsar	2000	12,5 m	Raster de Declividade e Hipsometria e <i>shapefile</i> de Bacia Hidrográfica, Curvas de Nível	- Fill + Slope - 3D Analyst	ASF Data Search
Imagem de satélite PlanetScope (RGB 432) (<i>surface reflectance PSScene 4band</i>)	25/02/21	3 m	Atualização do <i>shapefile</i> uso e cobertura da terra	Edição e vetorização	Planet Team (2017)
Mapa de Geleiras e divisores de drenagem	2000 2016	30 m	Mapa de geleiras	Edição e vetorização	GLIMS
Hidrografia	-	1:50.000	Atualização	Edição e vetorização	Geoportal de Chile

a) Produtos gerados pelo Modelo Digital de Elevação (MDE)

- Delimitação das sub-bacias hidrográficas e Sombreamento

Para a delimitação das sub-bacias hidrográficas da área de estudo, primeiramente foi obtido o Modelo Digital de Elevação (MDE) do satélite ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*), sensor Palsar, com 12,5 metros de resolução espacial, disponível no sítio eletrônico do ASF Data Search (<https://search.asf.alaska.edu/>). O *datum* utilizado é o World Geodetic System (WGS 84) com sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), fuso 18S. O processamento de todos os dados foi realizado no software *ArcGIS 10.5.1 for Desktop*, da *Esri*.

Durante o processo de delimitação das sub-bacias hidrográficas da área de estudo, foi aplicada a ferramenta *Hydrology*, em “*Spatial Analyst Tools*” (ou Ferramentas de Análise Espacial), no *ArcGIS*, para extração dos dados. Após esta etapa, foram realizadas: correção das imperfeições do MDE (*Fill*), indicação da direção do escoamento da água superficial (*Flow Direction*) e o traçado final da sub-bacia hidrográfica (*Basin*), exportando o produto para um arquivo vetorial (*shapefile*). Juntamente a esses dados, foram gerados um arquivo vetorial das curvas de nível da região, com equidistância de 100 metros, através da ferramenta *Contour (3D Analyst)*, e o sombreamento para melhor interpretação da geomorfologia local através da ferramenta *Hillshade (3D Analyst)*.

- Declividade e Hipsometria

Em relação ao mapa de Declividade, foi usada a ferramenta de análise espacial *Fill*, cuja finalidade consiste em corrigir as imperfeições do MDE, conforme citada anteriormente, e *Slope* (ou declividade), ferramenta incluída em *3D Analyst*, correspondendo ao cálculo de inclinação do valor de cada pixel. Também foi obtido como produto do MDE um mapa hipsométrico, que mostrou a variação de elevação da área de estudo, com valores de elevação variando entre 262 e 2.211 m.

c) Uso e cobertura da terra e hidrografia

Foi usado a imagem de satélite Sentinel-2B e PlanetScope para o mapeamento e atualização do polígono do uso e cobertura da terra (disponível em: <http://www.geoportal.cl/>) para a sub-bacia hidrográfica e, conseqüentemente, atualização de áreas de geleiras, lagos, vegetação, ocupação humana, rocha exposta, etc. Foi gerada uma composição RGB 432 para a imagem de satélite Sentinel-2B de 21 de fevereiro de 2021 e para a PlanetScope de 25 de fevereiro de 2021.

As datas escolhidas estão relacionadas ao período de menor cobertura de neve na região, possibilitando uma melhor visibilidade para mapeamento da geleira, conforme tabela 2. Nesse mesmo sítio eletrônico foi adquirido o *shapefile* da hidrografia para a região da Villa O'Higgins.

Segundo Nascimento (2011), para compreender a dinâmica e a origem dos processos físicos na área a ser investigada, torna-se relevante fazer um mapeamento atualizado do uso e ocupação do solo da bacia, de forma a compreender a interferência humana no comportamento de condicionantes naturais. Na tabela 3, foram considerados os conceitos da chave de interpretação para o processo de interpretação de imagens para atualização da classe uso e cobertura da terra (LILLESAND, KIEFER & CHIPMAN, 2015). A chave de interpretação nos ajuda a identificar rapidamente as características fotográficas dos objetos visíveis da imagem de forma organizada e consistente através do uso de imagens de referência e descrições (LILLESAND, KIEFER & CHIPMAN, 2015). Texturas, formas e tonalidades são exemplos de como podemos sistematizar a análise de imagens de satélite ou fotografias aéreas (LILLESAND, KIEFER & CHIPMAN, 2015).

Foi considerado neste estudo que a faixa espectral do infravermelho próximo e infravermelho médio, com comprimento de onda variando entre 740 e 2500 mm, é ideal para distinguir o solo exposto da água pura em imagens ópticas, assim como denota Jensen (2009). Nessas regiões do infravermelho, a cobertura do solo com a presença de vegetação ou de solo exposto reflete expressiva quantidade de energia, aparecendo de forma clara nas imagens (JENSEN, 2009). A água aparece numa tonalidade escura, pois absorve praticamente todo o fluxo de radiação incidente,

sobretudo se o corpo d'água for profundo e sem a presença de matéria orgânica e sedimentos em suspensão (JENSEN, 2009).

Para discriminar neve de nuvens, pois geralmente são os elementos mais claros no infravermelho próximo e em imagens do visível, podemos obter algumas imagens do terreno em um período relativamente curto de tempo, pois as nuvens movem-se de lugar, ao contrário da neve (JENSEN, 2009).

A superfície glacial tem as suas próprias características de reflectância, pois é composta por neve seca e úmida, *firn* (transição da neve para gelo) e gelo (ZAMORANO *et al.*, 2017). Na parte visível do espectro eletromagnético, a neve possui alta reflectância, variando de 80 a 97% (ZENG, 1984; PETSCH, 2014). O gelo tem sua reflectância relativamente baixa nesse mesmo comprimento de onda, refletindo entre 40 e 70% (ZENG, 1984; PETSCH, 2014). O *firn* possui uma reflectância variando entre 25 e 30% menor que a neve recém caída (ZENG, 1984; PETSCH, 2014). Com isso, é possível delimitar as diferentes partes, assim como classificar o tipo de superfície e as zonas de uma geleira (ZAMORANO *et al.*, 2017). Nesta pesquisa, foram consideradas as bandas da imagem de satélite no infravermelho, composição colorida RGB.

Tabela 3. Chave de interpretação de imagens de satélite na composição RGB 432.

CHAVE DE INTERPRETAÇÃO			
CATEGORIA	FORMA	TEXTURA	TONALIDADE
Campo/pastagem com vegetação difusa	Irregular	Média e finíssima	Verde claro e escuro
Geleira	Irregular	Fina e grossa	Branco, azul claro e cinza claro mesclados
Lago	Irregular	Lisa	Verde médio
Mata nativa densa	Irregular	Grossa	Verde escuro
Mata nativa semi densa	Irregular	Média	Verde médio
Leito do rio	Irregular	Finíssima	Cinza claro e verde escuro
Rocha exposta	Irregular	Grossa	Marrom Médio
Villa O'Higgins - área urbanizada	Regular	Grossa	Clara c/ pontos brancos
Villa O'Higgins - Rural	Irregular	Grossa e fina	Verde escuro e verde claro com pontos brancos

c) Geologia

A geologia foi obtida através do Mapa Geológico, versão digital de SERNAGEOMIN (2003). Foi necessário co-registrar o mapa para posteriormente vetorizar o arquivo, criando os polígonos da geologia local no *software ArcGIS 10.5.1 for Desktop*, da *Esri*.

d) Variação da área glacial e dos lagos alimentados por geleiras

Imagens de satélite gratuitas disponíveis no portal de dados geoespaciais do Serviço Geológico dos Estados Unidos (*United States Geological Survey - USGS*), o *USGS Earth Explorer* (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), foram adquiridas para análise da variação da área glacial e dos lagos alimentados por geleiras em décadas passadas na mesma sub-bacia hidrográfica do Rio Mosco (Landsat 5, Landsat 8-OLI e Sentinel-2, conforme composições e datas informadas na tabela 1). As sub-bacias de drenagens glaciais foram embasadas pelos polígonos mapeados e disponibilizados pelo GLIMS - *Global Land Ice Measurements from Space* (<https://www.glims.org/>). A área obtida no mapeamento da imagem de 2021 foi comparada com a área obtida em décadas anteriores a partir da imagem Landsat e dos dados do GLIMS.

No próximo subcapítulo, discutiremos a metodologia a ser utilizada para gerar o mapa de áreas suscetíveis à inundação.

3.3 MODELO DE PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO (PAH)

Para construir o mapa de áreas suscetíveis à inundação, foi utilizado o Processo Analítico Hierárquico (PAH). Esse método irá decompor hierarquicamente os critérios que são mais relevantes e que possam influenciar no processo de inundação na Villa O'Higgins. Além disso, ameniza a complexidade do processo de tomada de decisão e de análise, principalmente se combinado com um SIG (MIRANDA, 2019).

A metodologia PAH foi escolhida pois é um modelo que processa informações para levar a uma decisão através da construção de hierarquias, considerando critérios múltiplos decisivos (COSTA, 2004). De acordo com o mesmo autor, esse

método foi proposto por Saaty no início dos anos 70, sendo baseado em três princípios: construção de hierarquias (elementos chaves alinhados a um objetivo principal), definição de prioridades (criar um quadro de “julgamentos” e calcular a prioridade de cada critério em relação ao objetivo principal - comparação entre pares numa matriz) e consistência lógica (avaliar a consistência da classificação).

Após a definição do problema, foram coletados os materiais e organizados em um banco de dados para definir as variáveis de comparação. Nessa etapa, foi construído um quadro de ponderação de variáveis e subvariáveis (classes) com base em Saaty (1977), conforme tabela 4.

Tabela 4. Escala de conversão.

Grau de importância	Definição
1	Igual importância
3	Importância moderada
5	Importância forte
7	Importância muito forte
9	Importância absoluta
2, 4, 5 e 8	Associadas à julgamentos intermediários

Nesta pesquisa, adaptou-se o modelo PAH de Saaty (1991), Das (2019), Fernández e Lutz (2010) e Msabi e Makonyo (2021) utilizando como variáveis os mapas hipsométrico, geológico, declividade, uso e cobertura da terra e distância em relação ao curso d’água da Villa O’Higgins. O Modelo Digital de Elevação (MDE) utilizado não se mostrou o mais adequado para a geração de dados devido à sua qualidade, apresentando algumas imperfeições em áreas mais planas, comprometendo, assim, uma análise de melhor qualidade do produto final. As variáveis foram selecionadas de acordo com a sua relevância e disponibilidade para o estudo em relação à suscetibilidade à inundação e são descritas a seguir.

a) Variável hipsometria

A variável hipsometria foi considerada devido a relevância do fator elevação no controle de áreas de inundação, pois é das regiões mais altas para as mais

baixas que a água flui, assim como exposto por Das (2019). Os valores foram divididos em 7 classes/subcritérios: valores menores do que 283 m correspondem às áreas úmidas e ao Lago O'Higgins, além de parte da área urbanizada; entre 283 - 290 estão localizadas a infraestrutura urbana e regiões rurais do município, próxima ao Rio Mosco e à planície de inundação, sendo caracterizada como uma área mais plana e aberta; entre 290 - 300 m possui algumas casas, mas em menor número, localizadas em uma área onde ocorre a confluência do Rio Mosco e a tendência a uma maior elevação; entre 300 - 310 e 310 - 320 m, esse mesmo curso d'água começa a afunilar em direção a montante, possuindo moradias em pequenas quantidades próximas ao rio; a classe entre 320 - 550 metros está localizada no curso do Rio Mosco em direção a áreas inundáveis a montante; e por último, classes acima de 550 metros representa o restante da sub-bacia hidrográfica, com áreas mais elevadas e mais declivosas.

b) Variável geologia

A variável geologia foi considerada, pois pode-se encontrar uma forte correlação entre a permeabilidade da rocha e a taxa de infiltração e, conseqüentemente, rochas impermeáveis favorecem o escoamento superficial, o que pode desencadear inundações (DAS, 2019).

A geologia da região é caracterizada pelas classes Q1 (Padrão planície aluvial/Depósito de colúvio-alúvio; Pleistoceno-Holoceno) e DC4 (Padrão em relevo de montanha; Devónico-Carbonífero). A classe Q1 é caracterizada por possuir depósitos aluviais, coluviais e de movimentos de massa; em menor proporção fluvio-glaciais, costeiros, deltaicos ou indiferenciados (SERNAGEOMIN, 2003) e abrange a área ocupada pela Villa O'Higgins, pois está inserida em uma área próxima à planície de inundação.

As áreas a montante da Villa O'Higgins são relacionadas ao padrão de formas de relevo de montanha e estão relacionadas à classe DC4, onde identificam-se litologias como metarenitos, filitas e, em menor proporção, mármore, metabasaltos, metaconglomerados e metaturbiditas. Estas litologias estão associadas ao Complexo Metamórfico Oriental de Aisén e Magalhães (SERNAGEOMIN, 2003).

A partir do mapa geológico e hipsometria foi gerado o mapa de padrão de formas de relevo com as seguintes classes: formas de relevo de montanha, formas de planície aluvial, formas de relevo em talus de colúvio-alúvio.

c) Variável declividade

A variável declividade foi escolhida, pois quanto maior a inclinação de um terreno, maior é a aceleração do escoamento superficial relacionado à precipitação. Isso significa que, maior será a quantidade de água a ser recebida nas regiões a jusante (ÇELIK *et al.*, 2012).

A partir da classificação proposta por Granell-Pérez (2001), encontramos as seguintes classes para a região dessa pesquisa: entre 0-5°, suave ondulado; 5-15°, ondulado; 15-25°, moderadamente ondulado; 25-35°, forte ondulado; 35-45°, montanhoso; e acima de 45°, escarpado. Para a análise hierárquica, utilizamos os relevos situados entre 0 e 25° e acima de 25°, que incluem os relevos que estão próximos à Villa O'Higgins e os localizados nas regiões a montante.

d) Variável uso e cobertura da terra

Para fins de comparação de par a par, foram consideradas as seguintes classes da variável uso e cobertura da terra: área rural, área urbanizada, campo/pastagem úmido com vegetação difusa, geleiras, lagos proglaciais, mata nativa, planície de inundação e áreas inundáveis e rocha exposta; representando as principais classes em relação à suscetibilidade à inundação na região do estudo.

A variável área urbanizada se localiza mais afastada ao curso do rio Mosco se comparada à área rural, sendo esta esta de grande importância na suscetibilidade à inundação se comparada à planície de inundação. A variável campo/pastagem úmido com vegetação difusa está mais suscetível à inundação que áreas somente de mata (nativa), pois a sua vegetação de pequeno porte influencia no nível de absorção e retenção de água no solo. Geleiras de montanha são menos suscetíveis à inundação, pois se encontram a montante de rios e lagos proglaciais, sendo este último proveniente do degelo glacial e, portanto, suscetíveis ao transbordamento e inundação. A variável leito do Rio Mosco recebe grandes quantidades de água quando o curso d'água transborda, portanto, com grande suscetibilidade à inundação. Por último, temos a rocha exposta que está menos

suscetível à inundação devido a sua baixa infiltrabilidade e por estar situada em regiões de elevada altitude.

e) Variável distância da margem do leito fluvial

De acordo com Fernández e Lutz (2010), a variável que mede a distância em relação aos cursos d'água tem grande importância no mapeamento de inundações, pois as áreas mais afetadas são aquelas próximas a esses cursos devido ao seu transbordamento.

A área urbanizada da Villa O'Higgins, conseqüentemente com maior número de casas, se encontra mais afastada do rio principal (Mosco). Entretanto, na área rural, é possível encontrar moradias bastante próximas ao rio, como na distância aproximada de 20 metros.

Em Samanta *et al.* (2016) considerou que regiões situadas a menos de 100 metros de distância do curso d'água são altamente propensas a inundações; já aquelas acima de 2000 m com potencial de inundação muito baixo. Na nossa pesquisa, usando como referência o trabalho realizado por Fernández e Lutz (2010), criamos um *buffer* para identificar as distâncias das áreas selecionadas em relação ao *shapefile* da hidrografia local (duas sub-bacias hidrográficas), disponibilizada por Geoportal do Chile (<http://www.geoportal.cl>), conforme a variação da largura do leito do rio, que pode influenciar em uma área maior um menor: afluente sem lagos proglaciais na vertente norte, 50 metros (alta proximidade), seguindo com as próximas distâncias de 100 (média proximidade), 300 (baixa proximidade) e acima de 300 metros (baixíssima proximidade); lagos proglaciais a montante, rio principal (Mosco) até início do leito maior (jusante) e afluentes com lagos proglaciais, 100 (alta proximidade), 200 (média proximidade), 500 e acima de 500 metros; e o leito maior, inicialmente 300 (alta proximidade), 400 (média proximidade), 500 (baixa proximidade) e acima de 500 metros (baixíssima proximidade).

3.3.1 Matriz de comparação e normalização

Para Paula e Cerri (2012), precisamos decompor o problema do topo (objetivo geral) ao último nível (fatores específicos, como as classes ou subcritérios). A

estrutura do método PAH contém objetivos, variáveis (parâmetros de avaliação) e classificação das alternativas. Assim, quanto mais variáveis temos, menos importante cada variável se torna, sendo compensada através de atribuição de pesos.

A escala de conversão dos critérios em pesos numéricos, conforme Saaty (1977), aumenta conforme o grau de importância. Essa conversão dá origem a um quadro de julgamentos. Os pesos atribuídos foram de 1 a 9, sendo 9 o maior grau de importância na suscetibilidade à inundação e 1 o menor. A matriz para comparação foi realizada par a par em relação ao grau de importância no quesito de suscetibilidade à inundação, conforme apresentado nas tabelas 5 e 6. O limite de 9 graus nessa escala se deve ao fato de que pesquisadores concluíram que o máximo de comparações simultâneas que um indivíduo pode fazer para que a classificação fique consistente é de 9 pontos (FERNÁNDEZ & LUTZ, 2010).

Tabela 5. Matriz de comparação pareada (A) de classes.

Variável	Classes	Pesos	Pesos	Pesos	Pesos	Pesos	Pesos	Pesos
Hipsometria	< 283	1	2	3	4	5	6	8
	283 - 290	1/2	1	2	3	4	5	6
	290 - 300	1/3	1/2	1	2	3	4	5
	300 - 310	1/4	1/3	1/2	1	2	3	3
	310 - 320	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3
	320 - 550	1/6	1/5	1/4	1/3	1/5	1	4
	> 550	1/8	1/6	1/5	1/3	1/3	1/4	1
	SOMA	2,58	4,45	7,28	11,17	15,83	21,25	30,00
Declividade	0 - 5	1	3	5	6			
	5 - 15	1/3	1	3	5			
	15 - 25	1/5	1/3	1	3			
	> 25	1/6	1/5	1/3	1			
	SOMA	1,70	4,53	9,33	15,00			
Geológico	Q1 - Padrão planície aluvial/Depósito de colúvio-alúvio	1	9					
	DC4 - Padrão em relevo de montanha	1/9	1					
	SOMA	1,11	10,00					

Uso e cobertura da terra	Classes	Pesos	Pesos	Pesos	Pesos	Pesos	Pesos	Pesos	Pesos
	Área rural	1	4	3	7	1/3	4	1/2	7
	Área urbanizada	1/4	1	1/2	3	1/5	3	1/4	5
	Campo/pastagem úmido com vegetação difusa	1/3	2	1	5	1/4	4	1/5	4
	Geleiras	1/7	1/3	1/5	1	1/9	1/4	1/7	1/2
	Lagos proglaciais	3	5	4	9	1	8	2	8
	Mata	1/4	1/3	1/4	4	1/8	1	1/3	3
	Leito do Rio Mosco	2	5	4	7	1/2	3	1	8
	Rocha exposta	1/7	1/5	1/4	2	1/8	1/3	1/8	1
	SOMA	7,12	17,87	13,20	38,00	2,64	23,58	4,55	36,50
Distância da margem do leito fluvial	Alta proximidade	1	3	7	9				
	Média proximidade	1/3	1	4	6				
	Baixa proximidade	1/7	1/4	1	2				
	Baixíssima proximidade	1/9	1/6	1/2	1				
	SOMA	1,59	4,42	12,50	18,00				

Tabela 6. Matriz de comparação pareada (A) de critérios.

Variável	Hipsometria	Declividade	Geológico	Uso e cobertura do solo	Distância ao curso d'água
Hipsometria	1	2	4	5	1/2
Declividade	1/2	1	3	4	1/3
Geológico	1/4	1/3	1	3	1/4
Uso e cobertura da terra	1/5	1/4	1/3	1	1/5
Distância ao curso d'água	2	3	4	5	1
SOMA	3,95	6,58	12,33	18,00	2,28

Nas matrizes pareadas, ou seja, comparadas de par a par, as diagonais sempre recebem o valor 1:

“Na matriz de comparação pareada as posições da diagonal sempre recebem o valor 1, dado que um elemento é igualmente importante para ele mesmo. Para as comparações inversas, isto é, na parte inferior esquerda da matriz, colocam-se os valores recíprocos daqueles da parte superior direita da matriz (PAULA & CERRI, 2012).”

Após a pareação das matrizes, o próximo passo consistiu em criar uma matriz ponderada dos valores obtidos para compreensão dos pesos de cada variável ou classe. Para ponderar, é necessário dividir cada elemento pela soma de sua coluna, conforme as tabelas 7 e 8.

