

## Feições sedimentológicas e geomorfológicas do ambiente de deglaciação das geleiras Wanda e Ecology, ilha Rei George, Antártica

Kátia Kellem da ROSA<sup>1</sup>, Rosemary VIEIRA<sup>1</sup>, Francisco José FERRANDO<sup>2</sup> & Jefferson Cardia SIMÕES<sup>1</sup>

1. Centro Polar e Climático, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9500 - CEP 91501-970, Porto Alegre, RS Brasil.

E-mail: katiakellem@yahoo.com.br; rosemary.vieira@ufrgs.com.br; jefferson.simoes@ufrgs.br

2. Departamento de Geografía, Universidad de Chile. Av. Libertador Bernardo O'Higgins 1058, Santiago de Chile, Chile.

E-mail: fferrand@uchile.cl.

Recebido em 06/2009. Aceito para publicação em 12/2009.

Versão online publicada em 16/08/2010 ([www.pesquisasemgeociencias.ufrgs.br](http://www.pesquisasemgeociencias.ufrgs.br))

**Resumo** - Um estudo comparativo da evolução dos ambientes de deglaciação foi realizado nas geleiras Wanda e Ecology, ilha Rei George, Antártica para a análise dos processos erosivos e deposicionais subglaciais destes ambientes. Os dados para a reconstrução da deglaciação resultam da interpretação geomorfológica e de fotogramas aéreos, juntamente com análise de imagens de satélite SPOT tomadas em diversos anos. Os processos subglaciais foram investigados por meio de análises granulométricas e morfoscópicas dos sedimentos coletados durante a estação de verão e co-variância entre os índices RA (porcentagem de clastos angulosos) e  $C_{40}$  (porcentagem de clastos com razões  $c:a \leq 0,4$ ). Desde 1956 essas geleiras estão recuando rapidamente, sem períodos de reavanço. No entanto, é possível observar diferenças no processo de deglaciação entre elas; na geleira Ecology ocorreu maior perda de área ( $1,35 \text{ km}^2$ ) do que na geleira Wanda ( $0,64 \text{ km}^2$ ) em cinco décadas. A retração da geleira Ecology, nesse período, foi maior na parte norte da zona proglacial; já ao sul observam-se morainas frontais não muito elevadas, o que indica pouco tempo de estabilização da frente de gelo. Durante as distintas fases de recuo da geleira Wanda ocorreram mudanças na orientação principal do fluxo de gelo, concomitante com a diminuição da sua espessura. Como resultado destas retrações, tem-se a exposição de várias geoformas e depósitos proglaciais, tais como *flutes*, terraços de *kame*, cordões morânicos, pavimentos de clastos, rochas estriadas e *eskers*. Nos dois ambientes sedimentares estudados predominam sedimentos desgastados e transportados subglacialmente, com a presença de água de degelo. O grande volume de sedimentos de grãos finos, rochas estriadas, pavimentos de clastos, blocos *stoss in lee* e depósitos subglaciais indica que as duas geleiras têm regime termal basal temperado.

**Palavras-chave:** Antártica, Ilha Rei George, sedimentação glacial, sensoriamento remoto.

**Abstract** - SEDIMENTOLOGICAL AND GEOMORFOLOGICAL FEATURES OF THE WANDA AND ECOLOGY GLACIERS DEGLACIATION ENVIRONMENT, KING GEORGE ISLAND, ANTARCTICA. A comparative study of changes at deglaciation environments was carried out at Wanda and Ecology glaciers, King George Island, Antarctica, by examining erosion and depositional processes. Data for the reconstruction of deglaciation were based on geomorphological and aerial photograph interpretations, as well as on analysis of multi-year spot satellite images. Subglacial processes were investigated by means of morphoscopic and granulometric analyses of sediments collected during the summer season, and co-variance between Ra (percentage of angular clasts) and  $C_{40}$  (percentage of clast radio  $c/a \leq 0.4$ ) indexes. These glaciers have been retreating rapidly since 1956, with no periods of expansion. However, it is possible to observe differences in both glaciers deglaciation processes. The Ecology glacier has lost  $1.35 \text{ km}^2$ , whereas the Wanda glacier only  $0.64 \text{ km}^2$  in five decades. The retreat of the Ecology glacier has been greater at the northern part of the proglacial zone; a low frontal moraine at the southern part indicates a recent glacier ice front stabilization. In the Wanda glacier, ice flow orientation has changed during different retreat phases, together with

with ice thickness decrease. The exposure of several landforms and proglacial deposits, such as flutes, kame terraces, morainic ridges, clast pavements, striated rocks and eskers all result from retraction. Abraded and subglacially transported sediments predominate at the deglaciation environment with meltwater. A large proportion of fine-grained sediments, striated rock surfaces, clast pavements, stoss and lee blocks, indicate that the two glaciers are wet based, having a temperate basal thermal regime.

**Keywords:** Antarctica, King George Island, glacial sedimentation, remote sensing.

---

## 1. Introdução

A região da Península Antártica apresentou um aquecimento regional entre 2,5 e 3,0° C nos últimos 55 anos, mais intenso quando comparado a outras regiões do planeta (IPCC, 2007, Monaghan *et al.*, 2008). Segundo Turner *et al.* (2005), ocorreu aumento da temperatura atmosférica de até +0,56° C por década no setor oeste da Península. 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. Esse aquecimento foi acompanhado de retração das frentes de gelo, desprendimentos frequentes de icebergs, mudanças no padrão de precipitação e redução do gelo marinho sazonal (Arigony-Neto *et al.*, 2006). O derretimento da neve e do gelo contribui para variações climáticas e elevação do nível médio dos mares. Dessa forma, a reconstrução da evolução do ambiente de deglaciação permite monitorar o recuo das geleiras que respondem às variações climáticas regionais.

