

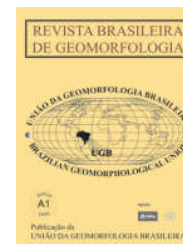


www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 19, nº 1 (2018)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v19i1.1167>



CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DAS ÁREAS LIVRES DE GELO EM RESPOSTA DA TENDÊNCIA DE RETRAÇÃO DA GELEIRA POLAR CLUB, PENÍNSULA POTTER, ILHA REI GEORGE, ANTÁRTICA

GEOMORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF ICE FREE AREAS IN RESPONSE OF POLAR CLUB GLACIER RETREAT TEND, POTTER PENINSULA, KING GEORGE ISLAND, ANTARCTICA

Betânia Bonada

*Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Centro Polar e Climático, Avenida Bento Gonçalves, 9500, 90450-090 - Porto Alegre - RS, Brasil
Email: betaniabonada@gmail.com*

Kátia Kellem da Rosa

*Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Centro Polar e Climático, Avenida Bento Gonçalves, 9500, 90450-090 - Porto Alegre - RS, Brasil
Email: katia.rosa@ufrgs.br*

André Medeiros de Andrade

*Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Centro Polar e Climático, Avenida Vereador João Narciso, 1380, 38610-000 - Unai - MG, Brasil
Email: andre.medeiros@ufvjm.edu.br*

Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):
04/05/2017
Aceito (Accepted):
17/06/2017

Palavras-chave:

Sensoriamento Remoto;
Sistemas lacustres e
Paleogeologia.

Keywords:

Remote Sensing; Lacustrine
systems e Paleogeology.

Resumo:

Este trabalho objetiva investigar a dinâmica geomorfológica glacial das áreas livres de gelo na Península Potter, Ilha Rei George, Antártica, em resposta à recente retração da geleira Polar Club. O mapeamento geomorfológico e a interpretação da evolução dos sistemas lacustres entre 2006 e 2011 das áreas livres de gelo na Península Potter foi realizado através da interpretação visual em uma imagem Quickbird (RGB432), em imagens COSMO-SkyMed polarizações VV e HH em modo *spotlight* processadas com filtros espaciais e perfis topográficos. Também foram considerados os aspectos morfométricos da península, interpretados através da geração de mapas de hipsometria, declividade, curvas de nível e sombreamento. A variação frontal da geleira Polar Club entre os anos de 1981 a 2015 foi obtida pela análise temporal de imagens Landsat. O mapeamento geomorfológico da Península Potter evidenciou os processos geomorfológicos proglaciais e o padrão de disposição espacial das feições lineares marginais ao gelo, como cordões morânicos e feições glaciofluviais (relacionadas ao aporte da fusão sazonal da neve e do gelo), bem como terraços marinhos, ravinas e afloramentos rochosos. O modelo de evolução da variação frontal da geleira Polar Club indica que condição de último avanço glacial registrado pela geomorfologia proglacial pode estar relacionado à Pequena Idade do Gelo e que houve um contínuo processo de

retração desde então. Entre 1981-2015 evidenciou-se a redução de área de 2,95km² para a geleira Polar Club (perda de área total de 9,4%). Este processo pode estar relacionado com a tendência de aumento das temperaturas médias do ar, a tendência de aumento de dias com precipitação líquida no verão e o número de dias em que a temperatura média ultrapassou os 0°C na região nas últimas décadas. O recuo da geleira Polar Club é pouco expressivo quando comparado a outras geleiras da Ilha Rei George, no entanto, quando se observa as áreas expostas evidenciou-se que houve um aumento significativo (36,9%) no período. Através da análise da evolução dos depósitos morânicos da Península Potter foi possível identificar três fases principais de formação de morânicas que evidenciam antigas posições da frente da geleira durante períodos de estabilização frontal. A análise da evolução dos sistemas lacustres na área de estudo evidenciou que lagos proglaciais sofreram alterações de área em resposta à dinâmica de retração glacial registrada para os últimos 34 anos.

Abstract:

This study to investigate the glacial geomorphological dynamics of the ice-free areas in the Peninsula Potter, King George Island, Antarctica, in response to the recent Polar Club Glacier retreat processes. The geomorphological mapping and lacustrine systems evolution modelling between 2006-2011 were obtained with Quickbird (RGB432) image, application of the spatial digital filters in COSMO-SkyMed (cross and co-polarization, spotlight mode) images and topographic profiles visual interpretations. The methodology considered hypsometry, slope, contour and shaded relief maps of the peninsula, as. The Polar Club Glacier frontal variation between 1981-2015 was obtained with Landsat temporal analysis. The Potter Peninsula geomorphological mapping evidenced the proglacial and geomorphological processes and the spatial distribution pattern of linear marginal to ice features, as morainic ridges and glaciofluvial features, related to the contribution of the seasonal melting of snow and ice, marine terraces, ravines and rocky outcrops. The frontal glacier fluctuations modelling indicated that last glacial advance condition recorded by proglacial geomorphologic can be related Little Ice Age and continuous retreat process. Between 1981-2015 the Polar Club glacier lost 2.95km² of total area (9.4% of total area). The retreat process can be related to the trend of rising average temperatures in recent decades, trend of increase in days with liquid precipitation in summer and the number melting degree days in last decades. The Polar Club Glacier retreat is not very significant when compared to other glaciers of King George Island, however, when observing the exposed areas was evident that there was a significant increase (36.9%). The moraine deposits evolution analysis in Peninsula Potter provided conditions for identify three phases of moraines deposition and that show past glacier front positions during periods of glacier marginal stabilization. The analysis of the evolution of lacustrine systems in the study area evidenced changes in proglacial lakes during last 34 years in response of glacial retreat dynamics.

1. Introdução

Registros geomorfológicos glaciais são relevantes para reconstrução e interpretação dos processos erosivos e deposicionais em ambientes recentemente expostos pela retração glacial em resposta ao aquecimento climático regional (BISHOP e SCHROEDER, 2004; BISHOP *et al.*, 2012; OTTO e SMITH, 2013). Estudos têm registrado a retração de geleiras na Ilha Rei George (IRG) desde 1950 e relacionam esta tendência ao aquecimento regional no período (BRAUN e GOßMANN, 2002; BOLCH e KAMP, 2006; ZEMP *et al.*, 2008; ANDRADE *et al.*, 2011; KEJNA *et al.*, 2013; ROSA *et al.*, 2015; SIMÕES *et al.*, 2015). A retração de geleiras, como acontece com a Polar Club, na

Península Potter (IRG), gera a exposição de geoformas deposicionais glaciais, como morainas, indicativas da dinâmica glacial.

A investigação sobre a evolução dos sistemas lacustres e depósitos glaciais, através de mapeamentos geomorfológicos, pode contribuir para a compreensão da dinâmica e dos fenômenos decorrentes destas alterações nos ambientes glaciais. A geomorfologia glacial tem como um dos principais interesses descrever e explicar os impactos que as geleiras têm sobre o desenvolvimento das geoformas e da paisagem. Sendo assim, mapeamentos geomorfológicos buscam caracterizar este tipo de ambiente visando à compreensão dos processos genéticos e monitoramento

da sua dinâmica atual. A análise da distribuição espacial e a evolução temporal das geoformas glaciais são importantes para interpretar sua gênese e revelar um padrão de relacionamento das geoformas glaciais em várias escalas espaciais e temporais (como *eskers*, *drumlins* e morainas finais). O mapeamento geomorfológico glacial tem permitido inferir sobre a extensão, o padrão de fluxo e comportamento das geleiras e ajuda a explicar seus processos de erosão, transporte e deposição glacial (PUNKARI, 1995; KLEMAN e BORGSTRÖM, 1996; CLARK, 1999; MARTINI *et al.*, 2001; KLEMAN *et al.*, 2006; NAPIERALSKI *et al.*, 2007). Imagens de SAR e ópticas são utilizadas no mapeamento de feições geomorfológicas proglaciais e periglaciais por diversos autores, tais como Massom (1991), Glasser *et al.* (2005), Smith e Clark (2005), Gustavsson *et al.* (2006), KOCH *et al.* (2008), Fricker *et al.* (2010). Estes trabalhos evidenciam que feições geomorfológicas glaciais deposicionais, tais como morainas, *eskers*, *flutings*, e sua configuração espacial em relação a frente da geleira, são utilizadas como indicadoras de mudanças ambientais em um período mais longo, desde a Pequena Idade do Gelo (entre 1.200 e 1.800 d.c.), ou mesmo mudanças ambientais mais recentes, como as relacionadas a retração glacial das últimas décadas. O retrabalhamento paraglacial também é evidenciado pelos autores como um indicativo de mudanças ambientais, com a progressão de condições mais úmidas nas áreas que estão sendo expostas pela retração glacial. O mapeamento geomorfológico nestes estudos é relevante e pode possibilitar diversas análises como da dinâmica temporal de ambientes proglaciais, a qual evidencia mudanças ambientais relacionadas à variabilidade climática.

O objetivo deste trabalho é investigar a evolução geomorfológica proglacial e a identificação dos processos glaciofluviais, glaciolacustres e de retrabalhamento paraglacial das áreas livres de gelo na Península Potter, Ilha Rei George, Antártica, e relacionar a retração da geleira Polar Club.

2. Área de Estudo

A Península Potter localiza-se entre a baía de Maxwell e o estreito de *Bransfield*, entre as coordenadas 62°13,5' e 62°16' Sul e 58°42' e 58°33' Oeste, na Ilha

Rei George (IRG), arquipélago das Shetlands do Sul (Figura 1). Nesta região, também denominada Antártica Marítima, o clima é considerado frio e úmido, apresentando temperaturas médias mensais superiores a 0°C durante o período de verão e, durante o inverno, raramente atingindo valores menores que -12°C. A precipitação média anual varia entre 350 e 500 mm, sendo que a maior parte dessa precipitação ocorre em forma de neve (SIMÕES *et al.*, 1999; ØVSTEDAL e SMITH, 2001).

Estudos paleoclimáticos apontam que a IRG possui uma complexa história de deglaciação (JOHN e SUGDEN, 1971). Na glaciação do Pleistoceno Superior (Estágio Isotópico 2), em torno de 20.000 a 18.000 anos, ocorreu a máxima extensão da calota de gelo e sua espessura atingiu, aproximadamente, 1.000m (BIRKENMAJER, 1981). Entre 9.000 e 5.000 A.P., houve uma deglaciação (MÄUSBACHER *et al.*, 1989) com um *optimum* climático entre 7.000 a 8.000 A.P. (HJORT *et al.*, 1998; DOMACK *et al.*, 2001) e nova expansão das áreas de gelo entorno de 4.400 (YOON *et al.*, 2000). A mais recente expansão das geleiras ocorreu durante a Pequena Idade do Gelo, entre 1.200 e 1.800 d.c. (CURL, 1980; BIRKENMAJER, 1981; CLAPPERTON e SUGDEN, 1988; BJÖRK *et al.*, 1996; SEONG *et al.*, 2006).

