

GEOMORFOLOGIA APLICADA À RECONSTRUÇÃO E AO MONITORAMENTO DO IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM AMBIENTES GLACIAIS

Katia K. Rosa¹, Rosemary Vieira², Francisco J. F. Acuña³, Jefferson C. Simões⁴

RESUMO

Este artigo apresenta interpretações geomorfológicas de amostras coletadas na zona proglacial das geleiras Ecology e Wanda, ilha Rei George, Antártica. O estudo identifica os diferentes tipos de depósitos, construindo, assim, um mapa geomorfológico e um modelo da evolução para a deglaciação das geleiras em resposta ao aumento regional da temperatura. Os dados foram obtidos mediante coleta e análise sedimentar, fotointerpretação de fotografias aéreas e análise de imagens de satélites SPOT, tomadas em diferentes anos. Ambas geleiras têm apresentado retração glacial nas últimas décadas, resultando num ambiente geomorfológico, com a exposição de várias geoformas e depósitos. Os dados geomorfológicos mostram distintas fases de deglaciação para as geleiras com uma aceleração de sua retração. Entretanto, é possível observar diferenças entre os processos de deglaciação das duas geleiras. A geleira Ecology (1.34 km²) perdeu uma área superior a geleira Wanda (0.64 km²) nas últimas décadas. Depósitos formados na base da geleira predominam no ambiente de deglaciação. A grande proporção de sedimentos finos, rochas estriadas, pavimento de clastos, blocos *stoss and lee* e depósitos subglaciais indicam que as duas geleiras tem regime termal basal temperado (base úmida).

Palavras chaves: *interpretação geomorfológica, Antártica, variações climáticas*

ABSTRACT

This article presents of geomorphologicals interpretations of samples collected from Ecology and Wanda glacier proglacial area, King George Island, Antarctica. This study identifies different types of deposits found at the proglacial area of the glacier, thus building a geomorphological map of this area and a model for the deglaciation evolution. Field and laboratory work analyzing sediments, photointerpretation of aerial photographs and analysis of images SPOT satellite taken in different year. The glacier has experienced the retreating rate in recent decades, resulting in a geomorphological environment, with exposure of several deposits. The results show different stages of deglaciation for glaciers with an acceleration of its retraction. Nevertheless, it is possible to observe differences between the two glaciers deglaciation processes. Ecology glacier has greater loss of area (1.35 km²) than Wanda glacier (0.64 km²) in five decades. Subglacially deposits predominate at deglaciation environments. A large proportion of fine sediments, striated rocks, clast pavements, stoss and lee blocks, subglacial deposits indicate that the two glaciers have temperate basal thermal regime (wet basis).

Key Works: *geomorphological interpretation, Antarctica, climates variations*

INTRODUÇÃO

Os registros geomorfológicos encontrados nos ambientes de deglaciação são importantes para a interpretação dos processos erosivos e deposicionais glaciais e, dessa forma, podem ser úteis para reconstruir a evolução do ambiente de deglaciação, como resposta ao aquecimento climático regional ocorrido (Benn e Ballantyne, 1994; Bennett e Glasser, 1996; Lian e Hicock, 2000; Boulton *et al.*,

¹Doutoranda em Geologia Marinha - katiakellem@yahoo.com.br;

²Pós-Doutoranda CNPq - rosemary.vieira@ufrgs.com.br;

³ Depto. de Geografía – Universidad de Chile - fferrand@uchile.cl;

⁴Professor Adjunto - Centro Polar e Climático – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - jefferson.simois@ufrgs.br

2001; Glasser e Hambrey, 2002; Evans e Twigg, 2002; Adam e Knight, 2003; Etienne *et al.*, 2003; Kleman *et al.*, 2006).

A ilha Rei George, localizada na Península Antártica, teve, em sua história glacial, vários períodos de glaciação e de deglaciação a partir de sua máxima extensão registrada entre 20.000 e 18.000 anos no Pleistoceno Superior (Birkenmajer, 2002). Atualmente esta região encontra-se num período interglacial com tendência ao aquecimento, no entanto este aumento na temperatura atmosférica vem ocorrendo de forma muito rápida no último século. Ao longo do período 1956-2005 esta foi a região que apresentou um dos maiores aquecimentos da atmosfera superficial (IPCC-2007). De acordo com Monaghan, *et al.* (2008) a temperatura nesta região da península Antártica aumentou 3°C nos últimos 50 anos. Segundo o Painel Intergovernamental sobre mudanças Climáticas (IPCC, 2007), as geleiras da Península Antártica apresentaram rápida resposta ao aquecimento regional ao longo das últimas décadas, tornando estas geleiras de particular interesse para monitoramento das mudanças climáticas. Particularmente, as geleiras Wanda e Ecology (Fig. 1), localizadas na ilha Rei George, têm passado por um rápido processo de retração nas últimas décadas.