As massas de gelo das ilhas Shetlands do Sul retraíram aceleradamente nas últimas décadas, processo esse provavelmente associado ao aquecimento atmosférico regional (Birkenmajer, 2002). Desde a década de 1950, ocorreu aceleração da retração em algumas geleiras de maré na Baía do Almirantado, como a Ecology, e também nas geleiras com suas terminações em terra, como a Wanda (Birkenmajer, 2002). Por serem geleiras de base terrestre, deixam exposta uma ampla área proglacial e exibem processos, geoformas e depósitos, tais como *eskers*, *flutes*, cordões morânicos, rochas *moutonnées*, pavimento de clastos e rochas estriadas (Rosa *et al.*, 2008).

Características sedimentológicas e geomorfológicas glaciais podem ser usadas para interpretar os processos subglaciais, inferir as condições termo-basais, a dinâmica de avanço e recuo da geleira e, assim, reconstruir a evolução

do ambiente de deglaciação (Benn & Ballantyne, 1994; Bennett & Glasser, 1996; Lian & Hicock, 2000; Boulton *et al.*, 2001; Glasser & Hambrey, 2002; Adam e Knight, 2003; Kleman *et al.*, 2006). Mais especificamente, para a área geográfica deste trabalho, na ilha Rei George, Antártica, há estudos associados à sedimentologia glacial, tais como os de Gruber (1989), sobre a sedimentação glaciomarinha na baía do Almirantado; de Aquino (1999), que investiga os processos e controles da sedimentação moderna associada à geleira Lange; Birkenmajer (2002) sobre a retração da geleira Ecology e sua área proglacial e, finalmente, Vieira *et al.* (2005), Rosa (2006), Rosa *et al.* (2006) e Rosa *et al.* (2008) que realizam a interpretação sedimentológica e geomorfológica do ambiente de deglaciação das geleiras Ecology e Wanda.

Este estudo busca comparar a evolução dos ambientes de deglaciação das geleiras Ecology e Wanda, examinando os processos erosivos e deposicionais subglaciais deixados nos ambientes de deglaciação dessas geleiras, que exibem geoformas deglaciais marcantes.

## 2. Área de Estudo

As geleiras Wanda e Ecology (Fig. 1) estão localizadas na costa ocidental e oriental, respectivamente, da baía do Almirantado (ilha Rei George, Antártica). A geleira Ecology, com uma área de 5,55 km<sup>2</sup> (Fig. 2) é alimentada pelo campo de gelo Warszawa e flui para a baía do Almirantado (Arigony-Neto, 2001). A parte frontal da geleira, com aproximadamente 700 m de largura, termina em uma parede de gelo de 20 m de altura e que desprende sobre a laguna Ecology, a qual se comunica com a baía do Almirantado. Na área de ablação há muitas fendas e água de degelo. Há poucos detritos sobre a superfície, com exceção da zona de gelo estagnado, situada no flanco norte da geleira (Vieira *et al.*, 2005). A geleira Wanda pertence ao campo de gelo Kraków e possui 1,63 km<sup>2</sup> de área

(Arigony-Neto, 2001). Sua frente de gelo é estreita (no máximo 1 a 2 m) e comunica-se com a baía do Almirantado através de uma laguna proglacial (Fig. 3 e 4B).

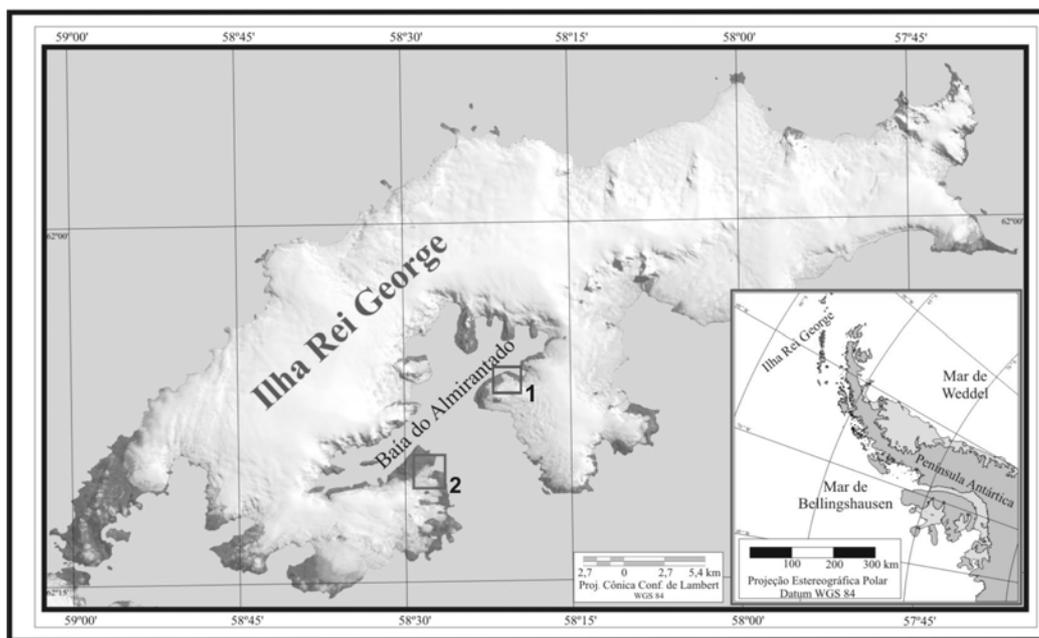


Figura 1. Localização das geleiras Wanda (1) e Ecology (2). As áreas indicadas são ampliadas nas figuras 2 e 3, respectivamente. No detalhe, localização da Ilha Rei George na Península Antártica.