Na IRG, o aumento da temperatura foi de 1°C durante as últimas três décadas e os campos de gelo mostraram-se sensíveis às mudanças climáticas (BLINDOW *et al.*, 2010; KEJNA *et al.*, 2013) com o balanço negativo de massa das geleiras (MICHALCHUK *et al.*, 2009; TURNER *et al.*, 2009). Vários autores têm registrado retração em geleiras na IRG desde 1950 (SIMÕES *et al.*, 1999; BRAUN e GOBMAN, 2002; VIEIRA *et al.*, 2005; ROSA *et al.*, 2009; ANDRADE *et al.*, 2011; RÜCKAMP *et al.*, 2011; KEJNA *et al.*, 2013; ROSA *et al.*, 2014a; ROSA *et al.*, 2015). Estudos recentes indicam a rápida retração de geleiras com término em terra nas últimas décadas (ANDRADE *et al.*, 2011; POELKING *et al.*, 2014; ROSA *et al.*, 2014a; 2014b; SIMÕES *et al.*, 2015). Segundo Rosa *et al.* (2014b) as perdas de área são relacionadas aos processos que levam o balanço negativo de massa, como a fusão basal e degelo supraglacial, relacionados à tendência de aumento da temperatura e da precipitação líquida.

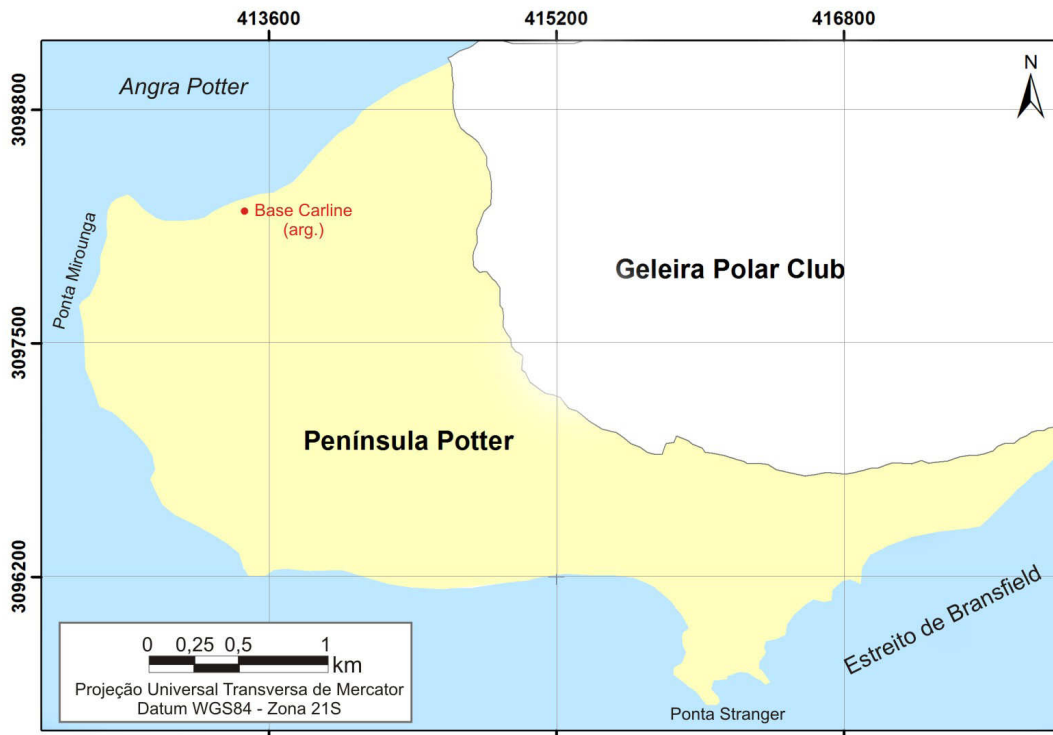
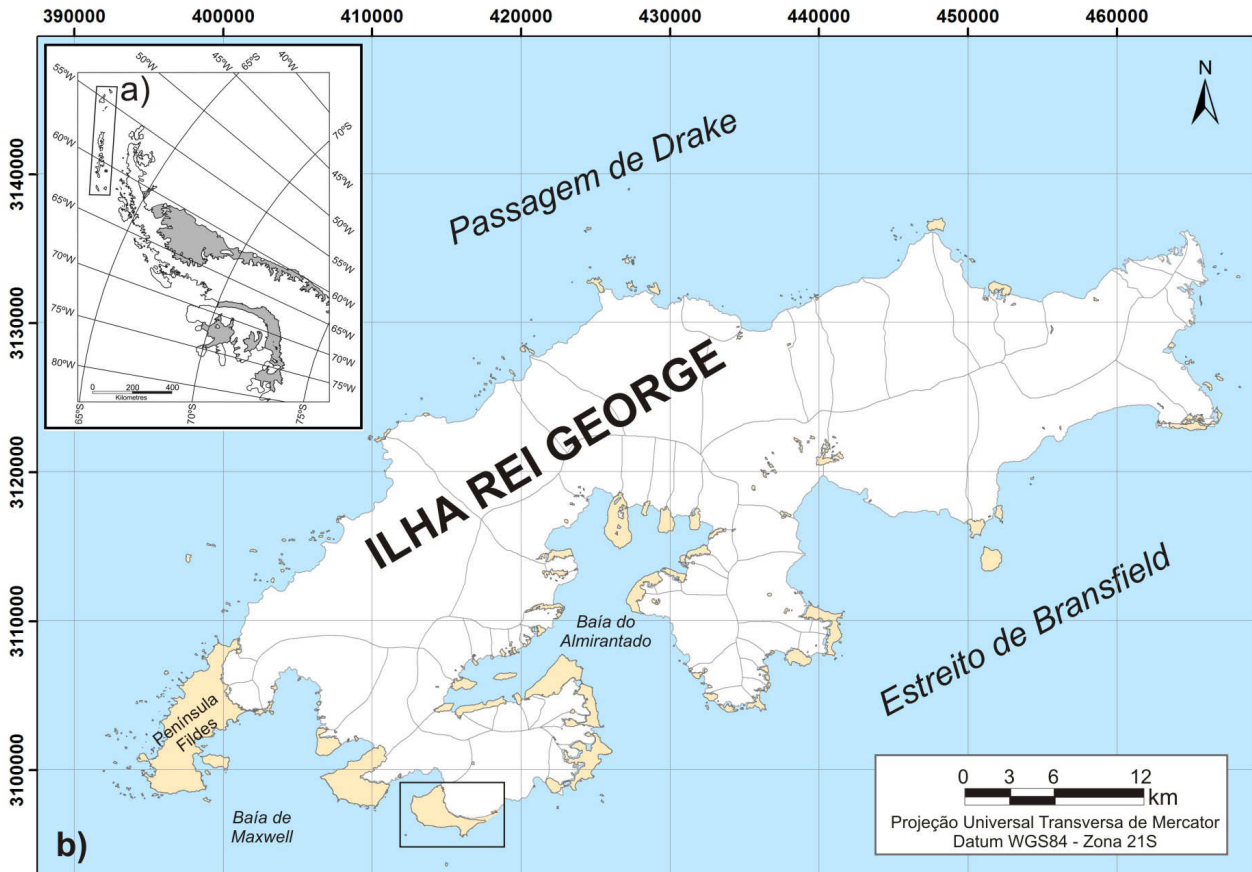


Figura 1 – Localização da área de estudo, sendo que a) representa o arquipélago da Shetlands do Sul em relação à Península Antártica, b) apresenta a Ilha Rei George e sua respectiva divisão em baías e c) apresenta a localização da Península Potter.

A geleira Polar Club apresentou um acelerado recuo entre os anos 1986 a 2011 que resultou em um aumento de 1,63 km² da área livre de gelo na Península Potter (ANDRADE *et al.*, 2011; POELKING *et al.*, 2014). Segundo Braun e Goßmann (2002) a área livre de gelo localizada a frente da geleira Polar Club é de aproximadamente 7,13 km² no verão e sua orientação e extensão são de 6 km e 3,5 km nos eixos Leste-Oeste e Norte-sul, respectivamente. No verão, canais glaciofluviais são comuns e caracterizam-se por transformar a geomorfologia gerando vales em formato “V” em toda extensão do seu trajeto (VARELA, 1998). Os principais lagos da península são o lago Rudy e o lago Superior. Del Valle *et al.* (2004) explicam que estes lagos se formaram entre morainas neoglaciais e surgiram há 500 anos e na década de 1950, respectivamente. Apesar de ser mais jovem o lago superior possui área superficial duas vezes maior do que a do lago Rudy que, respectivamente são de 210.000 m² e 88.000 m² (DELL VALLE *et al.*, 2004). Não há evidências de mapeamento da configuração espacial das feições geomorfológicas nesta área de estudo, a qual apresenta várias geoformas deposicionais e erosivas que podem ser utilizadas como indicadoras de recentes mudanças ambientais no sistema glacial, bem como estabelecer conectivos com estudos paleoclimáticos.

3. Materiais e Métodos

Para estimar a variação frontal e perda de área em percentuais da geleira Polar Club foram utilizadas cinco cenas do Programa Landsat, adquiridas no período do verão antártico (Jan/Fev) e disponibilizadas pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (*United States Geological Survey* – USGS, 2015) e dados de retração de 1979 e 1980, fornecidos pelo Centro Polar e Climático. A imagem QuickBird de janeiro de 2007, foi adquirida pelo projeto de pesquisa Criossolos da Universidade Federal de Viçosa. As imagens Landsat dos anos 1981, 1990, 1999 e 2011 foram corrigidas geometricamente a partir de pontos de controle coletados em campo com um aparelho de Global Position System (GPS) e um mapa planimétrico da Península Potter com escala de 1:10.000. A imagem Landsat de 2015 foi co-registrada obtendo-se valor de erro menor que 0,9. A correção geométrica da imagem QuickBird foi realizada no software ENVI.

O mapeamento geomorfológico das áreas livres

de gelo na Península Potter, em escala numérica de 1:30.000, foi realizado através da interpretação visual das feições geomorfológicas de interesse nas imagens Quickbird e COSMO-SkyMed (Figura 2). A geração e análise de dados morfométricos, perfis topográficos, a análise visual de fotografias (obtidas em atividades de campo) também auxiliaram na interpretação e mapeamento.

Aspectos da morfometria da Península Potter foram interpretados para a geração do mapeamento geomorfológico a partir do MDE com erro vertical de 0,5m. O MDE foi elaborado por Andrade *et al.* (2015) a partir das curvas de nível com equidistância de 3m do mapa topográfico elaborado por Lusky *et al.* (2001) para a área livre de gelo da península Potter. O mapa de declividade, gerado para compreender a existência de atividade paraglacial mais intensa, foi elaborado com seis classes temáticas, considerando os intervalos 0-3; 3-8; 8-20; 20-45; 45-75 e acima de 75. Para a representação da associação entre formas, processos e ambientes foram gerados três perfis topográficos a partir do mapa de curvas de nível com equidistância de 15m. A análise visual das feições foi realizada através da interpretação de fotografias associadas aos perfis topográficos. As fotografias utilizadas foram obtidas entre os dias 10 e 19 de fevereiro de 2012 durante a XXX Operação Antártica Brasileira (OPERANTAR).