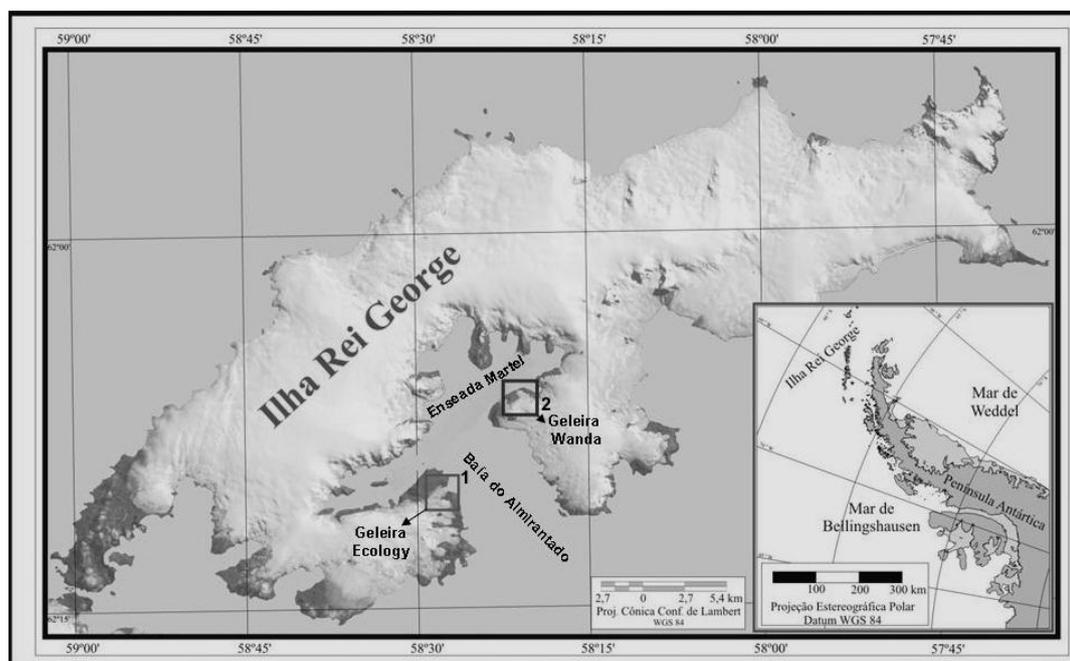


Figura 1 – Localização da geleira Ecology e da geleira Wanda.

Como resultado deste processo, tem-se formado ambientes de deglaciação recentes. Nesta ampla área proglacial é possível perceber rápidas mudanças morfológicas e têm-se a exposição vários depósitos. Estudos geomorfológicos prévios foram realizados na zona proglacial da geleira Ecology e incluem principalmente os de Birkenmajer (1981, 1991, 1997, 1999, 2002) e de Bintanja, (1992), Vieira *et al.*, (2005) e Rosa *et al.* (2007).

Este artigo apresenta resultados da aplicação de técnicas de investigação de registros geomorfológicos dos ambientes periglaciais formados pelo processo de retração das geleiras Wanda e

Ecology. Por meio da interpretação das feições geomorfológicas, e o mapeamento destas, foi realizada a reconstrução do passado de retração das geleiras e da evolução do ambiente de deglaciação nas últimas décadas. O monitoramento do reflexo das mudanças climáticas na evolução destes ambientes é extremamente relevante, pois estas alterações influenciam nos padrões climáticos na América do Sul.

MATERIAL E MÉTODOS

Os trabalhos de campo e coletas de amostras de depósitos foram realizados durante as Operações Antárticas XXVI e XXVIII, respectivamente ocorridas em dezembro de 2007 e janeiro de 2010, ao longo das áreas de deglaciação da geleira Ecology e da Wanda. Para a identificação das geoformas erosivas e deposicionais foram analisadas as características das fácies dos depósitos geometria, localização com respeito a outras formas adjacentes, estrutura sedimentar, orientação dos clastos, selecionamento e distribuição dos grãos, textura, estimativa do grau de arredondamento e esfericidade, identificação de feições superficiais dos clastos (registro de clastos estriados, com sulcos e facetados) e propriedade da matriz. A classificação textural dos sedimentos foi realizada segundo Shepard (1954) e o grau de selecionamento de acordo com Folk e Ward (1957). Na análise do grau de arredondamento foi utilizada a tabela de comparação de Krumbein (1941) e o grau de esfericidade medido através da tabela de Rittenhouse (1943). As análises das texturas superficiais foram feitas por meio da classificação de Bigarella (1946). Adicionalmente foram investigadas as condições subglaciais usando informações da forma dos sedimentos analisados pelo índice C_{40} (porcentagem de clastos com raios $c:a \leq 0,4$) (Adam e Knight, 2003; Benn e Ballantyne, 1994; Glasser e Hambrey, 2002). Este método permite distinguir os sedimentos transportados subglacialmente (apresentam índice C_{40} baixo) daqueles transportados supraglacialmente (alto índice C_{40}) na geleira (Bennet *et al.*, 1997).

As feições geomorfológicas quaternárias das áreas deglaciadas foram mapeadas mediante fotos aéreas na escala de 1:50000, fornecidas pelo SHOA/SAF (*Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile*) e imagens satelitais SPOT de diferentes anos, e verificadas em terreno com registros de pontos de controle de GPS. Assim inferiu-se posição e extensão atingida pelas geleiras em suas várias fases de recuo ao longo das últimas décadas, construindo modelos da evolução do ambiente das geleiras, em resposta ao aquecimento regional.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Interpretação geomorfológica dos ambientes de deglaciação das geleiras Ecology e Wanda

- As feições erosivas e deposicionais resultantes dos processos de deglaciação das geleiras Wanda e Ecology formam um ambiente de deglaciação diversificado composto por diferentes depósitos. A morfologia dessas áreas de deglaciação consiste em flutes, terraços de *kame*, cordões morânicos,

pavimento de clastos, rochas estriadas e *eskers* (conforme ilustrado nos diagramas geomorfológicos apresentados nas Fig. 2 e 3). Esta paisagem está susceptível a rápida mudança pós-deposicional.