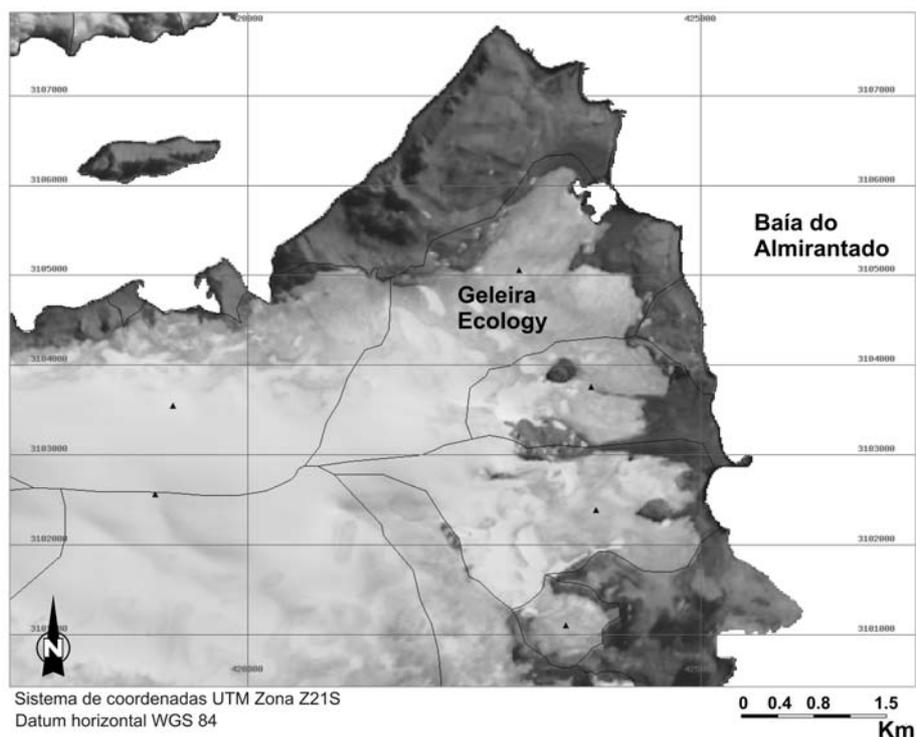


Figura 2. Localização da geleira Ecology em imagem de satélite SPOT de 23 de fevereiro de 2000.

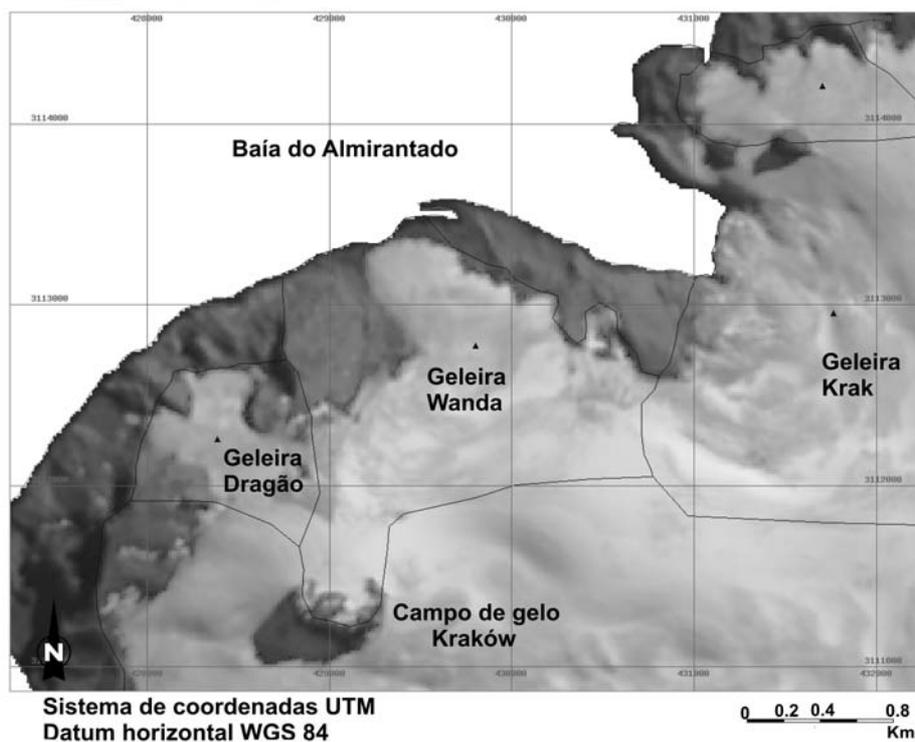


Figura 3. Localização da geleira Wanda em imagem de satélite SPOT de 23 de fevereiro de 2000.

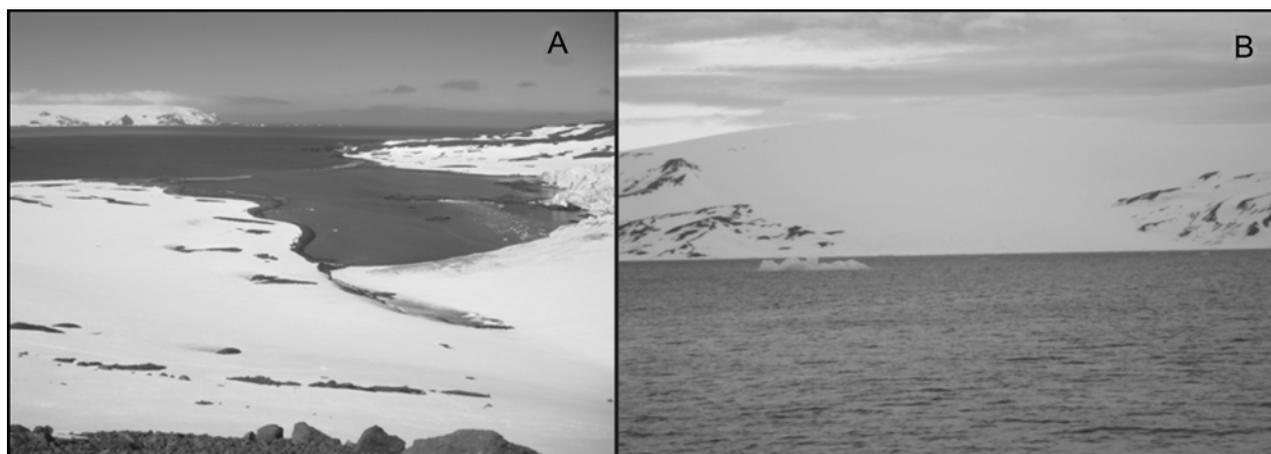


Figura 4. Frente da geleira Ecology e laguna proglacial (A) e geleira Wanda (B).