Tabela 7. Matriz ponderada das classes.

Variável	Classes	Peso	Peso	Peso	Peso	Peso	Peso	Peso	Peso	Pesos normalizados (ω)
Hipsometria	< 283	0,3883	0,4494	0,4119	0,3582	0,3158	0,2824	0,2667		0,3532
	283 - 290	0,1942	0,2247	0,2746	0,2687	0,2526	0,2353	0,2000		0,2357
	290 - 300	0,1294	0,1124	0,1373	0,1791	0,1895	0,1882	0,1667		0,1575
	300 - 310	0,0971	0,0749	0,0686	0,0896	0,1263	0,1412	0,1000		0,0997
	310 - 320	0,0777	0,0562	0,0458	0,0448	0,0632	0,0941	0,1000		0,0688
	320 - 550	0,0647	0,0449	0,0343	0,0299	0,0316	0,0471	0,1333		0,0551
	> 550	0,0485	0,0375	0,0275	0,0299	0,0211	0,0118	0,0333		0,0299
Declividade	0 - 5	0,59	0,66	0,54	0,40					0,5466
	5 - 15	0,20	0,22	0,32	0,33					0,2679
	15 - 25	0,12	0,07	0,11	0,20					0,1246
	> 25	0,10	0,04	0,04	0,07					0,0611
Geológico	Q1 - Padrão planície aluvial/Depósito de colúvio-alúvio	1,00			9,00					0,9005
	DC4 - Padrão em relevo de montanha	0,11			1,00					0,1001
Uso e cobertura da terra	Área rural	0,14	0,22	0,23	0,18	0,13	0,17	0,11	0,19	0,1716
	Área urbanizada	0,04	0,06	0,04	0,08	0,08	0,13	0,05	0,14	0,0753

	Classes	Peso	Peso	Peso	Peso	Peso	Peso	Peso	Peso	Pesos normalizados (ω)
	Uso e cobertura da terra	Campo/pastagem com vegetação difusa	0,05	0,11	0,08	0,13	0,09	0,17	0,04	0,11
Geleiras		0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,01	0,03	0,01	0,0222
Lagos proglaciais		0,42	0,28	0,30	0,24	0,38	0,34	0,44	0,22	0,3271
Mata		0,04	0,02	0,02	0,11	0,05	0,04	0,07	0,08	0,0529
Leito do Rio Mosco		0,28	0,28	0,30	0,18	0,19	0,13	0,22	0,22	0,2254
Rocha exposta		0,02	0,01	0,02	0,05	0,05	0,01	0,03	0,03	0,0274
Distância da margem do leito fluvial		Alta proximidade	0,63		0,68		0,56		0,50	
	Média proximidade	0,21		0,23		0,32		0,33		0,2335
	Baixa proximidade	0,09		0,06		0,08		0,11		0,0941
	Baixíssima proximidade	0,07		0,04		0,04		0,06		0,0456

Tabela 8. Matriz ponderada de critérios.

Variável	Hipsometria	Declividade	Geológico	Uso e cobertura da terra	Distância ao curso d'água	Pesos normalizados (ω)
	Peso	Peso	Peso	Peso	Peso	
Hipsometria	0,25	0,30	0,32	0,28	0,22	0,2756
Declividade	0,13	0,15	0,24	0,22	0,15	0,1780
Geológico	0,06	0,05	0,08	0,17	0,11	0,0942
Uso e cobertura da terra	0,05	0,04	0,03	0,06	0,09	0,0518
Distância ao curso d'água	0,51	0,46	0,32	0,28	0,44	0,4004

A próxima etapa requer a normalização da matriz de comparação dos critérios utilizados. Assim, obtivemos os pesos normalizados de cada variável (Tabelas 7 e 8; vetor de prioridades (ω), como em PAULA e CERRI, 2012). Para isso, calculamos a média dos valores de cada linha dessa mesma matriz. Como resultado, tem-se o elemento de maior importância. O próximo passo consistiu em calcular o Índice de Consistência (IC) dos resultados através do autovalor máximo e do número de critérios (n) analisados na pesquisa, para então calcularmos a Razão de Consistência (RC) e verificarmos a coerência do julgamento na comparação pareada (PAULA e CERRI, 2012):

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Para isso, o autovalor máximo (λ_{max}) é calculado através da soma da multiplicação dos elementos da linha da matriz pareada (A) pelo vetor de prioridades (w - pesos normalizados). O resultado obtido (Aw) foi dividido pelo vetor de prioridades (w) (SAATY, 1991, apud PAULA e CERRI, 2012):

$$\lambda_{max} = \frac{A * \omega}{\omega}$$

De acordo com Saaty (1991), a Razão de Consistência (RC) é calculada através da razão entre o Índice de Consistência (IC) pelo Índice de Consistência randômico médio (IC_{rm}), sendo este pré-definido em função do número de critérios e classes, de acordo com a tabela 9. Os resultados dos autovalores máximos, dos índices e razões de consistências estão apresentados nas tabelas 10 e 11.

$$RC = \frac{IC}{IC_{rm}}$$

Tabela 9. Índice de Consistência randômico médio do PAH, segundo Saaty (1991).

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IC _{rm}	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

Tabela 10. Índice e Razão de Consistência dos critérios.

Variável	A ω	λ_{max}	IC	RC
Hipsometria	1,4675	5,3246	0,08	0,07
Declividade	0,9390	5,2756	0,07	0,06
Geológico	0,4778	5,0708	0,02	0,02
Uso e cobertura do solo	0,2629	5,0790	0,02	0,02
Distância ao curso d'água	2,1213	5,2977	0,07	0,07

Tabela 11. Índice e Razão de Consistência das classes.

Variável	Classes	A ω	λ_{max}	IC	RC
Hipsometria	< 283	2,6100	7,3888	0,06	0,05
	283 - 290	1,7567	7,4525	0,08	0,06
	290 - 300	1,1690	7,4214	0,07	0,05
	300 - 310	0,7380	7,4049	0,07	0,05
	310 - 320	0,5007	7,2770	0,05	0,03
	320 - 550	0,3878	7,0366	0,01	0,00
	> 550	0,2148	7,1788	0,03	0,02
Declividade	0 - 5	2,3403	4,2815	0,09	0,10
	5 - 15	1,1297	4,2163	0,07	0,08
	15 - 25	0,5067	4,0663	0,02	0,02
	> 25	0,2474	4,0455	0,02	0,02
Geológico	Q1 - Pleistoceno-Holoceno	1,8009	2,00	0,00	0,00
	DC4 - Devónico-Carbonífero	0,2001	2,00	0,00	0,00
Uso e cobertura do solo	Área rural	1,5476	9,0162	0,15	0,10
	Área urbanizada	0,6513	8,6457	0,09	0,07
	Campo/pastagem úmido com vegetação difusa	0,8650	8,8289	0,12	0,08
	Geleiras	0,1869	8,4061	0,06	0,04
	Lagos Proglaciais	2,9037	8,8761	0,13	0,09
	Mata	0,4325	8,1788	0,03	0,02
	Leito do Rio Mosco e área inundável	2,0342	9,0249	0,15	0,10
	Rocha exposta	0,2226	8,1293	0,02	0,01
Distância da margem do leito fluvial	Alta proximidade	2,4580	4,1499	0,05	0,06
	Média proximidade	1,1125	4,0836	0,03	0,03
	Baixa proximidade	0,3388	4,0128	0,00	0,00
	Baixíssima proximidade	0,2043	4,0190	0,01	0,01

Com o resultado da Razão de Consistência, foi possível verificar a veracidade dos pesos estatísticos utilizados. Para isso, é necessário obter um valor igual ou inferior a 0,1, representando, no mínimo, 90% de veracidade no que se refere ao julgamento das variáveis (MIRANDA *et al.*, 2019). Conforme é possível verificar, os resultados obtidos estão dentro do valor mínimo aceitável em relação ao julgamento, ou seja, estão consistentes conforme Saaty (1991).

Como etapa final, foi elaborado um mapa da distribuição espacial das áreas suscetíveis à inundação através da sobreposição de mapas e dos seus respectivos pesos comparados na tabela cruzada por uma álgebra de mapas no *software* ArcGIS.

3.4 ANÁLISE DO MAPA DE SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO

Nesta etapa final, foi realizada uma análise do mapa de suscetibilidade à inundação, evidenciando as áreas com maior probabilidade de ocorrência desse risco na Villa O'Higgins.

Para a produção deste mapa, foram utilizados arquivos em formato raster, com resolução de 12,5 metros. Com o uso da ferramenta *Weighted Overlay* (FERREIRA & SILVA, 2020), associando os critérios e classes utilizados com os seus respectivos pesos estabelecidos na etapa anterior, conforme a equação abaixo, foi possível obter o mapa de suscetibilidade à inundação:

$$S = (H * \omega H) + (D * \omega D) + (G * \omega G) + (U * \omega U) + (Dis * \omega Dis)$$

$$S = (H * 0,2756) + (D * 0,1780) + (G * 0,0942) + (U * 0,0518) + (Dis * 0,4004) / 5$$

Sendo:

S - Mapa de suscetibilidade à inundação; H - Hipsometria; D - Declividade; G - Geologia; U - Uso e cobertura da terra; Dis - Distância em relação ao curso d'água; ω - Peso do critério (obtido pelo PAH).

Vinculada a essa análise, foi utilizado um mapeamento realizado nos dias 5 de fevereiro e 19 de abril de 2018 referente a pontos de observação em terreno de áreas inundadas na comunidade pelo Rio Mosco (SERNAGEOMIN, 2018), para comparação entre as áreas inundadas (no ano de 2018) com aquelas passíveis de inundação (mapa de suscetibilidade), relacionando-as à distribuição espacial das classes de uso e cobertura da terra e aos dados adquiridos na pesquisa exploratória.

4. RESULTADOS

4.1 AS INUNDAÇÕES REPORTADAS POR NOTÍCIAS EM MEIOS ELETRÔNICOS

A tabela 12 apresenta a relação de eventos de inundação ou aumento de vazão encontrados nos jornais locais, e a figura 12 reúne informações referente à quantidade de notícias encontradas nesses jornais sobre as inundações que ocorreram entre 2015 e 2020.

Tabela 12. Eventos de inundação identificados nas mídias digitais.

Evento	Data
Isolamento familiar por aumento da vazão Rio Mosco	29/12/15
Isolamento familiar por aumento da vazão Rio Mosco	02/16
Aumento da vazão Rio Mosco, campesinos afetados	05/02/18
Aumento da vazão Rio Mosco, campesinos afetados	18/04/18
Aumento da vazão Rio Mosco, campesinos afetados	24/12/19
Aumento da vazão Rio Mosco, campesinos afetados	04/01/20

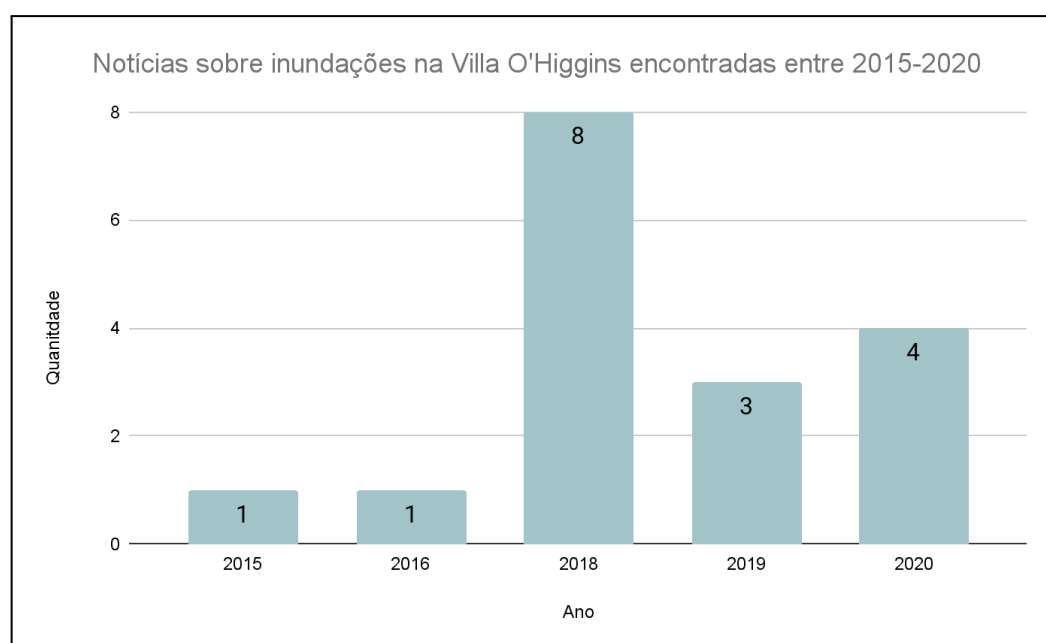


Figura 12. Quantidade de notícias sobre inundações encontradas por ano.

No ano de 2015, o canal digital “Aquiaysén” publicou uma reportagem (Figura 17) sobre o aumento do nível da água do rio Mosco na Villa O’higgins, inundando uma rota (sem identificação) de passagem de veículos, informando, ainda, que uma família estava em situação de isolamento devido ao transbordamento desse rio, mas sem perdas materiais.

É possível verificar o mesmo tipo de evento no ano de 2016 (MUNICIPALIDAD DE O’HIGGINS, 2016), em que um campesino local relata que por ter sua moradia próxima ao curso d’água, sofre com constantes inundações em seu terreno há mais de 12 anos. Como consequência, sua plantação de alimentos foi bastante afetada.



Figura 13 Reportagem sobre isolamento familiar devido ao aumento da vazão do Rio Mosco.
Fonte: VILLA (2015).

Durante o ano de 2018, há várias reportagens e relatos sobre eventos de inundação na comunidade. A primeira notícia deste ano (figura 14) se refere ao evento que ocorreu durante o verão austral, no dia 6 de fevereiro.



Figura 14. Reportagem sobre degelo glacial e aumento da vazão do Rio Mosco.
Fonte: VACCARO, 2018.

As chuvas intensas que ocorreram na região somadas ao degelo glacial influenciaram no processo de transbordamento do rio Mosco, inundando e atingindo alguns campesinos, que tiveram suas plantações e moradias danificadas, além de causar isolamento de famílias, pois uma estrada ficou inundada. Esse informe também trouxe um pedido às autoridades do Chile para que se manifestassem em relação a uma solução para esse problema de inundação, pois o prefeito local explicou que o rio se tornou uma ameaça constante aos moradores locais.

Para o contexto da Villa O'Higgins, a figura 15 está representando o acúmulo de precipitação mensal para o ano de 2018. Uma maior quantidade de acumulação pluviométrica, em milímetros, pode estar relacionada a um mês mais chuvoso ou também a poucos dias de chuva, mas com grande volume de água, como no exemplo abaixo, no mês de abril, que nos mostra o mês em que ocorreu uma inundação na cidade, segundo o jornal eletrônico *La Tercera*, na notícia "*Autoridades de Villa O'Higgins trabajan en emergencia tras desborde de río*" (2018), figura 16. Os dados estão disponíveis no sítio eletrônico Dirección Meteorológica de Chile - Servicios Climáticos (<https://climatologia.meteochile.gob.cl/>).

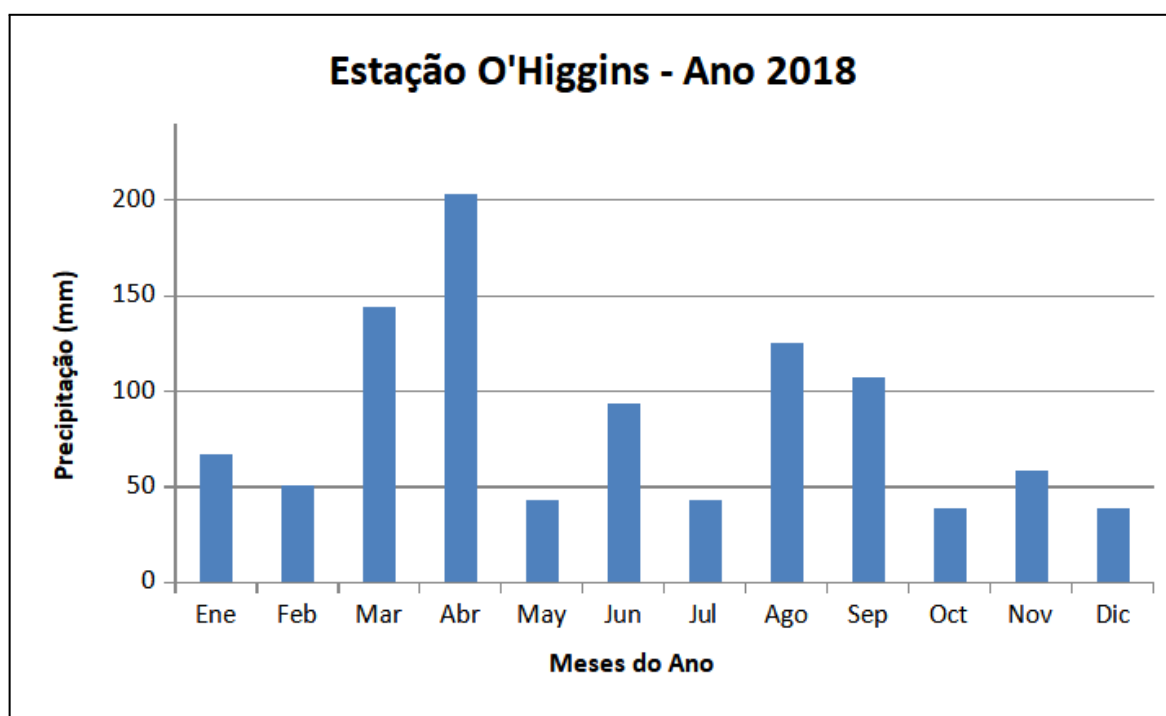


Figura 15. Gráfico da precipitação média mensal para o ano de 2018. Fonte: DELGADO (2020).

NACIONAL Alerta Amarilla Onemi ...

Autoridades de Villa O'Higgins trabajan en emergencia tras desborde de río



Foto: Twitter @mmontiel

Las autoridades declararon Alerta Amarilla en la comuna debido a las fuertes precipitaciones que afectaron la zona.


La Tercera **22 ABR 2018** 04:36 PM Tiempo de lectura: 1 minuto

Figura 16. Reportagem sobre inundação na Villa O'higgins.Fonte: La Tercera, 2018.

Nesse mesmo mês, abril, a direção regional da ONEMI (*Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior y Seguridad Pública*) publicou em seu sítio eletrônico (figura 17) uma advertência informando o monitoramento em relação ao transbordamento do rio Mosco e a retirada de dois habitantes da região devido à inundação que atingiu a sua casa.

As figuras 18 e 19 evidenciam na reportagem um período relativamente curto entre cada matéria no mês de abril de 2018 para a comunidade Villa O'Higgins. As autoridades locais auxiliam a população atingida pela inundação através de evacuação de campesinos afetados, resgate de pessoas isoladas (figura 21), criação de contenções e canalizações para que o rio não atinja essas residências. Os relatos contêm informações que remetem ao degelo glacial na região, além da precipitação que influenciou no transbordamento do rio Mosco.

Aumento de caudal del Río Mosco, comuna de O'Higgins, Región de Aysén (Amplía información)

 18/04/2018 | 20:31 | Aysén del Gral Carlos Ibáñez del Campo

De acuerdo con la información proporcionada por la Dirección Regional de ONEMI Aysén, en relación al deshielo en alta montaña que produjo un aumento de caudal del Río Mosco, ubicado al sur de Villa O'Higgins, comuna de O'Higgins, se indica que a la hora del presente reporte el río presentó una nueva crecida, producto de lo cual 2 personas fueron trasladadas a casa de familiares, tras resultar anegada su vivienda.

Cabe señalar, que el actual desborde del río Mosco presenta amenaza a la ruta que conecta bahía Bahamonde con la Villa O'Higgins.

Personal Municipal y Carabineros se mantienen evaluando la condición del río Mosco. Por otra parte, la Dirección Regional de ONEMI Aysén mantiene monitoreo constante de este evento.

[Volver](#)

Figura 17. Reportagem sobre inundação na Villa O'higgins. Fonte: ONEMI, 2018.



Figura 18. Reportagem sobre inundação na Villa O'higgins. Fonte: AYSÉN, 2018.

A notícia relatada pelo jornal *Cooperativa* (AYSÉN, 2018), traz informações referente a um deslizamento da margem do rio que deslocou o curso d'água, atingindo o setor conhecido como "Fazendas do Rio Mosco". Quatro famílias foram retiradas de suas residências, que foram afetadas pela água e sedimentos, em direção a abrigos. As figuras 19 e 20 mostram o rompimento de uma ponte com o volume d'água, além de uma residência que também foi atingida.



Figura 19. Fotografia da ponte rompida com a inundação. Fonte: AYSÉN, 2018.