Os depósitos interpretados como morainas latero-frontais (Fig. 2, 3, 4, 8 e 9) indicam posições das margens e frentes das geleiras durante os processos de retração. Eles apresentam características típicas destes depósitos, tais como baixos graus de arredondamento e esfericidade (altos índices de C_{40}), pouco selecionamento dos grãos, ausência de micro estriações e sulcos, sugerindo transporte não subglacial dos grãos. As frontais são em geral arqueadas, refletindo a forma da margem frontal da geleira em uma posição anterior (Rocha-Campos e Santos, 2000). A pequena altura (máximo 50 cm) apresentada por estes depósitos indica uma pequena espessura da frente da geleira atualmente.

Os depósitos e geofomas originados por processos subglaciais predominam nas zonas proglaciais de ambas geleiras (Fig. 2, 3, 4c).

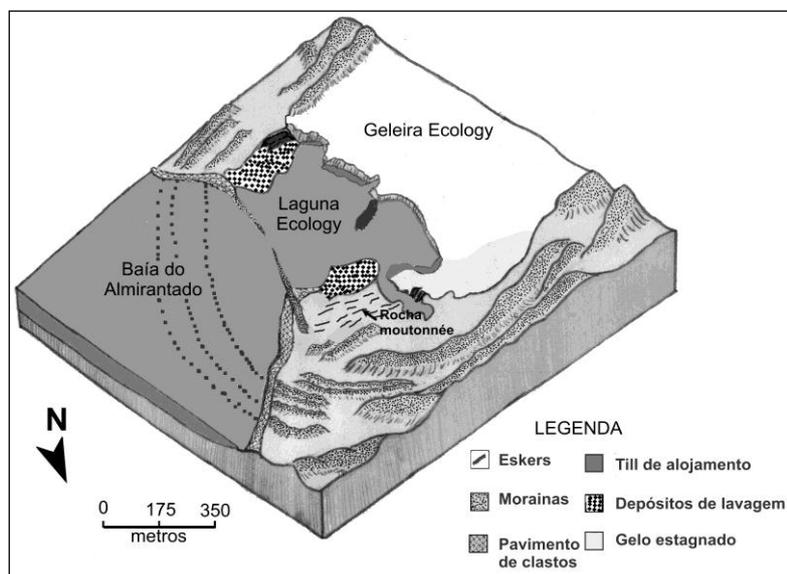


Figura 2 – Diagrama geomorfológico da área proglacial da geleira Ecology. A linha tracejada sobre a Baía do Almirantado ilustra a provável posição dos cordões morânicos de recessão submarinos.

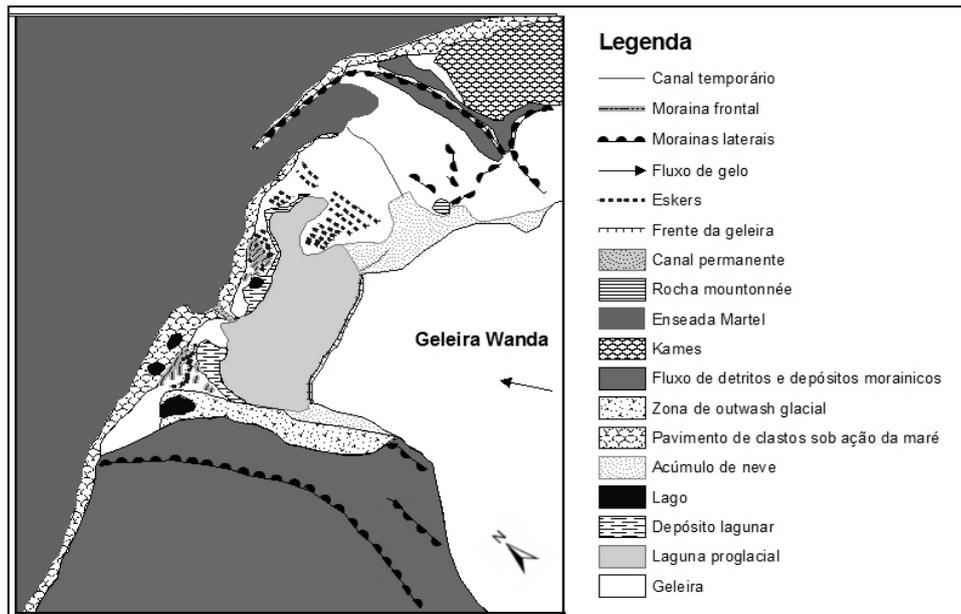


Figura 3– Modelo geomorfológico da área proglacial da geleira Wanda.



Figura 4 – (a) Cordões morânicos frontais de recessão na geleira Wanda. (b) Morainas latero-frontais (seta indica amostra 20) localizadas na área proglacial da geleira Ecology. (c) Localização do depósito subglacial na geleira Ecology correspondente a amostra 1.