### 3. Materiais e Métodos

Os trabalhos de campo foram realizados durante a Operação Antártica Brasileira (OPERANTAR XXVI), no verão de 2007/2008, ao longo das áreas de deglaciação das geleiras Ecology e Wanda (Fig. 4). Foram coletadas amostras de sedimentos em diversos pontos selecionados, abrangendo diferentes microambientes e feições geomórficas.

No laboratório de sedimentologia do CECO (Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceâni-

ca - UFRGS) os sedimentos foram analisados para determinar distribuição granulométrica e características morfoscópicas. A classificação textural dos sedimentos foi realizada segundo Shepard (1954) e o grau de selecionamento foi calculado de acordo com Folk & Ward (1957). Na análise do grau de arredondamento foi utilizada a tabela de comparação de Krumbein (1941), e o grau de esfericidade foi medido usando a tabela de Rittenhouse (1943). As análises das texturas superficiais foram feitas por meio da classificação de Bigarella (1946).

Informações das condições subglaciais foram determinadas pelas informações da forma e arredondamento de sedimentos, usando a covariância entre o índice RA (porcentagem de clastos angulosos) e o índice  $C_{40}$  (porcentagem de clastos com raios  $c:a \leq 0,4$ ) na forma de gráficos de dispersão (Benn & Ballantyne, 1994; Glasser & Hambrey, 2002; Adam & Knight, 2003). Este método permite distinguir os sedimentos transportados ativamente daqueles transportados passivamente na geleira, além de quantificar estes sedimentos (Bennet *et al.*, 1997). Este método é útil para discriminar ambientes glaciais (Benn & Ballantyne, 1994). Os dados de orientação das estrias medidas em embasamentos rochosos foram representados em diagramas de roseta, no programa Roseta 2.0 (Hubbard & Glasser, 2005).

Com fotogramas aéreos na escala 1:50.000 fornecidos pelo SHOA/SAF (*Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de La Armada de Chile/ Servicio Aéreo Fotogramétrico*), e imagens multiespectrais de satélites SPOT dos anos 1988 a 1995 com resolução espacial de 20 m e modo multiespectral, além do reconhecimento das posições das morainas de recessão nos fotogramas aéreos e em campo, inferiu-se a extensão e posição atingida pela geleira em suas várias fases de recuo, e se construiu um modelo de evolução de sua deglaciação.

#### 4. Resultados e discussão

A geleira Ecology, atualmente com base terrestre, foi uma geleira de maré (*tidewater glacier*) até a década de 1950, o que é corroborado pela presença de um arco morânico submarino (Vieira *et al.*, 2006). Essa classe de geleira pode retroceder rapidamente, quando não consegue manter sua posição frontal, uma vez deslocada de um ponto de apoio ou de alguma constrição topográfica (Meier & Post, 1987; Powell, 1991).

Na parte frontal da geleira Wanda pode-se identificar algumas características importantes: (a) alterações próximas na parte frontal da geleira, tais como diminuição da espessura até o ponto de flutuação; (b) a diminuição da espessura na parte frontal elevou a pendente da parte

interior da geleira, como pode ser observado na figura 5. Tais mudanças geomorfológicas são observadas em algumas geleiras de descarga na Groenlândia (Moon & Jouguin, 2008), as quais podem produzir uma retroalimentação positiva, desestabilizando assim o gelo na parte frontal. Relacionado a esses processos está a sua diminuição de espessura, além da variabilidade interanual do gelo marinho, que pode expor mais facilmente a parte frontal da geleira à ação das ondas, exercendo forte influência sobre os processos de desprendimento (*calving*) e de diminuição de espessura.



Figura 5. Pendente interna da geleira Wanda (Fotografia de Luiz Felipe Velho, 2007).

As duas geleiras apresentaram um processo de rápida retração nas últimas décadas (desde 1956), sem qualquer reavanço aparente. São geleiras de descarga, que possuem suas terminações atuais em terra. No entanto, é possível observar que ocorrem diferenças nos processos de deglaciação. Na geleira Ecology (Fig. 6A-F), conforme mensurações com dados de imagens de satélites SPOT, ocorreu uma maior retração, uma perda de 1,35 km<sup>2</sup> nas últimas cinco décadas, enquanto na geleira Wanda (Fig. 7A-F) observa-se uma menor retração, 0,64 km<sup>2</sup> desde 1956 (Arigony-Neto, 2006), mas uma grande diminuição da espessura, observada pela progressiva redução na altura dos cordões morânicos frontais (máximo 1 m) comparativamente com as altas morainas laterais localizadas no limite com a geleira Kraków.