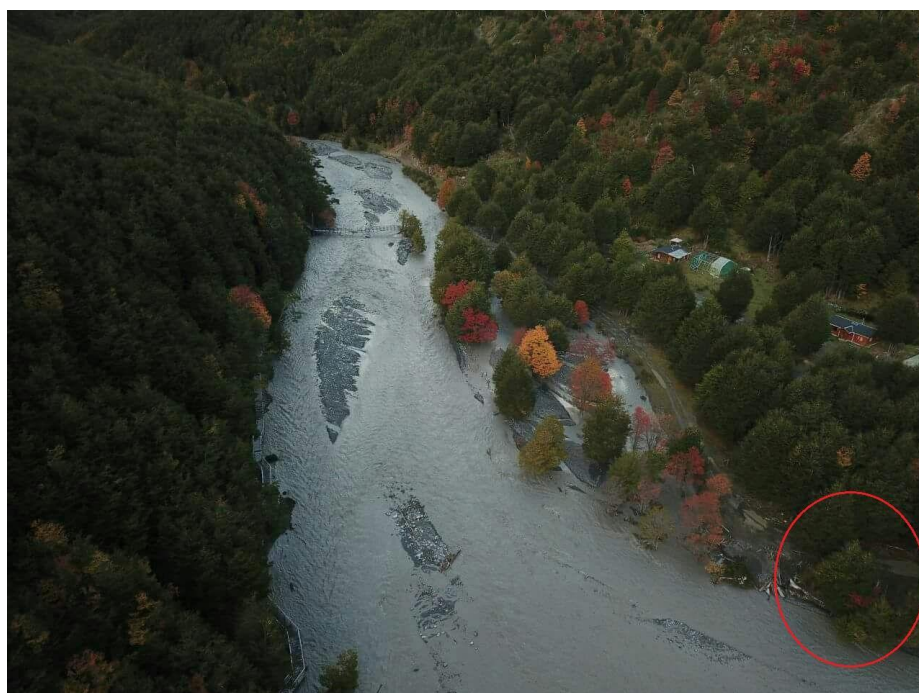


Figura 20. Fotografia de residência atingida pela água. Fonte: AYSÉN, 2018.



Figura 21. Reportagem sobre resgate de morador em inundação. Fonte: AYSÉN, 2018(a).

Nos dias 24 de dezembro de 2019 e 3 e 4 de janeiro de 2020, os jornais *Cooperativa* (VERDEJO, 2018; VERDEJO, 2020) e *Radio Las Nieves* (VILLA, 2020) informaram que ocorreram novos transbordamentos no Rio Mosco, afetando residências na comunidade campesina de Villa O'Higgins próximas ao curso d'água. As inundações, que ocorreram de forma subsequente em um curto período de tempo, acarretaram muitos prejuízos para algumas famílias campesinas (figuras 22, 23, 24 e 25).

Vecinos de Villa O'Higgins fueron rescatados tras inundaciones por crecida del río Mosco

Publicado: Martes, 24 de Diciembre de 2019 a las 15:11hrs. | Periodista Digital: [Javier Verdejo P.](#)

- Los habitantes del sector exigen a las autoridades soluciones definitivas.
- Existe preocupación por la situación meteorológica para los próximos días.

Foto: *Municipalidad de O'Higgins*



Se pronostican lluvias para los próximos seis días.

Figura 22. Reportagem sobre resgate de campesinos em inundação. Fonte: VERDEJO, 2018.



Figura 23. Residência invadida por água e sedimentos. Fonte: VERDEJO, 2020.



Figura 24. Residências inundadas por água e sedimentos. Fonte: VILLA, 2020.



Figura 25. Residências inundadas por água e sedimentos. Fonte: VERDEJO, 2020.

La inundación se produjo por el frente de inestabilidad climática que ha afectado al territorio regional, siendo la causa principal la caída de nieve entre los 1.200 y 2.000 metros de altura aproximadamente, la que al derretirse provocó la crecida de las aguas.

“Las condiciones de inestabilidad se mantienen (en los próximos días), con precipitaciones, pero con temperaturas altas o acordes a la temporada y no tendríamos bajas temperaturas como el sistema frontal frío que nos afectó las últimas dos semanas”, finalizó el director de Onemi.

Figura 26. Trecho de reportagem sobre inundação pelo derretimento da neve. Fonte: VILLA, 2015.

El deshielo de los glaciares **Mosco** y **La Huemula**, sumado a las intensas lluvias que han arreciado en la región de Aysén, provocaron el desborde del **río Mosco**, situación que ha afectado a los vecinos del sector que lleva dicho nombre, que vieron dañados sus cultivos y viviendas.

Figura 27. Trecho de reportagem sobre inundação pelo derretimento da neve. Fonte: VACCARO, 2018.

O aumento do volume d'água no Rio Mosco, que tem sua nascente na Geleira Mosco, está sendo associado ao aumento de temperatura na região, provocando o derretimento de geleiras e, conseqüentemente, mais aporte de água no rio, excedendo a sua capacidade de vazão (figuras 26, 27, 28 e 29).

La autoridad aprovechó de dar cuenta de la real gravedad de la situación, asegurando que "lo que tenemos **es una situación mucho mayor. El glaciar El Mosco** con el proceso del **cambio climático** está entregando **mucho más agua** de lo que daba originalmente".

"Esto no se debe ni a las lluvias ni a otra cosa, esto se debe al derretimiento del glaciar", concluyó Mera.

Figura 28. Trecho de reportagem sobre aumento do degelo de geleira. Fonte: AYSÉN, 2018a.

Villa O'Higgins:

Han sido días complicados para quienes viven en las cercanías del río Mosco en Villa O'Higgins, ya que nuevamente este fin de semana el aumento del caudal provocó inundaciones y pérdidas totales a diversas familias.

El río, que nace del glaciar del mismo nombre, ha tenido un aumento constante y, pese a los esfuerzos, el nivel de afectación provocó la evacuación de familias y su posterior reubicación en el poblado.

El alcalde de la comuna, Roberto Recabal, junto al equipo municipal, ha estado constantemente apoyando a los pobladores afectados. Al respecto señaló que "se produjo un aumento del caudal producto de las intensas lluvias y altas temperaturas, afectando a nuestros vecinos Cristian Chávez, Pedro Vera, Osvaldo Arratia y Tomás Ulloa, los cuales perdieron todo el esfuerzo de años, como es la casa propia".

Figura 29. Trecho de reportagem sobre aumento do degelo de geleira. Fonte: NUEVA, 2018.

A figura 30 apresenta uma fotografia da planície de inundação do Rio Mosco (extensão de 3,5 km e largura aproximada de 400 m) durante um forte período de precipitação na região. A água do degelo se acumula a montante e, através do rio, percorre até a sua foz, passando pela planície de inundação - área próxima que

habitualmente não é ocupada pelas águas (IPT, 2007), mas que recebe o extravasamento do rio após fortes chuvas, causando inundações (AMARAL & RIBEIRO, 2009).



Figura 30. Planície de inundação. Fonte: VERDEJO, 2020.

Em dezembro de 2019, o jornal *Diario Regional Aysen* (Figura 31) publicou uma matéria que relata sobre as obras que desenvolveram junto ao Rio Mosco: defesa fluvial para a água não ultrapassá-la, um gabião de 420 metros de comprimento. Além disso, estavam construindo um *enrocado* de 820 metros de extensão para evitar a erosão no setor, conduzindo o fluxo do canal para evitar transbordamentos.



Figura 31. Reportagem sobre a prevenção de inundações no Rio Mosco. Fonte: PAVEZ, 2019.

Apresentaram-se as principais notícias encontradas para eventos de inundação que ocorreram nos últimos 7 anos na comunidade Villa O'Higgins. Os resultados obtidos evidenciaram, através da exposição de relatos de campesinos residentes na região, o aumento do aporte d'água no Rio Mosco proveniente do degelo glacial a montante nos últimos anos, além do aumento da instabilidade climática, evidenciada através de fortes precipitações e da elevação da temperatura local.

4.2 O CONTEXTO DE AUMENTO DOS LAGOS E DA RETRAÇÃO DAS GELEIRAS

As geleiras da região da Villa O'Higgins vêm sofrendo com alterações na paisagem nas últimas décadas. O recuo glacial entre os anos de 1985 e 2021 levou a perda de 11,69 km² (40,83%) de área. Ao comparar os períodos, houve uma perda de área glacial de 3,25 km² (11,35%) entre os anos de 1985 e 1994 (Figuras 32 e 33 e tabela 13). Contudo, ao analisar um período maior de tempo, verifica-se que entre os anos de 2011 e 2021 houve uma perda de área de 24,40%, enquanto entre 1985 e 2000 a perda foi de 12,95%.

Tabela 13. Variação da cobertura glacial e de lagos proglaciais entre 1985 e 2021 na sub-bacia do Rio Mosco.

Ano	Área geleiras (km ²)	Área lagos proglaciais (km ²)
1985	28,63	0,09
1994	25,38	0,12
2000	24,92	-
2011	22,41	0,28
2016	19,87	-
2021	16,94	0,47

Em consequência do degelo glacial, a cobertura lacustre aumentou de área entre 1985 e 2021 nas regiões de montanha, sub-bacia hidrográfica do Rio Mosco. No total, cresceu em 0,38 km² de área (422,22%) (Figuras 34 e 35 e tabela 13). No intervalo entre 1985 e 2011 (26 anos), a área lacustre aumentou em 211,11% (0,19

km²); entre 2011 e 2021 (10 anos), 67,86% (igualmente 0,19 km²). Além disso, o gráfico da Figura 35 apresenta uma tendência de aumento para os próximos anos.

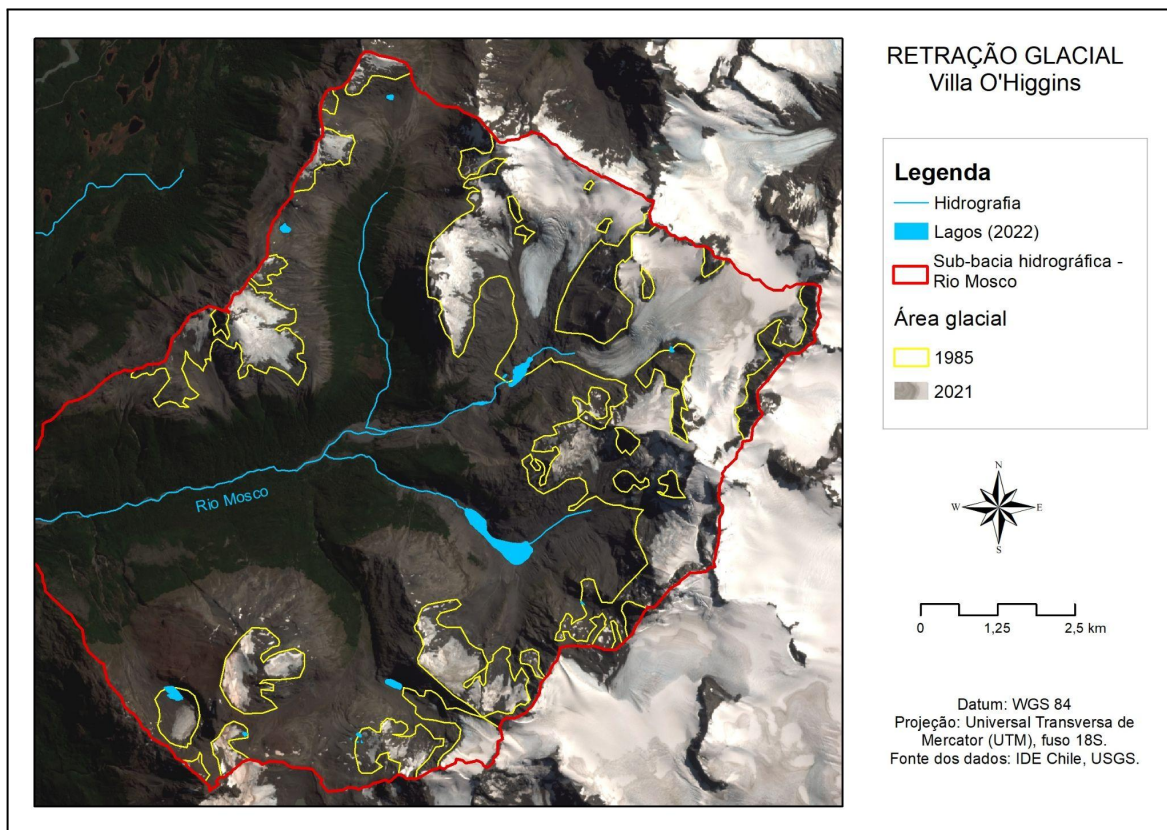


Figura 32. Recuo de geleiras da área de estudo.

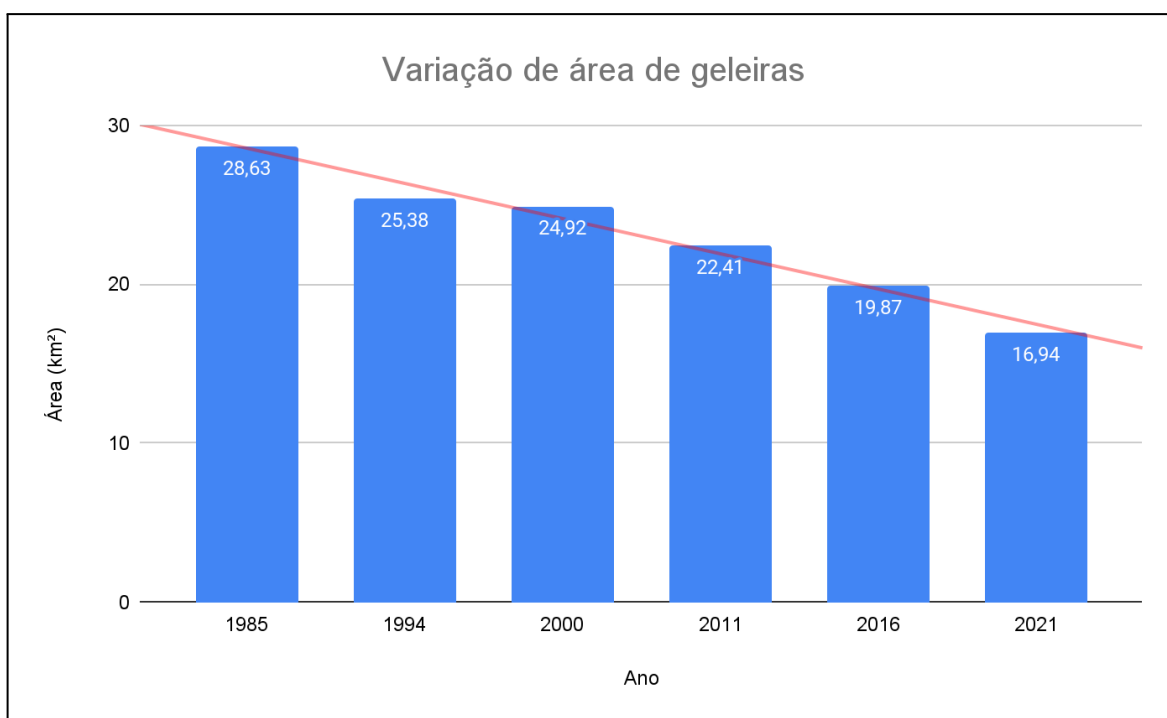


Figura 33. Variação da cobertura glacial entre 1985 e 2021 na sub-bacia do rio Mosco.

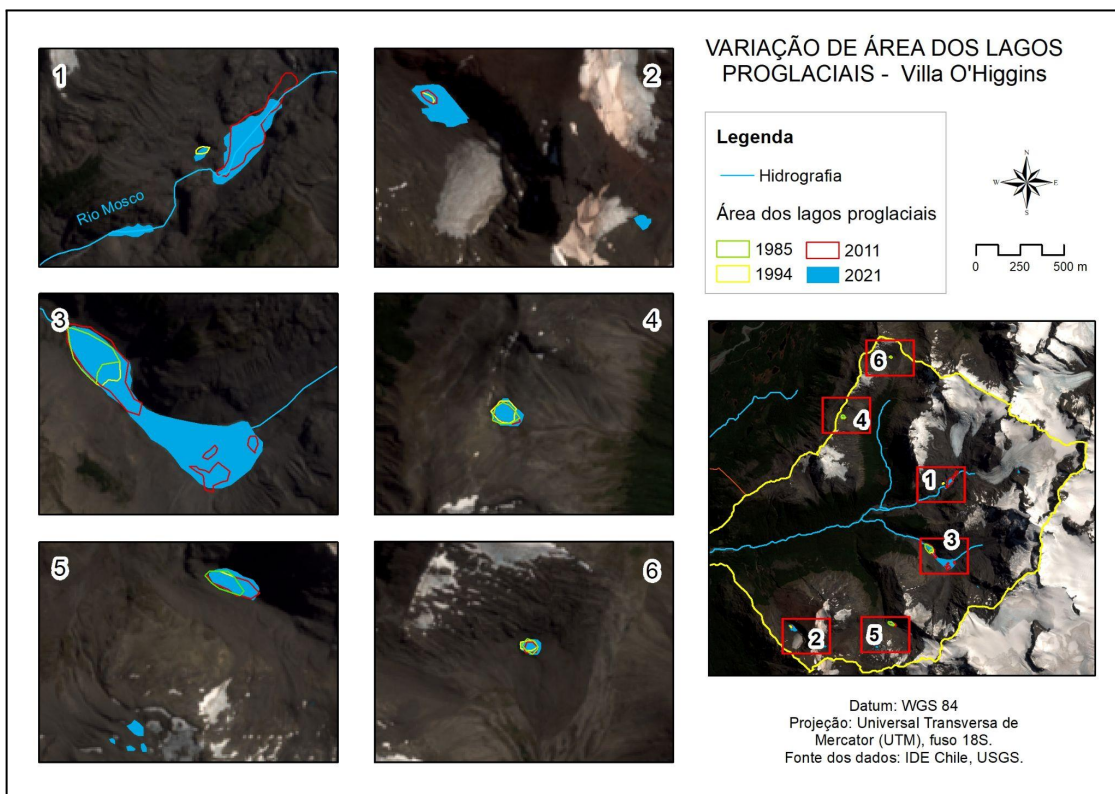


Figura 34. Variação de área dos lagos proglaciais na sub-bacia do Rio Mosco.

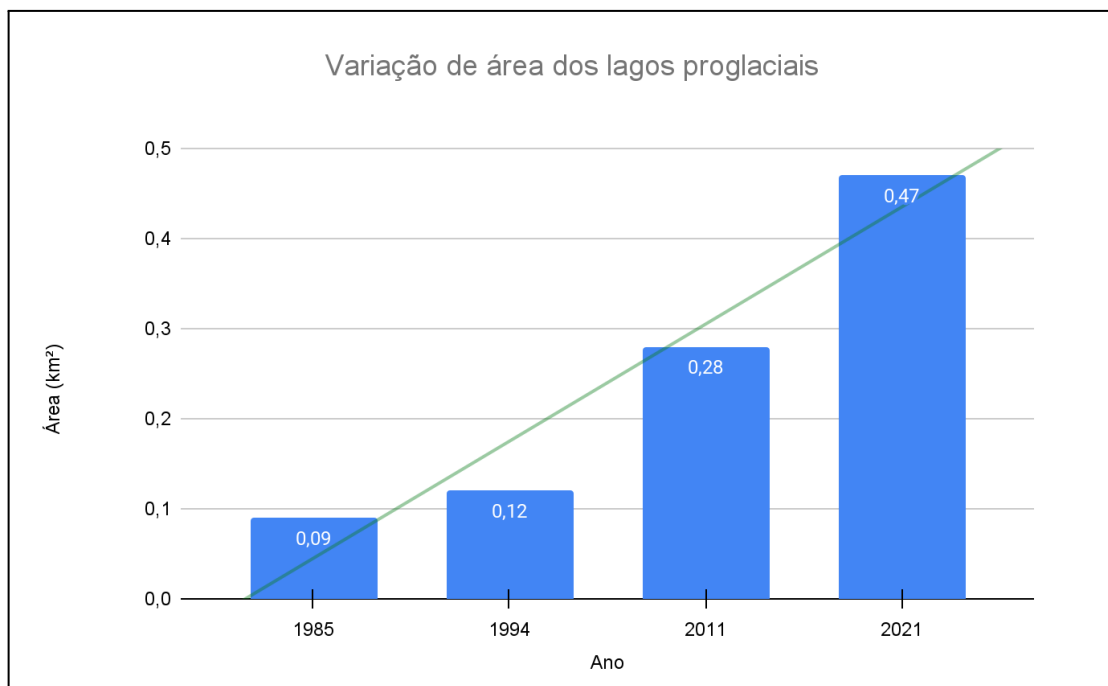


Figura 35. Variação na área dos lagos proglaciais entre 1985 e 2021 na sub-bacia do Rio Mosco.

4.3 CARACTERIZAÇÃO SOCIOECONÔMICAS E ANÁLISE DOS ATRIBUTOS AMBIENTAIS

4.3.1 Dados censitários sobre a população

A comunidade pode ser acessada por via aérea, terrestre ou fluvial/lacustre (Rio Mayer, Rio Mosco, Lago O'Higgins ou dos Lagunas). Foi criada em 1966 com a finalidade de colonização, criação de gado e introdução da população chilena na região. A área urbana da cidade é de aproximadamente 0,47 km² e área total de 8.182,5 km² (Tabela 14). Sua população, em 2017, era de 625 habitantes, com uma densidade demográfica de 0,05 habitantes por km². Na comunidade, os níveis escolares alcançam o ensino médio, com uma média de 10,4 anos de estudo por pessoa (Tabela 14).