O mapeamento geomorfológico das feições glaciais de mesoescala (poucos metros de extensão) seguiu as orientações metodológicas de legenda propostas por Kirkbride *et al.* (2001), Lukas (2002), Hubbard e Glasser (2005), Glasser e Jansson (2005), Glasser *et al.* (2005), Smith e Clark (2005), Gustavsson *et al.* (2006) e Benn e Evans (2010), diferenciando-se feições erosivas das deposicionais. Assim, as classes apresentadas no mapa são: as deposicionais (cordões morânicos, alagadiços e lagos, terraços marinhos), erosivas (canais glaciofluviais, ravinas, afloramentos rochosos) e a geleira. A análise geomorfológica foi realizada com base no aspecto fisionômico das feições de interesse de acordo com a escala de observação usada (foi usada imagem QuickBird de janeiro de 2007 como base cartográfica). Como critério para a determinação das classes procurou-se identificar as feições lineares marginais ao gelo, tais como as morainas e canais de água de degelo e as feições glaciolacustres e glaciofluviais visando reconstruir as flutuações frontais da geleira Polar Club e processos paraglaciais.

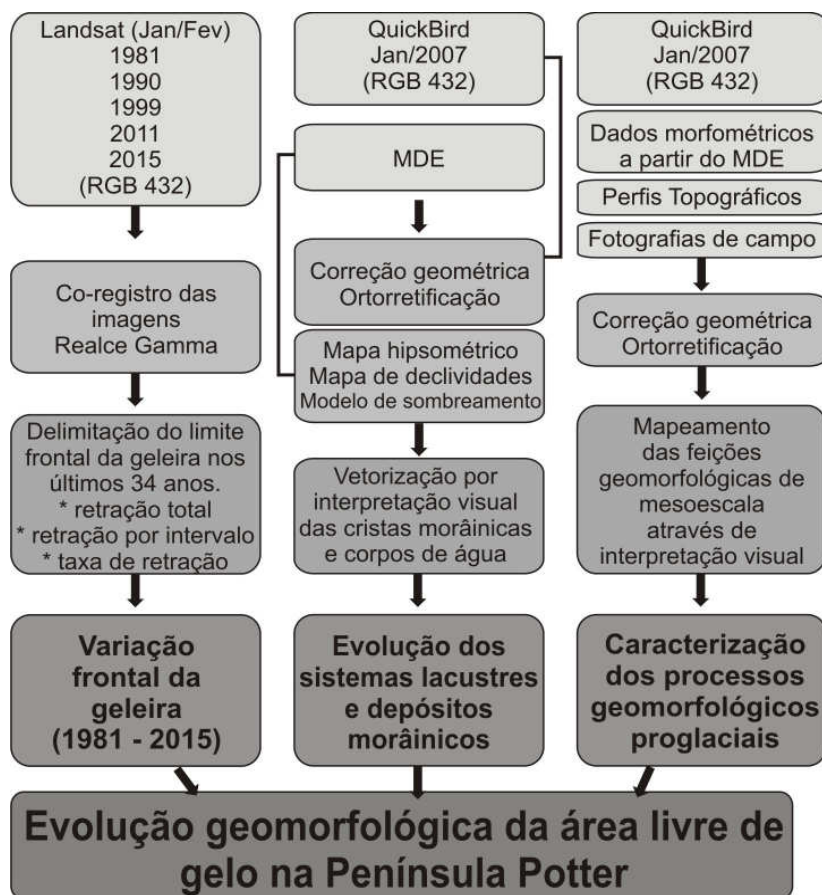


Figura 2 – Fluxograma metodológico indica etapas de elaboração do trabalho.

O mapa de interpretação da evolução dos sistemas lacustres e morânicos nas áreas livres de gelo da Península Potter foi gerado para o período de 2006 a 2011 a partir da imagem QuickBird e interpretação visual da COSMO-SkyMed na polarização HH.

4. Resultados e Discussões

4.1 Variação espacial frontal da geleira Polar Club nos últimos 35 anos

A evolução temporal da frente da geleira Polar Club no período entre 1981 a 2015 evidencia suas distintas fases de retração (Figura 3). A redução de área da geleira foi de 2,95 km², em 35 anos, uma vez que em 1981 a geleira ocupava uma área de 31,24 km² e em 2015 passou a ocupar 28,29 km², representando perda de área total de 9,44%.

Birkenmajer (1998) a partir de trabalhos de campo realizados a partir de 1983, já constatava que a geleira Polar Club encontrava-se em retração. Braun e Goßmann (2002) afirmaram que houve retração da Polar Club em 10% de sua área entre os anos de 1956

a 1995. Em recente estudo, Poelking *et al.* (2014) também apontaram o aumento da área livre de gelo de 26,56% (1,62km²) entre os anos de 1986 a 2011. Esta retração pode estar associada à tendência de aumento da temperatura média superficial do ar no período, assim como afirmam Park *et al.* (1998) e Andrade *et al.* (2012).

Em uma análise decadal, o processo de retração da geleira Polar Club (Figura 3 e Tabela 1) evidencia uma perda de área de 0,17 km² ao ano entre os anos de 1981 a 1990. O período subsequente, de 1990 até 1999 apresentou a menor taxa de retração (0,3 km² ao ano), comparativamente aos períodos observados (Tabela 1). O período de 1999 a 2011 (Figura 3) também apresentou baixa taxa de retração, mas com valores maiores que o período anterior (0,5 km² ao ano) (Tabela 1). No período entre 2011 a 2015 a taxa de retração é de 0,12 km² ao ano. Este intervalo de tempo apresenta uma relativa alta taxa de retração glacial, principalmente pelo seu curto intervalo de tempo, de apenas quatro anos (Figura 3). Houve aumento significativo da área exposta que em 1981 era de 5,05 km² e passou para 8 km² em 2015, representando aumento de 36,87%.

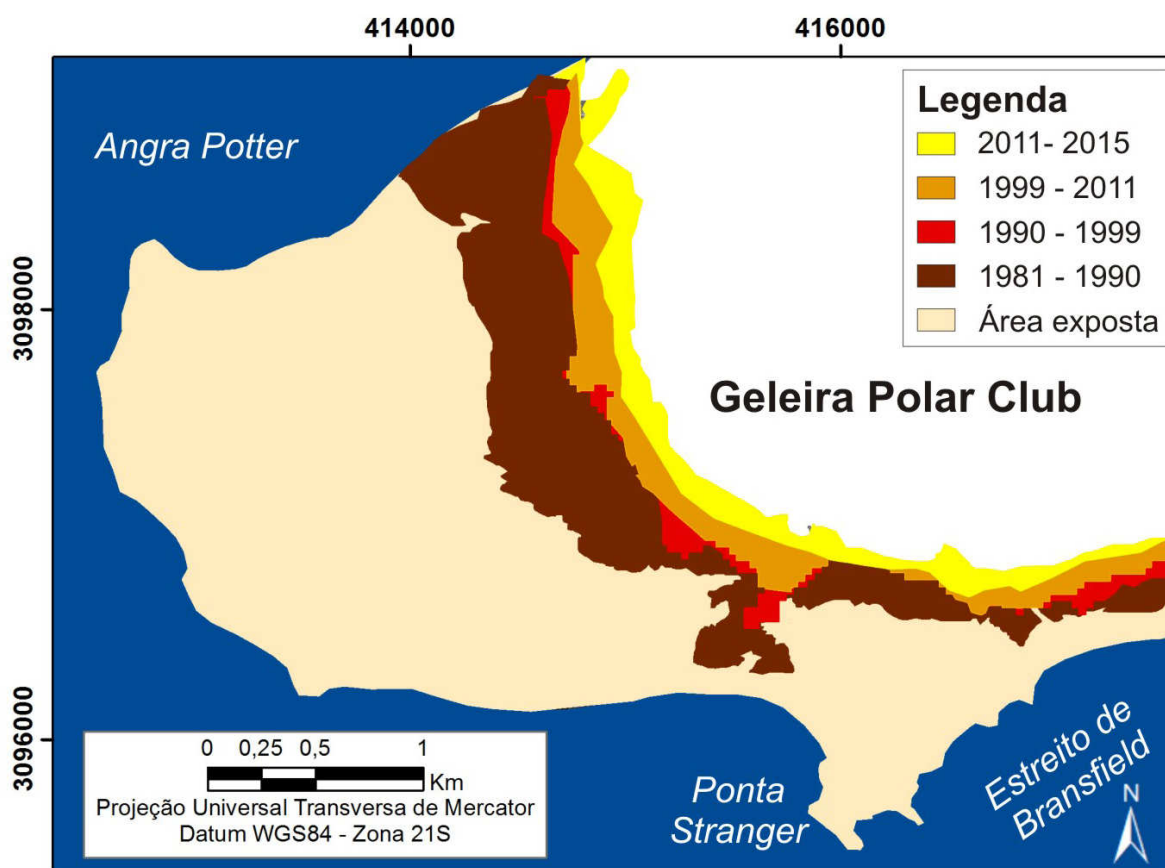


Figura 3 – Evolução temporal da frente da geleira Polar Club entre 1981-2015 e formação da área exposta (livre de gelo) na península Potter.

Tabela 1: Taxas de retração da frente da geleira Polar Club entre 1981 a 2015.

Anos	1981-1990	1990-1999	1999-2011	2011-2015
Retração (km ²)	1,54	0,29	0,61	0,51
Intervalo (anos)	9	9	12	4
Taxa de retração (km ² /ano)	0,17	0,03	0,05	0,12

Comparativamente a outras geleiras analisa-se que as geleiras Wanda, Dragão e Professor, que fluem para a Enseada Martel, apresentaram altas taxas de retração e perderam, respectivamente, 31%, 54% e 39% de suas áreas entre 1979 a 2011 (Rosa *et al.*, 2014b). Estas geleiras são geleiras de frente em terra e podem possuir uma dinâmica similar à Potter, que registrou perda comparativamente menor (de 9,44% de sua área entre 1981 a 2015), no entanto, estão localizadas em áreas mais íngremes (fluxo mais rápido do gelo), possuem menor espessura, deixaram mais recentemente de ser geleiras de maré (fase que pode ter maior retração devido as influências marinhas) e não possuem alimentação do mesmo campo de gelo, além de possuírem menor área. A geleira Potter também possui um aspecto mais dômico com fluxos radiais do que estas geleiras.

4.2 Mapeamento Geomorfológico e indicativos de processos geomorfológicos glaciais e evolução do sistema proglacial

A análise hipsométrica possibilitou evidenciar que as elevações das áreas expostas variam de 0 a 195 m (Figura 4). Os dados altimétricos revelam que a elevação média da área livre de gelo na Península Potter é de 62m e a máxima é de 195m (cone vulcânico Three Brothers). O MDE possibilitou um alto grau de detalhamento topográfico da Península Potter devido a sua resolução espacial de 1 metro que permitiu a identificação visual de geoformas erosivas (vale em forma de U) e deposicionais glaciais na área de estudo. Os produtos de análise do terreno, como o mapa hipsométrico foram uma importante base de dados para a análise das geoformas, pois auxiliaram no mapeamento geomorfológico e na reconstrução da evolução desses ambientes.

