

## INVENTÁRIO DE LAGOS GLACIAIS NAS ILHAS NELSON E REI GEORGE, ANTÁRTICA MARÍTIMA

**Manoela Araujo Gonçalves de Oliveira**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências  
Centro Polar e Climático  
Porto Alegre/RS, Brasil  
[manuella.araujo@hotmail.com](mailto:manuella.araujo@hotmail.com)

**Carina Petsch**

Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Geociências  
Santa Maria/RS, Brasil  
Centro Polar e Climático (UFRGS)  
[carinapetsch@gmail.com](mailto:carinapetsch@gmail.com)

**Kátia Kellem da Rosa**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências  
Centro Polar e Climático  
Porto Alegre/RS, Brasil  
[katiakellem@gmail.com](mailto:katiakellem@gmail.com)

**Rosemary Vieira**

Universidade Federal Fluminense, Instituto de Geociências  
Laboratório de Processos Sedimentares e Ambientais  
Niterói/RJ, Brasil  
[rosemaryvieira@id.uff.br](mailto:rosemaryvieira@id.uff.br)

**Rafaela Mattos Costa**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências  
Centro Polar e Climático  
Porto Alegre/RS, Brasil  
[raffaellamattos@hotmail.com](mailto:raffaellamattos@hotmail.com)

**Cleiva Perondi**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências  
Centro Polar e Climático  
Porto Alegre/RS, Brasil  
[cleivaperondi@gmail.com](mailto:cleivaperondi@gmail.com)

**Jefferson Cardia Simões**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências  
Centro Polar e Climático  
Porto Alegre/RS, Brasil  
[jefferson.simoes@ufrgs.br](mailto:jefferson.simoes@ufrgs.br)

### RESUMO

O presente trabalho apresenta o primeiro inventário dos lagos glaciais nas áreas livres de gelo nas ilhas Rei George e Nelson, Antártica Marítima. Foram usadas imagens Landsat, Digital Globe, Planet Scope e Sentinel 2 para vetorização e mapeamento dos lagos através do *Google Earth*. Para a análise geomorfológica foram utilizados os MDE Tandem-X e REMA. Há 56 lagos na ilha Nelson e 144 lagos na ilha Rei George, cobrindo um total de 320.000 m<sup>2</sup> de área e 2.016.169 m<sup>2</sup> de área, respectivamente. Os lagos se distribuem principalmente nos setores costeiros com baixas declividades (0-20%) e elevações (0-40m) nas áreas expostas das ilhas. Os lagos são formados em setores recentemente em deglaciização (os lagos de contato com o gelo e marginais ao gelo, como por exemplo, nas áreas proglaciais na baía do Almirantado e Rei George) e deglaciizados a mais tempo (e.g. Penínsulas Harmony, Stanbury, Fildes, Potter, Weaver e Barton). A caracterização dos lagos pode auxiliar na explicação de possíveis diferenças de evolução temporal dos lagos, pois o surgimento de lagos nos setores frontais das geleiras mostra o quanto estas estão instáveis ao aquecimento na região, e dessa forma podemos inferir sobre a dinâmica de cada uma delas.

**Palavras-chave:** Áreas livres de gelo. Ambiente marginal ao gelo. Paraglacial. SIG.

## INVENTORY OF GLACIAL LAKE IN NELSON AND KING GEORGE ISLAND, MARITIME ANTARCTICA

### ABSTRACT

This study presents the first glacial lake inventory for Nelson and King George Island forelands, Maritime Antarctica. Landsat, Digital Globe, Planet Scope and Sentinel 2 data and Google Earth mapping were applied in lake identification. The geomorphometric characteristics were obtained with TanDEM-X and REMA. There are 56 glacial lakes covering areas of 320.000 in Nelson Island, and 144 lakes covering areas of 2.016.169 in King George Island. These lakes are primarily located in coastal sectors (0-40m elevation) and lower slopes (0-20%) terrains in islands. There are lakes in forelands related to recent (i.g. ice-marginal and ice-contact lakes in proglacial areas presented in Admiralty and King George Bay) and old deglaciation (e.g. Harmony, Stanbury, Fildes, Potter, Weaver and Barton Peninsula). The lakes were not identified in Northern sectors of the islands. The characterization of the lakes can assist in the explanation of possible differences of secular evolution of the lakes, therefore the sprouting of lakes in the sectors frontals of glaciers shows how much these are unstable to the heating in the region, and of this form we can infer on the dynamics of each one of them.

**Keywords:** Forelands. Ice-marginal environment. Paraglacia. GIS.

### INTRODUÇÃO

Estima-se que a temperatura atmosférica superficial da região da Península Antártica tenha aumentado desde 1950, sendo indicada, em escala global, como uma das áreas mais sensíveis às mudanças do clima (TURNER, 2009). Como consequência do aumento da temperatura média do ar, ocorre a retração de geleiras e entre os impactos decorrentes, estão o aumento do nível global do mar (PACHAURI et al. 2014), desenvolvimento de áreas livres de gelo, modificações nas zonas proglaciais, interferência na hidrologia de canais alimentados pelas geleiras e deposição e erosão de feições marginais ao gelo (DYURGEROV e MEIER, 2005).

Os ambientes proglaciais são aqueles localizados próximo à frente de uma geleira, campo de gelo ou manto de gelo (PENCK e BRUNCKNER, 1909; EMBLENTON-HAMANN, 2004). Logo após a retração da geleira, a paisagem passa por um processo de desequilíbrio hidrológico e sedimentológico definido como período de ajuste paraglacial. Vários autores (BALLANTYNE, 2002; SLAYMAKER, 2009; BENN e EVANS, 2010) propuseram que o termo paraglacial é melhor definido como o período de tempo em que o ajuste ambiental é rápido e ocorre após a retração da geleira. Já os ambientes periglaciais são definidos como aqueles mais distantes das geleiras, nos quais a ação do degelo e congelamento do permafrost e processos relacionados são os dominantes na paisagem (FRENCH 2000, FRENCH e THORN 2006, SLAYMAKER, 2009).

Os lagos proglaciais, também podem ser reconhecidos como geoformas glaciolacustres, podem formar-se pelo contato direto com a frente de uma geleira ou pelo represamento através de uma moraina terminal de recessão. As morainas de recessão são geoformas deposicionais formadas na margem glacial frontal e podem ser caracterizadas como cordões lineares (HAMBREY, 1994; BENN e EVANS, 2010). Canais glaciofluviais transportam sedimentos até os lagos através do fluxo da água de degelo, formando uma pluma de sedimentos em suspensão e sedimentação laminada (SMITH e ASHLEY, 1985; LØNNE, 1995; ASSINE e VESELY, 2015). Os canais de fluxo da água de degelo das geleiras podem ter ou não contato direto com a margem da geleira, os canais que têm contato direto com a margem apresentam maior influência do processo de fusão glacial, pois recebem fluxos de água de degelo subglacial, formando canais e leques deposicionais e áreas alagadiças com múltiplos canais entrelaçados (BENN e EVANS, 2010).