As características das amostras interpretadas apontam para *tills* de alojamento. *Tills* de alojamento constituem corpos individuais pouco espessos (comumente < 3 m) e altamente compactados, com blocos rochosos *stoss and lee*, grãos com bordas arredondadas, grande parte facetados, com sulcos, forma esférica (baixo índice C_{40}), faces polidas, estriadas e com baixo índice C_{40} (Bennett e Glasser, 1996). Estriações registradas em embasamento rochoso, rochas *moutonnés* e clastos *stoss and lee* mostram orientações do fluxo de gelo de 27°NE e de 30°NE.

Os depósitos subglaciais glaciofluviais, conforme podem ser observados nas Fig. 2, 3 e 5, estão em áreas recentemente deglaciadas. Sua interpretação como *eskers* baseou-se na sua forma alongada alinhada paralelamente ao fluxo de gelo e nas características típicas apresentadas, tais como baixo índice C_{40} (mostrando a predominância de grãos esféricos), altos graus de arredondamento (baixos índices de RA), e distribuição dos grãos predominantemente de tamanho areia com mal selecionamento dos grãos. Múltiplos depósitos de *eskers* nas áreas proglaciais das geleira evidenciam a presença de canais de água de degelo basal bem desenvolvidos em um estágio de maior espessura e

extensão da geleira. Estes depósitos indicam a direção local do fluxo de gelo, a presença de gelo pouco espesso e de base úmida (Bennett e Glasser, 1996).

Os depósitos de pavimentos de clastos (Fig. 2, 3 e 5c) estão localizados nas áreas proglaciais das geleiras Wanda e Ecology, na linha de praia. Observa-se um grande selecionamento na amostra com uma elevada concentração de partículas tamanho seixo, os quais possuem superfícies semiplanas e estriadas. Pavimentos de clastos estão sujeitos à força da maré, ondas, correntes de tempestades e repetida abrasão por grunhões e pedaços de icebergs; estes processos são responsáveis pelo selecionamento dos grãos e desenvolvimento de bordas arredondadas, esfericidade e superfície polida e estriada (Eyles, 1994). Além disso, evidencia deposição subglacial por geleiras temperadas (Vieira *et al.*, 2005).

Terraços de *kame* (Fig. 3 e 9f), localizados a 23 metros de altitude numa área encharcada e lavada pela água de degelo sazonal da neve, junto ao cordão morânico oriental da geleira Wanda, são depósitos glaciofluviais. Eles são depositados por correntes de água de degelo fluindo entre margens glaciais e as paredes de vales adjacentes. Sua formação documenta a redução periódica da superfície glacial. São compostos predominantemente de areia e cascalho fluvial (Benn e Evans, 1998).



Figura 5 – *Eskers* na área proglacial da geleira Ecology (a) e da Wanda (b), (c) Depósito de pavimento de clastos localizado na costa da área proglacial da geleira Wanda.

Modelo de evolução do ambiente de deglaciação da geleira Ecology reconstruído a partir da interpretação de registros geomorfológicos - A geleira Ecology sofreu grande retração ao longo das últimas décadas (desde 1956), perdendo 1,35 km² de sua área. Esta retração, documentada pelos depósitos morânicos, ocorreu em duas fases distintas a partir do período estudado: I - 1956 a 1979 e II - 1988 a 1995 (Fig. 6), diferenciadas pela velocidade de recuo. Neste período não houve reavanços e a direção predominante do fluxo de gelo foi de 27° NE a 30°NE. A parte norte da área proglacial teve maior retração do que a sul, provavelmente devido ao seu afastamento de um ponto de apoio (*pinning-point*) enquanto era uma geleira de maré num estágio anterior. De acordo com o mapa (Fig. 2 e 6), em cada uma destas fases houve a exposição de depósitos e geofomas. Em 1956 a posição da geleira expôs pavimentos de clastos na área costeira (atribuída à exposição destes sedimentos à ação das marés) e morainas lateros-frontais. Nos anos de 1979, tem-se a exposição da moraina lateral formada no estágio anterior. Nos períodos subseqüentes têm-se a exposição das morainas latero-frontais,

depósitos subglaciais e *eskers*. Depósitos subglaciais correspondentes as amostras na Fig. 4c foram expostas na última década.

O registro geomorfológico da geleira Wanda indica que ela está em retração e perda de volume nas últimas décadas, sendo que a deglaciação ocorreu com mudanças na direção do fluxo de gelo, constituindo diferentes fases (Fig. 7). Essas mudanças locais na orientação do fluxo de gelo decorrem, provavelmente, de mudanças na topografia local e na espessura da geleira, indicada pela progressiva redução da altura dos cordões morânicos frontais. Anteriormente a década de 1950 a geleira Wanda unia-se com a geleira *Krak* a leste e com a geleira Dragão a oeste (Fig. 7), com o fluxo de gelo de direção predominante de 55° NE, identificados pelas estriações.

Na fase entre 1956 a 1979, a geleira Wanda diminuiu de espessura, evidenciado pela exposição de depósitos morânicos e subglaciais, e se separou das geleiras Dragão e *Krak* (Fig. 7). Com a separação da geleira *Krak* ocorre a formação de uma moraina lateral mais oriental (Fig. 7 e 8). Neste estágio havia apenas uma direção de fluxo de 25°NE.