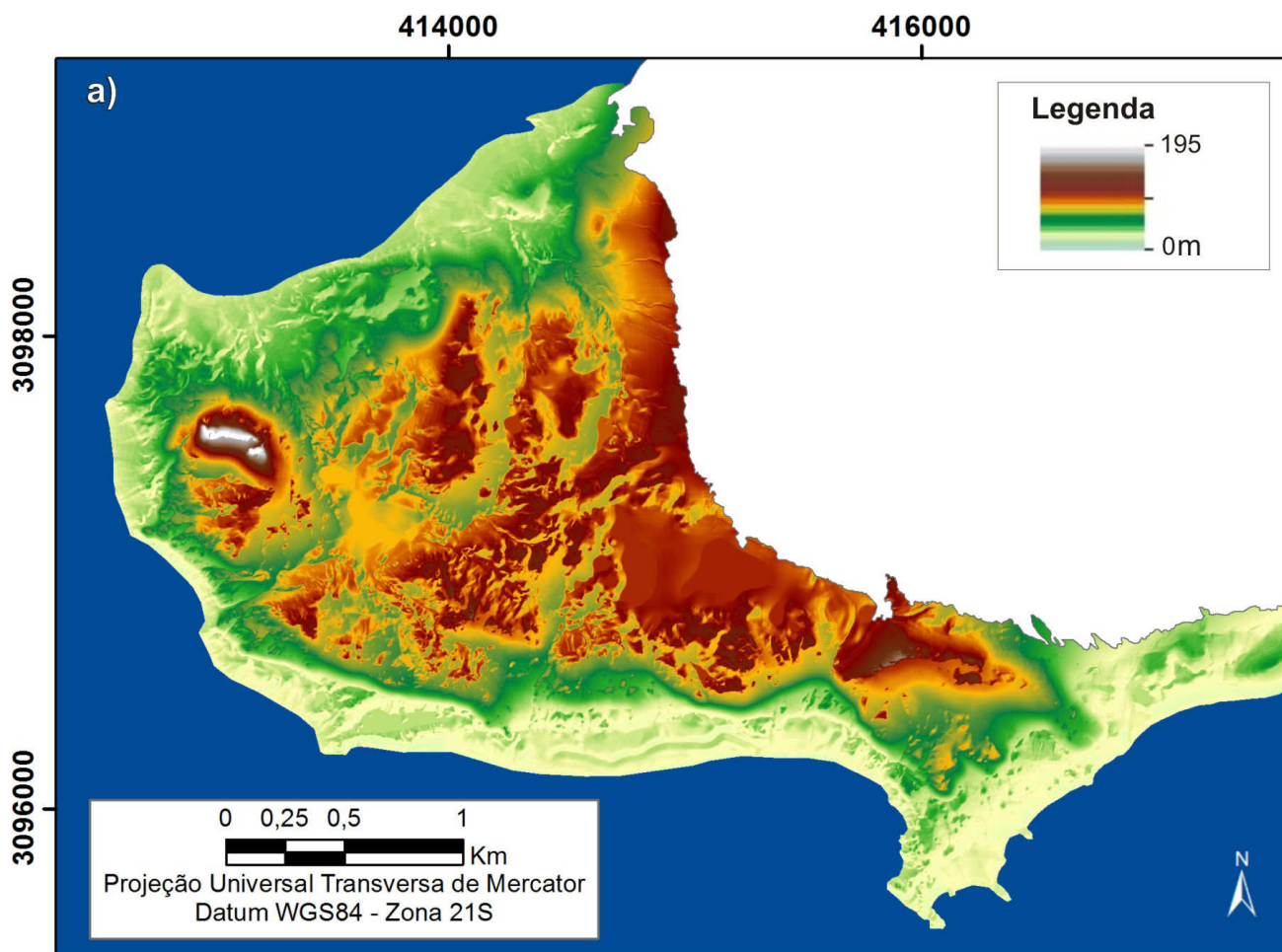


Figura 4 - Mapa hipsométrico das áreas livres de gelo da Península Potter.

O mapeamento geomorfológico da Península Potter evidenciou principalmente a identificação do padrão de disposição espacial das feições lineares marginais ao gelo. As morainas latero-frontais marcaram a extensão frontal e lateral da geleira em distintas fases e as feições glaciofluviais evidenciaram o desenvolvimento da drenagem pelo aporte da fusão sazonal da neve e do gelo. Assim, as classes apresentadas no mapa geomorfológico (Figura 5) são: cordões morânicos, afloramentos rochosos, ambiente praias, canais, ravinas, áreas úmidas (alagadiços e lagos) e a geleira.

O ambiente praias (Figura 6 A e D) é caracterizado pela ação das ondas e amplitudes de maré, no processo de deposição de sedimentos junto a costa. O ambiente praias é também constituído de praias elevadas, pois Fretweel *et al.* (2010) relacionam a presença de terraços marinhos soerguidos devido elevações isostáticas.

As praias elevadas da IRG formaram-se durante o Holoceno através da elevação isostática ocorrida após o Último Máximo Glacial (Fretweel *et al.*, 2010). As praias elevadas são paralelas à linha de costa atual e suas altitudes variam localmente (JOHN e SUGDEN, 1971; SUGDEN e CLAPPERTON, 1977; DEL VALLE *et al.*, 2002; FRETWEEL *et al.*, 2010).

O maior afloramento rochoso na Península Potter, e também o ponto mais alto, é o cone vulcânico Three Brothers (Figuras 5 e 6 B). Os demais afloramentos ocorrem nas praias (Figura 6 D) e nos terraços soerguidos (porção sudoeste da península). Muitos depósitos morânicos estão ancorados em afloramentos rochosos devido à influência dessas feições no fluxo da geleira. Muitos promontórios rochosos são de contato com o oceano e seccionam a linha de costa em diferentes ambientes praias, os quais podem ser diferenciados

para fins de mapeamentos detalhados destes sistemas.

Na primavera e, principalmente, no verão (de dezembro a março) ocorre o período de derretimento da neve e gelo. Tanto as temperaturas positivas do ar quanto a precipitação líquida propiciam a formação de importantes canais glaciofluviais na península (Figuras 5 e 6 C). As áreas livres de gelo da IRG são drenadas por canais intermitentes e submetidos a longos períodos de invernos. Estes fluxos, ao receberem as águas provenientes do degelo e da precipitação pluvial, aumentam a intensidade dos processos erosivos que retrabalham feições deposicionais glaciais e podem gerar vales em formato V. Este formato pode estar relacionado ao rebatimento isostático e normalmente ao controle estrutural de linha de falhas, em rochas do embasamento juntamente com a ação fluvial e ravinamento. A rede de drenagem observada na Península Potter apresenta a mesma característica geral que a península Fildes (que se localiza no setor Oeste da Ilha Rei George), onde há o predomínio de

cursos fluviais principais aprofundando os talwegues de pequenos vales em V através de morainas ou no contato destas com outros depósitos. Foram evidenciadas ravinas (Figura 5), principalmente no setor NNW da península, formadas pelo fluxo convergente da água de degelo e a ação pluvial durante o verão.

Assim como evidenciado na área de estudo, Sugden e John (1984), afirmam que a entrada de materiais no sistema glaciofluvial, pode ocorrer de quatro formas: a) através de detritos derivados diretamente da erosão glaciofluvial do embasamento rochoso; b) por detritos derivados de materiais previamente depositados; c) por meio de detritos deixados pelo gelo glacial e d) por detritos derivados do sistema periglacial. Estes sedimentos são transportados pelo fluxo em ravinamentos e ainda em canais glaciofluviais. Múltiplos canais entrelaçados (Figura 6 E) formam feições fluviais deposicionais em leques, sendo identificados no setor sudoeste e sudeste da península. Estas áreas são diretamente influenciadas pelo processo de fusão glacial.

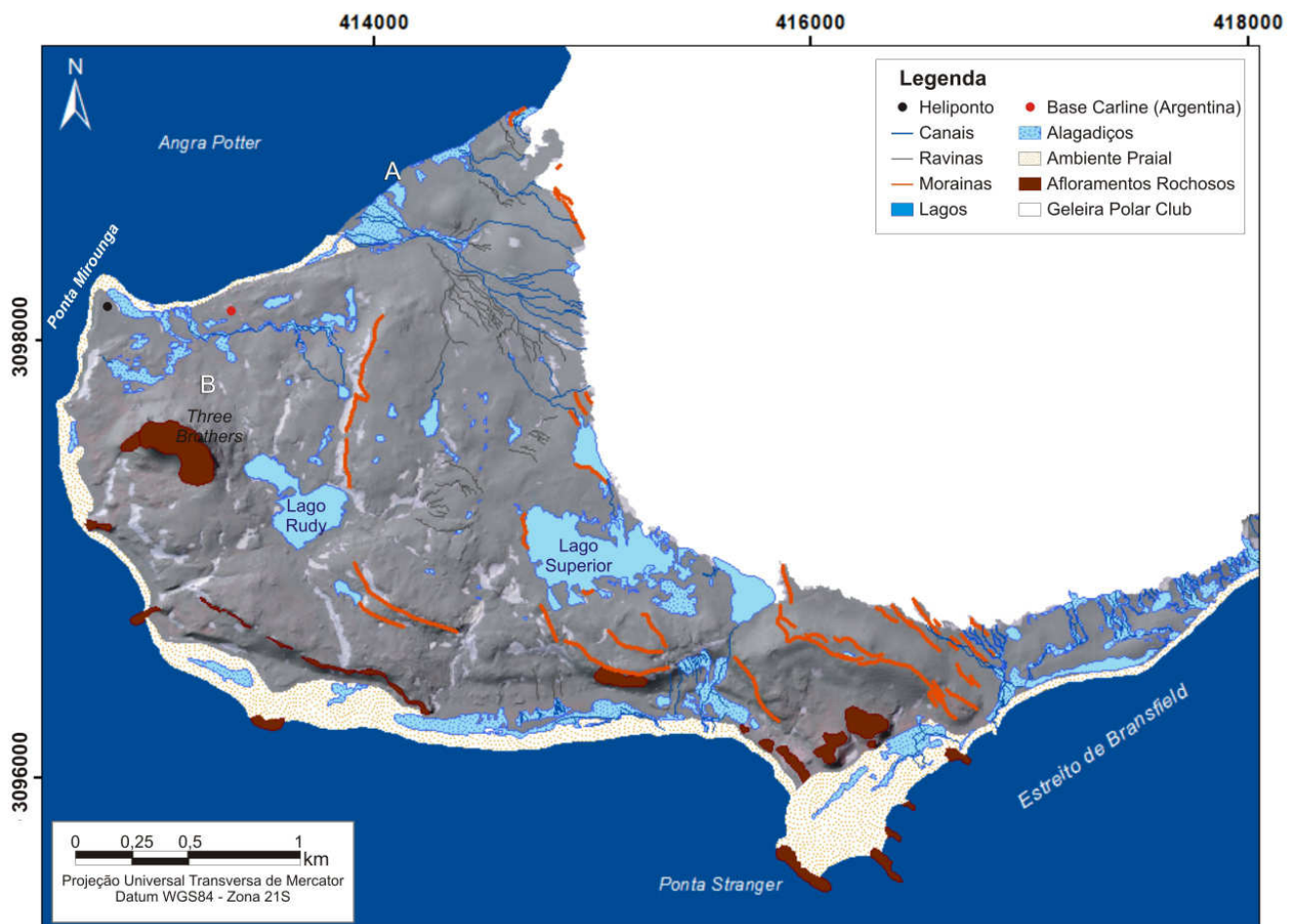


Figura 5 - Mapeamento geomorfológico das áreas livres de gelo da Península Potter (sobre o modelo de sombreamento com transparência de 30%) na imagem QuickBird.