Existe uma grande diversidade de lagos em tamanho, origem do aporte hídrico e tempo (CARRIVICK e TWEED, 2013). Os lagos se desenvolvem quando as geleiras recuam, geralmente se formando em bacias glacialmente esculpidas ou atrás de barreiras de gelo ou sedimentos nas margens das geleiras. Seu estudo é importante, pois eles modificam os regimes de fluxo hidrológico, retêm sedimentos; preservam um arquivo sedimentar de informações sobre o comportamento das geleiras, fluxo de sedimentos, clima (CARRIVICK e TWEED, 2013) e servem como indicativo de mudanças climáticas locais (ADRIAN et al. 2009; SHRIDHAR; KAMANA; ALVARINHO, 2015). Muitos estudos do

sistema paraglacial são direcionados a acompanhar a evolução dos lagos em áreas de risco a inundação em áreas andinas (KNIGHT e HARRISSON, 2018).

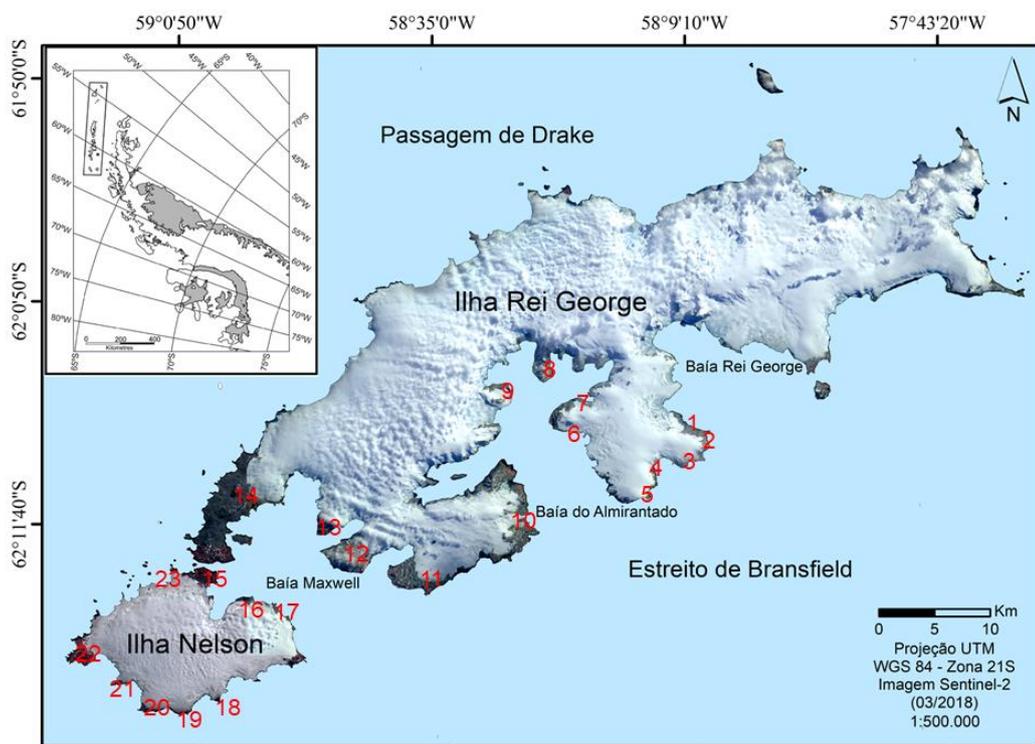
Considerando a importância dos lagos como indicadores de mudanças climáticas, se faz necessário realizar o monitoramento das áreas livres de gelo e o inventário dos lagos na Antártica Marítima, onde são pobremente documentados em número, extensão, volume e contexto ambiental. A distribuição espacial dos lagos em um Sistema de Informações Geográficas (SIG) é relevante para o monitoramento destes sistemas lacustres e para a compreensão dos impactos das mudanças climáticas nas áreas livres de gelo nesta região marítima Antártica.

O objetivo dessa pesquisa é realizar o levantamento e caracterização morfométrica dos lagos das áreas livres de gelo das ilhas Rei George e Nelson, Antártica Marítima.

### Área de estudo

A Ilha Rei George e Ilha Nelson (Figura 01) fazem parte das 29 ilhas que compõem as Shetlands do Sul, este arquipélago situa-se a noroeste da PA. A Ilha Rei George é a maior delas, possui área de 1.250 km<sup>2</sup>, o maior eixo com 80 km de comprimento, está orientado no sentido sudeste-nordeste e o menor, com 15 km de largura - no sentido oposto, as áreas livres de gelo na ilha correspondem a menos de 10% (BREMER, 1998). Já a Ilha Nelson possui uma área de 200 km<sup>2</sup>, o ponto mais elevado na ilha está a 313 metros acima do nível do mar.

Figura 01 - Localização das ilhas Nelson e Rei George na Península Antártica. Os números de 1 a 23 localizam os setores com lagos mapeados. Das 23 áreas mapeadas, pelo menos 17 são recentemente expostas, somente com lagos marginais ao gelo.



Fonte - O autor.

O embasamento do arquipélago das Shetlands do Sul é formado por rochas sedimentares, metassedimentares, vulcânicas e de suítes intrusivas formadas desde o período PréCambriano até o Paleogeno e Neogeno. A estratigrafia litológica constitui-se de sedimentos do Paleozoico Superior,

eventualmente metamorfizados em função dos processos vulcânicos e de intrusões plutônicas (CURL, 1980).

A precipitação média anual nas ilhas varia entre 350 e 500 mm, sendo que a maior parte dessa precipitação ocorre em forma de neve. As precipitações líquidas concentram-se durante o verão (SIMÕES et al., 1999; ØVSTEDAL e SMITH, 2001). Durante o inverno ocorre na área de estudo um clima marítimo relativamente ameno, resultando em baixa variabilidade anual das temperaturas mensais médias do ar (SMITH, STAMMERJOHN e BAKER, 1996) e frequente sucessão de centros de baixa pressão móveis para leste na zona circumpolar do vento oeste do Hemisfério Sul (BINTANJA e VAN DEN BROEKE, 1995).

A mais recente expansão das geleiras ocorreu durante a Pequena Idade do Gelo entre 1.200 e 1.800 D.C., sendo registrada por morainas de avanço lateral e frontal (CURL, 1980; BIRKENMAJER, 1981; CLAPPERTON e SUGDEN, 1988; SEONG et al., 2006).