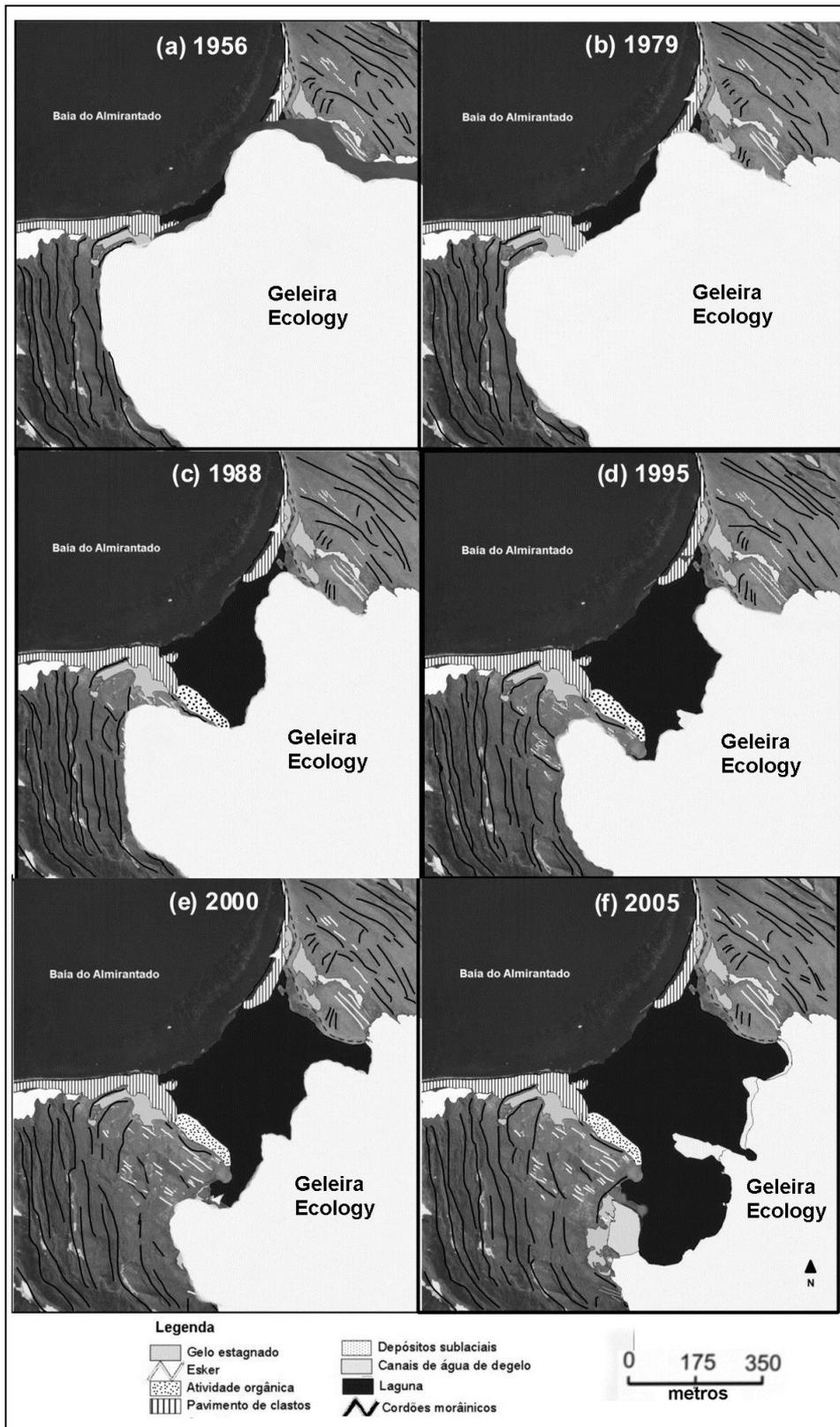


Figura 6 – Reconstrução do ambiente de deglaciação da geleira Ecology segundo fases de retração registradas pelos cordões morânicos.