Figura 6 - A) Planície glaciofluvial junto à faixa praial; B) Cone vulcânico Three Brothers; C) Canais glaciofluviais; D) Ambiente praial; E) Entrelaçamento de canais glaciofluviais e F) Moraina latero-frontal. Fotografias obtidas em fevereiro de 2012 por Andrade.

O aporte de água de degelo da geleira e da neve e o fluxo glaciofluvial alimentam lagos (permanentes e intermitentes) que desaguam no sistema glaciomarinho ou nos lagos. Os dois principais lagos da península são o lago Rudy (Figura 6 B) e o lago Superior (Figura 5). Ambos se formaram entre morainas neoglaciais. O lago superior, mais recente (analisado pelas imagens de satélite como formado após a retração frontal das últimas décadas), possui área superficial duas vezes maior do que a do lago Rudy (DELL VALLE *et al.*, 2004). As áreas de lagos e alagadiços, presentes na Península Potter, principalmente no ambiente praial, se originam por conta das diferenças de altitude, pois as áreas com altitudes mais baixas apresentam maior convergência da drenagem.

O mapa de interpretação da evolução dos sistemas lacustres nas áreas livres de gelo da Península Potter

(Figura 7 e 8) evidencia que a área livre de gelo da Península Potter apresenta 103 lagos, sendo que cinco destes foram formados após 1999. Não foram mapeados os canais glaciofluviais devido a escala de abordagem do estudo estar limitada a resolução espacial relacionada às imagens Landsat e não apenas à imagem de maior resolução Quickbird. Desde 1999 surgiram dois corpos de água com áreas representativas localizados nas proximidades do lago Superior, sendo que o lago 1 ao Norte (considerando o sentido de fluxo da geleira) possui área de aproximadamente 22.821m² e o lago 2 ao Sul possui 36.487m² (Figura 7). O lago Superior, que em 1999 estava em contato direto com a geleira Polar Club, apresentava área de 145.669m² (Figura 7). Em 2011, este mesmo lago se distribuía por uma área de 168.868m², representando um incremento de área de 23.199m², ou seja 16%, relacionado com o aumento da área livre de gelo (Figura 7).

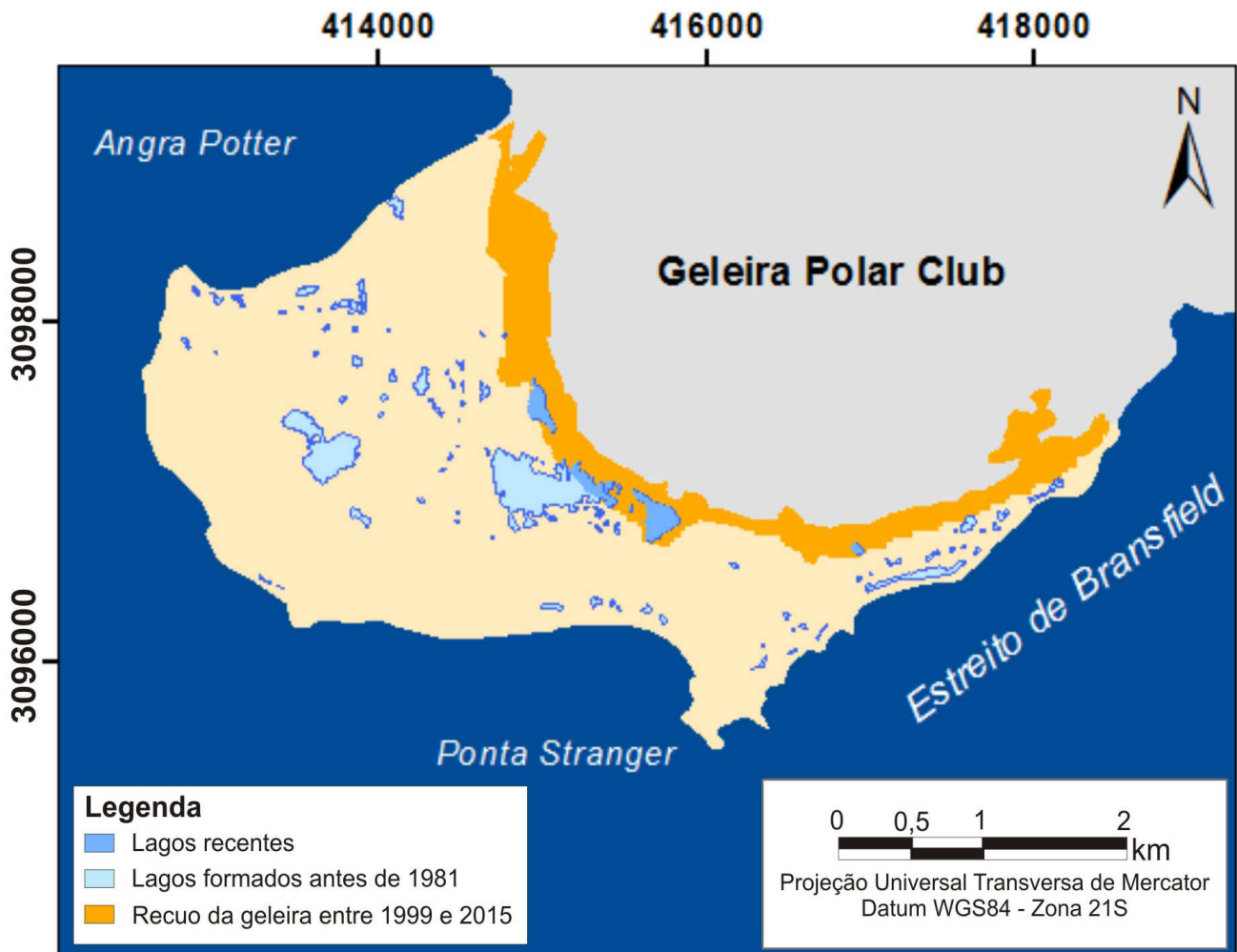


Figura 7 – Evolução dos sistemas lacustres na Península Potter entre os anos de 1999-2015 e área de recuo recente da geleira Polar Club.

As morainas apresentam-se na forma de cordões lineares de recessão contínuos paralelos à margem atual da geleira ou à máxima extensão de avanço glacial (Figura 5). A análise da disposição espacial (em relação a outros depósitos e a frente da geleira) e morfologia (forma linear, concava, convexa, arcuada, retilínea) de cordões morânicos interpretados visualmente na imagem Quickbird foram base para indicar as fases de estabilização frontal da geleira. O modelo de evolução da variação frontal da Polar Club apresenta os resultados da interpretação do padrão de retração desde 1981 e anterior a 1981 (Figura 8). As morainas mais externas foram interpretadas como correlacionadas em escala temporal e sua morfologia representa a última máxima

extensão glacial registrada anterior a 1981 na Península. Esta posição pode ser indicativa de condições de avanço glacial durante a Pequena Idade do Gelo, assim como evidenciada por Hall (2007) com datação por radiocarbono em cristas morânicas contínuas na zona proglacial da geleira Collins (Domo Bellinshausen, Península Fildes, IRG). Ao realizar datação por radiocarbono em cristas morânicas contínuas, paralelas a atual posição frontal da geleira Collins, Hall (2007) indicou que estas são contemporâneas ao último extensivo avanço glacial ocorrido durante a Pequena Idade do Gelo, aproximadamente 650 anos atrás. Naquele período, a geleira estendeu sua frente entre 400 a 500m à frente da presente margem.

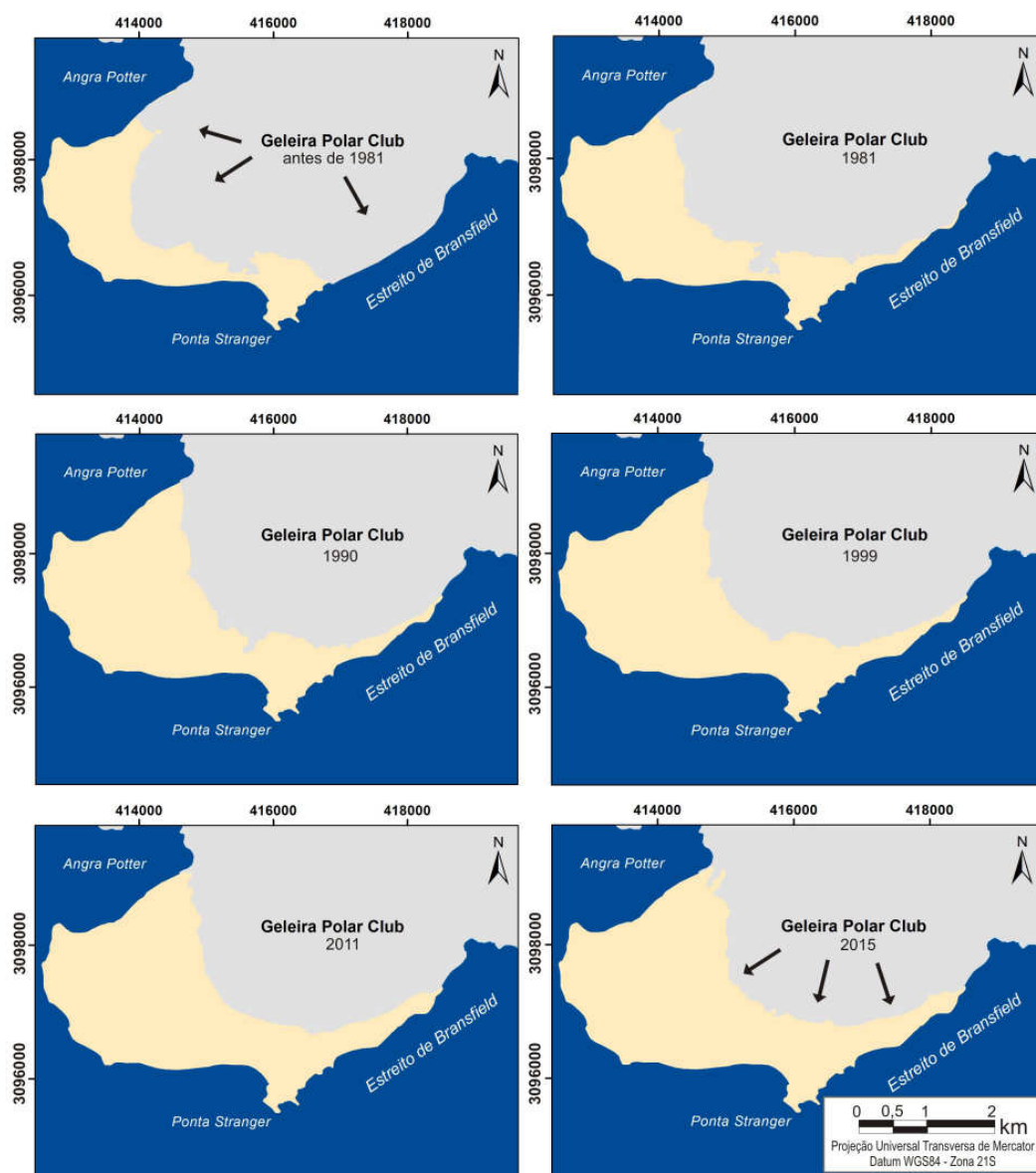


Figura 8 – Modelo de evolução da frente da geleira Polar Club representa as três fases diferentes do fluxo da geleira: uma primeira fase anterior a 1981, uma segunda fase de 1981 a 1988 e uma ultima fase, atual, depois de 1999.