## MATERIAIS E MÉTODOS

A base de dados da pesquisa se constitui de imagens de satélites, Digital Globe, Planet Scope, Sentinel 2 e Worldview da ilha Rei George e Nelson obtidas a partir de 2006 até 2018 (fevereiro, março e em diferentes horários). O período do ano de escolha das imagens corresponde a fevereiro e março, pois se considera que, conforme Benn e Evans (2010), a rede de drenagem desenvolve-se por completo ao final da estação do derretimento, quando as descargas subglaciais diminuem e os canais do interior do corpo da geleira tendem a fechar em resposta à crescente pressão e mais rápida deformação gelo. Foram considerados e atualizados os mapeamentos realizados por Oliveira et al., (2019). Complementarmente, foram utilizados dados vetoriais em formato *shapefile* dos divisores de drenagem do GLIMS e Bremer (1998) para a ilha Nelson e Rei George, respectivamente. Os modelos digitais de elevação utilizados foram o Tandem-X produzido por Braun; Betsch; Seehaus (2016), com resolução espacial de 12 m, para toda a ilha Rei George e o REMA (Modelo de Elevação de Referência da Antártica) de 8 metros de resolução espacial para a ilha Nelson. Também foram utilizados registros fotográficos de atividades de campo de 2007, 2010, 2011, 2013, 2014 e 2019. Todos os dados foram co-registrados e reprojatados para UTM 21sul e datum WGS 84. A metodologia empregada para o reconhecimento de lagos consiste em um mapeamento das feições utilizando o *Google Earth* baseado em vetorização manual (ZHANG et al. 2015; WILSON et al. 2018) para alguns setores e para outras Arc Gis 10.3. Os dados em formato kml foram convertidos para *shapefile* no programa Arc Gis 10.3, e em seguida foi feita a caracterização morfométrica. A partir do MDE foram obtidos os dados hipsométricos e de declividade para caracterização morfométrica dos lagos. A declividade foi delimitada de acordo com as classes de porcentagem de Embrapa (1979), já utilizadas em outros estudos para a Antártica (FRANCELINO et al., 2004; MENDES JR et al., 2010; ROSA et al., 2014), sendo estas: 0-3 (plano), 3-8 (Suave ondulado), 8-20 (ondulado), 20-45 (forte ondulado), 45-75 (montanhoso). A hipsometria foi aplicada entre 0-200 m com intervalos definidos de 20 m apenas para análise das áreas livres de gelo. Para as áreas mapeadas através de *Google Earth* pode haver uma superestimativa nos dados de área e número de lagos, já que há diferenças na resolução das imagens. Os setores mapeados no *Google Earth*, que podem apresentar dados superestimados, estão apresentados nas tabelas com asterisco (\*).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### **Lagos na Ilha Rei George**

Há 144 lagos na ilha Rei George, cobrindo um total de 2.016.169 m<sup>2</sup> de área. Os lagos são encontrados em áreas livres de gelo ao sul, leste, sudoeste, sudeste, oeste da ilha. Não são encontrados lagos ao norte da ilha.

As áreas de Potter, Barton, Fildes e Weaver (Figura 1, setores 11,12,14,13 respectivamente) apresentam relevos rebaixados com os lagos localizados em áreas retrabalhadas há maior tempo pelos processos intempéricos promovidos pela exposição no verão. Estas áreas juntamente com outras duas da ilha Nelson (Ponta Harmonia e Stansbury) são as únicas que apresentam lagos não conectados à geleiras, com processos de erosão não glacial, e água líquida proveniente de fusão de neve e chuva, que alimentam os lagos. Durante o verão austral, em decorrência do aumento da

temperatura do ar, ocorre um intenso processo de ablação da neve e gelo (FRANCELINO e SCHAEFER, 2004).

A península Fildes (Figura 01, setor 14 e Figura 02 A, B) apresenta o maior número de lagos (46) formados e também a maior área livre de gelo das ilhas. Há lagos que não recebem aporte hidrológico da geleira, como é o caso dos lagos em vales deglaciados da porção sul e central, e lagos conectados à geleira, na porção norte, nas margens da geleira Collins.

Muitos lagos da península Fildes se formaram desde que se iniciou o processo de deglaciação da península. Desde 10.000 AP, o campo de gelo da ilha Rei George retraiu, deixando o sistema glacial do domo Collins e pequenos campos de gelo nas áreas planálticas no Norte e Sul (PETSCH et al., 2019). O lago Langer, por exemplo, é um lago endorréico e possui uma área de 10 m<sup>2</sup> e revela, em seus arquivos sedimentares, informações paleoclimáticas do Holoceno (KHIM, 2004). Há outros lagos endorréicos na Península.

O lago Glubokoe (Figura 02A), se localiza no norte da península Fildes, numa área topograficamente baixa (20 m de altitude) e recebe fluxo de água de degelo de setores mais elevados, e também água de degelo de acumulação de neve junto a suas margens a extensão do lago é de aproximadamente 600 m de comprimento e está a aproximadamente a 1 km da geleira Collins (PETSCH et al. 2019).

Os resultados da localização dos lagos na península Fildes vão ao encontro de Vieira et al. (2015) e Shevnina e Kourzeneva (2017). De acordo com classificação de Vieira et al. (2015), os lagos na Península Fildes podem ser setorizados em proglacial, lago de fusão, lago temporário e lago misto. Shevnina e Kourzeneva (2017) caracterizaram todos os lagos como de água fresca e de diferentes origens. Os lagos pequenos são endorréicos e localizados em depressões formadas pela deglaciação e modificação por processos paraglaciais e periglaciais. Mas há lagos profundos e maiores, como os localizados em vales em circo deglaciados. Também há 3 lagos maiores orientados Norte-Oeste para Sul-Leste, que abastecem as bases de apoio Chilena e Russa, junto à baía Ardley, localizados em uma falha tectônica e são conectados por fluxo fluvial. Também é um lago profundo e extenso localizado em cratera vulcânica, endorréico e abastecido por degelo de neve sazonal, que abastece a estação antártica uruguaia.

Segundo Vogt e Braun (2004), novos lagos surgiram na península Fildes (ilha Rei George) com o recuo do gelo nas últimas décadas, nas áreas recentemente deglaciadas em frente à geleira Collins. A alimentação de lagos na Fildes é essencialmente por derretimento de neve ou gelo através de canais glaciofluviais, sendo que a dinâmica do derretimento controla o tamanho e a localização dos lagos nas escalas de tempo interanuais e sazonais (PETSCH et al., 2019).

Na península Potter (Figura 02 C) a rede de drenagem observada apresenta as mesmas características gerais que a Fildes, onde há o predomínio de cursos glaciofluviais principais esculpindo os talwegues de vales. Há lagos aparentemente endorréicos na Península. Os lagos mais extensos abastecem a base de pesqiosa Esperanza.

Na península Barton (Figura 01, setor 12) e Weaver (Figura 01, setor 13) há 12 lagos e se encontram em setores mais altos entre 20 e 140 metros. A maioria destes se encontram distantes da geleira e podem ser endorréicos. Estes lagos não são recentes, Oliva et al., (2019) estudaram cinco lagos nesta Península para investigar a deglaciação holocênica. Quanto à declividade, os lagos também se formam em áreas com menor declividade, entre 0-20% (Tabela 01).

Tabela 01 - Características dos lagos nas penínsulas da ilha Rei George.