Aproximadamente 85,2% da população acima de 15 anos está em situação de trabalho, sendo a sua maioria no setor terciário (78,4%), como supermercados, minimercados, estabelecimentos de artesanatos, serviços de alojamento (*campings*, *hostels* e outros), serviços de alimentação e prestação de serviços para o turismo. O turismo é um dos setores de ocupação da população com idade ativa na comunidade. Contudo, segundo o DPDR (2020), a maioria dos empregos disponíveis são temporários e de baixa remuneração, principalmente durante o verão quando começa a temporada turística, gerando instabilidade na economia familiar.

O setor primário (17,8%) é caracterizado principalmente pela exploração de recursos florestais sobre espécies nativas. A extração é realizada a partir de um plano de manejo concedido pela CONAF (Confederação Nacional de Agricultura Familiar) com aproximadamente 150 hectares para exploração, e tem como finalidade a venda para uso doméstico. Segundo DPDR (2020), até o ano de 2018 não haviam se estabelecido plantações com espécies exóticas na região para silvicultura. Já a agricultura não apresenta uso intensivo/extensivo devido às condições climáticas e da baixa qualidade do solo para plantio. Geralmente são realizadas atividades agrícolas de pequena escala e com a utilização de estufas.

No setor primário a comunidade também é uma das principais representantes quanto às atividades relacionadas à pecuária na região de Aysen, ficando atrás somente de Cochrane. As condições topoclimáticas da zona permitem a criação

tanto de gado ovino (produção principal de lã para venda) e bovino (baixo nível de venda porque os principais compradores se encontram numa região mais afastada da comunidade, anulando a rentabilidade dos produtores devido aos gastos com transporte).

Tabela 14. Dados estatísticos da Villa O'Higgins com os alguns indicadores do município para o ano de 2017, segundo a DPDR División de Planificación y Desarrollo Regional (2020).

Dado estatístico	Valor
Área total	8.182,5 km ²
Área urbanizada	0,47 km ²
População total	625 hab
Homens	374 hab
Mulheres	251 hab
Densidade demográfica	0,05 hab/km ²
Escolaridade média	10,4 anos
Níveis escolares	pré-básico, básico e ensino médio
População acima de 15 anos em situação de trabalho	85,2%
Setor primário (atividades extrativas)	17,8%
Setor secundário (indústria)	3,7%
Setor terciário (comércio e serviços)	78,4%

4.3.2 Uso e cobertura da terra

O uso e cobertura da terra nas duas sub-bacias hidrográficas para o ano de 2021 é caracterizado pelas seguintes classes: a 2,45% de campo/pastagem úmido com vegetação difusa; 17,82% de geleiras; 0,46% de lagos; 26,32% de mata nativa,; 1,04% de leito do rio; 50,92% de rocha exposta; 3,73%; 0,53% de área rural e 0,46% de área urbana (Tabela 15). A maior parte da classe mata nativa localiza-se em áreas de maior elevação.

A sub-bacia do Rio Mosco (Figura 36) possui grandes áreas de mata nativa, rocha exposta e geleiras, além da presença de alguns lagos proglaciais e de áreas inundáveis do Rio Mosco a montante do povoado. A área ocupada pela

comunidade, principalmente com as habitações rurais, está muito próxima ao canal principal do Rio Mosco. Os setores de menor elevação estão diretamente conectados ao uso antrópico do solo, enquanto que os setores de maior elevação estão mais preservados do uso direto da terra, contendo uma ampla área de mata nativa e rocha exposta.

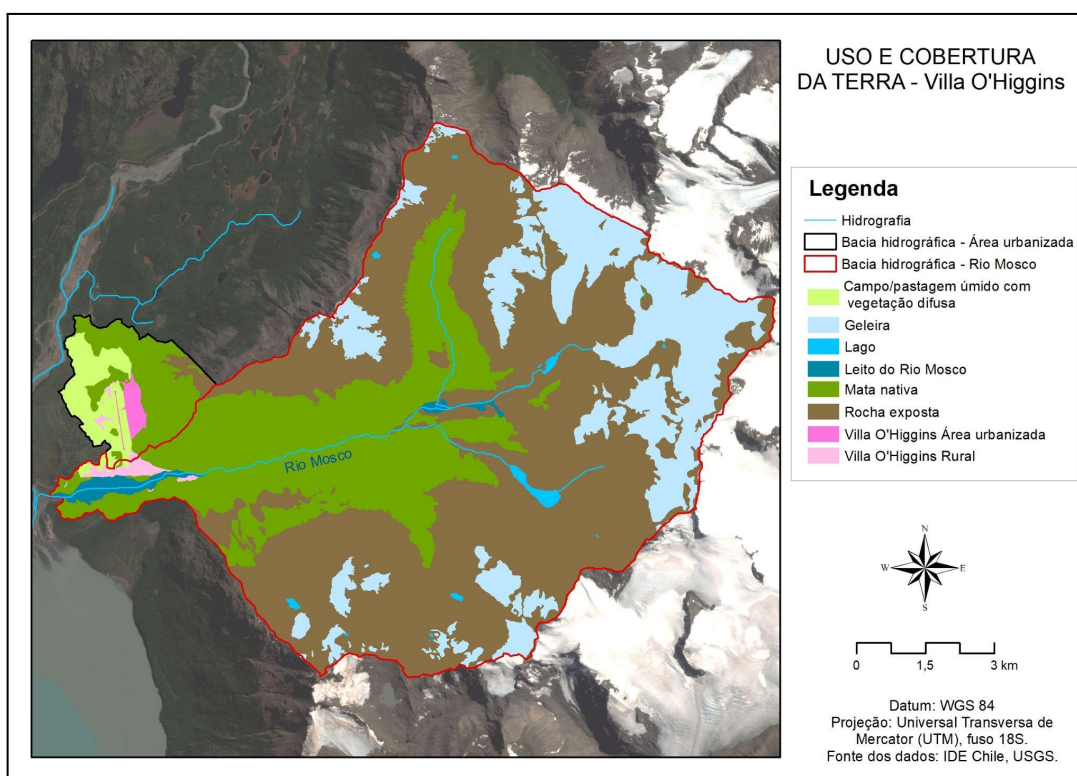


Figura 36. Mapa do uso e cobertura da terra da área de estudo.

Tabela 15. Dados estatísticos do uso e cobertura da terra (áreas em metros e em percentual) em 2021.

Uso e cobertura da terra	Área total (m ²)	Área total (%)
Campo/pastagem e vegetação semidensa	2.498.899	2,45
Geleira	18.174.904	17,82
Lago	470.483	0,46
Leito do rio	1.061.004	1,04
Mata nativa	26.835.734	26,32
Rocha exposta	51.924.293	50,92
Villa O'Higgins Rural	539.995	0,53
Villa O'Higgins Área urbanizada	468.360	0,46
TOTAL	101.973.672 m²	100%

4.3.3 Caracterização de aspectos climáticos, geomorfométricos e da geologia das sub-bacias hidrográficas

A sub-bacia hidrográfica do rio Mosco tem aproximadamente 95,16 km². O rio Mosco percorre aproximadamente 10,7 km desde a geleira Mosco até a sua foz. A área com maior densidade demográfica está situada a 1,2 km ao norte do Rio Mosco. De acordo com o Atlas Agroclimático do Chile para a Villa O'Higgins, a temperatura média alta anual para a região é de 11.6°C e a temperatura média baixa é de 3.6°C anual. A precipitação média entre os anos de 2010 e 2018 foi de 1928,62 milímetros ao ano (ARCLIM, 2020). Conforme a classificação de Köppen, o clima é classificado como Clima temperado oceânico e úmido (Cfb), caracterizado por temperaturas mais baixas e pela inexistência de estação seca. É influenciado pela maritimidade que diminui a oscilação da temperatura. As precipitações são abundantes e homogêneas em todo o ano (CARRIÓN, 2017).

A partir do mapa hipsométrico (Figura 37), podemos visualizar a amplitude topográfica das duas sub-bacias hidrográficas, variando de 262 metros em menor altitude, até 2.211 metros, onde estão localizadas as áreas mais montanhosas e as geleiras.

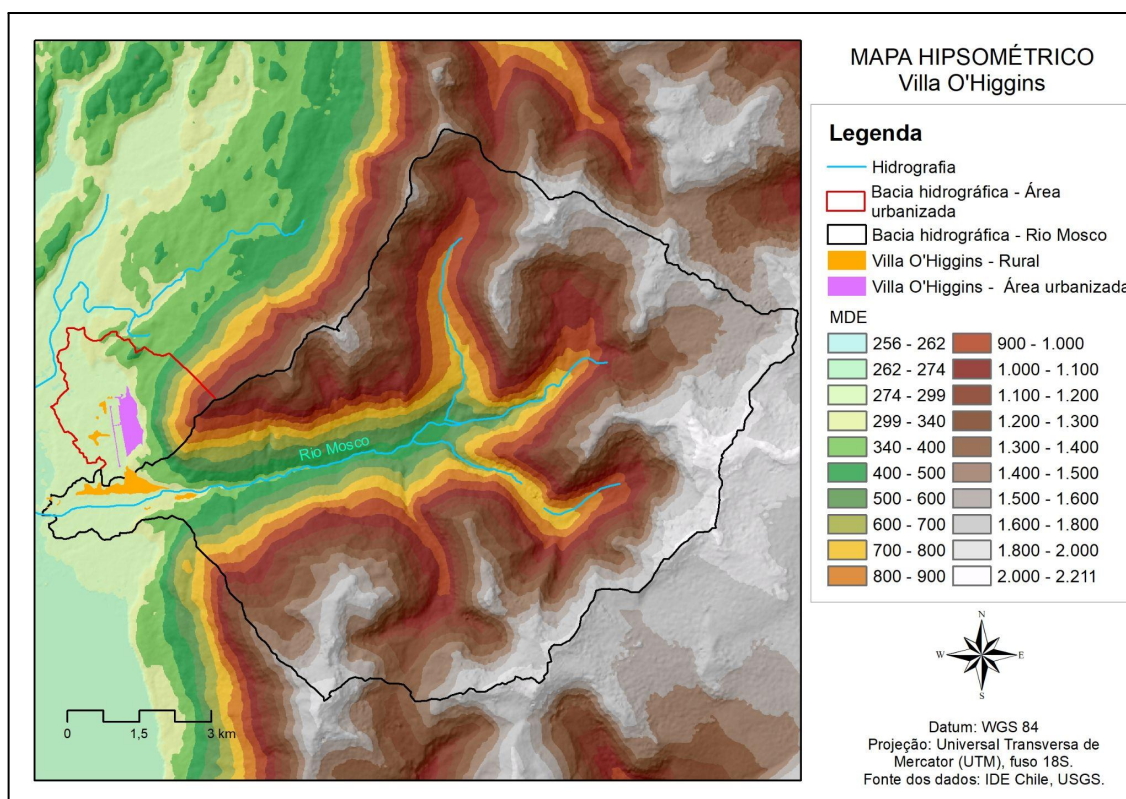


Figura 37. Mapa hipsométrico da área de estudo.

As áreas das sub-bacias hidrográficas da Villa O'Higgins apresentam setores de baixa declividade (planície de inundação) à alta declividade. O mapa de declividade (Figura 38) ilustra a classe entre 0 e 5°, onde está localizada a maior parte da comunidade; já a classe entre 5-15° possui algumas residências em um relevo ondulado, situado a montante e no início da planície de inundação; entre 15-25° e 25-35° situam-se os relevos moderadamente ondulado e forte ondulado, respectivamente; os relevos entre 35-45°, montanhoso, e acima de 45°, escarpado, estão situados em regiões de maiores altitudes ou em áreas acentuadamente inclinadas, como é o caso próximo à área urbanizada.

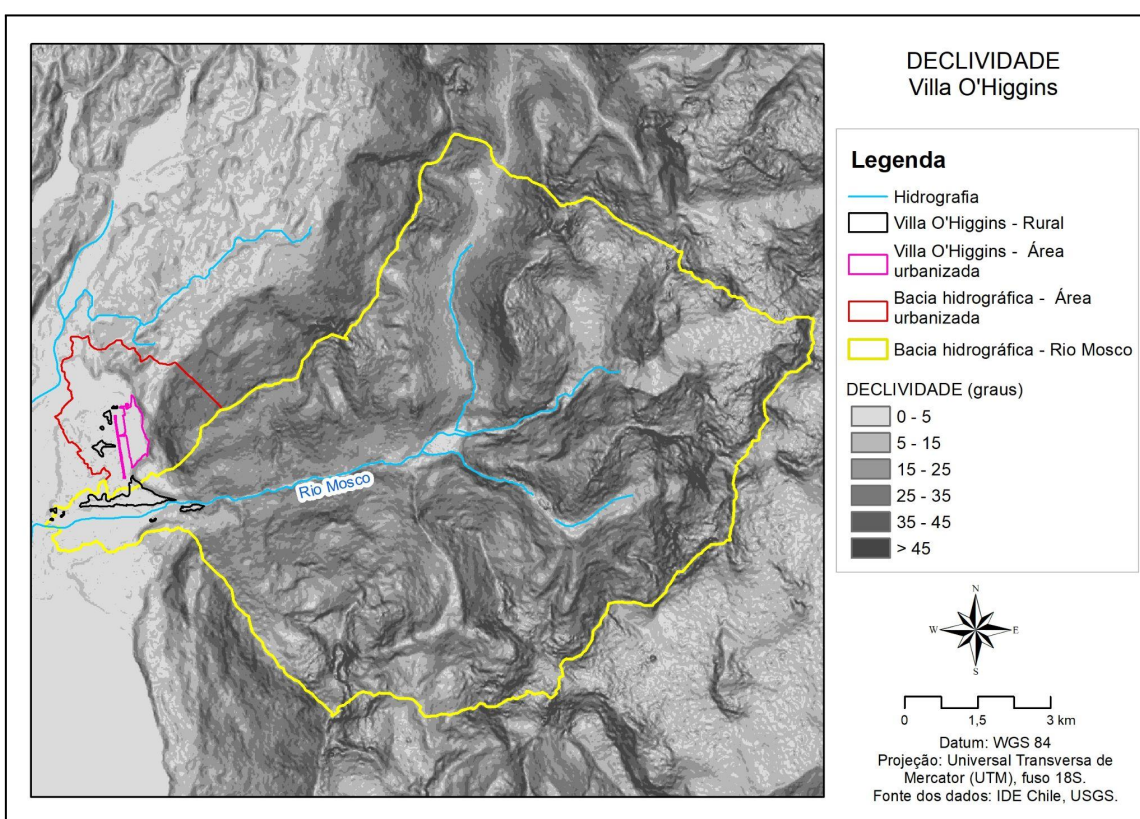


Figura 38. Mapa da declividade da área de estudo.

A geologia da área de estudo (Figura 39) é dividida em dois domínios morfoestruturais: dos depósitos aluvial/depósito de colúvio-alúvio do Pleistoceno-Holoceno, de código Q1, e das rochas metamórficas do Devoniano-Carbonífero, de código DC4.

As formas de relevo podem ser interpretadas como: padrão planície aluvial/depósito de colúvio-alúvio no contexto de Q1 e padrão em relevo de montanha no contexto de DC4. O padrão Q1, planície aluvial e depósito de colúvio-alúvio é caracterizado pela presença de depósitos aluviais, coluviais e de

movimentos de massa (SERNAGEOMIN, 2003). Esses depósitos são sedimentos ou detritos carregados e depositados pelo rio ou conduzidos pela ação da gravidade nas encostas de morros e montanhas. Os sedimentos e detritos localizados no padrão DC4 (Figura 39), relevo de montanha, na área de estudo, sofrem ação da gravidade, podendo ser carregados pelo Rio Mosco e depositados na planície de inundação, onde uma parcela da população rural residente da Villa O'Higgins está situada (cor laranja na Figura 39). Já a população residente na área urbana (cor lilás na Figura 39) localiza-se na unidade com depósitos por ação de gravidade do padrão DC4.

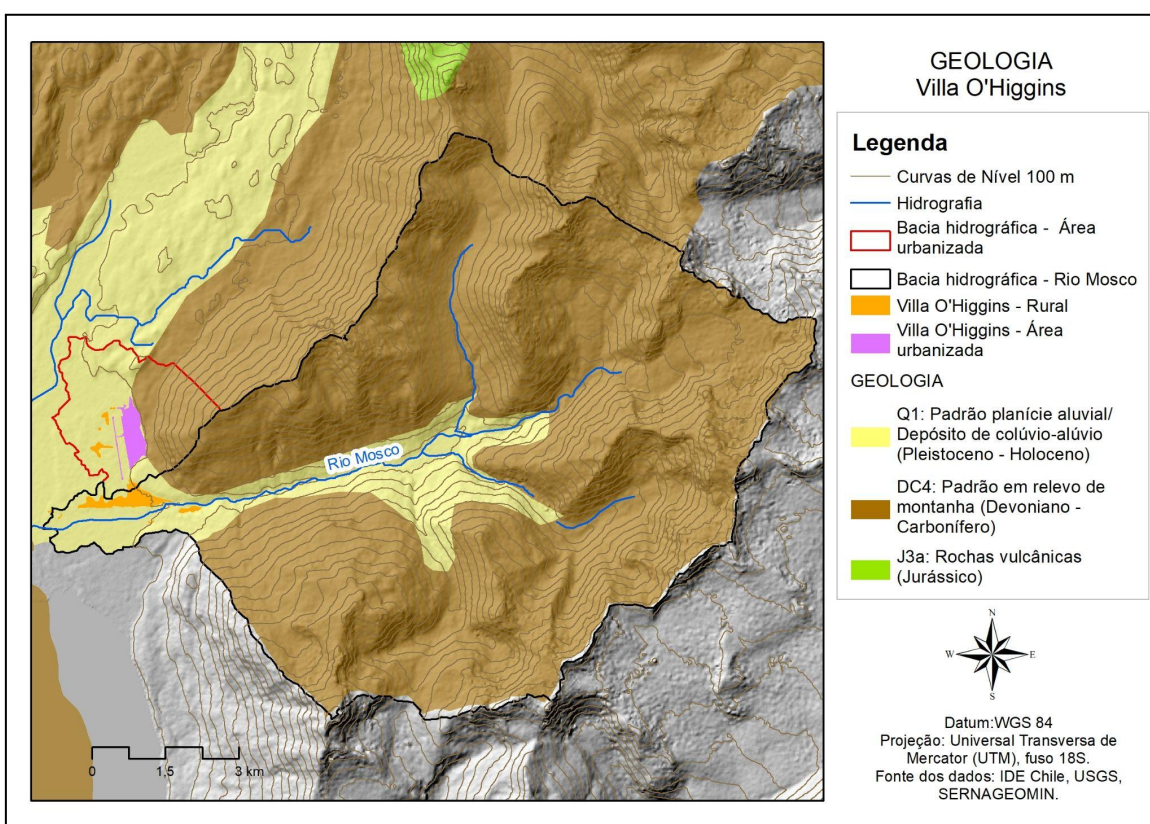


Figura 39. Curvas de nível, mapa geológico e de padrões de relevo da área de estudo.

A área em que está situada a Villa O'Higgins, área urbanizada e rural (Figura 40, transecto A) está a jusante do setor ocidental da Sierra de Sangra e no contexto da classe Q1. O Rio Mosco se encontra no contexto de um vale no contexto dissecado da área de Padrão em relevo de montanha (Figura 40, transecto B). As nascentes estão situadas em áreas mais elevadas (Geleira Mosco). A sub-bacia do rio Mosco influencia a área em que está situada a Villa O'Higgins (Figura 40, transecto A) situando-se na Sierra de Sangra, um estratovulcão coberto por geleiras e neve, situado na Cordilheira dos Andes, marcado pela alta elevação, áreas

montanhosas e de encostas íngremes (altitude máxima de 2.211 metros, onde estão localizadas as geleiras).