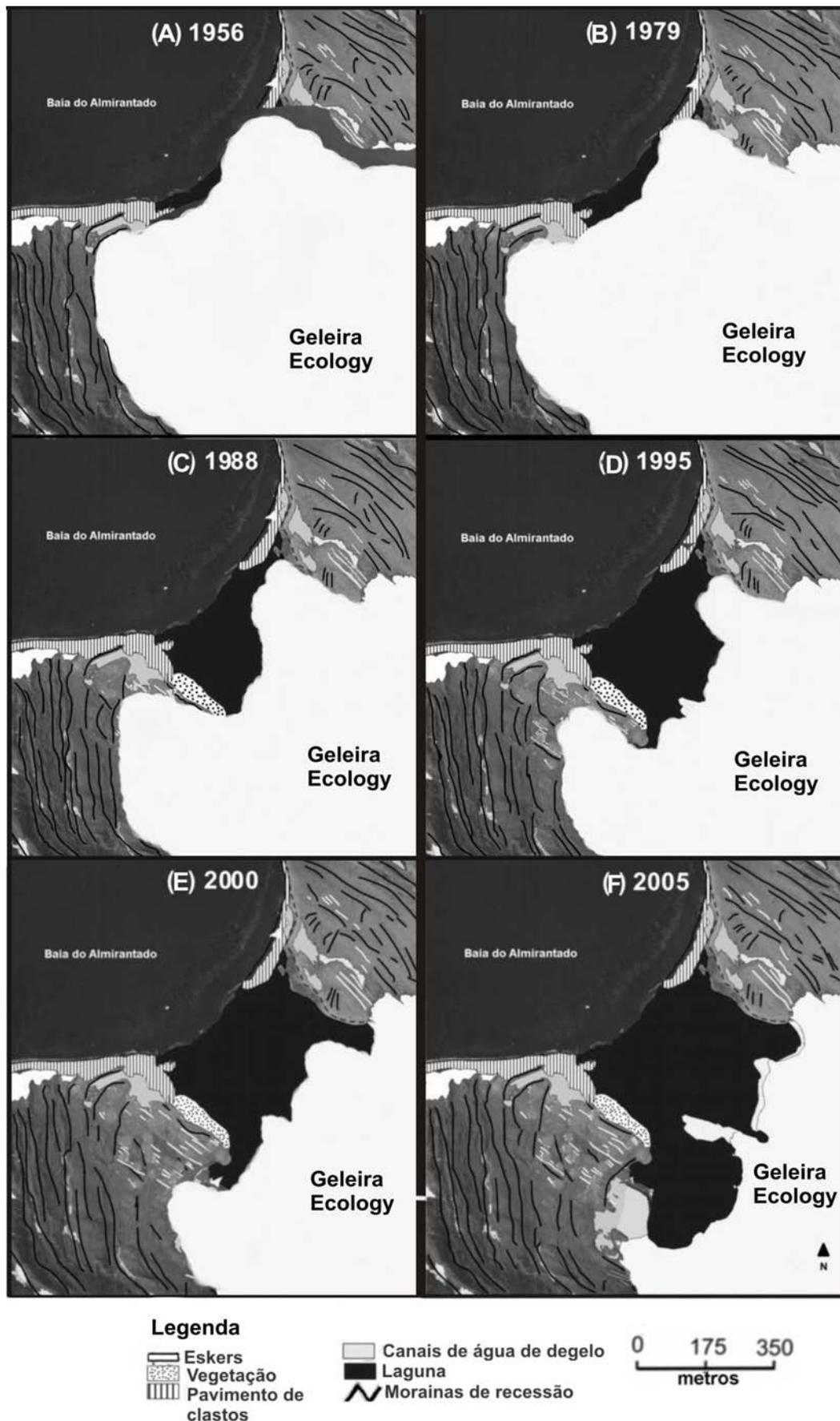


Figura 6. Reconstrução da evolução do ambiente de deglaciação da geleira Ecology.

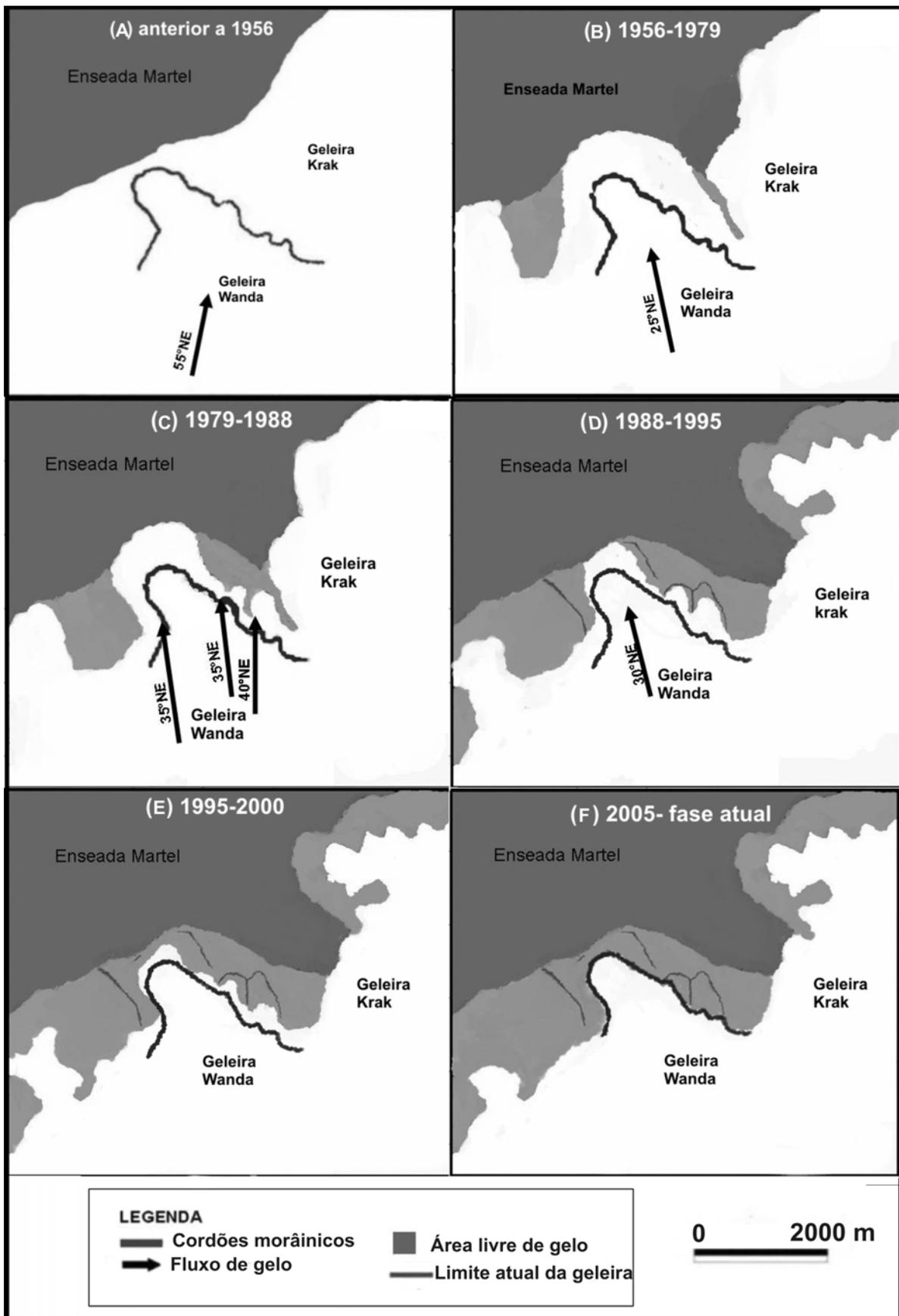


Figura 7. Fases de evolução da deglaciação da geleira Wanda.