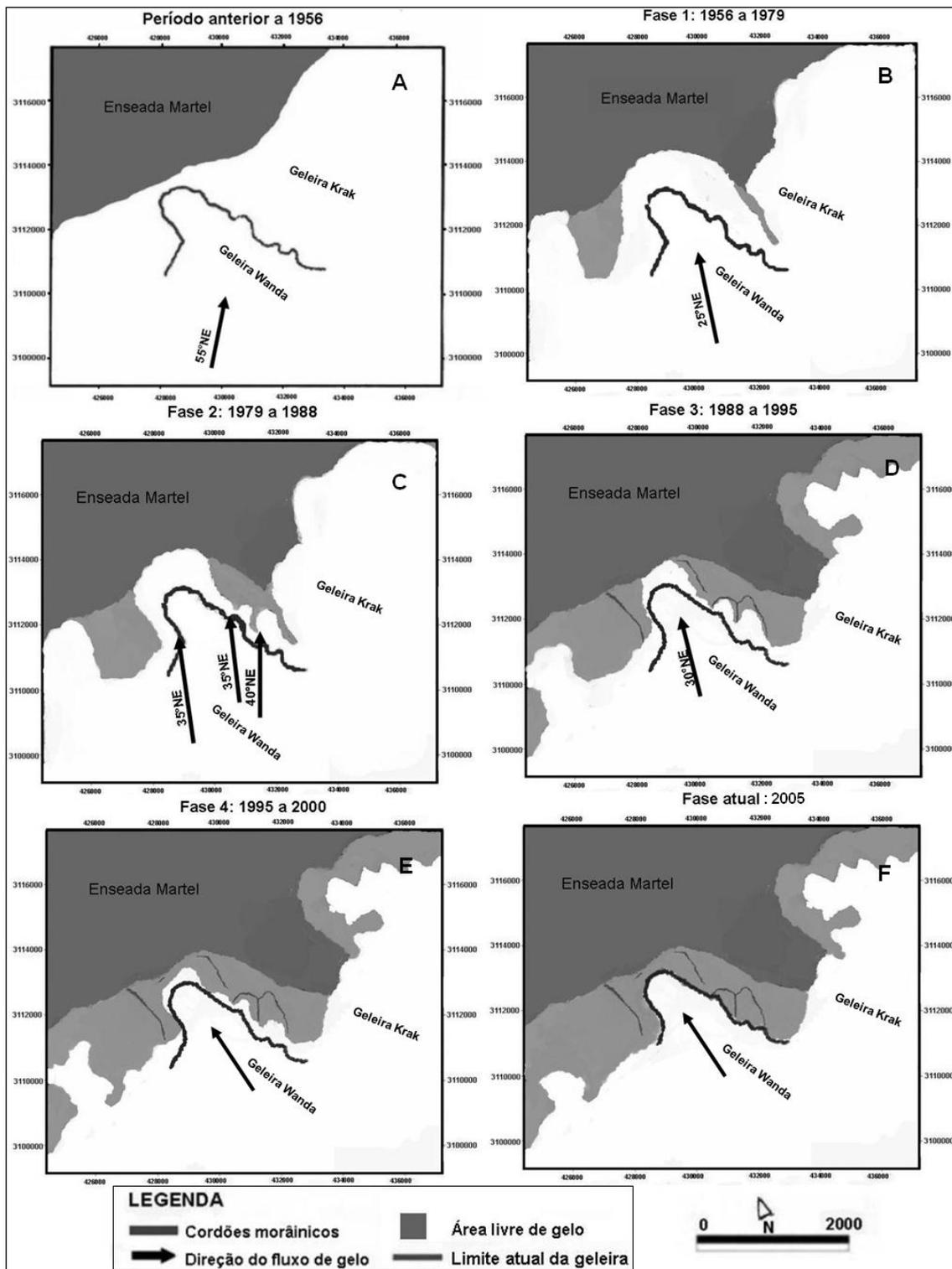


Figura 7 - Fases de evolução da deglaciação da geleira Wanda.

Na fase de recuo entre 1979 a 1988 o fluxo de gelo seguia em três direções principais (Fig. 7). Na parte mais ocidental predominava a direção 35° NE e a geleira era mais espessa. Dentro do processo de retração nesta fase, o fluxo de gelo formou as morainas laterais indicadas na Fig. 9 a-e, concomitantemente com a exposição do terraço de *kame* (Fig. 9f). A geleira sofreu diminuição do seu

volume e as elevações transformaram-se em divisores de origem glacial, mudando a orientação do fluxo de gelo com o controle da topografia local.

Na fase entre 1988 a 1995 ainda havia três direções de fluxos (Fig. 7), mas a parte mais oriental da geleira perdeu espessura e recuou. O fluxo na parte mais ocidental possuía direção 30° NE, evidenciado pela orientação das estrias no embasamento rochoso. Durante este estágio ocorreu a exposição do depósito de pavimento de clastos (Fig. 5c).

No quarto estágio (Fig. 7) a geleira Wanda tinha apenas uma direção do fluxo de gelo. Na parte oriental da geleira ocorreu retração, deixando como registro cordões morânicos (Fig. 4a). Evidenciado pela reduzida altura do cordão morânico frontal recessivo, a geleira teve uma rápida retração da sua frente de gelo e perda de espessura neste estágio. Em seguida com a sequência do recuo da geleira tem-se a exposição de *eskers* (Fig. 5 a e b), com estriações de orientação de 45° NE, na área proglacial. No estágio atual o processo de retração da frente de gelo continua, observando-se uma acelerada diminuição de sua espessura.

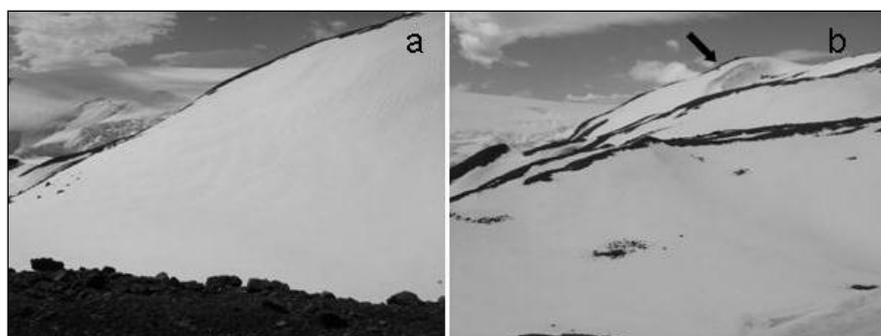


Figura 8 – Cordões morânicos (a e b) localizadas no limite mais oriental da geleira Wanda.