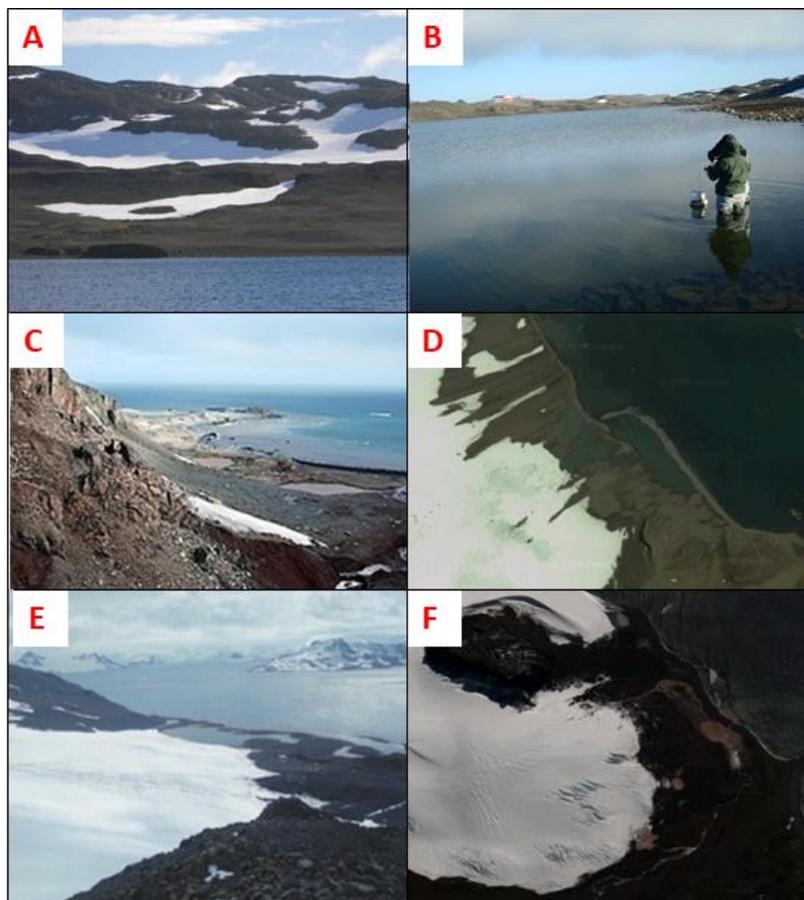
Setor	Altitude (m)	Declividade (%)	Área (m <sup>2</sup> )	Número de lagos
Península Fildes	40-120	0-8	346.000	46
Península Weaver	20-160	0-20	24.167	8
Península Barton	40-140	0-20	82.000	12
Península Potter	0-100	0-8	310.000	19

Fonte - O autor.

Essas áreas são voltadas para a baía Maxwell e ocorre um padrão no recuo das geleiras e aumento das áreas livres de gelo nesse setor. Provavelmente, essa área sofre com eventos de aumento de temperatura da superfície do mar (TSM). Vaughan (2003) aponta que a TSM sobre o mar de Bellinghausen é de cerca de 7° C superior ao mar de Weddell. Além disso, essa área está exposta à ventos provenientes do Estreito de Drake, principalmente do sentido noroeste e oeste (SCHLOSS et al., 2012). Em fevereiro eles são mais comuns, trazendo fortes precipitações, umidade relativa e cobertura de nuvens (RAKUSA-SUSZCZEWSKI, 1993). O vento e o aumento da TSM podem provocar mudanças na precipitação e, portanto, no balanço de massa das geleiras.

As áreas livres de gelo na baía do Almirantado e baía Rei George (Tabela 2) diferem-se em alguns aspectos dos setores voltados para baía Maxwell. Estas áreas são recentemente expostas e todos os lagos são conectados às geleiras. No setor frontal da geleira Znosco há um lago em contato com o gelo e que pode se conectar ao mar por um canal. Rosa et al. (2015) e Oliveira (2018) apontam uma retração significativa das geleiras nestas áreas e algumas delas deixaram de possuir frente de maré e passaram a ter suas frentes em terra nas últimas décadas, como é o caso da geleira Wanda (Figura 01, setor 7 e Figura 02 E), Anna Sul 2 (Figura 01 setor 1 e Figura 02 D), White Eagle (Figura 01, setor 2), Wit Norte (Figura 01, setor 3), Matejko (Figura 01, setor 4), e Szymanowski (Figura 01, setor 5). Essas áreas passaram a apresentar canais de água de degelo das geleiras e formações morânicas que acabam represando a água dos canais e formando lagos proglaciais. O lago localizado no ambiente marginal ao gelo da geleira Wanda não possui contato com o gelo, mas pode ser influenciado pelo mar através de um canal.

Figura 02 - Lagos na ilha Rei George, sendo “A” lago Glubokoe e “B” lago Kitiesh na península Fildes, “C” lago da península Potter, “D” lagos recentes marginais à geleira Anna Sul, “E” laguna marginal à geleira Wanda, e “F” lagos no setor proglacial da geleira Baranowski.



Fonte - PETSCH, 2019 (A, B), ANDRADE, 2013 (C), ROSA, 2011 (E), imagem Google (D, F).

Na península Warszawa (Figura 01, setor 10) também houve significativo aumento das áreas livres de gelo na costa da baía do Almirantado, 7 km<sup>2</sup> no período de 1956 a 2017 (PERONDI; ROSA; VIEIRA, 2019), e acabou expondo canais de degelo, lagos e lagunas (Figura 02 F). Estes lagos e lagunas contam com uma área de 1.001.819 m<sup>2</sup>, a área com maior número de lagos na ilha Rei George, a análise no campo de gelo Warszawa foi realizada com imagem Worldview-2 de 2014 (0,5 m de resolução). No ambiente marginal ao gelo da geleira Baranowski, Szilo e Bialik (2018), mapearam lagos formados desde 1989 e distinguiram lagos costeiros e formados em feições glaciais de kettle e represados por morainas (o lago mais próximo à geleira). Estes lagos são conectados por canais e o lago costeiro libera água e sedimentos para o mar através de um canal (possivelmente intermitente). As geleiras Ecology e Baranowski possuem laguna em contato com o gelo. O lago marginal ao gelo da geleira Windy não se apresenta em contato com o gelo glacial, mas há contato direto com o mar, podendo ser caracterizado como uma laguna. Nesta península, há lagos endorréicos na área marginal ao gelo das geleiras Tower e Windy.

Os lagos proglaciais da geleira Anna Sul 2 (Figura 01, setor 1 e Figura 02 D) localizam-se no ambiente exposto pela geleira que teve alta perda de área no período de 1988 a 2017, cerca de 2,12 km<sup>2</sup> (OLIVEIRA et al., 2019). A maior parte da frente desta geleira é de maré com exceção do setor sul, onde aparecem os lagos após o período de retração. Os lagos se apresentam entre as cotas de 0-160 metros, com declividade entre 0-45% (Tabela 02).

Tabela 02 - Características dos lagos em áreas voltados à baía do Almirantado e baía Rei George.

Setor	Altitude (m)	Declividade (%)	Área (m <sup>2</sup> )	Número de lagos
Anna Sul 2	0-40	20-45	78.884	3
White Eagle	60-100	0-8	2.339	3
Wit Norte	140-160	0-20	2.624	3
Matejko	100-120	0-8	529	2
Szymanowski	40-60	20-45	697	1
Viéville	20-40	8-20	22.321	1
Wanda	20-40	0-8	57.978	1
Península Keller	20-40	0-20	4.612	2
Znosco	20-40	20-45	82.199	1
Campo Warczawa	0-120	0-45	1.001.819	42

Fonte - O autor.