O modelo para a área de deglaciação da geleira Ecology (Fig. 6) mostra que a retração ocorreu na parte norte da zona proglacial. Já na parte sul, observa-se a presença de morainas frontais não muito elevadas, indicando pouco tempo de estabilização da sua frente de gelo. Geoformas glaciofluviais e vertentes cobertas por detritos já são encontradas distribuídas ao longo da área de deglaciação, indicando que os processos que controlam a paisagem não estão diretamente relacionados à presença ou não da geleira, mas também à existência e à extensão de processos subglaciais e de água de fusão. Em cada fase de retração há registro sedimentar, tais como morainas frontais e laterais, depósitos subglaciais e estriações observadas em blocos rochosos que indicam mudanças no sentido do fluxo de gelo.

A geleira Wanda (Fig. 7) também passou por distintas fases de retração no período, mas apresenta (ou mostra) mudanças na orientação principal do fluxo de gelo. Cada fase foi acompanhada pela formação de novos depósitos e geoformas. Desde a década de 1970, ocorre a aceleração de seu recuo, concomitantemente à diminuição da sua espessura de gelo.

Quanto às características sedimentares, a alta proporção de grãos finos (<2 mm) nas amostras indica forte abrasão na base das geleiras durante o transporte, sugere presença de água de degelo subglacial e evidencia regime

termal basal úmido. A água subglacial é produzida na base de uma geleira no ponto de fusão sob pressão pelo calor derivado da fricção de deslizamento basal e pelo calor do fluxo geotermal (Boulton, 1974, Benn & Evans, 1998). A água de degelo também pode derivar do derretimento supraglacial, o qual atinge a base através de fendas e *moulins* (Hambrey, 1994). Geleiras de base úmida movimentam-se por deslizamento basal decorrente da fusão e do recongelamento sob pressão, e carregam alta quantidade de detritos rochosos basais (Hambrey, 1994). Processos como abrasão, transporte pela água de degelo e arrancamento glacial são mais efetivos sob geleiras de base úmida, onde a água de degelo é produzida em grande quantidade (Bennett & Glasser, 1996, Benn & Evans, 1998).

As duas geleiras possuem base úmida, conforme indicado pela presença de estrias, rochas *stoss and lee*, pavimento de clastos, *till* de alojamento e grande quantidade de sedimentos finos.

De acordo com os valores do índice RA (Fig. 8A e B), que mede a porcentagem de clastos angulosos e muito angulosos numa amostra e identifica a proporção de clastos com bordas arredondadas durante o transporte, conclui-se que a maioria das amostras da geleira Wanda apresenta grãos menos arredondados que as da geleira Ecology.

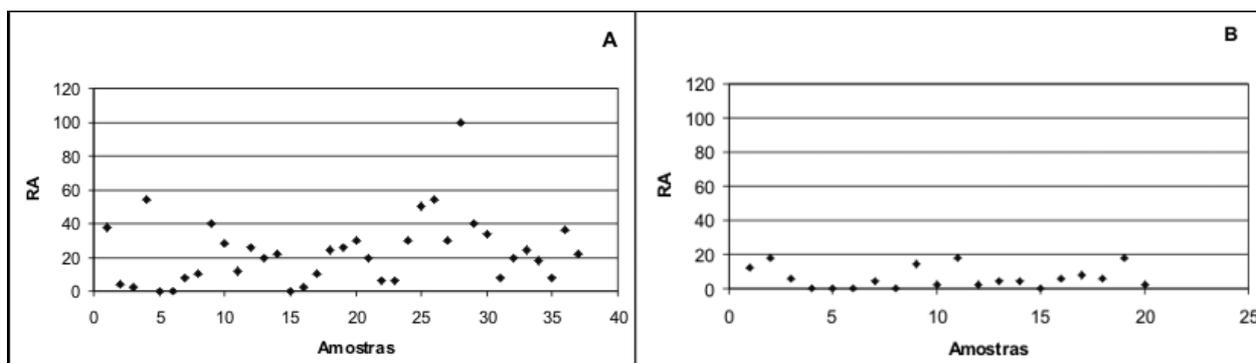


Figura 8. Índice RA (porcentagem dos clastos angulosos e muito angulosos) das amostras das geleiras Wanda (A) e Ecology (B).

Observa-se, portanto, que os sedimentos das amostras da geleira Ecology foram mais modificados. Esses resultados refletem as diferenças entre os ambientes de deglaciação das duas geleiras; a geleira Wanda encontra-se num terreno mais íngreme e com distância menor de transporte dos sedimentos até sua deposição. Possui também uma área deglaciada menos extensa do que a da geleira Ecology, o que implica

menor modificação pós-deposicional dos grãos. Além disso, pode-se afirmar que o processo de retração frontal foi mais acelerado na geleira Ecology do que na geleira Wanda, a qual teve retração de sua extensão relativamente mais lenta. No entanto, esta última diminuiu mais em espessura, tendo sofrido adelgaçamento de sua massa de gelo.

De acordo com os gráficos dos índices  $C_{40}$  (Fig. 9A e B), a maioria das amostras possui índices menores que 40, indicando a maior modificação do grão durante o transporte, tipicamente ativo. As amostras que contêm grãos

com altos índices  $C_{40}$  caracterizam transporte passivo, com pouco desgaste. Misturas de detritos transportados ativa e passivamente são aquelas amostras com índices  $C_{40}$  intermediários.