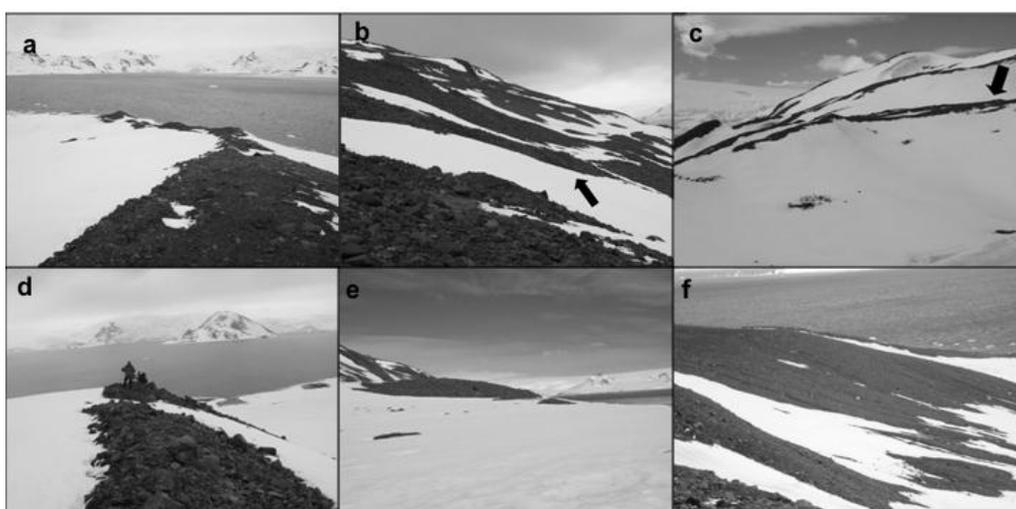


Figura 9 – (a-e) Cordões morânicos latero-frontais na geleira Wanda e (f) Terraço de kame.

CONCLUSÃO

As feições erosivas e deposicionais resultantes dos processos de deglaciação das geleiras Wanda e Ecology, conforme os mapas geomorfológicos propostos formam um ambiente de deglaciação

diversificado composto por depósitos morânicos, subglaciais e glaciofluviais. A morfologia dessas áreas de deglaciação consiste em terraços de *kame*, cordões morânicos, pavimento de clastos, rochas estriadas e *eskers*. Os depósitos subglaciais dominam os ambientes de sedimentação. Terrenos recentemente deglaciados, principalmente os depósitos morânicos sofrem processos de retrabalhamento por fluxos de água de degelo da neve sazonal, por processos eólicos e marinhos. Ambas geleiras possuem base úmida, conforme indicado pela presença de estrias, rochas *stoss and lee*, pavimento de clastos, *till* de alojamento e muitos sedimentos finos.

Por meio dos estudos da geomorfologia glacial da área de estudo foi realizada a reconstrução da evolução do ambiente de deglaciação das geleiras Wanda e Ecology ao longo das últimas cinco décadas. Ambas geleiras apresentaram um processo de rápida retração neste período, sem aparentes períodos de reavanços. No entanto, é possível observar que ocorrem diferenças nos processos de deglaciação. Na geleira Ecology ocorreu uma maior retração da geleira, com uma perda de área de 1,35 km² nas últimas cinco décadas, enquanto que a geleira Wanda observa-se uma menor retração, 0,64 km² no período estudado, mas uma grande diminuição da espessura observada pela progressiva redução na altura dos cordões morainicos frontais (máximo 1 m). Duas fases de retração da geleira Ecology são reconhecidas de acordo com as diferenças na velocidade de recuo desde a década de 1950. A geleira Wanda também passou por distintas fases de retração no período, no entanto, ocorreram mudanças na orientação principal do fluxo de gelo, concomitantemente a diminuição da sua espessura de gelo.

AGRADECIMENTOS

Ao PROANTAR (Programa Antártico Brasileiro), ao CNPq e ao CECO (Centro de Estudos Costeiros e Oceanográficos).

REFERÊNCIAS

- ADAM, W.G. & KNIGHT, P.G. Identification of basal layer debris in ice-marginal moraines, Russell Glacier, West Greenland. **Quaternary Science Reviews**, 22: 1407–1414, 2003.
- BALLANTTYNE, C.K. Paraglacial geomorphology. **Quaternary Science Reviews**, 21: 1935–2017, 2002.
- BENN, D.I. e BALLANTTYNE, C.K. Reconstructing the transport history of glaciogenic sediments—a new approach based on the covariance of clast form indices. **Sedimentary Geology**, 91(1–4): 215–227, 1994.
- BENN, D.I. & EVANS, D.J.A. **Glaciers & Glaciation**. Londres, Arnold, 1998. 734 p.
- BENNETT, M.R.; GLASSER, N.F. **Glacial Geology - Ice Sheets and Landforms**. Inglaterra: John Wiley, 1996. 364 p.
- BENNETT, M.R.; HAMBREY, M.J. & HUDDART, D. Modification of clast shape in High-Arctic environments. **Journal of Sedimentary Research**, 67 (3): 550–559, 1997.