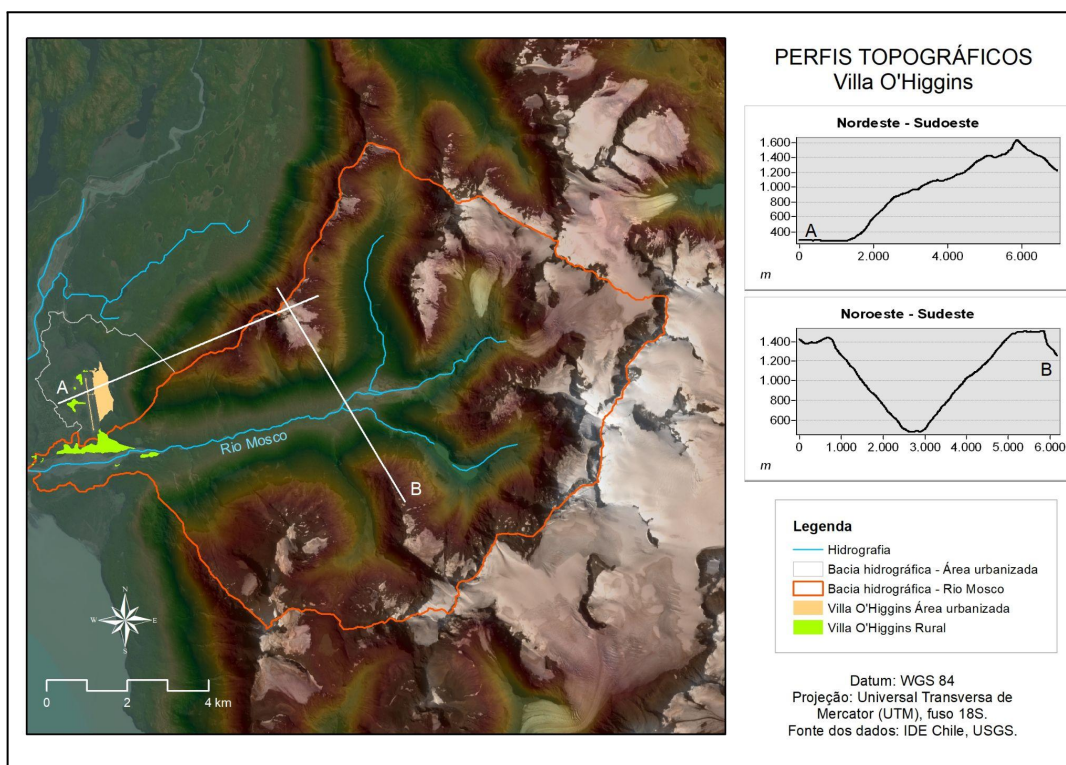


Figura 40. Mapa dos Perfis Topográficos da área de estudo. O Transecto A e perfil Nordeste-Sudoeste mostra área em que está situada a Villa O'Higgins, área urbana e rural (Figura 40, transecto A) está a jusante do setor ocidental da Sierra de Sangra e no contexto da classe Q1. O transecto B e perfil Noroeste-Sudeste mostra vale onde se localiza o rio Mosco e o relevo de Padrão em relevo de montanha dissecado (Figura 40, transecto B). Imagem Sentinel-2B, ano 2021 e Modelo Digital de elevação ALOS PALSAR.

4.3.4 Distância da Margem do Leito Fluvial

Os resultados do mapa de distância da margem do leito fluvial representam as áreas de maior a menor influência do Rio Mosco e de um trecho do Rio Mayer (localizado ao norte do povoado). As moradias da classe rural (Figura 41) estão localizadas dentro da área de 400 a 500 metros de distância da margem do rio.

Os trechos do rio a montante possuem uma zona de delimitação do leito inferior aos dos trechos a jusante, onde o leito do rio abrange uma área de aproximadamente 300 a 400 metros devido à quantidade de água recebida das porções mais altas. A montante também podemos encontrar áreas com lagos proglaciais que surgiram e/ou aumentaram de tamanho nas últimas décadas e fazem parte do curso do rio ou de outro afluente da mesma sub-bacia hidrográfica, influenciando nos processos de inundação a jusante.

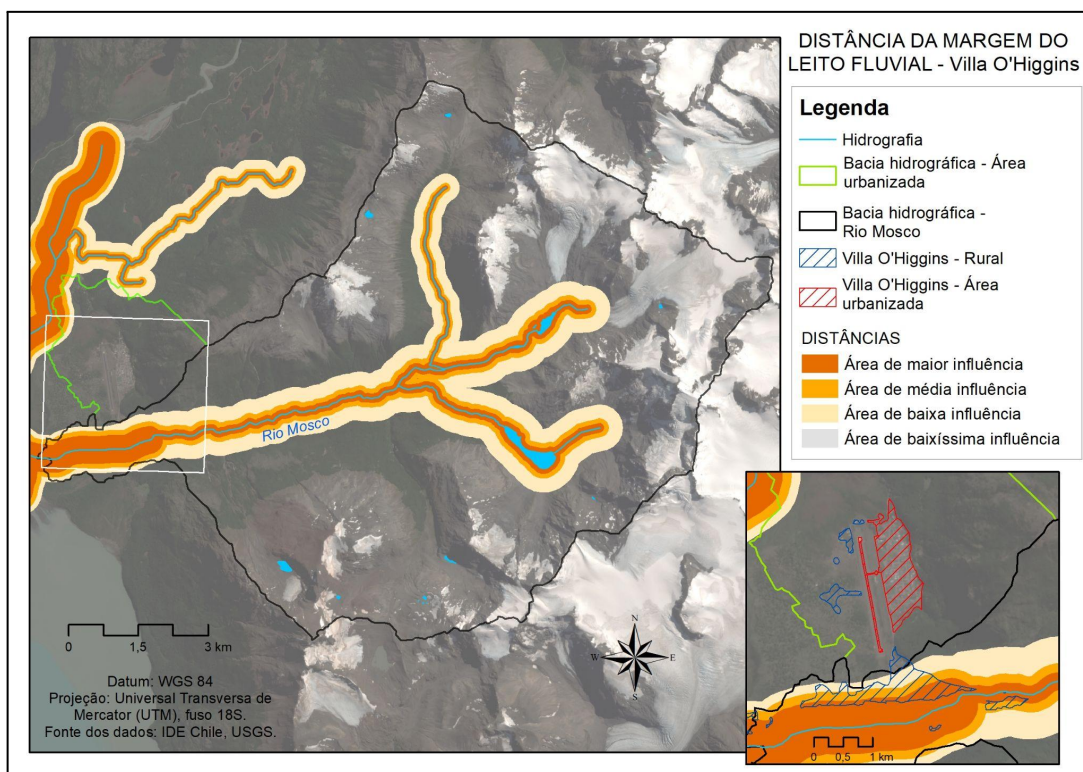


Figura 41. Mapa da distância em relação ao curso d'água da área de estudo.

4.3.5 Mapa de Suscetibilidade à inundação

Os resultados mostram que 4,11% (4,16 km²) de área das sub-bacias estão em área de alta a muito alta suscetibilidade à inundação. As áreas das classes muito baixa, baixa e média correspondem a 42,38 km², 43,22 km² e 11,15 km² de área da sub-bacia (Tabela 16, Figuras 42, 43 e 44). Os mapas foram gerados em escala aproximadamente de 1/80.000 (Figura 42) e 1/25.000 (Figuras 43 e 44).

Tabela 16. Estimativa da área de suscetibilidade à inundação.

Peso	Classe	Estimativa da área (km ²)	Estimativa da área (%)
1	Muito Baixa	42,38	42
2	Baixa	43,22	42,83
3	Média	11,15	11,05
4	Alta	2,91	2,88
5	Muito Alta	1,25	1,23
Total área		100,89	100

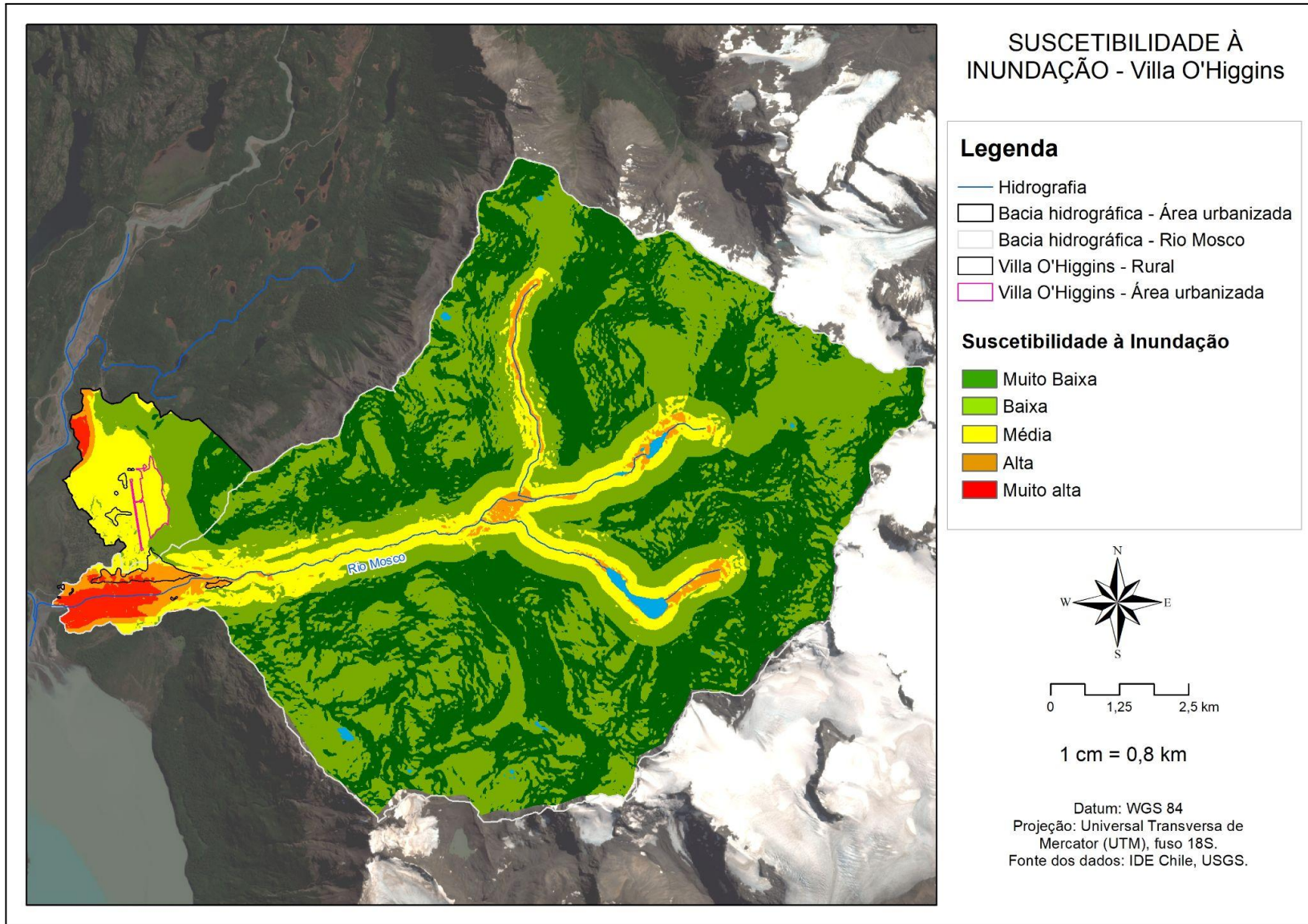


Figura 42. Mapa da suscetibilidade à inundação na sub-bacia.

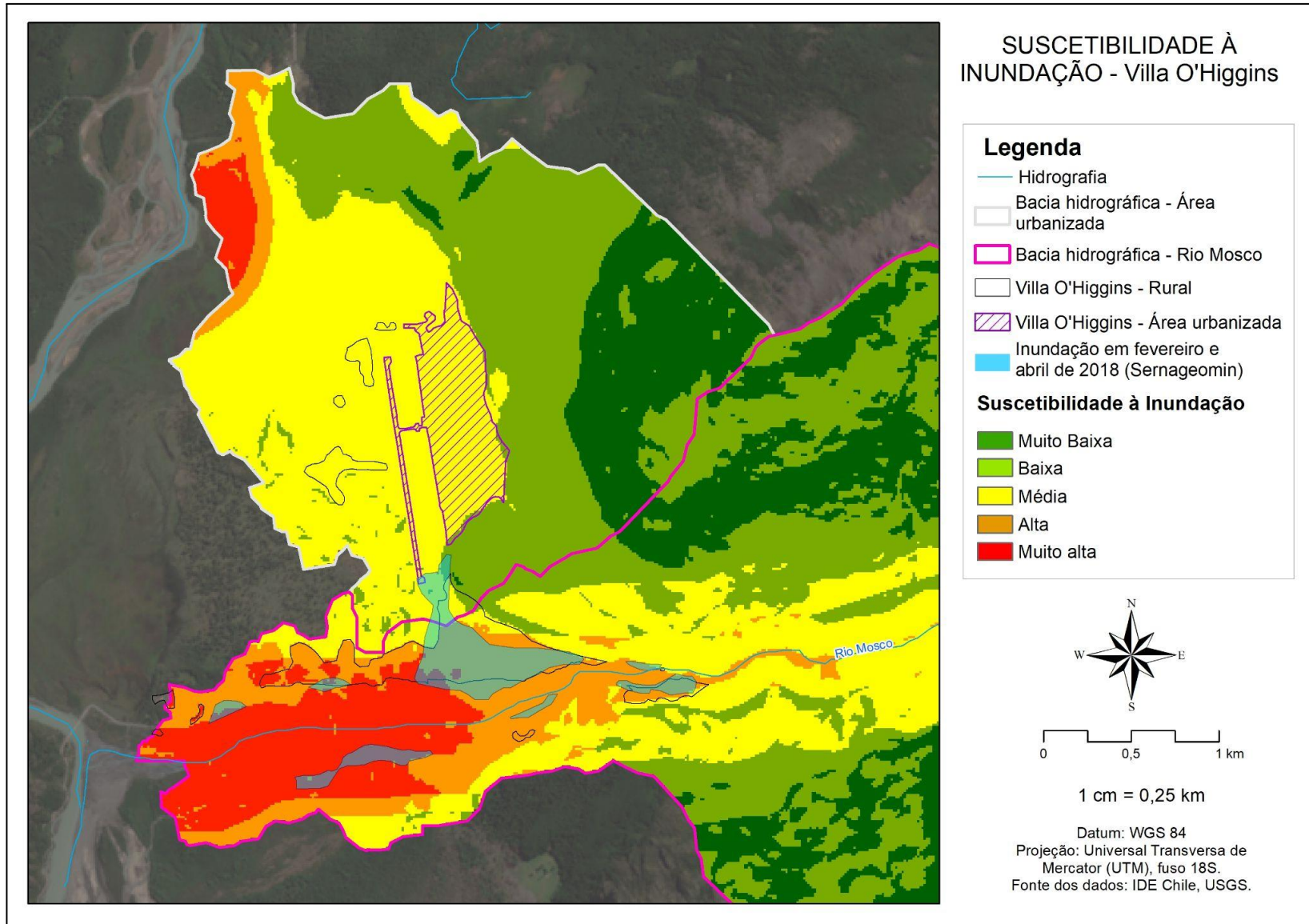


Figura 43. Mapa da suscetibilidade à inundação na Villa O'Higgins.

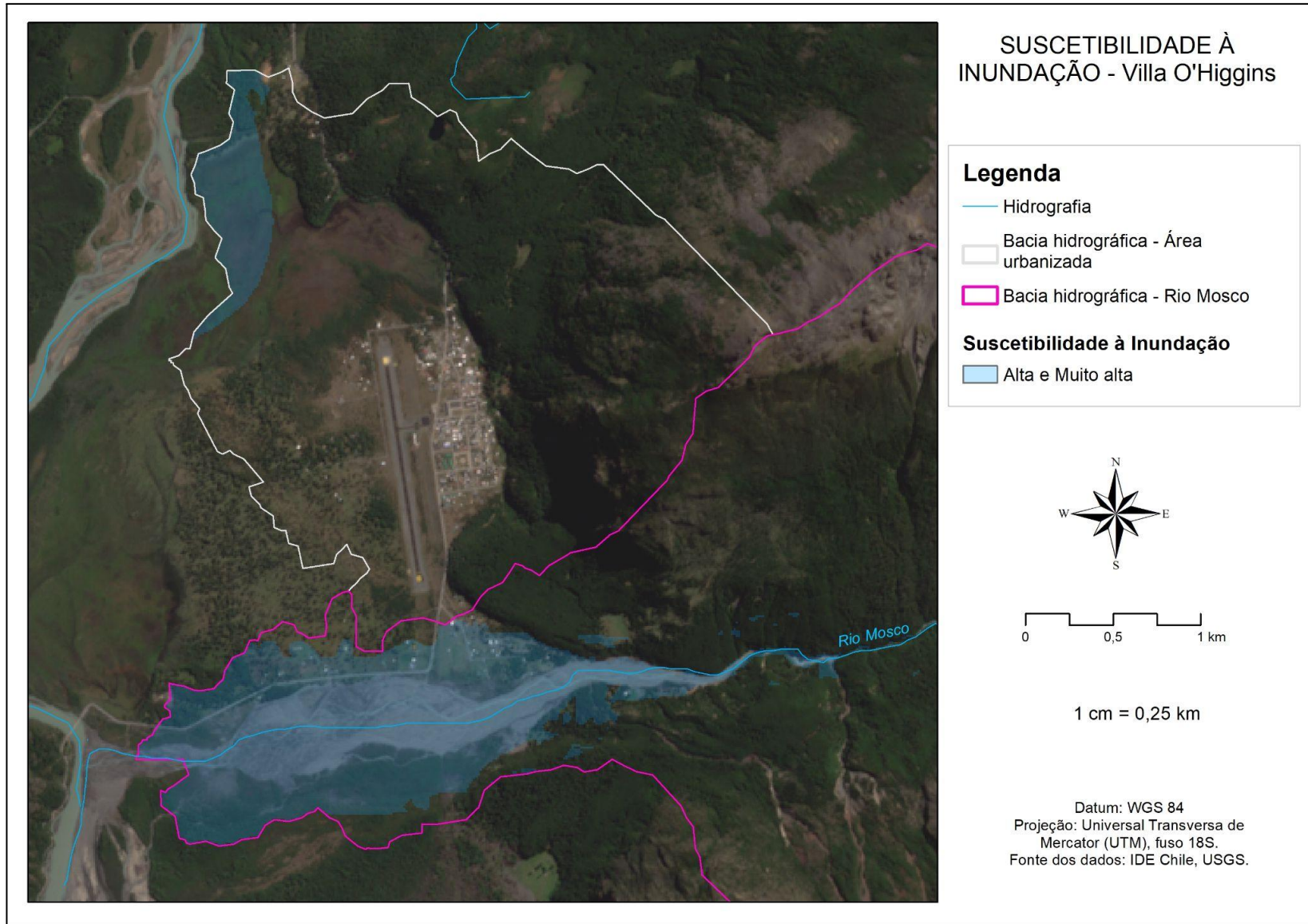


Figura 44. Mapa da suscetibilidade à inundação na Villa O'Higgins.

5. DISCUSSÕES

5.1 A ALTA SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO NO POVOADO VILLA O'HIGGINS

Os setores de alta e muito alta suscetibilidade à inundação localizam-se no curso inferior das sub-bacias, que correspondem a planície aluvial,   classe de baixa declividade e de menor eleva o nas sub-bacias. Nesses trechos do rio principal   esperado o maior volume de água e a ocupa o de cotas do leito de inunda o. A classe de alta e muito alta suscetibilidade encontram-se principalmente associadas   classe não urbanizada. A classe de média suscetibilidade está relacionada   classe Villa O'Higgins (urbano) e aos setores a montante da sub-bacia.

As classes muito baixa e baixa suscetibilidade   inunda o encontram-se, predominantemente, nas áreas a montante das sub-bacias onde as eleva es e declividades são mais acentuadas. Também estão relacionadas   classe DC4 (padrão em relevo de montanha) e às classes de uso e ocupa o, mata nativa, geleiras e rocha exposta.

A  rea não urbanizada se localiza bem próximo às margens do leito fluvial de maior largura (aproximadamente 300 a 400 m de distância) (Figura 42).

A espacializa o das áreas inundadas nos meses de fevereiro e abril de 2018 (Figura 44) valida o resultado do mapeamento das áreas com suscetibilidade   inunda o.

5.2 A SUSCETIBILIDADE   INUNDA O E O CONTEXTO DE AUMENTO DOS RISCOS CRIOSFÉRICOS NAS SUB-BACIAS

As inunda es que ocorreram na comunidade são consequência direta do aumento de chuvas intensas na região, do degelo glacial e da neve na sub-bacia hidrográfica do rio Mosco, conforme afirma Sernageomin (2018). Sobre as chuvas intensas, a partir da tabela 1, podemos associar as datas dos eventos de inunda o no povoado trazidos nos resultados aos fen menos climáticos atuantes nesse período. Para os eventos que ocorreram entre 2016 e 2020, o El Niño estava atuando no primeiro ano, passando para um período de neutralidade climática até

2020, ou seja, é um indicador que pode estar relacionado a esse evento juntamente a outros fatores. Para os anos posteriores, a La Niña atuou nas montanhas andinas com o esfriamento das águas do Pacífico e diminuição da chuva na costa andina.

Se a tendência observada nas últimas décadas para as geleiras e a resposta de aumento dos lagos continuar devido às mudanças climáticas regionais, a paisagem da área de estudo terá diversas alterações nas próximas décadas. Segundo Knight e Harrison (2018), estes ambientes paraglaciais são passíveis de mudanças constantes. Os impactos podem estar relacionados ao aumento do número e área de lagos devido ao maior suprimento de água das geleiras ao longo dos anos, mas também ao desaparecimento de lagos com o aumento da distância dos lagos às geleiras. Além de impactos na alteração da paisagem, no aporte hídrico, na biota e ecossistema local, há aqueles que estão relacionados ao ambiente social. Conforme evidenciado por Figueiredo (2017; 2020), a retração glacial e o aumento de lagos glaciais torna o quadro preocupante em relação aos desastres glaciais, ultrapassando valores econômicos, pois além das perdas materiais, também implica em perdas imateriais, como a desterritorialização abrupta de um povo e de toda a sua cultura, portanto, perdas de relações pessoais e espaciais.