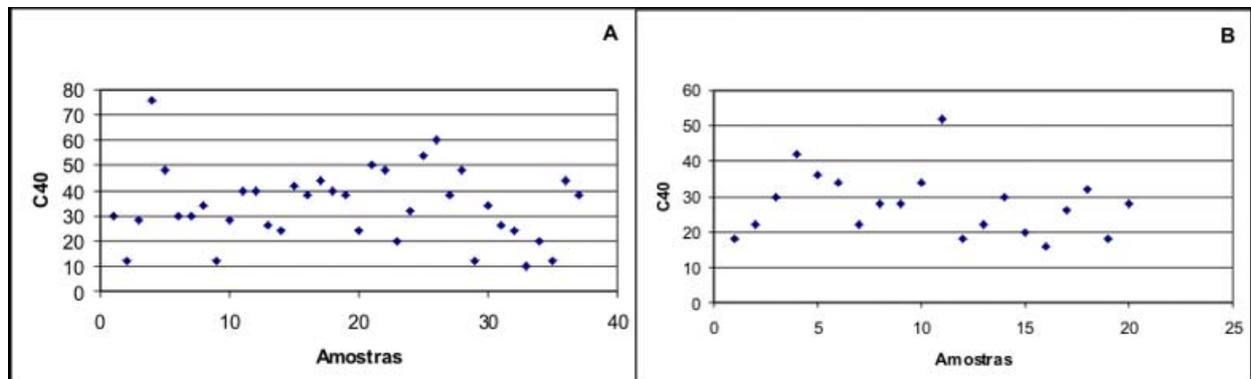


Figura 9. Índice  $C_{40}$  (porcentagem de clastos com raios  $c:a \leq 0,4$ ) das amostras das geleiras Wanda (A) e Ecology (B).

As amostras com menor co-variância entre RA e  $C_{40}$  (Fig. 10A e B) são aquelas com maior arredondamento e maior esfericidade, e são características de sedimentos transportados subglacialmente, representadas no gráfico. Dessa forma, verifica-se a predominância de sedimentos com características subglaciais nas duas geleiras, pois o decréscimo dos índices de co-variância indica modificação durante o transporte ativo. Altos graus de co-variância entre RA e  $C_{40}$  são indicativos de sedimentos de origem supraglacial, característicos de depósitos de morainas laterais e frontais. A geleira Wanda apresenta grãos mais facetados, fraturados e angulosos. Já a geleira Ecology possui, na maioria dos grãos, estrias e

sulcos menos acentuados indicando maior tempo de retrabalhamento pós-deposicional.

As feições erosivas e deposicionais resultantes dos processos de deglaciação das geleiras Wanda (Fig. 11) e Ecology (Fig. 6) compõem um ambiente de deglaciação diversificado, com depósitos morânicos, subglaciais e glaciofluviais. A morfologia dessas áreas de deglaciação, observada em campo e mapeada por fotografias aéreas, consiste em *flutes*, terraços de *kame*, cordões morânicos, pavimento de clastos, rochas estriadas e *eskers*. Os depósitos subglaciais dominam os ambientes de sedimentação. O recuo das geleiras expôs uma paisagem susceptível à rápida mudança pós-deposicional.

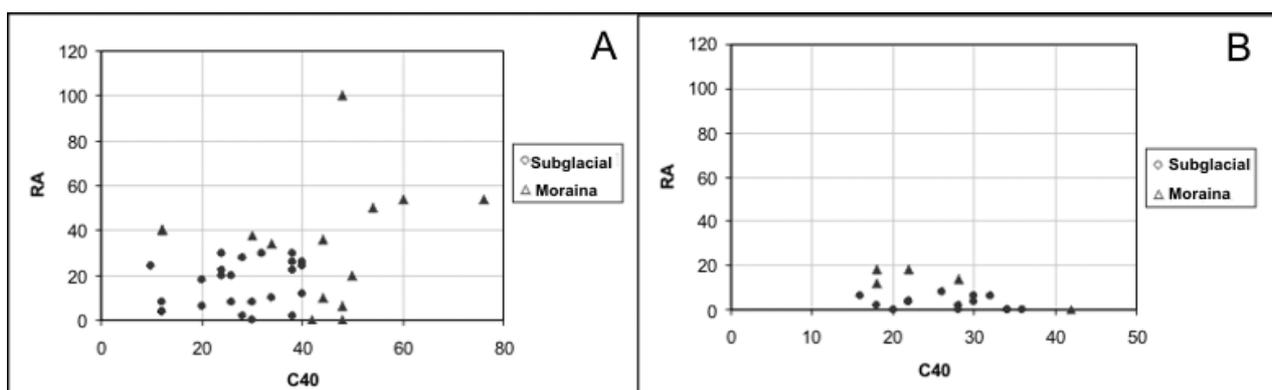


Figura 10. Índice de co-variância entre RA e  $C_{40}$  das geleiras Wanda (A) e Ecology (B).