Ao analisar a topografia da frente da geleira (Figura 9), foi possível identificar alterações no padrão de fluxo de gelo da mesma ao longo do tempo (Pequena Idade do Gelo). A ramificação que fluía para o setor noroeste da península indica que a geleira ocupava a área representada pela formação de um vale em U e poderia estar em condição frontal de maré. O fluxo

que era direcionado para o sudeste, também indica que lá a configuração de término caracterizava uma geleira de maré. Para Sugden e John (1984), Menzies (1995) e Benn e Evans (2010) tanto a velocidade quanto a direção do fluxo de uma geleira estão diretamente relacionadas com o balanço de massa, deformações internas e com o regime termal basal.

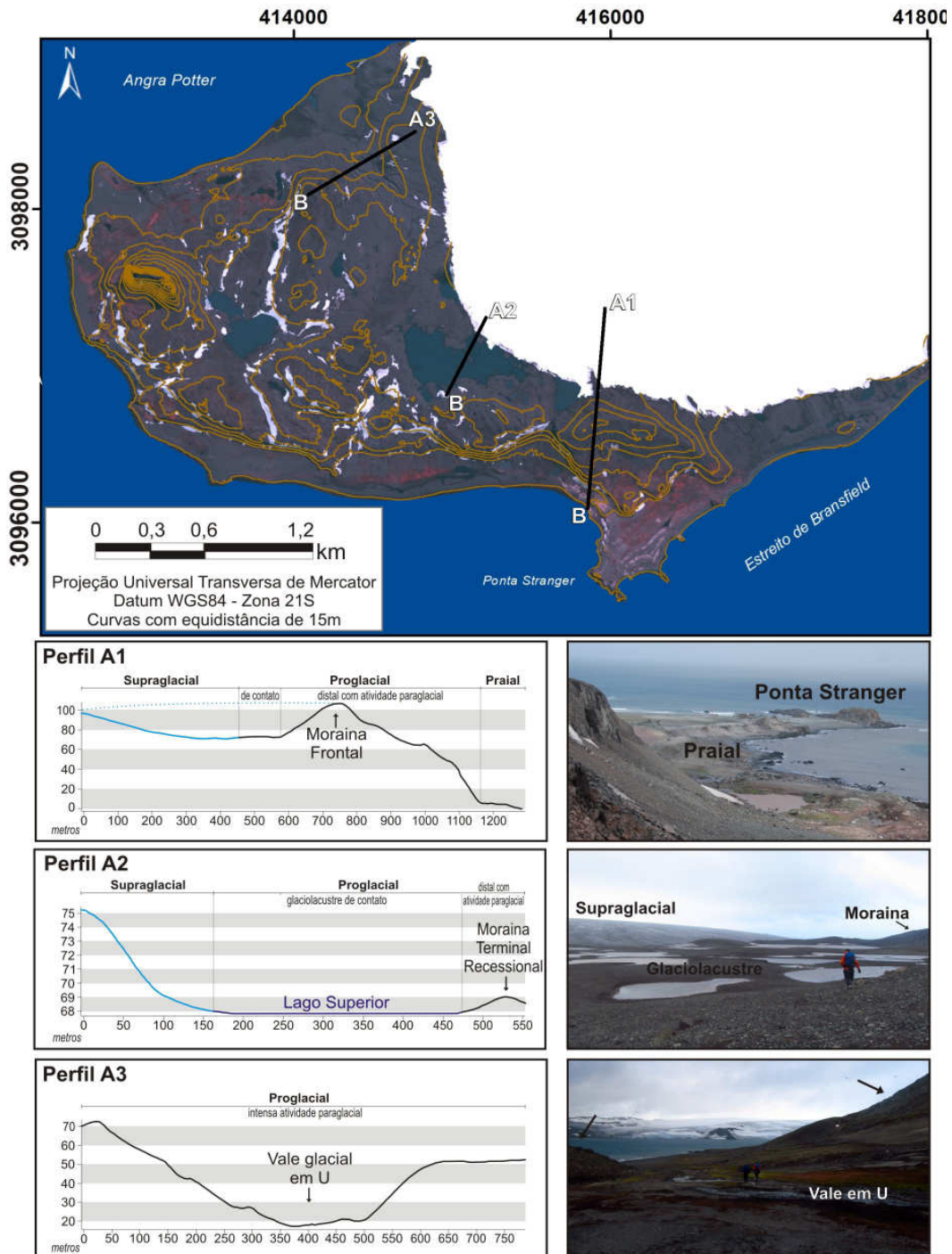


Figura 9 – Apresentação dos três perfis topográficos e transectos sobre o mapa de curvas de nível com equidistância de 15m. (Perfis e fotografias representativas das feições presentes ao longo dos transectos. A fotografia do perfil A1 mostra o ambiente praial e afloramentos rochosos. A fotografia do perfil A2 mostra parte da moraina recessional que ancora o lago Superior. A fotografia do perfil A3 mostra parte do vale em U).

A interpretação sobre a evolução dos depósitos morânicos da Península Potter (Figura 10) foi realizada a partir de indicativos morfológicos do mapa de retração da geleira Polar Club e pela disposição dos cordões morânicos. Desta forma, foi possível identificar três fases principais de formação de morâinas (Figura 10) que evidenciam antigas posições da frente da geleira durante períodos de estabilização da dinâmica frontal. Nas morainas de avanço, ilustradas na figura 9 como a fase da geleira anterior a 1981 e na Figura 10, provavelmente formadas na Pequena Idade do Gelo, representam as cristas mais externas do limite máximo da geleira Polar Club nesta fase. Estes cordões lineares mais externos, paralelos à posição de estabilização frontal da geleira no período, apresentam orientação de NNE-SSW e WNW-ESE, interpretada pela disposição espacial destes observando a imagem Quickbird. Nos registros morânicos associados às retrações ocorridas entre 1981 a 1999 (Figura 10), relacionado a uma segunda fase da geleira, percebe-se que existe pouca preservação deste tipo de feição. As que são preservadas apresentam-se

orientadas a WNW-ESE e chegam a ter 89m de elevação (conforme MDE e Figura 4). As morainas mais modernas, formadas entre 1999 e 2015 (Figura 10) e relacionadas a uma terceira fase da geleira (com período entre 1999 a 2015), são menores em comprimento e irregulares em sua continuidade linear quando comparadas às outras morainas da área de estudo. Apesar de seguir a mesma orientação que as demais, no sentido WNW-ESE, estas pequenas morainas apresentam comprimentos que variam entre 28 a 301m (dado adquirido na imagem Quickbird) e elevações que oscilam entre 15 a 45m (conforme MDE e Figura 4). Com a atual retração há a formação de morainas recentes, com menor espessura e em cordões descontínuos, principalmente no setor sudeste (Figura 10). Estas morainas podem ser consideradas morainas latero-frontais e são importantes registros que comprovam que neste setor da península a geleira estava em contato com o ambiente glaciomarinho e apresentava configuração de geleira de maré (Figura 10). Algumas dessas morainas participam do represamento de fluxo de água de degelo, formando lagos no setor marginal ao gelo.

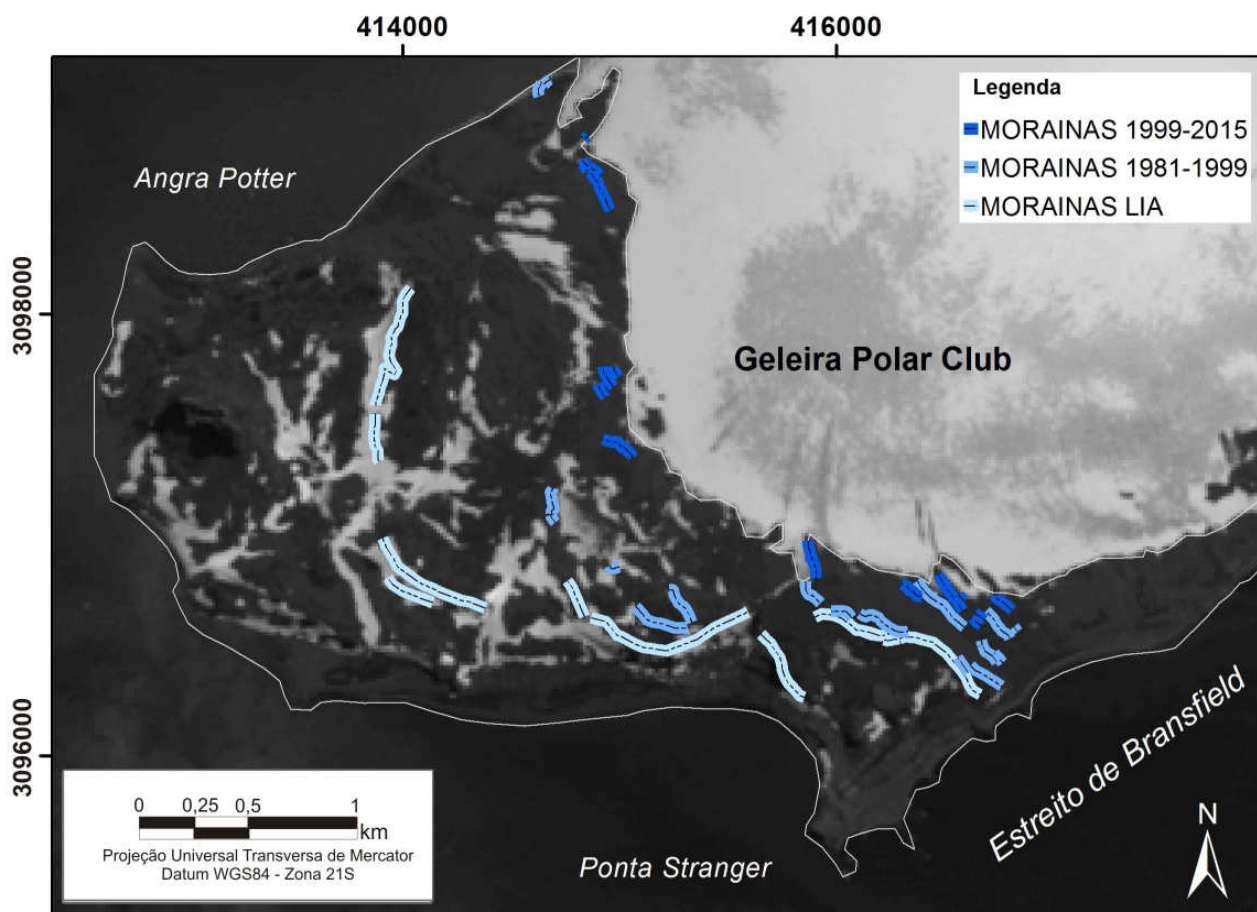


Figura 10 – Mapa de evolução dos depósitos morânicos da Península Potter.

A falta de preservação destas morainas indica também a intensa atividade paraglacial (Figura 11) na Península Potter. Evidencia-se, segundo Mercier (2008), que o depósito glacial é exposto à ação exógena, inicia-se o retrabalhamento desses por ação paraglacial. Uma vez que, processos proglaciais são aqueles que ocorrem ao redor e dentro das margens de uma antiga posição da geleira e são o resultado direto da presença pretérita do gelo. Para Hall (2007), Mercier e Étienne (2008) e Mercier (2008) são processos paraglaciais os fluxos de detritos, a ação fluvial, marinha, lacustre e pluvial.