BIGARELLA, J.J. **Contribuição ao estudo da planície litorânea do Estado do Paraná.** Arquivos Biologia Tecnologia, 1: 75–11, 1946.

BINTANJA, R. Glaciological and meteorological investigations on Ecology Glacier, King George Island, Antarctica (Summer 1990-1991). **Circumpolar Journal**, 7: 59–7, 1992.

BIRKENMAJER, K. Raise marine features and glacial history in the vicinity of H. Arctowski Station, King George Island (South Shetland Islands, Antarctica). **Quaternary Science Reviews**, 29 (2): 109–117, 1981.

BIRKENMAJER, K. Tertiary glaciation in the South Shetland Islands, West Antarctica: evaluation of data. In Thomson, M.R.A., Crame, J.A e Thomsom, J.W., (eds.). **Geological Evolution of Antarctica.** Cambridge: Cambridge University Press, 629–632, 1991.

BIRKENMAJER, K. Quaternary geology at Arctowski Station, King George Island, South Shetland Islands (West Antarctica). **Studia Geologica Polonica**, 110: 91–104, 1997.

BIRKENMAJER, K. Retreat of Ecology Glacier, Admiralty Bay, King George Island (South Shetland Islands, West Antarctica), 1956-2001. **Bulletin of Polish Academy of Sciences: Earth Sciences**, 50 (1): 5–19, 2002.

BIRKENMAJER, K., ANDRZEJ, M. Submarine glacial relief at Ezcurra Inlet, Admiralty Bay, King George Island (South Shetland Islands), West Antarctica. **Bulletin of the Polish Academy of Sciences Earth Sciences**, 47(4):193–205, 1999.

BOULTON, G.S.; DONGELMANS, P.; PUNKARI, M. & BROADGATE, M. Paleoglaciology of an ice sheet through a glacial cycle: the European ice sheet through the Weichselian. **Quaternary Science Reviews**, 20: 591–625, 2001.

ETIENNE, J.L.; GLASSER, N.F. & HAMBREY, M.J. Proglacial Sediment-Landform Associations of a Polythermal Glacier: Storglaciären, Northern Sweden. **Geografiska Annaler, Series A: Physical Geography**, 85 (2): 149–164, 2003.

EVANS, D.J.A. & TWIGG, D.R. The active temperate glacial landsystem: a model based on Breiðamerkurjökull and Fjallsjökull, Iceland. **Quaternary Science Reviews**, 21 (20–22): 2143–2177, 2002.

EYLES, C.H. Intertidal boulder pavements in the northeastern Gulf of Alaska and their geological significance. **Sedimentary Geology**, 88:161–173, 1994.

FOLK, R.L. & WARD, W.C. Petrol Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters. **Journal Sedimentology**, 3 (27): 3–26, 1957.

GLASSER, N.F. & HAMBREY, M.J. Sedimentary facies and landform genesis at a temperate outlet glacier: Soler Glacier, North Patagonian Icefield. **Sedimentology**, 49 (1): 43–64, 2002.

HUBBERD, B. e GLASSER, N. **Field Techniques in Glaciology and Glacial Geomorphology.** Inglaterra: John Wiley, 2005. 400 p.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). IPCC Fourth Assessment Report - Climate Change 2007. Cambridge, 104p.

KLEMAN, J; HÄTTESTRAND, C; STROEVEN, A.P.; JANSSON, K.J.; DE ANGELIS, H. & BORGSTROM, I. Reconstruction of paleo-ice sheets-inversion of their glacial geomorphological

record. In: Knight, P.G. (Ed). **Glacier Science and Environmental Change**. Oxford, Blackwell Publishing Ltd, 2006. 527 p.

KRUMBEIN, W.C. Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles. **Journal of Sedimentary Petrology**, 11: 64–72, 1941.

LIAN, B.L.; HICOCK, S.R. Thermal conditions beneath parts of the last Cordilleran Ice Sheet near its centre as inferred from subglacial *till* associated sediments and bedrock. **Quaternary International**, 68–71: 147–162, 2000.

MONAGHAN, A.J.; BROMWICH, D.H.; CHAPMAN, W.; COMISO, J. C. Recent variability and trends of Antarctic near-surface temperature. **Journal of Geophysical Research**, 113. doi:10.1029/2007JD009094, 2008.

RITTENHOUSE, G. A visual method of estimating two-dimensional sphericity. **Journal of Sedimentary Petrology**, 13 (2): 79–81, 1943.

ROCHA-CAMPOS, A.C.; SANTOS, P.R. Ação geológica do gelo. In: Teixeira, W.; Toledo, M.C.M.; Fairchild, T.R.; Taioli, F. (Organiz.). **Decifrando a Terra**. São Paulo, 2000, 568p.

ROSA, K.K.; VIEIRA, R. e SIMÕES, J.C. Dinâmica glacial e características sedimentares resultantes na zona proglacial da geleira Ecology - baía do Almirantado, ilha Rei George, Antártica. São Paulo: **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 51–60, 2007.

SHEPARD, F.P. Petrol Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. **Journal of Sedimentary Research**, 24(3): 151–158, 1954.

VIEIRA, R., ROSSATO, M.S., AQUINO, F.E. & SIMÕES, J.C. Feições morfológicas associadas ao ambiente de deglaciação da geleira Ecology, ilha Rei George, Antártica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 6 (2): 51–60, 2005.