A área de estudo, esse período de maior escoamento está situado entre dezembro e fevereiro, durante a primavera e o verão no hemisfério sul. Em outras palavras, são nesses meses que as geleiras da sub-bacia do rio Mosco introduzem maior quantidade de água nos lagos e, conseqüentemente, nesse curso d'água. Em relação ao degelo glacial e da neve, Benns e Evans (2010) nos trazem que a rede de drenagem das bacias hidrográficas influenciadas por geleiras desenvolvem-se completamente durante a estação de derretimento e até o fim da temporada de ablação seguirá aportando água de degelo. Para DING *et al.* (2016), o ciclo de derretimento de neve e gelo pode ser associado às inundações nesses ambientes quando há rompimento de represas de lagos, ocorrendo principalmente na primavera e no verão. Além disso, dias do ano com anomalias de temperatura máxima pode levar ao rápido derretimento sazonal das geleiras e neve, aumentar o suprimento de água para canais fluviais e lagos, causando inundações repentinas associadas a GLOFs. Carrivick e Tweed (2013) expõem que os lagos proglaciais estão veementemente conectados à dinâmica de uma geleira. A sua origem, evolução e conservação será sensível ao comportamento glacial, significando que

serão sensíveis às mudanças climáticas também. Entre 1985 e 2021, as geleiras da área de estudo perderam 40,83% da área total. Para Font (2016), uma grande quantidade de geleiras andinas, chilenas e argentinas, apresentaram retrocesso durante o século XX:

“El aumento de la temperatura promedio de la superficie terrestre - efecto del Cambio Climático (CC) - genera el derretimiento de los glaciares. Lo anterior se manifiesta en el retroceso y adelgazamiento experimentados por la masa glaciar durante los últimos 30 años. Los procesos de fusión del hielo se han acelerado hasta duplicar su velocidad en los últimos 10 años. Por ejemplo, el 90% de los glaciares cordilleranos está disminuyendo y Campos de Hielo Sur ha retrocedido hasta 30 metros por año. Gran cantidad de glaciares andinos - chilenos y argentinos - experimentaron retroceso y adelgazamiento de las lenguas de hielo durante el siglo XX. (FONT, 2016)”

Com o aumento da temperatura média superficial do ar local e de projeções com valores positivos para o futuro, num primeiro momento na região, haverá uma maior disponibilidade de água através do degelo e de precipitação. Contudo, em um futuro próximo, a tendência é de ocorrer escassez desse bem no povoado devido à contínua retração glacial. A Cordilheira dos Andes possui grande quantidade de geleiras que abastecem os ecossistemas, a população e as atividades produtivas de grande parte do Chile, como agricultura, geração de energia elétrica, indústria, centros urbanos, atividades econômicas e mineração. Segundo Aedo e Montecinos (2018), o Chile é um país montanhoso, onde 70% de sua população se abastece de água proveniente das zonas alto-andinas. Quando as populações de montanha são afetadas pela emergência climática, essas zonas desencadeiam graves consequências aos seus diversos usos da água.

Na área de estudo, a superfície total da cobertura lacustre aumentou em 422,22%% entre 1985 e 2021. A variação da área de um lago depende do equilíbrio da entrada e saída de água nessa bacia hidrográfica, que dependerá da temperatura local, da precipitação e do aumento ou diminuição da evaporação (WANG *et al.*, 2013). Isso significa que um maior aporte de água está sendo introduzido nesses ambientes, tanto por derretimento glacial, quanto por precipitações, ainda que as precipitações estejam sujeitas a variabilidade interanual. Segundo Wilson *et al.*

(2018), os lagos glaciais do norte e sul da patagônia sofreram maiores mudanças absolutas de área. Para este autor, a partir de 1986 estas regiões viram o surgimento de um número muito maior de novos lagos. Em Emmer *et al.* (2016), é relatado que as geleiras estão se separando cada vez mais de seus lagos proglaciais, elevando as suas frentes. Na área de estudo desta pesquisa, não foram localizados lagos em contato direto com as geleiras. Essa informação está em concordância com Emmer *et al.* (2016), em que a partir de 2016, 84% dos lagos glaciais no norte da Patagônia não estavam em contato com o gelo. No norte da patagônia, os lagos glaciais atingiram uma pequena estabilidade, enquanto que na região sul a tendência é de crescimento e surgimento de novos lagos devido à grande extensão de muitas geleiras.

O monitoramento adequado da evolução dos lagos com crescimento de área é relevante para evitar futuros desastres, principalmente se há populações situadas próximas ao curso d'água ou em áreas suscetíveis a receber uma grande quantidade de água e detritos, caso ocorra o seu transbordamento e/ou rompimento. A vetorização desses corpos d'água auxilia na compreensão da sua evolução temporal, indicando o quanto as geleiras que os alimentam estão instáveis ao aquecimento na região de análise (OLIVEIRA *et al.*, 2021)

A Figura 14 espacializa alguns lagos proglaciais da sub-bacia do rio Mosco, onde é possível perceber que alguns apresentaram recuo de tamanho entre 1985 e 2021. Isso pode estar relacionado à resolução (30 metros) e qualidade do que é possível observar nas imagens de satélite utilizadas em 1985, 1994 e 2011, aumentando a imprecisão e incerteza dos dados obtidos. Também pode estar relacionado à:

1. Perda de conexão com a geleira em retração e a um possível rompimento da barragem, diminuindo o estoque de água;
2. Obras realizadas em lagos a montante e ao seu uso;
3. Variabilidade climática - El Niño ou La Niña (anos de maior/menor precipitação em estado líquido ou sólido (neve); anos mais úmidos ou mais secos; anos mais quentes que influenciam no derretimento da neve e geleiras ou mais frios);

A perda de área de lagos proglaciais pode estar relacionada à baixa precipitação sólida nas montanhas em determinados anos, assim, influenciando na quantidade de neve derretida durante a primavera. No futuro, esse cenário poderá acarretar em problemas para a região através de períodos de seca durante a La Niña ou eventos extremos de precipitação no decorrer do El Niño.

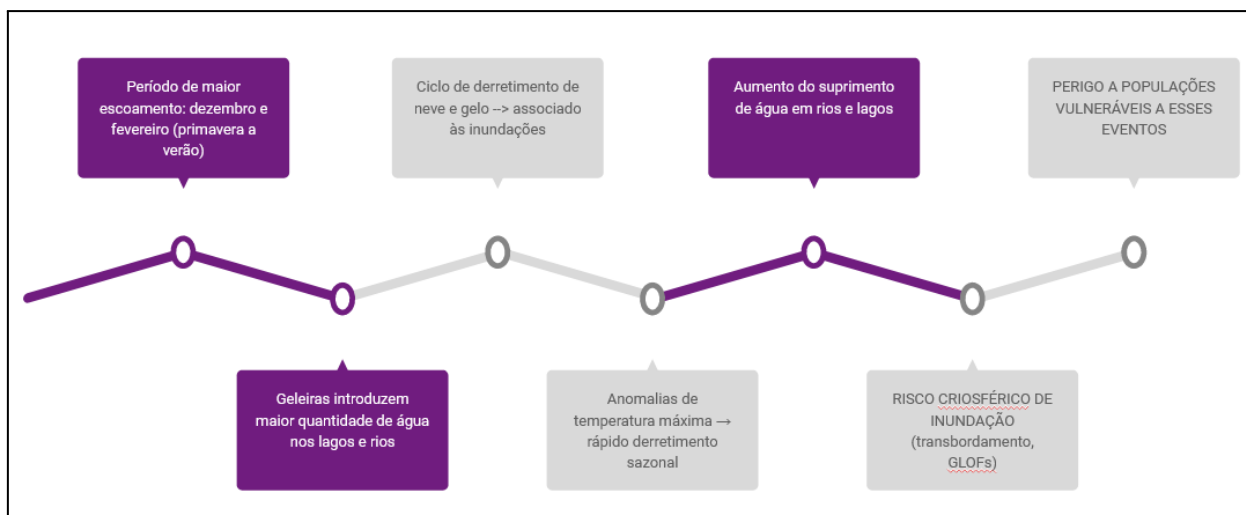


Figura 45. Contexto do aumento de riscos em regiões criosféricas de montanha.

Além disso, o padrão de uso e cobertura da terra pode influenciar fortemente na frequência de inundação de uma área, como afirma García-Ruiz et al. (2008). Se uma região sofre com constantes mudanças na forma como é ocupada, essa alteração pode acelerar a probabilidade de inundação de uma localidade (BECKERS et al., 2013). Para os autores, as áreas com alta densidade de vegetação tem baixa possibilidade de inundação; já aquelas com solos expostos e superfícies impermeáveis aumentam a taxa de escoamento superficial. Na área de estudo, no setor oeste da sub-bacia hidrográfica do Rio Mosco, é forte a presença de áreas com mata nativa e essa vegetação pode influenciar na capacidade do solo em absorver água. Contudo, essa vegetação não é suficiente para amenizar as consequências de uma inundação rápida para aquelas pessoas que vivem próximas ao rio.

As áreas de média, alta e muito alta suscetibilidade à inundação espacializadas na Villa O'Higgins indicam os locais em que a população está potencialmente vulnerável ao evento de inundação. Por ser caracterizada como área rural, as moradias apresentam baixa densidade demográfica. Contudo, se a cidade

crescer, outras áreas serão ocupadas e locais, antes rurais, podem se transformar em urbano, o que aumenta a suscetibilidade e vulnerabilidade social a esses eventos.

5.3 VULNERABILIDADE AMBIENTAL E A NECESSIDADE DE ESTRATÉGIAS DE ADAPTAÇÃO NA COMUNIDADE DIANTE DAS MUDANÇAS AMBIENTAIS NA SUB-BACIA

As inundações são um perigo para essa região dos Andes . As inundações estão entre os perigos mais frequentes que afetam um grande número de pessoas em regiões de montanha e a frequência de desastres naturais mostra tendência crescente nos Andes (IPCC, 2022). Diversas investigações têm evidenciado inundações bruscas em ambiente de montanha influenciadas pelo derretimento glacial (COOK *et al.*, 2016; ESPINOZA & CARLING, 2010; THOMPSON *et al.*, 2020; WANG & ZHOU, 2017; YONGJIAN & JINGSHI, 1992; YONGPING *et al.*, 2007). Esta investigação propôs tratar sobre o tema da suscetibilidade ao risco de inundação com o intuito de contribuir com as pesquisas sobre a emergência climática e os seus impactos em regiões de montanha, principalmente tentando perceber como as comunidades andinas situadas próximas e influenciadas por geleiras são afetadas. Segundo a UNESCO (2022), as mudanças climáticas são um dos fenômenos mais importantes da mudança global, e o seu diagnóstico pode ser permitido através do monitoramento de geleiras, neve e gelo. Em conformidade com o Presidente Executivo do Serviço Nacional de Meteorologia e Hidrologia do Peru (UNESCO, 2022), a ciência aplicada é uma forma de contribuir com a resiliência do país e adaptação a essas alterações.

Na sub-bacia hidrográfica do Rio Mosco, as alterações ambientais afetam a população que está localizada a jusante, sendo documentadas em reportagens de jornais e mídias digitais locais. Conforme afirma o IPCC (2019), em regiões de geleiras de montanha os impactos podem ser variados, podendo afetar até o meio de subsistência dessa sociedade, como a agricultura e o turismo. De forma geral, os jornais abordaram sobre o impacto da emergência climática no local da Villa O'Higgins. Com certa frequência, os discursos locais produzidos pela população às mídias mostram as situações vividas em relação às alterações que estão ocorrendo

na sub-bacia, como maior instabilidade climática e aumento do degelo das geleiras Mosco e Huemula. Além disso, as consequências diretas das inundações causaram, em diferentes anos, isolamento de moradores devido ao transbordamento do rio, perda de plantação de alimentos e danificação em moradias.

O rio Mosco apresenta um regime de águas pluvio-nival, abastecido pelo derretimento da neve e de três geleiras que estão localizadas a montante da sub-bacia hidrográfica. Entre 2015 e 2020, tem-se documentado que o rio tem aumentado o seu volume de água de forma rápida, deixando os moradores da margem sul isolados, exigindo o apoio do Exército e de funcionários da CONAF (Confederação Nacional da Agricultura Familiar do Brasil) para serem evacuados. Essa população campesina tem suas plantações e casas afetadas pela invasão da água e detritos, colocando-a em uma situação de vulnerabilidade ambiental. O ano de 2018 teve maior visibilidade nas mídias locais, somando um total de 8 notícias encontradas.

Embora esse evento tenha ocorrido com consequências significativas para os habitantes que vivem nas margens deste rio, dadas as condições da crise climática, espera-se que o processo seja replicado em outras sub-bacias com características semelhantes, podendo afetar centros populacionais, residências infraestrutura pública isolada ou estratégica, como rede viária, rede elétrica, APRs, entre outras (Plano de Desenvolvimento da Região de Aysén, 2020).

Os impactos das alterações climáticas nos recursos hídricos na região podem aumentar a vulnerabilidade social local. Com esses dados (mapeamentos, notícias em jornais, referencial teórico), podemos reafirmar que estão ocorrendo mudanças ambientais na região e que isso tem afetado a vida da população campesina local.

Ao analisarmos o mapa de uso e cobertura da terra (Figura 36), entendemos que há inadequação do uso na utilização do território pela população local em áreas mais planas de padrão planície aluvial, onde o rio extravasa as suas águas naturalmente. Entretanto, as relações humanas no e com o espaço não podem ser reduzidas a um entendimento superficial de que grupos sociais aspiram por viver em áreas de risco e que, como solução a esse problema, remanejá-los a um outro local que não contemple a sua forma de vida ou a sua percepção de mundo. Muitas vezes, estes indivíduos estão assentados em regiões periféricas ou na zona rural por serem pequenos agricultores e viverem da terra, ou ainda pelo custo de vida ser

mais acessível. Geralmente essas populações possuem pouco ou nenhum recurso para a prevenção e mitigação de desastres, com a intenção de evitar perda material e ainda capacitar a sua recuperação (SILVA, SANTOS & MARQUES FILHO, 2020). Segundo Acseirad, Mello e Bezerra (2009), são incontáveis os mecanismos entre a relação pobreza e risco, como por exemplo, mercado de terras, que torna as áreas de risco ambiental, como é o caso, sujeita a inundações, um dos únicos lugares acessíveis a grupos de baixíssima renda, e também do poder público. Além disso, fatores como a impermeabilização do solo, retificação de canais, retirada da cobertura vegetal e ocupação desordenada contribuem para agravar o quadro numa bacia hidrográfica (ARAÚJO JR. & TAVARES JR., 2020).

A economia local que se baseia na criação bovina em áreas de campo com pastagens naturais também será afetada pelas alterações climáticas. A pecuária local desenvolve-se em vales produtivos com solos férteis e maior disponibilidade de água e pastagens. Os rendimentos e posterior conversão em quilos de carne serão afetados conforme as condições pluviométricas e de temperatura mudam (DPDR, 2020). Assim, se faz necessário repensar o modelo de produção de acordo com a evolução climática, permitindo a continuidade dessa atividade econômica que caracteriza a região de Aysén.

Os mapas gerados para espacializar a suscetibilidade ao risco de inundação podem ser ferramentas úteis no planejamento e crescimento de uma cidade, ajudando a reconhecer as necessidades de infraestruturas necessárias ao local, assim como destacam diversas pesquisas (BÜCHELE *et al.*, 2006; FERNÁNDEZ & LUTZ, 2010). Compreender como uma comunidade é afetada por um evento de inundação pode ser complexo, envolvendo diferentes variantes de análise. Resgatamos alguns mapas e dados disponíveis em meios eletrônicos para poder compreender quais são os fatores ambientais que influenciam nesse processo. Contudo, dados referentes ao contexto social da comunidade, quem são as pessoas atingidas, qual a classe social a que pertencem, a qualidade da construção em que vivem, a renda, gênero e idade, etc., que poderiam ajudar a compreender sobre a vulnerabilidade em que esse grupo social está inserido, não foram encontrados de forma digital. Assim, é relevante investigar a vulnerabilidade socioambiental da área afetada para o planejamento urbano, social e ambiental na comunidade.

O mapeamento das áreas suscetíveis à inundação nos ambientes de montanha é relevante para o desenvolvimento de estratégias de adaptação a estas

mudanças visando resguardar a vida e os costumes das populações (KHADKA *et al.*, 2021). Com a tendência ao aumento da temperatura média superficial do ar na região, esses fenômenos de inundação podem se tornar mais frequentes e mais intensos em períodos de El Niño, aportando positivamente no curso d'água. Com isso, o mapa de suscetibilidade à inundação pode ser uma ferramenta importante para a gestão do território e prevenção de desastres ambientais, pois espacializa as áreas que estão mais suscetíveis a esse evento, além de mapear as populações que serão atingidas diretamente por essa inundação.

Somado a esse contexto, não obtivemos informações sobre inundações e/ou prevenção e gestão de risco por parte da prefeitura local durante esse período na região, o que nos leva às seguintes perguntas: 1. Não ocorreram inundações no Rio Mosco durante esse período?; 2. Outras medidas de monitoramento, gestão e prevenção a esses eventos de inundação foram desenvolvidas e aplicadas na comunidade de forma eficaz? A reportagem trazida pelo jornal *Diario Regional de Aysen* (Figura 35) alude sobre a construção de um *enrocado* junto ao Rio Mosco durante o ano de 2019 para prevenir transbordamentos. Contudo, conforme foram expostas em outras reportagens, semanas posteriores a essa publicação, houve uma nova inundação na região, indicando que a obra corretiva pode não ter sido completamente eficaz.

É indispensável a elaboração de um diagnóstico ambiental da região. Coelho (2017) aponta ações e medidas estruturais (Tabela 17) para serem implementadas a curto, médio e longo prazo: modificação do sistema fluvial de forma a evitar prejuízos decorrentes de inundação, como obras de canalização, retificação, extravasores, canais de inundação, diques, etc. Há também as medidas não estruturais (Tabela 17) que auxiliam na redução de prejuízos pela melhor convivência da população com inundações (zoneamento de áreas com risco de inundação, alertas de inundação, elaboração de Leis que busquem reduzir esses eventos, implantação de programas de educação ambiental em escolas e comunidades, regulamentação de áreas alagáveis, investigação da vulnerabilidade socioambiental da população atingida, etc).

Tabela 17. Medidas estruturais e não estruturais como estratégias de adaptação

MEDIDAS ESTRUTURAIS	MEDIDAS NÃO ESTRUTURAIS
Obras de canalização	Zoneamento de áreas suscetíveis à inundação
Retificação	Investigação da vulnerabilidade socioambiental da população
Extravadores	Alertas de inundação
Canais de inundação	Elaboração de Leis
Diques	Implantação de programas de educação ambiental em escolas e comunidades, etc.
Aterros	Regulamentação de áreas alagáveis, etc.

5.4 O USO DE GEOTECNOLOGIAS E DO MÉTODO PAH PARA ANALISAR AS ÁREAS SUSCETÍVEIS À INUNDAÇÃO NO POVOADO

As geotecnologias e o sensoriamento remoto tiveram uma importante contribuição para compreender como as variáveis e classes se inter-relacionam, como foi o caso da hipsometria, declividade, geologia, uso e cobertura da terra e distância da margem do leito fluvial. Devido à dificuldade de acesso à área de estudo, a disponibilidade de dados *online* e o uso de geotecnologias para mapeamentos permitiu gerar produtos cartográficos que poderão ser utilizados pela comunidade local para analisar as áreas suscetíveis à inundação no povoado. Segundo Sausen e Narvaes (2015), o uso desse tipo de dado possibilita que as áreas atingidas por inundações possam ser visualizadas e mapeadas de forma rápida e precisa, podendo ser informadas aos tomadores de decisão e às agências de proteção civil e seguro para que as devidas providências sejam definidas. Além disso, é possível utilizar esses dados em diferentes fases dos eventos de inundação.

Contudo, é necessário elaborar uma análise crítica sobre a confiabilidade do mapeamento final produzido. Alguns dados disponíveis gratuitamente não dispunham de uma resolução adequada para trabalhos com uma maior escala, como é o caso do mapa de geologia da região (1:1:000.000). Portanto, o nível de detalhamento e precisão para a comunidade é baixo, podendo acarretar num deslocamento de *pixels* da feição em relação à sua posição verdadeira.

O Modelo Digital de Elevação ALOS Palsar é outro exemplo de dado que apresentou alguns erros/imperfeições, retratando um possível quadro de alteração da realidade para o ambiente de estudo. Alguns problemas no MDE podem ocorrer

devido a interferências no sinal de radar, o que pode levar ao aumento do RMSE em regiões planas úmidas e com vegetação, como é reconhecido em estudos para a Amazônia por Duarte et al. (2019). De acordo com o autor, o método de aquisição das imagens leva em consideração o dossel da vegetação e por isso o MDE pode apresentar incoerências em áreas planas nesta região. Contudo, por ser um dado gratuito e de boa resolução (12,5 metros), foi considerada como a opção mais vantajosa. Nesse caso, a forma mais aconselhável para compreender a topografia local, seria utilizar um Modelo Digital de Terreno.

Ademais, em relação a todos os outros resultados obtidos, é necessário fazer a validação em campo para verificar a exatidão dos dados utilizados e, assim, adequá-los à realidade e fornecer melhores bases para tomadas de decisão. O levantamento de dados existentes sobre os pontos de inundação anteriores foi relevante no estudo. A geração e aplicação de informações geoespaciais como o tipo de solo, densidade da drenagem e geomorfologia também podem ajudar a aprimorar os limiares de cada classe em relação ao mapeamento gerado.