São terrenos mais jovens, menos retrabalhados e os canais glaciofluviais não entalharam o ambiente de forma tão pronunciada quanto nas áreas do item 3.1. Os canais se localizam principalmente entre as geleiras e os lagos proglaciais. Os canais podem apresentar conexão com os lagos e liberar água e sedimentos para o mar.

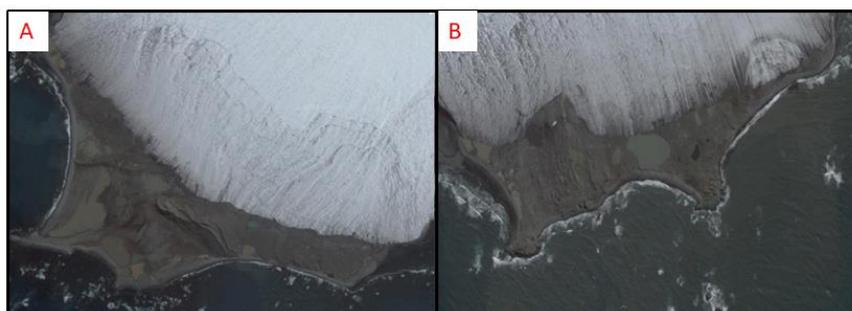
### **Lagos na ilha Nelson**

Há 56 lagos na ilha Nelson, cobrindo um total de 320.000 m<sup>2</sup> de área. Os lagos são encontrados em áreas livres de gelo ao sul, leste, sudoeste, sudeste, nordeste, oeste e norte da ilha. Os lagos na ilha

Nelson se concentram em áreas de baixa declividade, a maioria deles entre 0% e 8% que representa áreas planas e suave onduladas de acordo com classificação da EMBRAPA (1979). Estas áreas não ultrapassam os 40 metros, são setores baixos e a maioria deles recentemente expostos (Figura 03 B), apenas na Ponta Harmonia (Figura 01, setor 22) e Stansbury (Figura 01, setor 15) há setores com lagos não conectados à geleira. Na Ponta Stansbury as declividades chegam a 20% (Tabela 03), isso acontece porque nesse setor os lagos se concentram numa área com pequenos vales.

A Ponta Ross (Figura 01, setor 20 e Figura 3 A) apresenta o maior número de lagos, totalizando uma área de 115.891m<sup>2</sup>. Além dos lagos, há também morainas e diversos canais interligando um lago ao outro e a áreas de alagados próximas do mar. A retração das geleiras nesta área pode ser acompanhada pelas imagens de satélite, que comprovam perda de área significativa tanto em geleiras de maré como em geleiras de base terrestre. Todos os lagos costeiros parecem ter ligação entre si com canais, que podem ser intermitentes, e ao menos um destes canais pode ter ligação com o mar em marés mais altas.

Figura 03 - Lagos nas novas áreas livres de gelo da ilha Nelson, sendo "A" a Ponta Ross e "B" setor ao leste da Ponta Ross.



Fonte - Google Earth (2020).

Tabela 03 - Características dos lagos da ilha Nelson.

Setor	Altitude (m)	Declividade (%)	Área (m <sup>2</sup> )	Número de lagos
Novas áreas livres	0-40	0-8	181.000	32
Ponta Harmonia	20-40	0-8	79.000	7
Ponta Stansbury	20-40	0-20	60.000	17

Fonte - O autor.

Desta forma, os lagos das ilhas representam uma condição de estocagem continental de água e sedimentos, que, na sua maioria, não vão para o mar e portanto não contribuem com o recente aumento médio dos níveis dos mares. A dinâmica sedimentar destes lagos traz informações paleoclimáticas importantes, como destacado por Oliva et al. (2019). Estes lagos de água doce são habitats de diversas espécies e assembléias de fungos, como evidenciada por Rosa (2019).

Quando comparados os lagos das duas ilhas, verifica-se que na ilha Rei George, as geleiras Wanda, Znosco, Anna e Windy mostram lagos com uma possível conexão com o mar através de um canal. Em alguns setores da ilha Nelson os lagos se encontram em áreas alagadiças e conectadas ao mar através de canais. Os lagos marginais ao gelo em ambas as ilhas são represados por feições morainicas de recessão e são alimentados por aporte de água de degelo glacial. Os lagos na frente das geleiras Windy, Wanda, Znosco e o mais costeiro da Anna apresentam-se represados por um possível sistema de barreira (cordão morainico) e pode ser considerado, em alguns momentos como

um sistema laguna-barreira e possuem influência do mar. Isto é observado na ilha Nelson na Ponta Ross (Figura 03 A). Também são observados lagos endorréicos nas penínsulas Fildes e Potter, mas podem haver outros nestas condições.

Todos os lagos (ambas as ilhas) são alimentados por água de degelo sazonal da neve, assim como afirma Shevnina e Kourzeneva (2017) e alguns por degelo glacial. Desta forma, os lagos nestas áreas livres de gelo estão sujeitos à atividade paraglacial e periglacial, de acordo com o contexto em que estão localizados. Alguns destes lagos podem se romper. No ambiente marginal ao gelo, os processos paraglaciais são bem intensos e transitórios, isto ocorre porque no proglacial as formas são recentemente formadas e assim estão mais instáveis à ação pela água de degelo sazonal da neve, movimentos de massa nas encostas, queda de blocos, rastejamento de solo, efeitos da maré, ondas, entre outros (CARRIVICK e HECKMAMN, 2017). Há lagos localizados em setores mais distantes das geleiras e podem ser considerados ambientes com predominância de processos periglaciais em relação aos paraglaciais, estes ambientes são aqueles onde não têm atividade glacial e sim alguns elementos do ambiente glacial como: neve e *permafrost*, ou seja, uma área em deglaciação gera ambiente periglacial. A evolução dos lagos está relacionada a esta transitoriedade (CARRIVICK e HECKMAMN, 2017).

As condições topográficas e declividades mostram-se ser importantes na formação de lagos. CARRIVICK e HECKMAMN (2017) afirmam que o contexto ambiental influencia a intensidade dos processos paraglaciais. Rosa et al., (2015) realizaram estudo para ambiente proglacial da geleira Wanda e evidenciaram que o lago formado na frente da geleira é ancorado pelo sistema de barreira lagoa desenvolvido na área inferior do vale esculpido por ação glacial quando a frente da geleira era de maré, o que fez com que gerasse uma moraina de recessão. Na área proglacial da geleira Wanda as declividades são de 20 a 45% (OLIVEIRA, 2018), isso mostra que as morainas têm papel fundamental neste processo de ancoragem, pois sem elas, os canais glaciofluviais terminariam diretamente no mar e não formariam lago proglacial.

Há processos paraglaciais, como os movimentos gravitacionais, que podem promover a destruição da descontinuidade da moraina recém depositada e interferir no efeito de barramento da água dos lagos marginais ao gelo. A relação dos lagos com os processos paraglaciais pode ser melhor investigada em futuros estudos, pois de acordo com Ballantyne (2002), processos paraglaciais são considerados um dos primeiros efeitos das mudanças ambientais.