Estes processos foram evidenciados na área de estudo nas análises de campo pela observação de depósitos de fluxo de detritos em áreas de declive, canais em V e ravinas, depósitos lacustres e ainda deposição praias de cascalhos arredondados e polidos pela ação marinha. Os processos paraglaciais são considerados por Ballantyne (2002) como um dos primeiros efeitos das mudanças ambientais. Com a retração das últimas 5 décadas, os fluxos de água degelo de neve e a precipitação líquida também resultaram na progressão dos processos periglaciais nas áreas livres de gelo da Península Potter.



Figura 11 – Evolução dos sistemas lacustres na Península Potter entre os anos de 1999-2015

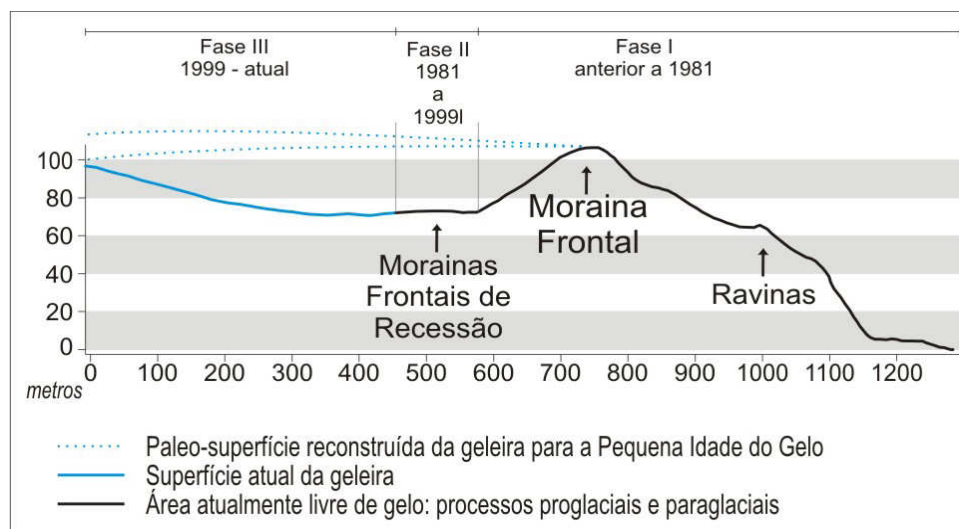


Figura 12 – Síntese evolutiva do sistema glacial e proglacial da geleira Polar Club inserida na Península Potter.

Desta forma os resultados possibilitaram sugerir um modelo síntese das mudanças da geleira Polar Club (Figura 12) desde a Pequena Idade do Gelo e a formação de algumas feições geomorfológicas, provavelmente, sendo que a partir da análise da evolução dos depósitos morânicos da Península Potter foi possível identificar três fases de estabilização frontal da geleira e análise da evolução dos sistemas lacustres evidenciou que os lagos proglaciais sofreram alterações de área em resposta à esta dinâmica de retração glacial, com dados principalmente para a retração registrada nos últimos 34 anos.

5. Considerações Finais

O mapeamento geomorfológico da Península Potter evidenciou os processos geomorfológicos proglaciais e o padrão de disposição espacial das feições lineares marginais ao gelo, como cordões morânicos e feições glaciofluviais (relacionadas ao aporte da fusão sazonal da neve e do gelo), bem como terraços marinhos, ravinas e afloramentos rochosos.

A partir do mapeamento geomorfológico foi realizada a interpretação dos processos geomorfológicos proglaciais da geleira Polar Club. A área com predomínio de processos proglaciais, diretamente relacionada pela instabilidade decorrente do recuo da geleira, é mais dinâmica no setor proximal da borda na área livre de gelo da Península Potter por evidenciar recentes mudanças ambientais como a exposição contínua de novos depósitos glaciais e atividade paraglacial.

A análise da evolução dos sistemas lacustres na área de estudo evidenciou que diversos lagos sofreram alterações de área em resposta à dinâmica de retração glacial registrada para os últimos 34 anos. Para avaliar com maior precisão estas e outras variações, seriam necessários estudos com maior detalhamento temporal (sazonais e multianuais). Com a evolução da retração da geleira podem surgir novos lagos represados por novas morainas que atualmente estão em formação. Também é possível que os lagos atuais, conforme o distanciamento entre os mesmos e a geleira, percam área e/ou volume devido à mudança de aporte de água de degelo dos canais.

Através da análise da evolução dos depósitos morânicos da Península Potter foi possível identificar três fases principais de formação de morainas que evidenciam antigas posições da frente da geleira

durante períodos de estabilização frontal. O modelo de evolução da variação frontal da geleira Polar Club indica que condição de último avanço glacial registrado pela geomorfologia proglacial pode estar relacionado à Pequena Idade do Gelo e que houve um contínuo processo de retração desde então.

A falta de preservação das morainas indica a intensa atividade paraglacial na área proglacial da geleira. As morainas mais modernas, menores e irregulares, nem sempre bem preservadas devido à proximidade com a frente da geleira são importantes registros, pois comprovam que neste setor da península a geleira estava em contato com o ambiente glaciomarinho e apresentava configuração de geleira de maré.

O modelo de evolução da variação frontal da geleira Polar Club evidenciou um padrão de retração da geleira e pode possibilitar a continuidade do monitoramento glacial para a previsão de cenários futuros no comportamento geomorfológico deste ambiente.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS).

Referencias Bibliográficas

- ANDRADE, A. M. de; POELKING, E. L.; SCHAEFER, C. E. R.; FILHO FERNANDES, E. I. e JUSTINO, F. B. 2011. Mudanças climáticas regionais e seus reflexos nas variações da frente da geleira Polar Club, península Potter, Ilha Rei George, entre 1986 e 2009. In: **XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Curitiba, Brasil. p.5624-5631.
- ANDRADE, A. M. de; POELKING, E. L.; ARIGONY-NETO, J.; SCOTTA, F. C.; BERRA, E. F. e SCHAEFER, C. E. 2012. Variações na temperatura do ar da península Potter, Ilha Rei George (Antártica Marítima), entre 1986 e 2011. In: **XVII Congresso Brasileiro de Meteorologia**. Gramado, Brasil.
- ANDRADE, A. M. de; ARIGONI-NETO, J.; BREMER, U. F.; MICHEL, R. F. M.; FASSONI-ANDRADE, A. C.; SCHAEFER, C. E. G. R. e SIMÕES, J. C. 2015. COSMO-SkyMed X-band SAR data for classification of ice-free areas and glacier facies on Potter Peninsula, King George Island Antarctica. **Geocarto Internacional**, v. 31, p. 803-812.

- BALLANTYNE, C. K. 2002. Paraglacial Geomorphology. **Quaternary Science Reviews**, v. 21, p. 1.935-2.017.
- BENN, D. I. e EVANS, D. J. A. 2010. **Glaciers and Glaciation**. 2 ed. London: Hodder Education. 802p.
- BIRKENMAJER, K. 1981. Raise marine features and glacial history in the vicinity of Arctowski Station, King George Island (South Shetland Islands, Antarctica). **Quaternary Science Reviews**, v. 29, n. 2, p. 109-117.
- BIRKENMAJER, K. 1998. Geology of Volcanic Rocks (Upper Cretaceous-Lower Tertiary) at Potter Peninsula, King George Island (South Shetlands, West Antarctica). **Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Earth Sciences**, v. 46, n. 2, p. 147-155.
- BISHOP, M. P. e SCHROEDER, J. F. 2004. **Geographic Information Science and Mountain Geomorphology**. Springer-Praxis, Chichester.
- BISHOP, M. P.; JAMES, A. L.; SCHROEDER, J. F. e WALSH, S. J. 2012. Geospatial technologies and digital geomorphological mapping: Concepts, issues and research. **Geomorphology**, v. 137, p. 5-26.
- BJÖRCK, S.; HJORT, C.; INGÓLFSSON, Ó.; ZALE, R. e ISING, J. 1996. Holocene glacial chronology from lake sediments. In LÓPEZ-MARTÍNEZ, J., THOMSON, M. R. A. & THOMSON, J. W., eds. **Geomorphological map of Byers Peninsula, Livingston Island**. BAS GEOMAP series, sheet 5-a, 1:25 000, with supplementary text. Cambridge: British Antarctic Survey, p. 49-51.
- BLINDOW, N.; SUCKRO, S. K.; RÜCKAMP, M.; BRAUN, M.; SCHINDLER, M.; BREUER, B.; SAURER, H.; SIMÕES, J. C. e LANGE, M. A. 2010. Geometry and thermal regime of the King George Island ice cap, Antarctica, from GPR and GPS. **Annals of Glaciology**, v. 51, n. 55, p. 103-109.
- BOLCH, T. e KAMP, U. 2006. Glacier mapping in high mountains using DEMs, Landsat and ASTER data. **Grazer Schriften für Geographie und Raumforschung**, v. 41, p. 37-48.
- BRAUN, M. e GOßMANN, H. 2002. Glacial changes in the area of Admiralty Bay and Potter Cove, King George Island, Antarctica. In: Beyer, M. & Boelter, M. (ed.): **GeoEcology of Terrestrial Antarctic Oases**, Springer Verlag, p. 75-89.
- CLAPPERTON, C. M. e SUGDEN, D. E. 1988. Holocene glacier fluctuations in South America and Antarctica. **Quaternary Science Reviews**, v. 7, p. 185-198.
- CLARK, R. N. 1999. Chapter 1: Spectroscopy of rocks and minerals, and principles of spectroscopy. In: RENCZ, A. N. (Ed.) **Manual of Remote Sensing**, v. 3, New York, p. 3-58.
- CURL, J. E. 1980. A glacial history of the South Shetland Islands, Antarctica. Ohio State University, **Institute of Polar Studies Report**, v. 63, 129 p.
- DEL VALLE, R. A.; MONTALTI, D. e INBAR, M. 2002. Mid-Holocene macrofossilbearing raised marine beaches at Potter Peninsula, King George Island, South Shetland Islands. **Antarctic Science**, v. 14, p. 263-269.
- DEL VALLE, R. A.; TATUR, A.; LUSKY, J. C. e GOMEZ IZQUIERDO, D. R. 2004. Cambios morfológicos recientes en lagos de la península Potter, isla 25 de Mayo, islas Shetland del Sur, Antártida. **Revista de la Asociación Geológica Argentina**, v. 59, n. 3, p. 443-450.
- DOMACK, E.; LEVANTER, A.; DUNBAR, R.; TAYLOR, F.; BRACHFIELD, S. e SJUNNESKOG, C. 2001. Chronology of the Palmer Deep site, Antarctic Peninsula: a Holocene palaeoenvironmental reference for the circum-Antarctic. **The Holocene**, v. 11, p. 1-9.
- FRETWEEL, P. T.; HODGSON, D. A.; WATCHAM, E. P.; BENTLEY, M. J. e ROBERTS, S. J. 2010. Holocene isostatic uplift of the South Shetland Islands, Antarctic Peninsula, modeled from raised beaches. **Quaternary Science Reviews**, n. 29, p. 1880-1893.
- FRICKER, H. A.; SCAMBOS, T.; CARTER, S.; DAVIS, C.; HARAN, T. e JOUCHIN, I. 2010. Synthesizing multiple remote-sensing techniques for subglacial hydrologic mapping: application to a lake system beneath MacAyeal Ice stream, West Antarctica. **Journal of Glaciology**, v. 56, n. 196, p. 187-199.
- GLASSER, N. F. e JANSSON, K. N. 2005. Fast-Flowing outlet glaciers of the Last Glacial Maximum Patagonian Icefield. **Quaternary Research**, v. 63, n. 2, p. 206-2011.
- GLASSER, N. F.; JANSSON, K. N.; HARRISON, S. e RIVERA, A. 2005. Geomorphological evidence for variations of the North Patagonian Icefield during the Holocene. **Geomorphology**, v. 71, n. 3-4, p. 263-277.
- GUSTAVSSON, M.; KOLSTRUP, E. e SEIJMONSBERGEN, A. C. 2006. A new symbol-and-GIS based detailed geomorphological mapping system: renewal of a scientific discipline for understanding landscape development. **Geomorphology**, v. 77, p. 90- 111.
- HALL, B. L. 2007. Late-Holocene advance of the Collins Ice Cap, King George Island, South Shetland Islands. **The Holocene**, v. 17, n. 8, p. 1253-1258.
- HJORT, C.; BJÖRCK, S.; INGÓLFSSON, Ó. e MÖLLER, P. 1998. Holocene deglaciation and climate history of the northern

Antarctic Peninsula region: a discussion of correlations between the Southern and Northern Hemisphere. **Annals of Glaciology**, v. 27, p. 110-112.