O método PAH se mostrou uma ferramenta importante para a construção do mapa de áreas suscetíveis à inundação na Villa O'Higgins, decompondo hierarquicamente os critérios conforme a sua relevância e influência no processo de inundação. Inicialmente, este procedimento pode gerar incertezas em relação a sua operação, por se basear em avaliações inerentes ao particular. Assim como em Paula & Cerri (2012), a comparação pareada do método é sensível às opiniões de diferentes profissionais, concluindo que diferentes índices de consistência refletem distintas experiências. Sua principal deficiência consiste na inabilidade em determinar as incertezas que são próprias do processo de tomada de decisão espacial comum ao escolher, comparar e classificar a partir de vários critérios (MSABI & MAKONYO, 2021).

Há uma certa subjetividade na escolha de pesos e prioridades que influenciam no resultado final. Contudo, após algumas tentativas e alterações de pesos que tivessem significado num todo e fossem coerentes ao cálculo da RC (Razão de Consistência), esta metodologia se mostrou adequada para auxiliar na decomposição de prioridades em relação a uma questão principal da pesquisa e a geração de dados dentro de um SIG. Esse método se mostra bastante apropriado para análises em escala regional (MSABI & MAKONYO, 2021), como observamos

em Araújo Jr. & Tavares Jr. (2020), Cerri & Paula (2012), Dias & Silva (2014) e Neto, Barbosa & Silva (2021).

A modelagem PAH fornece resultados de confiança após verificação da RC (DIAS & SILVA, 2014), permitindo a aplicação de critérios e alternativas em processos de análise ambiental em bacias hidrográficas (GOMES & BIAS, 2018). Deve ser aplicada principalmente na fase de planejamento territorial, não substituindo as verificações no local (MARTINS, BERGMANN & SCHIMIDT, 2021).

No mapeamento da cobertura glacial e lacustre na sub-bacia do Rio Mosco, foram utilizadas imagens de um período do verão e com a menor cobertura de nuvem e neve nas áreas que não são geleiras, no entanto, sugere-se uma avaliação dessa cobertura em outros meses do ano. Essa análise será relevante para verificar se a área dos lagos obtida varia ao longo da estação de ablação. Ademais, a mensuração da cobertura glacial e lacustre na sub-bacia do Rio Mosco no ano de 2021 possui menores incertezas do que as anteriores devido a maior resolução espacial e ao melhor RMSE no co-registro. Diante disso, é relevante a realização do detalhamento temporal para compreender melhor as mudanças observadas ao longo dos mapeamentos dessas áreas. A relação com as fases do ENSO para as datas analisadas pode levar a uma maior compreensão dos resultados sobre a variação dos lagos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise integrada utilizando o sensoriamento remoto, dados de reportagens de jornais e socioeconômicos da Villa O'Higgins proporcionou resultados satisfatórios, visto que espacializou as áreas mais suscetíveis ao evento de inundação, mapeando as populações mais vulneráveis e que podem ser atingidas diretamente por esse evento. Com isso, o mapa de suscetibilidade à inundação gerado pode ser uma ferramenta importante para a gestão do território e prevenção de desastres ambientais.

As sub-bacias possuem áreas com características físico-naturais que levam a eventos de inundação na planície de inundação. Os setores de alta suscetibilidade e muito alta suscetibilidade à inundação localizam-se na planície aluvial, englobando principalmente a classe áreas rural da Villa O'Higgins. Esses trechos do rio são influenciados pelo grande volume d'água e sedimentos dos afluentes do rio Mosco, escoando as águas que deslocam-se a partir de uma maior declividade. A classe de uso e ocupação urbana está localizada em uma área de média suscetibilidade à inundação.

Assim, verifica-se que uma parcela da população campesina da Villa O'Higgins está vulnerável a esse evento de inundação. Os grupos sociais vulneráveis ao risco relataram em reportagens que tiveram danos materiais e diversos outros problemas com as inundações. De forma geral, os jornais abordaram sobre o impacto das mudanças climáticas no local da Villa O'Higgins. Com certa frequência, os discursos locais produzidos pela população às mídias mostram as situações vividas em relação às alterações que estão ocorrendo na região, como maior instabilidade climática e aumento do degelo das geleiras Mosco e Huemula. Além disso, as consequências diretas das inundações causaram, em diferentes anos, isolamento de moradores devido ao transbordamento do rio, perda de plantação de alimentos e danificação em moradias. Entre 2016 e 2020, tem-se documentado que o rio tem aumentado o seu volume de água de forma rápida, deixando os moradores da margem sul isolados. Esses eventos podem afetar centros populacionais, residências e infraestrutura pública isolada ou estratégica, como rede viária, rede elétrica, APRs, entre outras.

Foram evidenciadas mudanças na cobertura glacial e lacustre desde 1985 no contexto da sub-bacia do rio Mosco, setor oeste da Sierra de Sangra, Região de Aysén, Patagônia Central, Chile. O rio Mosco apresenta o regime de águas pluvio-nival, abastecido pelo derretimento de neve e de geleiras que estão localizadas a montante na sub-bacia hidrográfica. Entre 1985 e 2021, a área das geleiras da sub-bacia do rio Mosco recuou em 40,83% e a cobertura lacustre aumentou em 422,22%, indicando que as mudanças climáticas regionais têm influenciado no transbordamento desse rio. Se a tendência observada nas últimas décadas para as geleiras e a resposta de aumento dos lagos continuar, a paisagem da área de estudo terá diversas alterações nas próximas décadas. As inundações que ocorreram na comunidade são consequência direta do aumento de chuvas intensas na região, do degelo glacial e da neve na sub-bacia hidrográfica desse rio.

Entendendo riscos criosféricos como sendo todos os eventos que possam gerar perigo a um grupo social, e como as condições sociais desse grupo podem definir a sua vulnerabilidade, compreender a gênese e o comportamento dessas ameaças diante do cenário da crise climática global é importante para prevenir possíveis desastres que possam afetar as comunidades localizadas a jusante desses eventos.

No que diz respeito à aplicação do método PAH e aos mapeamentos gerados, considera-se que um Modelo Digital de Elevação com maior resolução espacial e acurácia vertical pode ser utilizado em futuros trabalhos para melhorar a definição dos limites entre as classes. O MDE também pode contribuir para a identificação da densidade da drenagem e do mapeamento de classes geomorfológicas dentro da classe padrão em planície aluvial como os terraços fluviais. A elaboração de um mapeamento geomorfológico também será relevante para o aprimoramento do mapa de suscetibilidade à inundação da área de estudo.

De forma geral, os resultados demonstram que o uso de geotecnologias são relevantes, sobretudo ao estudar uma bacia localizada em um local distante e de difícil acesso ao pesquisador(a), podendo apresentar inúmeras aplicabilidades para análises em diversas ciências, principalmente na delimitação dos riscos ambientais. Essas ferramentas integradas ao método PAH formam um importante instrumento na pesquisa e propiciaram o desenvolvimento de um produto como auxílio aos tomadores de decisão na prevenção e mitigação de desastres associados à

inundação, fornecendo uma base para o planejamento ambiental de curto, médio ou longo prazo.

Avaliando as limitações dos resultados obtidos, recomenda-se a continuidade da pesquisa para fins de aperfeiçoar e obter novos resultados. Informações completas relativas a dados socioeconômicos, principalmente da população atingida pelas inundações no rio Mosco, é importante para analisar a vulnerabilidade socioambiental na área de estudo. Assim, foi realizada a tentativa de contato via correio eletrônico com a prefeitura de Villa O'Higgins e grupos comunitários com a finalidade de obter materiais mais específicos sobre a comunidade, além da participação de cidadãos locais na construção desta pesquisa, mas não obtivemos respostas. Para mais, a verificação em campo das informações obtidas remotamente pode resultar em um dado mais preciso e de maior detalhamento, refinando as possíveis avaliações para que autoridades locais encontrem uma fonte confiável de apoio às suas decisões. Como afirma Löwy (2009), num certo sentido, o tempo é nosso aliado, pois trabalhamos na mudança para resolver os problemas do meio ambiente, cuja situação se agrava com a crise climática.

REFERÊNCIAS

- ACSELRAD, H.; MELLO, C. C. A.; BEZERRA, G. N. O que é justiça ambiental. Rio de Janeiro: Garamond, 160 p. 2009.
- ADGER, W.N. **Vulnerability. Global Environmental Change**, Amsterdam, v. 16, p. 268-281. 2006.
- AEDO, M. P.; MONTECINOS, T. Glaciares: Reservas Estratégicas de Agua Dulce Para La Sociedad Y Los Ecosistemas en Chile. **Glaciares andinos, recursos hídricos y cambio climático: desafíos para la justicia climática en el Cono Sur**. Universidad de Santiago. 2018.
- ALCÁNTARA-AYALA, I. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. Elsevier Science, **Geomorphology**, v. 47, p. 107-124, 2002.
- AMARAL, R.; RIBEIRO, R.R. Inundação e Enchentes. In: TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. 2009. In: **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo, Instituto Geológico, p. 39-52. 2009.
- ANACONA, P.I.; NORTON, K. P.; MACKINTOSH, A. Moraine-dammed lake failures in Patagonia and assessment of outburst susceptibility in the Baker Basin. **Nature Hazards Earth System Science Discussion**, v. 2, p. 4765–4812, 2014.
- ARAÚJO JR.; TAVARES JR. **Analytic Hierarchy Process (AHP): Uma definição do risco à inundação para a Amazônia Setentrional**. ACTA Geográfica, Boa Vista, v.14, n.35, p. 209-233. 2020.
- ARAVENA, J.C.; LUCKMAN, B.H. Spatio-temporal rainfall patterns in Southern South America. **International Journal of Climatology**. 2009.
- ARCLIM. **Atlas de Riesgos Climáticos para Chile**. Ministério del Medio Ambiente del Gobierno de Chile. 2020.
- Autoridades de Villa O'Higgins trabajan en emergencia tras desborde de río**. La Tercera, Las Condes, Chile. 2018. Disponível em: <<https://www.latercera.com/nacional/noticia/autoridades-villa-ohiggins-trabajan-emergencia-tras-desborde-rio/141734/>>
- AYSÉN: Evacúan a anciano de 84 años por crecida tras deshielo de glaciar. **Cooperativa**, 20 de Abril de 2018. Disponível em: <<https://www.cooperativa.cl/noticias/pais/desastres-naturales/inundaciones/aysen-ev>>

acuan-a-anciano-de-84-anos-por-crecida-tras-deshielo-de-glaciar/2018-04-20/182939.html>. Acesso em: 04 de setembro de 2020

AYSÉN: Onemi advierte posible anegamiento de viviendas tras deshielos en Villa O'Higgins. **Cooperativa**, 10 de abril de 2018a. Disponível em: <<https://www.cooperativa.cl/noticias/pais/desastres-naturales/inundaciones/aysen-onemi-advierde-posible-anegamiento-de-viviendas-tras-deshielos-en/2018-04-10/173708.html>>. Acesso em: 08 de setembro de 2022.

BAJRACHARYA, S.R. **Inventory of Glacial Lakes and Identification of Potentially Dangerous Glacial Lakes in the Koshi, Gandaki, and Karnali River Basins of Nepal, the Tibet Autonomous Region of China, and India**. Kathmandu, Nepal. ICIMOD (International Centre for Integrated Mountain Development). 2020.

BARNETT, T.; ADAM, J.; LETTENMAIER, D. Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions. **Nature**, v. 438, p. 303–309, 2005. <https://doi.org/10.1038/nature04141>

BAT'KA, J. *et al.* Glacial Lake Outburst Floods (GLOFs) in the Cordillera Huayhuash, Peru: Historic Events and Current Susceptibility. **Water**, v. 12, p. 2664, 2020.

BECKERS, A.; DEWALS, B.; ERPICUM, S.; DUJARDIN, S.; DETREMBLEUR, S.; TELLER, J. **Contribution of land use changes to future flood damage along the river Meuse in the Walloon region**. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 13, p. 2301–2318. 2013.

BEEN, D.I.; EVANS, D. J. A. Glacier systems. **Glaciers & Glaciation**, ed. 2, 802 p. 2010.

BOHOLM, A. **The cultural nature of risk: Can there be an anthropology of uncertainty?** *Ethnos*, 68, 164. 2003.

BORGES, F. O.; FERREIRA, V. O. **Planícies de inundação e áreas inundáveis: análise comparativa dos conceitos mediante aplicação nas bacias hidrográficas do Ribeirão Bom Jardim e Rio das Pedras, Triângulo Mineiro**. *Revista Cerrados, Montes Claros/MG*, v.17, n. 1, p. 114-130. 2019.

BÜCHELE, B.; KREIBICH, H.; KRON, A.; THIEKEN, A.; IHRINGER, J.; OBERLE, P.; MERZ, B.; NESTMANN, F. **Flood-risk mapping: contributions towards an enhanced assessment of extreme events and associated risks**. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 6, 485–503. 2006. <https://doi.org/10.5194/nhess-6-485-2006>

CARDOSO, C.; GUERRA, A.T.; SILVA, M.S. Geografia e os riscos socioambientais. In: **Geografia e os Riscos Socioambientais**, RJ, 1ª ed. 2020.

- CAREY, M. *et al.* Integrated Approaches to Adaptation and Disaster Risk Reduction in Dynamic Socio-cryospheric Systems. In: **Snow and Ice-Related Hazards, Risks and Disasters**, Elsevier. 2015.
- CARRIÓN, P. S. **Tendencias Climáticas y sus Efectos en el Golfo de Ancud por Medio de las Series de Precipitación y Temperatura más Largas**. Memoria para optar a título profesional de Geógrafa, Universidad de Chile. 2017.
- CARRIVICK, J.L.; QUINCEY, D.J. Progressive increase in number and volume of ice-marginal lakes on the western margin of the Greenland Ice Sheet. **Global Planet Change**, v. 116, p. 156-163, 2014.
- CARRIVICK, J. L.; TWEED, F. S. **Proglacial lakes: character, behaviour and geological importance**. Quaternary Science Reviews, v. 78, p. 34-52. 2013.
- CASTRO, S. D. A. Riesgos y peligros: una visión desde la Geografía. Scripta Nova. **Revista Eletrónica de Geografía y Ciências Sociais, Barcelona**, v. 60, 2000. Disponível em: <<http://www.ub.es/geocrit/sn-60.htm>>
- ÇELIK, H.E.; COSKUN, G.; CIGIZOGLU, H.K.; AĞIRALIOĞLU, N.; AYDIN, A.; ESIN, A.Í. The analysis of 2004 flood on Kozdere stream in Istanbul. **Nature Hazards**, v. 63, p. 461-477. 2012.
- CEPAL - COMISIÓN ECONÔMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. **La economía del cambio climático en Chile**. CEPAL – Colección Documentos de proyectos. 2012.
- CHEN, X. *et al.* Improved modeling of snow and glacier melting by a progressive two-stage calibration strategy with GRACE and multisource data: How snow and glacier meltwater contributes to the runoff of the Upper Brahmaputra River basin? **Water Resources Research**, v. 53, p. 2431–2466, 2017. DOI: 10.1002/2016WR019656.
- CHILE SUSTENTABLE. **Conflictos por el Agua en Chile: Entre los Derechos Humanos y las Reglas del Mercado**. Chile. 2010.
- CLAGUE, J.; O'CONNOR, J. **Glacier-Related Outburst Floods**. In: HAEBERLI, W.; WHITEMAN, C. (org). **Snow and Ice-Related Hazards, Risks, and Disasters - Hazards and Disasters Series**, ed. 1, p. 487-519. 2015.
- Climate Hazards Group InfraRed Precipitation. **CHIRPS Daily**. Disponível em: <<https://www.chc.ucsb.edu/data>>. Acesso em: 04 de dez. de 2022.
- Climate Hazards Group InfraRed Precipitation. **CHIRPS Pentad**. Disponível em: <<https://www.chc.ucsb.edu/data>>. Acesso em: 04 de dez. de 2022.

- COELHO, A.L.N. Método de análise hierárquica (AHP) aplicado a inundação urbana após evento de chuva concentrado. **GeoFocus** (Artículos), v. 20, p. 183-199, 2017. <http://dx.doi.org/10.21138/GF.565>
- COLLISCHONN, E. **Compreendendo e avaliando a construção do risco relacionado às inundações urbanas**. In: MENDONÇA, F. (org). Riscos Climáticos: vulnerabilidades e resiliência associados. Jundiaí: Paco Editorial, 2014.
- COOK, S. J. *et al.* **Glacier change and glacial lake outburst flood risk in the Bolivian Andes**. *The Cryosphere*, 10. 2016.
- COSTA, H.G. **Introdução ao método de análise hierárquica: análise multicritério no auxílio à decisão**. SBPO. **Anais do XXXVI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**. São João del-Rei, MG. 2004.
- COSTA, M.; NASCIMENTO JR, V.S.; FREZ, C.A. As inundações e o papel formativo da Defesa Civil do Município de Nova Iguaçu (RJ). In: **Geografia e os Riscos Socioambientais**, RJ, 1ª ed. 2020.
- COSTA, V.C.; RIBEIRO, M.F. O geoprocessamento na delimitação e na prevenção de áreas de risco e movimentos de massa. In: **Geografia e os Riscos Socioambientais**, RJ, 1ª ed. 2020a.
- CRED - CENTRE FOR RESEARCH ON THE EPIDEMIOLOGY OF DISASTERS. **Disaster Year in Review 2020: Global Trends and Perspectives**. Cred Crunch, Bélgica, v. 62, 2021.
- DAS, S. Geospatial mapping of flood susceptibility and hydro-geomorphic response to the floods in Ulhas basin, India. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 14, p 60–74, 2019.
- DELGADO, C.V. **Impacto del Cambio Climático en el Fir Austral-Chile**. Dirección Meteorológica de Chile, Sección Climatología, Oficina de Cambio Climático. 2020.
- DENÚBILA, L. A. **Alterações ambientais associadas à mineração no município de São Carlos (SP), utilizando AHP e SIG**. Dissertação de Mestrado em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2013.
- DIAS, V.B.; SILVA, A.B. **AHP na modelagem da vulnerabilidade ambiental do mini corredor ecológico Serra das Onças (BA)**. *Revista Brasileira de Cartografia*, n. 66/6, p. 1363-1377. 2014.
- DING, Y. *et al.* Increasing cryospheric hazards in a warming climate. In: **Earth-Science Reviews**, vl. 213, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103500>.

DMC. Dirección Meteorológica de Chile - Servicios Climáticos. **Precipitación Histórica Anual**. Disponível em: <<https://climatologia.meteochile.gob.cl/>>. Acesso em: 07 de fevereiro de 2023.

DPDR. DIVISIÓN DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO REGIONAL. **Plan de Desarrollo Territorio Provincia de Los Glaciares**. Política Nacional Para Zonas Rezagadas en Materia Social. Gobierno Regional de Aysén, 257 p. 2020.

DUARTE, M. L.; SILVA, D.M.P.; SILVA, T. A.; GUIMARAES, L.R. **Avaliação de Modelos Digitais de Elevação na delimitação de bacias hidrográficas na região Sul do Amazonas**. Journal of Hyperspectral Remote Sensing, v. 9, n. 2, p. 99-107. 2019.

EMBLETON, C.; KING, C.M. 1975. **Glacial geomorphology**. London. 1975.

EMMER, A.; KLIMES, J.; MERGILI, M.; VILIMEK, V.; COCHACHIN, A. **882 lakes of the Cordillera Blanca: an inventory, classification, evolution and assessment of susceptibility to outburst floods**. Catena 147, 269–279. 2016.

ESCOSTEGUY, L. *et al.* Hoja Geológica 4972-I, Monte Tetris. Provincia de Santa Cruz. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. **Boletín 429**, Buenos Aires. 2017.

ESPINOZA, F.; CARLING, P. **Repeated glacial lake outburst floods in Patagonia**. Nat Hazards 54, p. 469–481. 2010.

FERNÁNDEZ, D.S.; LUTZ, M.M. Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. **Engineering Geology**, v. 111, p. 90–98, 2010.

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.

FERREIRA, G.M. *et al.* Utilização de Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente na Obtenção de Características Morfológicas de Bacias Hidrográficas. **Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Maceió. 2011.