Considera-se que as mensurações realizadas em imagens de satélites correspondem a uma determinada data e hora na estação de ablação e podem não representar o equilíbrio dos lagos no período atual. Assim, estudos de campo e comparativos de datas podem indicar uma estimativa média para a área destes lagos. Knight e Harrison (2018) afirmam que o paraglacial é um sistema transitório, pois seu comportamento não é constante. Considera-se que picos diários de descarga acontecem nos canais de drenagem algumas horas depois da fusão máxima, o que ocorre em função da distância que a água tem que percorrer através e abaixo da geleira e a configuração da rede de drenagem interna (MAIZELS, 1995; BENN e EVANS, 2010).

Por fim, a partir do banco de dados em Sistema de Informações Geográficas gerado é possível estimar mudanças temporais nestes ambientes por Sensoriamento Remoto, e, conforme afirma Jawak (2011), dados de satélites e fotografias aéreas são fontes importantes de informação para monitorar mudanças de curto e de longo prazo que ocorrem em um local específico ou regiões ao longo do tempo, especialmente na Antártica.

## CONCLUSÕES

Um banco de dados em SIG foi gerado sobre a distribuição espacial dos lagos para as duas ilhas, contribuindo para o monitoramento destes sistemas lacustres e servirá de suporte para outras pesquisas realizadas na Antártica Marítima.

Há 56 lagos na ilha Nelson e 144 lagos na ilha Rei George, cobrindo um total de 2.336.169 m<sup>2</sup> de área. Os resultados indicaram que há padrões espaciais que se diferenciam, quando se compara as duas ilhas. Não se verificam lagos no Norte das ilhas e há poucos lagos (apenas na península Fildes) em vales deglaciaizados orientados para o Estreito de Drake.

Com base nos modelos digitais de elevação foi possível analisar a declividade e hipsometria nas áreas livres de gelo com presença de lagos. Os dados permitiram verificar que na ilha Nelson, os lagos se localizam em baixas declividades (0-20%) e baixas altitudes (0-40 m), sendo a maioria das áreas expostas recentemente, com exceção da Ponta Harmony e Stanbury que apresentam uma área mais tempo exposta.

Na ilha Rei George, é possível delimitar dois setores, o primeiro corresponde as penínsulas Fildes, Weaver, Barton e Potter onde o relevo é mais retrabalhado e os lagos se localizam entre as cotas 0-140 m e declividade entre 0-20% principalmente nas zonas distantes da geleira. Essas áreas expostas há mais tempo podem ter a retração das geleiras ligadas a mudanças na TSM e alterações no padrão de correntes marítimas e ventos provenientes do Estreito de Drake. O segundo setor é na baía Rei George e baía do Almirantado onde as áreas expostas são recentes, com rápida retração das geleiras com frente em maré, originando lagos marginais a gelo, conectados diretamente às frentes ou por canais glaciofluviais, entre as cotas de 0-160 m e declividade entre 0-40%. Este setor apresenta principalmente retração das geleiras com frente de maré, que possivelmente podem se desestabilizar com o aumento da TSM e desintegração do gelo marinho.

A vetorização dos lagos pode auxiliar na explicação de possíveis diferenças de evolução temporal destes corpos hídricos. Para isto, a continuidade do estudo, com o monitoramento das áreas livres de gelo é relevante, pois o surgimento de lagos nos setores frontais das geleiras mostra o quanto as geleiras estão instáveis ao aquecimento na região, e dessa forma podemos inferir sobre a dinâmica de cada uma delas. Assim, como é necessário o entendimento do ambiente marginal ao gelo e as feições deposicionais encontradas, a partir delas pode-se detectar mudanças ambientais regionais relacionando ao processo de retração das geleiras, bem como desenvolver cenários para as próximas décadas.

## AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), ao PROANTAR, e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS). Ao Centro Polar e Climático (CPC). Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (POSGEA) – UFRGS.

## REFERÊNCIAS

- ADRIAN, R.; O'REILLY, C. M.; ZAGARESE, H.; BAINES, S. B.; HESSEN, D. O.; KELLER, W.; VAN DONK, E. Lakes as sentinels of climate change. **Limnological and Oceanography**, v. 54, n. 6, p. 2283–2297, 2009. [https://doi.org/10.4319/lo.2009.54.6\\_part\\_2.2283](https://doi.org/10.4319/lo.2009.54.6_part_2.2283)
- ANDRADE, A. M. Delimitação de Geoambientes na península Potter, ilha Rei George (Antártica Marítima), utilizando dados COSMO-SkyMed e QuickBird. **Dissertação** (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Porto Alegre: UFRGS. 2013.
- AHLERT S. Variações morfológicas do campo de gelo da ilha Brabant, Antártica. **Dissertação** (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Porto Alegre: UFRGS. 2005.
- ASSINE, M. L.; VESELY, F. F. **Ambientes Glaciais**. São Paulo, 40 p., 2015.
- BALLANTYNE, C. K. Paraglacial geomorphology. **Quaternary Science Reviews**, v. 21, p. 1935–2017, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(02\)00005-7](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(02)00005-7)
- BENN, D. I.; EVANS, D. J. A. **Glaciers and Glaciation**. London: Hodder Education. 2ª ed, 802p. 2010.
- BINTANJA, R.; VAN DEN BROEKE, M. R. The surface energy balance of Antarctic snow and blue ice. **Journal of Applied Meteorology**, v. 34, p. 902–926, 1995. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1995\)034<0902:TSEBOA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1995)034<0902:TSEBOA>2.0.CO;2)