HUBBART, B. e GLASSER, N. 2005. **Field Techniques in Glaciology and Glacial Geomorphology**. Chichester: John Wiley e Sons, Ltd. 421p.

JOHN, B. e SUGDEN, D. 1971. Raised marine features and phases of glaciation in the South Shetland Islands. **British Antarctic Survey**, v. 24, 45-111.

KEJNA, M.; ARAZNY, A. e SOBOTA, I. 2013. Climatic change on King George Island in the years 1948 – 2011. **Polish Polar Research**, v. 34, n. 2, p. 213-235.

KIRKBRIDE, M. P.; DUCK, R. W.; DUNLOP, A.; DRUMMOND, J.; MASON, M.; ROWAN, J. S. e TAYLOR, D. 2001. Development of a geomorphological database and geographical information system for the North West Seaboard: Pilot study. **Scottish Natural Heritage Commissioned Report BAT/98/99/137**. Scottish Natural Heritage Edinburgh.

KLEMAN, J. e BORGSTRÖM, I. 1996. Reconstruction of paleo-ice sheets: the use of geomorphological data. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 21, p. 893-900.

KLEMAN, J.; HATTESTRAND, C.; STROEVEN, A. P.; JANSSON, K. N.; DEANGELIS, H. e BORGSTRÖM, I. 2006. Reconstruction of paleo-ice-sheets-inversion of their glacial geomorphological record. In: KNIGHT, P. G. (Ed.) **Glacier Science and Environmental Change**. Oxford: Blackwell Publishing Ltda. 527p.

KOCH, M.; LOPEZ-MARTÍNEZ, J.; SCHMIDT, T.; SERRANO, E. e GUMUZZIO, J. 2008. Application of ALOS PALSAR and Landsat ETM+ data for the study of periglacial features and permafrost within the South Shetland Islands, western Antarctica. In: **International Geoscience e Remote Sensing Symposium**, Boston, USA, p. 343-346.

LUKAS, S. 2002. **Geomorphological evidence for the pattern of deglaciation around the Drumochter Pass, Central Grampian Highlands Scotland**. Unpublished Msc thesis (Diplomarbeit), Faculty Geo-sciences, Ruhr University of Bochum, Germany, 115p.

LUSKY, J. C.; VALLVERDÚ, R. A.; GOMEZ-IZQUIERDO, D. R.; DEL VALLE, R. A. e FELSKÉ, H. 2001. **Topographic Map**. Dirección Nacional del antártico – Instituto Antártico Argentino, División Geología – Institut für Allgemeine und Angewandte, Geologie Miicchen.

MARTINI, I. P.; BROOKFIELD, M. E. e SADURAS, S. 2001.

Principles of Glacial Geomorphology and Geology. New Jersey: Prentice-Hall Inc. 381p.

MASSOM, R. A. 1991. **Satellite Remote Sensing of Polar Regions: Applications, limitations and data availability**. London: Belhaven Press. 307p.

MÄUSBACHER, R.; MÜLLER, J.; MUNNICH, M. e SCHMIDT, R. 1989. Evolution of postglacial sedimentation in Antarctic lakes (King George Island). **Zeitschrift für Geomorphologie**, v. 33, p. 219-234.

MENZIES, J. 1995. Modern Glacial Environments Processes: Dynamics and Sediments. **Glacial Environments**, GBR, Butterworth- Heinemann Ltd., Oxford, v. 1, p. 241-260.

MERCIER, D. 2008. Paraglacial geomorphology: Conceptual and methodological revival. **Geomorphologie relief, processus, environment**, v. 14, n. 4, p. 219-222.

MERCIER, D. e ÉTIENNE, S. 2008. Paraglacial geomorphology: process and paraglacial context. **Geomorphology**, n. 95, p. 1-102.

MICHALCHUK, B.; ANDERSON, J. B.; WELLNER, J. S.; MANLEY, P. L. MAJEWSKI, W. e BOHATY, S. 2009. Holocene climate and glacial history of the northeastern Antarctic Peninsula: The marine sedimentary record from a long SHALDRIL core. **Quaternary Science Reviews**, v. 28, p. 3049-3065.

NAPIERALSKI, J.; HARBOR, J. e LI, Y. K. 2007. Glacial geomorphology and geographic information systems. **Earth Science Review**, v. 85, p. 1-22.

OTTO, J. C. e SMITH, M. J. 2013. Geomorphological mapping. **British Society for Geomorphology**, v. 6, p. 1-10.

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

PARK, B. K.; CHANG, S. K.; YOON, H. I. e CHUNG, H. 1998. Recent retreat of ice cliffs, King George Island, South Shetland Islands, Antarctic Peninsula. **Annals of Glaciology**, v. 27, p. 633-635.

POELKING, E. L.; ANDRADE, A. M.; VIEIRA, G. B. T.; SCHAEFER, C. E. G. R. e FERNANDES-FILHO, E. I. 2014. Variações da frente da geleira Polar Club, Península Potter (Ilha Rei George, Antártica Marítima) entre 1986 e 2011. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 3, p. 379-388.

PUNKARI, M. 1995. Function of ice streams in the Scandinavian ice sheet: analyses of glacial geological data from south western

- Finland. Transactions of the Royal Society of Edinburg - **Earth Sciences**, v. 85, p. 283-302.
- ROSA, K. K.; VIEIRA, R.; FERRANDO, F. J. e SIMÕES, J. C. 2009. Feições sedimentológicas e geomorfológicas do ambiente de deglaciação das geleiras Wanda e Ecology, ilha Rei George - Antártica. **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 37, n. 1, p. 315-326.
- ROSA, K. K.; SIMÕES, C. L.; MAROTTA, H.; VIEIRA, R. e SIMÕES, J. C. 2014a. Recent glaciological and geomorphological changes in Kraków ice field and Collins glacier, King George Island, Antarctica. **In: SCAR OPEN SCIENCE CONFERENCE, 2014, Auckland. Anais...** Auckland, p. 38.
- ROSA, K. K.; FREIBERGER, V. L.; VIEIRA, R.; ROSA, C. A. e SIMÕES, J. C. 2014b. Glacial recent changes and climate variability in King George Island, Antarctica. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 5, n. 2, p. 176-183.
- ROSA, K. K.; SARTORI, R. Z.; MENDES JR., C. W. e SIMÕES, J. C. 2015. Análise das mudanças ambientais da Geleira Viéville, Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Antártica. **Pesquisas em Geociências**, v. 42, n. 1, p. 61-71.
- RÜCKAMP, M.; BRAUN, M.; SUCKRO, S. K. e BLINDOW, N. 2011. Observed glacial changes on the King George Island ice cap, Antarctica, in the last decade. **Global and Planetary Change**, v. 79, n. 1-2, p. 99-109.
- SCAR. 2007. Integrated topographic database for King George Island, South Shetland Islands, with links to shapefiles. **The Scientific Committee on Antarctic Research**, doi:10.1594/PANGAEA.837976.
- SEONG, Y. B.; LIM, H. S.; YOON, H. I.; LEE, Y. I.; KIM, Y. e OWEN, L. A., 2006. 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.
- SIMÕES, J. C.; BREMER, U. F.; AQUINO, F. E. e FERRON, F. A. 1999. Morphology and variations of glacial drainage basins in King George Island icefield, Antarctica. **Annals of Glaciology**, v. 29, p. 220-224.
- SIMÕES, C. L.; ROSA, K. K.; CZAPELA, F. F.; VIEIRA, R. e SIMÕES, J. C. 2015. Collins glacier retreat process and regional climatic variations, King George island, Antarctica. **Geographical Review**, v. 105, n. 4, p. 462 - 471.
- SMITH, M. J. e CLARK, C. D. 2005. Methods for the visualization of digital elevation models for landform mapping. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 30, n. 7, p. 885-900.
- SUGDEN, D. E. e JOHN B. S. 1984. **Glaciers and Landscape: A Geomorphological Approach**. London; New York: E. Arnold, 2 ed. 376 p.
- SUGDEN, D. E. e CLAPPERTON, C. M. 1977. The maximum ice extent on island groups in the Scotia Sea, Antarctica. **Quaternary Research**, v. 7, p. 268-282.
- TURNER, J.; BINDSCHADLER, R. A.; CONVEY, P.; DI PRISCO, G.; FAHRBACH, E.; GUTT, J.; HODGSON, D. A.; MAYEWSKI, P. A. e SUMMERHAYES, C. P.(eds.). 2009. **Antarctic Climate Change and the Environment**. Cambridge, Scientific Committee on Antarctic Research, p. 1-32.
- USGS. **United States Geological Survey**. 2015. Earth Explorer. Disponível em: <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 17 de abril de 2015.
- VARELA, L. 1998. Hidrology of Matias and Potter Creeks. **The Potter Cove coastal ecosystem, Antarctica: synopsis of research performed within the frame of the Argentinean - German cooperation at the Dallmann Laboratory and Jubany Station**. p. 33-39.
- VIERA, R.; ROSSATO, M. S.; AQUINO, F. E. e SIMÕES, J. C. 2005. Feições morfológicas associadas ao ambiente de deglaciação da geleira Ecólogy, Ilha Rei George, Antártica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 6, n. 2, p. 51-64.
- YOON, H. H.; PARK, B. K.; KIM, Y. e KIM, D. 2000. Glaciomarine sedimentation and its paleoceanographic implications along the fiorde margins in the South Shetland Islands, Antarctica during the last 6000 years. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, n. 157, p. 189-211.
- ZEMP, M.; ROER, M.; KÄÄB, A.; HOELZLE, M; PAUL, F e HAEBERLI, W. 2008. **Global Glacier Changes: facts and figures**, UNEP, World Glacier Monitoring Service, Zurich, Switzerland, p. 88.