FERREIRA, P.S.; SILVA, C. A. **O método AHP e a Álgebra de Mapas para determinar a fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Brilhante (Mato Grosso do Sul/Brasil), proposições para a gestão do território**. Confins, n. 46. 2020. DOI : <https://doi.org/10.4000/confins.30897>

- FIGUEIREDO, A.R. **A Sociocriosfera nos Andes Centrais: Percepções, Adaptações e Impactos dos Desastres Glaciais no Callejón de Huaylas, Peru.** Dissertação de Mestrado, UFRGS, p. 128, Porto Alegre. 2017.
- FIGUEIREDO, A.R. *et al.* **Mudanças climáticas e impactos sócio-territoriais dos desastres glaciais na Cordilheira Branca, Peru.** *Confins*, v. 47, 2020.
- FIGUEIREDO, A. R.; SIMÕES, J. C.; MENEGAT, R.; STRAUSS, S.; RODRIGUES, B. B. Percepções e adaptações às mudanças climáticas na Cordilheira Branca, Peru. **Sociedade & Natureza**, v. 31, 2019. DOI: 10.14393/SN-v31-2019-45623. Disponível em: <<https://seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/45623>>
- FONT, E. V. **Glaciares de Chile.** Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. 2016.
- FRANÇA, J.R. **Mapeamento das Áreas de Suscetibilidade e Risco de Inundação de Trecho do Rio Uruguai no Município de São Carlos - SC.** Dissertação De Mestrado, Universidade Federal De Santa Maria, Santa Maria, 82p. 2017.
- GARCÍA-RUIZ, J.M.; REGÜÉS, D.; ALVERA, B.; LANA-RENAULT, N.; SERRANO-MUELA, P.; NADALROMERO, E. **Flood generation and sediment transport in experimental catchments affected by land use changes in the central Pyrenees.** *J. Hydrol.* 356, p. 245–260. 2008.
- GARREAUD, R. D. The Andes climate and weather. **Advances in Geosciences**, v. 22, p.3. 2009.
- GOERL, R. F.; KOBAYAMA, M. Considerações sobre as inundações no Brasil. **Anais do Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, João Pessoa. 2005.
- GOMES, R.C.; BIAS, E.S. **Integração do método AHP e SIG como instrumento de análise do nível de conservação ambiental em bacias hidrográficas.** São Paulo, UNESP, *Geociências*, v. 37, n. 1, p. 167-182. 2018.
- GRANELL-PÉREZ, M.D.C. **Trabalhando geografia com as cartas topográficas.** Ijuí: Unijuí. 2001.
- GUERRA, A.J.T.; FULLEN, M.A.; JORGE, M.C.O.; BEZERRA, J.F.R.; SHOKR, M.S. Slope processes, mass movement and soil erosion: A review. **Pedosphere**, 27(1), p. 27–41. 2017.
- HAEBERLI, W. Frequency and characteristics of glacier floods in the Swiss Alps. **Annals of Glaciology**, v. 4, p. 85–90. 1983.
- HAEBERLI, W.; WHITEMAN, C. Snow and Ice-Related Hazards, Risks, and Disasters: A General Framework. In: **Snow and Ice-Related Hazards, Risks and Disasters**, Elsevier. 2015.

- HAMBREY, M.J.; ALEAN, J.C. **Colour atlas of glacial phenomena**. CRC Press, Boca Raton, USA, 426 p., 2017.
- HARRISON, S. *et al.* Climate change and the global pattern of moraine-dammed glacial lake outburst floods. **Cryosphere**, v. 12, p. 1195-1209. 2018.
- HOFFMANN, T. C.; MENDONÇA, F.; GOUDARD, G. Eventos climáticos extremos: Inundação e Gestão de Riscos no Paraná. In: **Riscos Climáticos: Vulnerabilidades e Resiliência Associados**. Jundiaí, Paco Editorial. 2014.
- HOCK, R. *et al.* High Mountain Areas. In: **IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate**, H.-O. Pörtner *et al.* (eds.), 2019.
- HUSS, M.; HOCK, R. Global-scale hydrological response to future glacier mass loss. **Nature Climate Change Letters**, v.8, p.135–140. 2018.
- HUPB, J.L.; INBAR, M. **Desastres naturales en América Latina**. Fondo de Cultura Económica Cidade do México. 2002.
- ICIMOD. International Centre for Integrated Mountain Development. **Glacial Lakes and Glacial Lake Outburst Floods in Nepal**, Nepal, 2011.
- ING - INVENTARIO NACIONAL DE GLACIARES. **Informe de las subcuencas del río Mayer y lago San Martín Cuenca del río Mayer y lago San Martín, Provincia de Santa Cruz**. Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales, Argentina. 2018.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Cambridge University Press, Cambridge. 2021. DOI:10.1017/9781009157896.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, p. 3056. 2022. DOI:10.1017/9781009325844.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Cambridge University Press, Cambridge. 2013.
- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margens de Rios**. Ministério das Cidades, 176p. 2007.
- JENSEN, J.R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. Parêntese Editora, São José dos Campos. 2009.

- JONES, B.; O'NEILL, B.C. Spatially explicit global population scenarios consistent with the Shared Socioeconomic Pathways. **Environmental Research Letters**, v. 11, 2016.
- KHADKA, N. *et al.* Evaluation of Glacial Lake Outburst Flood susceptibility using multi-criteria assessment framework in Mahalangur Himalaya. **Frontiers in Earth Science**, v. 8, p. 601288. 2021. Doi: 10.3389/feart.2020.601288
- LA TERCERA. **Autoridades de Villa O'Higgins trabajan en emergencia tras desborde de río. 2018.** Disponível em: <<https://www.latercera.com/nacional/noticia/autoridades-villa-ohiggins-trabajan-emergencia-tras-desborde-rio/141734/>>. Acesso 05 de julho de 2022.
- LI, Z.; FANG, H.; TIAN, L.; DAI, Y.; ZONG, J. **Changes in the glacier extent and surface elevation 370 in Xiongcaigangri region, Southern Karakoram Mountains, China.** Quaternary International, 371, 371 67-75. 2015.
- LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W.; CHIPMAN, J. **Remote Sensing and Image Interpretation.** John Wiley & Sons, ed. 7. 2015.
- LÖWY, M. **Ecosocialismo e planejamento democrático.** Crítica Marxista, n.28, p.35-50. 2009.
- LÖWY, M. **Ecosocialismo: La alternativa radical a la catástrofe ecológica capitalista.** Buenos Aires: El Colectivo - Herramienta, 1ª ed. 2011.
- MARTINS, V.E.; BERGMANN, M.D.; SCHIMIDT, M.R. **Integração de SIG Com técnica AHP na identificação de locais com vulnerabilidade a erosão hídrica de uma microbacia hidrográfica em contexto de Mata Atlântica.** Revista de Geografia (Recife) V. 38, nº 3. 2021.
- MEDEIROS, M. S.; BARBOSA, M. P. Percepção de risco dos atores sociais em áreas metropolitanas: estudo de caso na comunidade São José – João Pessoa. Brasil. **Revista Espacios**, v. 37, n. 23, 2016. Disponível em: <<https://www.revistaespacios.com/a16v37n23/16372305.html>>
- MENDONÇA, F. **Riscos Climáticos: Vulnerabilidades e Resiliência Associados.** Jundiáí, Paco Editorial. 2014.
- MIRANDA, N.M.G. **Análise Espacial da Suscetibilidade à Inundação da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Lipa, Cuiabá - MT.** Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.
- MIRANDA, N.M.G. *et al.* Processo Hierárquico Analítico (AHP) em Modelagem Espacial da Vulnerabilidade à Inundação em Ambientes Mistos. **Anuário do**

Instituto de Geociências, v. 42, p.172-181. 2019. DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2019_4_172_181

MSABI, M.M.; MAKONYO, M. Flood susceptibility mapping using GIS and multi-criteria decision analysis: A case of Dodoma region, central Tanzania. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 21, 2021.

MUNICIPALIDAD DE O'HIGGINS. **Municipio de Villa O'Higgins realiza gestiones para encauzar caudal del río Mosco**. 2016. Disponível em: <<http://www.municipalidadohiggins.cl/web/2016/02/10/municipio-de-villa-ohiggins-realiza-gestiones-para-encauzar-caudal-del-rio-mosco/>>. Acesso: 08 de setembro de 2022.

NASCIMENTO, J.A.S. **Vulnerabilidade a eventos climáticos extremos na Amazônia Ocidental: uma visão integrada na bacia do rio Acre**. Tese de doutorado. COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 285 p. 2011.

NETO, A.G.P.; BARBOSA, I.B.R.; SILVA, S.R. **Mapeamento das áreas de risco de inundação da bacia hidrográfica do rio Jaboatão, em Pernambuco, utilizando o método AHP (Analytic Hierarchy Process)**. IX ENSUS – Encontro de Sustentabilidade em Projeto, UFSC, Florianópolis. 2021.

NIE, Y.; LIU, Q.; LIU, S. Glacial Lake Expansion in the Central Himalayas by Landsat Images, 1990–2010. **PLoS ONE**, v. 8, n. 12, p. e83973, 2013. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0083973>

NIE, Y.; LIU, Q.; WANG, J.; ZHANG, Y.; SHENG, Y.; LIU, S. **An inventory of historical glacial lake outburst floods in the Himalayas based on remote sensing observations and geomorphological analysis**. **Geomorphology**, v. 308 p. 91-106, 2018.

NUEVA crecida del Río Mosco generó destrucción total de viviendas. **Tehuelche Noticias**, Aysén, 5 de janeiro de 2020. Disponível em: <https://tehuelchenoticias.cl/nuevo_sitio/2020/01/05/nueva-crecida-del-rio-mosco-genero-destruccion-total-de-viviendas/>. Acesso em: 09 de setembro de 2022.

OLIVEIRA, M.A.G.; PETSCH, C.; ROSA, K.K.; VIEIRA, R.; COSTA, R.M.; PERONDI, C.; SIMÕES, J.C. **Inventário de lagos glaciais nas ilhas Nelson e Rei George, Antártica Marítima**. *Caminhos de Geografia Uberlândia - MG* v. 22, n. 80, p. 119–13. 2021.

ONEMI - Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior y Seguridad Pública. **Aumento de caudal del Río Mosco, comuna de O'Higgins, Región de Aysén**. 2018. Disponível em: <<https://www.onemi.gov.cl/informate/aumento-de-caudal-del-rio-mosco/>>. Acesso: 08 de setembro de 2022.

PAUL, F.; KÄÄB, A.; HAEBERLI, W. Recent glacier changes in the Alps observed by satellite: Consequences for future monitoring strategies. **Global and Planetary Change**, v. 56, p. 111–122, 2007.

PAULA, B.L.; CERRI, L.E.S. **Aplicação do Processo Analítico Hierárquico (AHP) para Priorização de Obras de Intervenção em Áreas e Setores de Risco Geológico nos Municípios de Itapeçerica da Serra e Suzano (SP). Geociências**, v. 31, n. 2, p. 247-257, 2012.

PAVEZ, G. **Buscan prevenir crecidas del río Mosco en Villa O'Higgins**. Diario Regional Aysén. 2019. Acesso em: 09 de março de 2023. Disponível em: <https://www.diarioregionalayesen.cl/noticia/actualidad/2019/12/buscan-prevenir-crecidas-del-rio-mosco-en-villa-ohiggins>.

PEITZSCH, E.H. *et al.* Climate drivers of large magnitude snow avalanche years in the U.S. northern Rocky Mountains. **Scientific Reports**, v. 1, 2021. doi: <<https://doi.org/10.1038/s41598-021-89547>>

PELTO, M. **Recent Climate Change Impacts on Mountain Glaciers**. The Cryosphere Science Series. 2017.

PEREIRA, L.S.; RODRIGUES, A.M. A importância de serem compreendidos os solos, seus usos e sua conservação na prevenção dos riscos socioambientais. In: **Geografia e os Riscos Socioambientais**, RJ, 1ª ed. 2020.

PETSCH, C. **Sensoriamento remoto da calota de gelo da ilha Renaud-Antártica**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, 115 p. 2014.

Physical Sciences Laboratory. **What years are ENSO years?** NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration. Disponível em: <https://psl.noaa.gov/enso/past_events.html>. Acessado em: 07 de fev. de 2023.

PIZARRO, R.; VERA, M., VALDÉS; R., HELWIG; B.; OLIVARES, C. Multi-decadal variations in annual maximum peak flows in semi-arid and temperate regions of Chile. **Hydrology Science Journal**, v. 59, p. 300–311, 2014.

Planet Team. Planet Application Program Interface: In Space for Life on Earth. San Francisco, CA. 2017

POVEDA, G.; ESPINOZA, J.C.; ZULUAGA, M.D.; SOLMAN, S.A.; GARREAUD, R.; VAN OEVELEN, P.J. **High Impact Weather Events in the Andes**. *Frontier Earth Science*, v. 8, n. 162, 2020. doi: 10.3389/feart.2020.00162

PROGRAMA GESTIÓN TERRITORIAL, ZONAS REZAGADAS. **Plan de Desarrollo Territorio Provincia de los Glaciares. Política Nacional para Zonas Rezagadas en Materia Social**. División de Planificación y Desarrollo Regional, Gobierno Regional de Aysén. 2020.

RAMÍREZ, E. Impactos del cambio climático y gestión del agua sobre la disponibilidad de recursos hídricos para las ciudades de La Paz y El Alto. **Revista Virtual REDESMA, CEBEM-Centro Boliviano de Estudios Multidisciplinarios**, v.2, n.3, p. 49–61. 2008.

REES, W. G. **Remote sensing of snow and ice**. CRC press, 322 p. 2006.

SAATY, T.L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 15, p. 234-281. 1977.

SAATY, T.L. **Método de análise hierárquica**. São Paulo: McGraw-Hill Publisher, 367 p. 1991.

SAKAKIBARA, D.; SUGIYAMA, S. Ice-front variations and speed changes of calving glaciers in the Southern Patagonia Icefield from 1984 to 2011. **Journal Geophysics Research Earth Surface**, v. 119, p. 2541–2554. 2014. DOI:10.1002/2014JF003148

SAMANTA, S.; KOLOA, C.; KUMAR PAL, D.; PALSAMANTA, B. Flood Risk Analysis in Lower Part of Markham River Based on Multi-criteria Decision Approach (MCDA). **Hydrology**, p. 29. 2016.

SANTIBÁÑEZ, F. Q. *et al.* **Atlas Agroclimático de Chile: Estado Actual y Tendencias del Clima. Tomo VI: Regiones de Aysén y Magallanes**. Santiago, Chile. 2017.

SAUSEN, T. M.; NARVAES, I.S. Sensoriamento remoto para inundação e enxurrada. In: **Sensoriamento Remoto para desastres**, SAUSEN, T.M.; LACRUZ, M.S.P. (orgs). São Paulo: Oficina de Textos. 2015.

SCHNEIDER, D.; HUGGEL, C.; COCHACHIN, A.; GUILLÉN, S.; GARCÍA, J. Mapping hazards from glacier lake outburst floods based on modeling of process cascades at Lake 513, Carhuaz, Peru. **Advance of Geosciences**, v. 35, p. 145-155. 2014. doi: <<http://dx.doi.org/10.5194/adgeo-35-145-2014>>

SCHOOLMEESTER, T. *et al.* Atlas de Glaciares y Aguas Andinos. **El impacto del retroceso de los glaciares sobre los recursos hídricos.** UNESCO y GRID-Arendal. 2018.

SERNAGEOMIN - SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA. **Mapa Geológico de Chile: versión digital. Servicio Nacional de Geología y Minería.** Publicación Geológica Digital, n. 4, Santiago. 2003.

SERNAGEOMIN - SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA. **Remoción en masa en Río Mosco e Inundación en Villa O'Higgins, Provincia de Capitán Prat, Región de Aysén.** Oficina Técnica Puerto Varas. 2018.

SHUGAR, D.H. *et al.* **Rapid worldwide growth of glacial lakes since 1990.** Nature Climate Change, vol. 10, p. 939–945. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0855-4>

SILVA, M.S.; SANTOS, S.V.; MARQUES FILHO, J.P. As desigualdades socioambientais e a qualidade de vida: quem são os vulneráveis ambientais? In: **Geografia e os Riscos Socioambientais**, RJ, 1ª ed. 2020.

SMITH, R. **The engine of ecocollapse.** Capitalism, Nature and Socialism, v.16, n.4, p.35. 2005.

THOMPSON, I. *et al.* **An institutional analysis of glacial floods and disaster risk management in the Nepal Himalaya.** International Journal of Disaster Risk Reduction, v. 47. 2020.

UNEP – United Nations Environment Programme; WGMS – World Glacier Monitoring Service. **Global glacier changes: facts and figures.** Genebra: UNEP. 2008.

UNESCO - Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura. **Expertos de la UNESCO se unen para concientizar a la población sobre el retroceso glaciar en América Latina.** UNESCO. 2022. Acesso em: 10 de mar de 2023. Disponível em:

<https://es.unesco.org/news/expertos-unesco-se-unen-concientizar-poblacion-retroceso-glaciar-america-latina>

VACCARO, C. **Deshielo de dos glaciares y lluvias provocan crecida de río Mosco: vecinos exigen ayuda.** Bio Bio Comunicaciones. 2018. Disponível em: <https://www.biobiochile.cl/noticias/nacional/region-de-aysen/2018/02/06/deshielo-de-dos-glaciares-y-lluvias-provocan-crecida-de-rio-mosco-vecinos-exigen-ayuda.shtml>. Acesso: 08 de setembro de 2022.

VALENZUELA, R.A.; GARREAUD, R.D. Extreme daily rainfall in central-southern Chile and its relationship with low-level horizontal water vapor fluxes. **Journal Hydrometeorology**, v. 20, p.1829–1850, 2019.

VEETTIL B. K.; KAMP, U. **Glacial Lakes in the Andes under a Changing Climate: A Review**. **Journal of Earth Science**, vl. 32, 2021

VERDEJO, J.P. Pobladores de río Mosco en Villa O'Higgins exigen apoyo tras crecida. **Cooperativa**, 03 de fevereiro de 2020. Disponível em: <<https://www.cooperativa.cl/noticias/pais/region-de-aysen/pobladores-de-rio-mosco-en-villa-o-higgins-exigen-apoyo-tras-crecida/2020-01-03/153704.html>>. Acesso em: 09 de setembro de 2020.

VERDEJO, J.P. Vecinos de Villa O'Higgins fueron rescatados tras inundaciones por crecida del río Mosco. **Cooperativa**, 24 de dezembro de 2018b. Disponível em: <<https://www.cooperativa.cl/noticias/pais/region-de-aysen/vecinos-de-villa-o-higgins-fueron-rescatados-tras-inundaciones-por/2019-12-24/144837.html>>. Acesso em: 09 de setembro de 2022.

VIALE, M.; VALENZUELA, R.; GARREAUD, R.; RALPH, F. Impacts of atmospheric rivers on precipitation in Southern South America. *Journal of Hydrometeorology*, v. 19, p. 1671–1686, 2018.

VILLA O'Higgins: Aumento de caudal de río dejó aislada a familia de sector Río Mosco. **Aquiaysén**, Aysén, 29 de dezembro de 2015. Disponível em: <<https://aquiaysen.wordpress.com/2015/12/29/villa-ohiggins-aumento-de-caudal-de-río-dejo-aislada-a-familia-de-sector-rio-mosco/>>. Acesso: 08 de setembro de 2022.

VILLA O'Higgins: Nueva crecida del Río Mosco generó destrucción total de viviendas. **RLN - Radio Las Nieves**, Puerto Aysén, 05 de janeiro de 2020. Disponível em: <<https://www.rln.cl/destacado/67358-villa-ohiggins-nueva-crecida-del-rio-mosco-genero-destruccion-total-de-viviendas>>. Acesso em: 09 de setembro de 2022.

YONGJIAN, D.; JINGSHI, L. (1992). **Glacier lake outburst flood disasters in China**. *Annals of Glaciology*, 16, 180-184. 1992.

YONGPING, S. et al. **Response of Glacier Flash Flood to Climate Warming in the Tarim River Basin**. *Adv. Clim. Change Res.*, v. 3. 2007.

WANG, X. et al. **Changes of glacial lakes and implications in Tian Shan, central Asia, based on remote sensing data from 1990 to 2010**. *Environmental Research Letters*, v. 8. 2013.

- WANG, W.; XIANG, Y.; GAO, Y.; Lu, A.; YAO, T. Rapid expansion of glacial lakes caused by climate and glacier retreat in the central Himalayas. **Hydrology Processes**, p. 859-874, 2014.
- WANG, S.; ZHOU, L. **Glacial Lake Outburst Flood Disasters and Integrated Risk Management in China**. International Journal of Disaster Risk Science volume 8, p. 493–497. 2017.
- WARREN, C.; ANIYA, M. **The Calving Glaciers of Southern South America**. Global and Planetary Change, v. 22, p. 59-77. 1999.
- WILSON, R.; GLASSER, N.F.; REYNOLDS, J.N. *et al.* Glacial lakes of the Central and Patagonian Andes. **Global and Planetary Change**, v.162, p. 275-291, 2018.
- WILSON, R.; HARRISON, S.; REYNOLDS, J.; HUBBARD, A.; GLASSER, N.F.; WÜNDRICH, O.; ANACONA, P. I.; MAO, L.; SHANNON, S. The 2015 Chileno Valley glacial lake outburst flood, Patagonia, **Geomorphology**. v. 32. p. 51-65. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.01.015>.
- ZAMORANO, C.R.; MAIER, E.; ARIGONY-NETO, J.; ESPINOZA, J. M. A.; JAÑA, R.; GONZALEZ, I. **Mapeamento da superfície de neve na Cordilheira Darwin através de imagens de satélite óticas e sua relação com dados climáticos (2005-2016)**. Revista Brasileira de Cartografia, Edição Desastres Naturais e Impactos Ambientais, ed. 69/4, p. 743-758. 2017.
- ZEMP, M.; HUSS, M.; THIBERT, E. *et al.* Global glacier mass changes and their contributions to sea-level rise from 1961 to 2016. In: **Nature**, v.568, p. 382–386, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1071-0>.
- ZENG, Q.; CAO, C. M.; FENG, X.; LIANG, F.; CHEN, X.; SHENG, W. Study on reflection characteristics of snow, ice and water of northwest China. **IAHS Publication**, v.23. 1984.
- ZINN, Y.L.; LAL, R.; RESCK, D.V.S. Eucalypt Plantation Effects on Organic Carbon and Aggregation of Three Different-textured Soils in Brazil. **Soil Research**, v.49, n.7, p. 614-624, 2011.