- BIRKENMAJER, K. Lithostratigraphy of the Point Hennequin Group (Miocene volcanics and sediments at King George Islands, Antarctica). **Studia Geologica Polonica**, v. 72, p.59-73, 1981.
- BRAUN, M.; SAURER, H.; GOßMANN, H. Climate, energy fluxes and ablation rates on the ice cap of King George island. **Pesquisa Antártica Brasileira**, v. 4, p. 87-104, 2004.
- BRAUN, M. H.; BETSCH, T.; SEEHAUS, T. King George Island TanDEM-X DEM, link to GeoTIFF. **PANGAEA**, 2016. Disponível em <https://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.863567>
- BREMER, U. F. Morfologia e bacias de drenagem da cobertura de gelo da Ilha Rei George, Antártica. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) – Porto Alegre: UFRGS. 1998.
- CARRIVICK, J. L.; HECKMANN, T. Evolução geomorfológica a curto prazo de sistemas proglaciais. **Geomorfologia**, v. 28, p 3-28, 2017.
- CLAPPERTON, C. M. e SUGDEN, D. E. Holocene glacier fluctuations in South America and Antarctica. **Quaternary Science Reviews**, v. 7, p. 185-198, 1988. [https://doi.org/10.1016/0277-3791\(88\)90005-4](https://doi.org/10.1016/0277-3791(88)90005-4)
- CURL, J. E. A glacial history of the South Shetland Islands, Antarctica. Ohio State University. **Institute of Polar Studies Report**, v. 63, 129 p, 1980
- DORAN, P. T.; WHARTON JR., R. A.; LYONS, W. B. Paleolimnology of the Mc Murdo Dry Valleys. **Antarctica Journal Paleolimatic**, v. 10, p. 85–114, 1994. <https://doi.org/10.1007/BF00682507>
- DUGUAY, C. R.; PROWSE, T. D.; BONSAI, B. R.; BROWN, R. D.; LACROIX, M. P.; MENARD, P. Recent trends in Canadian lake ice cover. **Hydrology Processes**, v. 20, n. 4, p. 781–801, 2006. <https://doi.org/10.1002/hyp.6131>
- DYURGEROV, M. B.; MEIER M. F. Glaciers and the changing Earth system: a 2004 snapshot, **INSTAAR Occasional Paper**, v. 58, 2005.
- EMBRAPA 1979. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/monitoramento-por-satelit>>. Acesso em 12 de setembro de 2018.
- EMBLENTON-HAMANN, C. (2004). Proglacial landforms. In: GOUDIE, A. S. (Ed.) **Encyclopedia of geomorphology**. London: Routledge, v. 2, p. 810-813.
- FRANCELINO, M.R.; SCHAEFER, C.E.G.R.; FERNANDES FILHO, E.I.F.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R.; SIMAS, F.N.B.; MOREIRA, G.F. Geofomas da Península Keller, Antártica Marítima: subsídios ao monitoramento ambiental. In: SCHAEFER, C.E.G.R.(Ed.); FRANCELINO, M.R; SIMAS, F.N; ALBUQUERQUE FILHO, M.R. **Ecossistemas costeiros e monitoramento ambiental da Antártica Marítima**, Viçosa, NEPUT, p.15- 25, 2004.
- FRANCELINO, M.R., SCHAEFER, C.E.G.R. **Glossário de Geomorfologia Glacial e Glaciologia, Aplicado à Antártica Marítima**. In: SCHAEFER, C.E.G.R., FRANCELINO, M.R., SIMAS. F.N.B.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. **Ecossistemas Terrestres e Solos da Antártica Marítima**. c. 192p. 2004.
- FRENCH, H. M. Does Lozinski's periglacial realm exist today? A discussion relevant to the usage of the term "periglacial". **Permafrost and Periglacial Processes**, v. 11, n. 1, p.35–42, 2000. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1530\(200001/03\)11:1<35::AID-PPP334>3.0.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1530(200001/03)11:1<35::AID-PPP334>3.0.CO;2-6)
- FRENCH, H. M.; THORN C. The changing nature of periglacial geomorphology. **Géomorphologie: relief, processus, environnement**, v. 12, n. 3, p. 1–33, 2006. <https://doi.org/10.4000/geomorphologie.119>
- HAMBREY, M. **Glacial Environments**. London: UCL Press, 296 p. 1994.
- HOWAT, I. M.; PORTER, C.; SMITH, B. E.; NOH, M. J.; MORIN, P. The Reference Elevation Model of Antarctica, **The Cryosphere**, v. 13, p. 665-674, 2018. <https://doi.org/10.5194/tc-13-665-2019>
- JAWAK, S. D.; MATHEW, J. Semi-automatic extraction of water bodies and roads from high-resolution QuickBird satellite data. **Proceedings of Geospatial World Forum, Hyderabad**, v. PN 263, p 247–257, 2011.

KHIM, B.; YOON, H.; KANG C.; ZHAO J. Holocene Variations of Organic Carbon Contents in Lake Langer of King George Island, South Shetland Islands, West Antarctica. **Ocean and Polar Research**, v. 26, p.507-514, 2004. <https://doi.org/10.4217/OPR.2004.26.3.507>

KNIGHT, J.; HARRISON, S. Transience in cascading paraglacial systems. **Land Degradation and Development**, [s.l.], v. 29, p. 1991-2001, 2018. <https://doi.org/10.1002/ldr.2994>

LØNNE, I. Sedimentary facies and depositional architecture of ice-contact glaciomarine systems. **Sedimentary Geology**, v. 9, p. 13-43, 1995. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(95\)00025-4](https://doi.org/10.1016/0037-0738(95)00025-4)

MAIZELS, J. Sediments and landforms of modern proglacial terrestrial environments. In: MENZIES, J. (ed.). **Modern glacial environments: processes, dynamics and sediments**. Oxford: Butterworth-Heinemann, 621 p. 1995.

MENDES JR., C. W.; DANI, N.; ARIGONY-NETO, J.; SIMÕES, J. C.; BREMER, U. F.; JÚNIOR, E. S. F.; ERWES, H. J. B. Análise Morfométrica da Península Keller, Antártica, através do SIG. **Revista Brasileira de Cartografia**, nº 64/04, p. 571-582, 2010.

OLIVA, M.; ANTONIADES, D.; SERRANO, E.; GIRALT, S.; LIU, E. J.; GRANADOS, I.; PLA-RABES, S.; TORO, M.; HONG, S. G.; VIEIRA, G. The deglaciation of Barton Peninsula (King George Island, South Shetland Islands, Antarctica) based on geomorphological evidence and lacustrine records. **Polar Record**, [s.l.], v. 55, p. 177-188, 2019. <https://doi.org/10.1017/S0032247419000469>

OLIVEIRA, M. A. G.; ROSA, K. K. da; VIEIRA, R.; SIMÕES, J. C. . Variação de área das geleiras do campo de gelo Kraków, Ilha Rei George, Antártica, no período 1956-2017. **Caminhos da Geografia** (UFU. Online), v. 20, p. 55-71, 2019.

OLIVEIRA, M. A. G.; PETSCH, C.; ROSA, K. K.; COSTA, R. M.; SIMOES, J. C. Levantamento e caracterização dos lagos de áreas livres de gelo das ilhas Nelson e Rei George, Antártica In: PINHEIRO, L.S.; GORAYEB, A. (ORG). **Geografia Física e as Mudanças Globais**.1 ed. Fortaleza: UFC, v.1, p. 6-006, 2019.

OVSTEDAL, D. O. e SMITH, R. I. L. **Lichens of Antarctica and South Georgia: A guide to their Identification and Ecology**. Cambridge: Cambridge University Press, p. 453, 2001.

PACHAURI, R. K., *et al.* **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Geneva: IPCC, 151 p.,2014.

PENCK A.; BRUCKNER, E. **Die Alpen im Eiszeitalter**. Leipzig: Tauchnitz, 1199 p., 1909.

PERONDI, C.; ROSA, K. K. da; VIEIRA, R. Caracterização geomorfológica das áreas livres de gelo na margem leste do campo de gelo Warszawa, Ilha Rei George, Antártica Marítima. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, p. 411-426, 2019. <https://doi.org/10.20502/rbq.v20i2.1433>

PETSCH, C.; COSTA, R. M.; ROSA, K.K.; VIEIRA, R.; SIMÕES, J.C. Geomorfologia glacial e contexto paleoglaciológico da península Fildes, Ilha Rei George, Antártica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, p.795-809, 2019. <https://doi.org/10.20502/rbq.v20i4.1480>

QUESADA, A.; VINCENTE, W.F., KAUP, E., HOBBIIE, J. E., LAURION, I. Landscape control of high latitude lakes in a changing climate. In: BERGSTROM, D. M. et al. (eds.), **Trends in Antarctic Terrestrial and Limnetic**, Dordrecht: Springer, p. 221-252, 2006. [https://doi.org/10.1007/1-4020-5277-4\\_11](https://doi.org/10.1007/1-4020-5277-4_11)

RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S. Introduction: The Structure and Functioning of the Near shore Ecosystem. In: RAKUSA – SUSZCZEWSKI, S. (Ed) **The Maritime Antarctic Coastal Ecosystem of Admiralty Bay**. Warsaw. **Polish Academy of Sciences**. Department of Antarctic Biology, p. 32–34, 1993.

ROSA, K. K. Dinâmica glacial, sedimentológica e variações ambientais em geleiras da enseada Martel, ilha Rei George, Shetlands do Sul. **Tese** (Doutorado em Geografia) - Porto Alegre: UFRGS. 2012. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-18367-7>

ROSA, L.E. (Ed.). Fungi of Antarctica Diversity, Ecology and Biotechnological Applications. **Springer Nature**. 345 p., 2019. <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v32i1.18710>

ROSA, K. K.; MENDES JR, C. W.; VIEIRA, R.; DANI, N.; SIMÕES, J. C. Análise Morfométrica do setor norte da Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Shetlands do Sul, Antártica. **Boletim Geográfico**, v. 32, n. 1, p. 52-61, jan-abr, 2014. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.78119>

ROSA, K.K.; VIEIRA, R.; FERNANDEZ, G.; MENDES JUNIOR, C. W.; VELHO, L. F.; SIMÕES, J. C. . Recent changes in the Wanda Glacier, King George Island, Antarctica. **Pesquisas em Geociências**, v. 42, p.187-196, 2015.

SCHLOSS, I.R.; ABELE, D.; MOREAU, S.; DEMERS, S.; BERS, A.V.; GONZÁLEZ, O.; FERREYRA, G.A. Response of phytoplankton dynamics to 19-year (1991-2009) climate trends in Potter Cove (Antarctica). **Journal of Marine Systems**, v. 92, p. 53-66, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2011.10.006>

SEONG, Y. B.; LIM, H. S.; YOON, H. I.; LEE, Y. I.; KIM, Y. e OWEN, L. A., A preliminary geomorphic overview of Late Quaternary glacier fluctuations in the South Shetland Islands, West Antarctica. **Journal of the Korean Geographical Society**, v. 41, p. 513-526, 2006.

SHEVNINA E.; KOURZENEVA E. Thermal regime and components of water balance of lakes in Antarctica at the Fildes peninsula and the Larsemann Hills, **Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography**, v.69: 1, 2017. <https://doi.org/10.1080/16000870.2017.1317202>

SHRIDHAR, J. D.; KAMANA, K. e ALVARINHO, L. J. A review on extraction of lakes from remotely sensed optical satellite data with a special focus on cryospheric lakes. **Advances in Remote Sensing**, v. 4, p. 196-213, 2015. <https://doi.org/10.4236/ars.2015.43016>

SIMÕES, J. C.; BREMER, U. F.; AQUINO, F. E. e FERRON, F. A. Morphology and variations of glacial drainage basins in King George Island icefield, Antarctica. **Annals of Glaciology**, v. 29, p. 220-224, 1999. <https://doi.org/10.3189/172756499781821085>

SLAYMAKER O. Periglacial and paraglacial processes and environments. *In*: KNIGHT, J.; HARRISON. S. S. C. (eds.). **Special Publication**. The Geological Society: Londres, p. 71–84, 2009. <https://doi.org/10.1144/SP320.6>

ŠMEJKALOVÁ, T.; EDWARDS, M. E.; DASH, J. Arctic lakes show strong decadal trend in earlier spring ice-out. **Nature: Scientific reports**, v. 6, p. 1–8, 2016. <https://doi.org/10.1038/srep38449>

SMITH, R. C.; STAMMERJOHN, S. E.; BAKER K. Surface air temperature variations in the western Antarctic Peninsula Region. *In*: ROSS, R. M.; HOFMANN, E. E.; QUETIN, L. B. (eds.). Foundations for ecological research west of the Antarctic Peninsula. **American Geophysical Union, Antarctic Research Book Series**, v. 70, p. 105–121, 1996. <https://doi.org/10.1029/AR070p0105>

SMITH, N. D.; ASHLEY, G. M. Proglacial lacustrine environments. *In*: ASHLEY, G. M.; SHAW, J.; SMITH, N. D. (ed.) **Glacial Sedimentary Environments**. Tulsa, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Short Course, v. 16, p. 135-216, 1985. <https://doi.org/10.2110/scn.85.02.0135>

SZIŁO, J.; BIALIK R. J. Recession and Ice Surface Elevation Changes of Baranowski Glacier and Its Impact on Proglacial Relief (King George Island, West Antarctica). **Geosciences**, v. 8, 355 p., 2018. <https://doi.org/10.3390/geosciences8100355>

TURNER, J. **Antarctic Climate Change and the Environment**. Cambridge, UK, Scientific Committee on Antarctic Research, p. 1-32, 2009.

TURNER, J.; OVERLAND, J. Contrasting climate change in the two polar regions. **Polar Research**, v. 28, p. 146-164, 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1751-8369.2009.00128.x>

VAUGHAN, D. G. Recent rapid regional climate warming on the Antarctic Peninsula, **Climate Change**, v. 60, p. 243-274, 2003.

VIEIRA, R.; MAROTTA, H.; ROSA, K. K.; JANA, R.; SIMOES, C.L.; SOUZA JUNIOR, E; FERREIRA, F.; SANTOS, L.R.; SANTOS, J.V; PERRONI, M.A.; GONCALVES, M.; SANTOS, J.P.F.; RODRIGUES, R.I; GALVAO, J.C.M.; FELIZARDO, J.P.S. Análisis Sedimentológico y geomorfológico

de áreas lacustres en la Península Fildes, Isla Rey Jorge, Antártica Marítima. **Investigaciones Geográficas**, v. 49, p. 3-30, 2015. <https://doi.org/10.5354/0719-5370.2015.37511>

VOGT, S.; BRAUN, M. H.; JAÑA, R. The King George Island Geographic Information System project. **Pesquisa Antártica Brasileira**, v 4, p. 183-185, 2004.

WANG, W.; YAO, T.; GAO, Y.; YANG, X.; KATTEL, D. B. A first order method to identify potentially dangerous glacial lakes in a region of the southeastern Tibetan Plateau. **Mountain Research and Development**, v. 31, p. 122–130, 2011. <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-10-00059.1>

WILSON, R.; GLASSER, N. F.; REYNOLD, J. M.; HARRISON, S.; ANACONA, P. I.; SCHAEFER, M.; SHANNON, S. Glacial lakes of the Central and Patagonian Andes. **Global and Planetary Change**, v. 162, p. 275–291, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2018.01.004>

ZHANG, G.; YAO, T.; XIE, H.; WANG, W.; YANG, W. An inventory of glacial lakes in the Third Pole region and their changes in response to global warming. **Global and Planetary Change**, v. 131, p. 148–157, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2015.05.013>

---

Recebido em: 12/05/2020

Aceito para publicação em: 16/09/2020