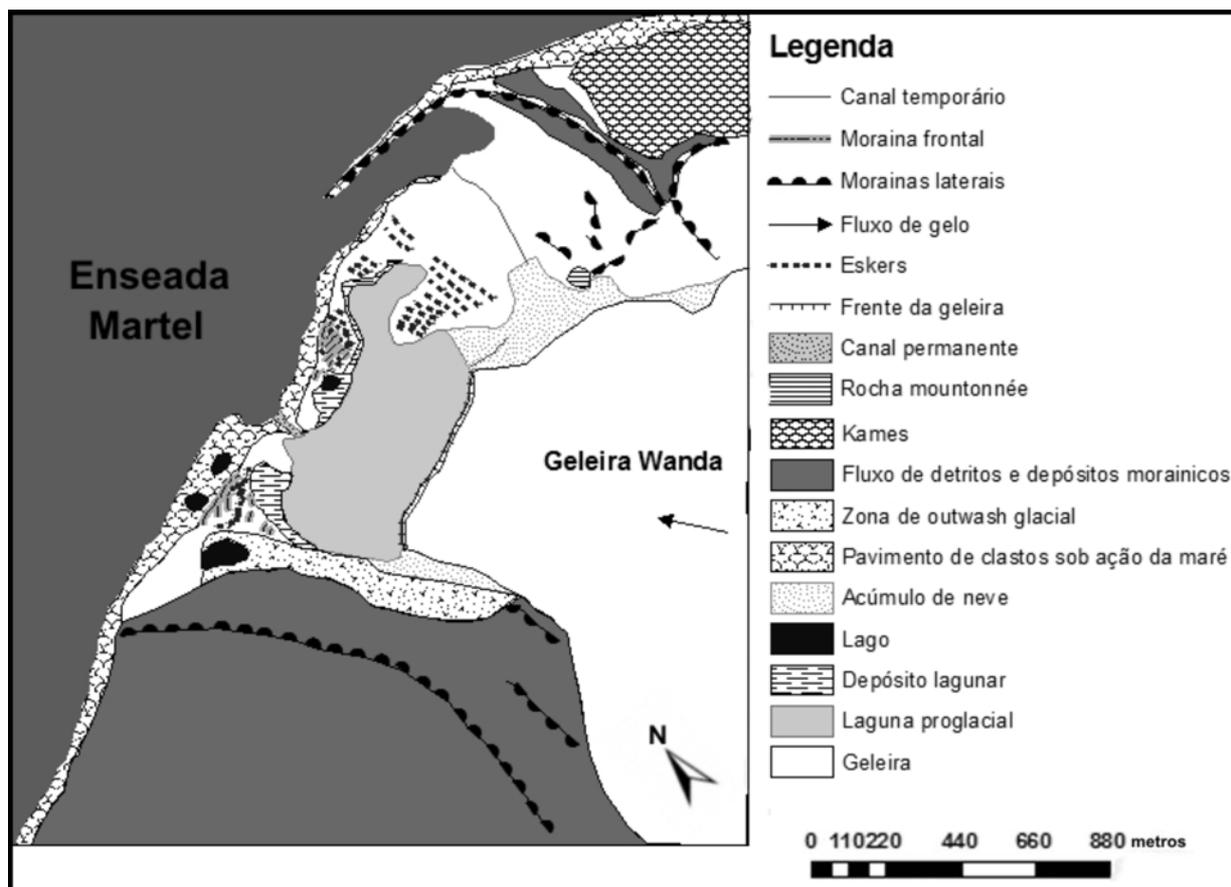


Figura 11. Modelo geomorfológico da área proglacial da geleira Wanda.

A geleira Ecology possui muitas fendas e cobertura de detritos em sua área frontal. Na geleira Wanda, observa-se grande quantidade de poças na área proglacial entre os depósitos morânicos e *flutes* derivados de fluxos glaciofluviais. Por outro lado, sua cobertura de detritos e fendas são limitadas. Os depósitos de *flutes* ocorrem em áreas próximas à margem da geleira Wanda, na área proglacial. Nesses depósitos são encontradas feições *stoss and lee*, rochas estriadas, clastos com maior grau de arredondamento e retrabalhamento pela ação da água de degelo.

## 5. Conclusões

Por meio dos estudos de geomorfologia glacial da área de trabalho foi realizada a reconstrução da evolução do ambiente de deglaciação das geleiras Wanda e Ecology ao longo das últimas cinco décadas. Ambas as geleiras apresentaram um processo de rápida retração neste período, sem aparentes períodos de reavanço. No entanto, é possível observar que

ocorrem diferenças nos processos de deglaciação. Na geleira Ecology ocorreu uma maior retração da geleira nas últimas cinco décadas, enquanto na geleira Wanda observa-se uma menor retração no período estudado, mas uma grande diminuição da espessura observada pela progressiva redução na altura dos cordões morânicos 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 à diminuição da sua espessura de gelo. Dados geomorfológicos e sedimentológicos indicam que os sedimentos sofreram transporte ativo, passivo e mistura entre os dois tipos. Nos dois ambientes de deglaciação estudados predominam sedimentos desgastados e transportados subglacialmente, com a presença de água de degelo. Comparativamente, os dados morfoscópicos demonstram que os grãos das amostras da geleira Ecology são mais arredondados e mais bem selecionados. Na geleira Wanda predomina material mais lamoso e

mal selecionado, indicando menor distância de transporte, menos água de degelo basal e pouca modificação pós-deposicional, devido à exposição recente dos depósitos.

Os resultados refletem as diferenças dos ambientes de deglaciação das duas geleiras; basicamente, a geleira Wanda possui menor extensão deglaciada e encontra-se num terreno mais íngreme e, por consequência, resulta em menor modificação pós-deposicional dos grãos transportados e depositados glacialmente.

A abundante quantidade de sedimentos finos nos depósitos das duas geleiras evidencia a presença de água de degelo no contato gelo-embasamento. Essa característica é típica de geleira com regime termo basal úmido. Quanto maior o volume de água subglacial, maior será o desgaste dos materiais grossos, reduzindo o tamanho e aumentando a proporção de sedimentos finos. Adicionalmente, o maior volume de sedimentos em contato com a base da geleira, por sua vez, proporcionará mais quebra e abrasão dos grãos. Através da interpretação de registros geomorfológicos glaciais é possível monitorar o reflexo das mudanças climáticas na evolução dos ambientes glaciais na península Antártica.

**Agradecimentos** - O presente trabalho foi financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

## Referências

- Adam, W.G. & Knight, P.G. 2003. Identification of basal layer debris in ice-marginal moraines, Russell Glacier, West Greenland. *Quaternary Science Reviews*, 22: 1407-1414.
- Aquino, F.E. 1999. Sedimentação moderna associada à geleira de maré Lange, ilha Rei George, Antártica. Porto Alegre, 106 p. Dissertação de mestrado, Instituto do Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Arigony-Neto, J. 2001. *Determinação e interpretação de características glaciológicas e geográficas com sistema de informações geográficas na Área Antártica Especialmente Gerenciada baía do Almirantado, ilha Rei George, Antártica*. Porto Alegre, 84 p. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto do Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Arigony-Neto, J., Saurer, H., Jana, R.; Rau, F., Simões, J.C. & Gossmann, H. 2006. Monitoring snow parameters on the Antarctic Peninsula using satellite data: A new methodological approach. *EARSeL e Proceedings*, Paris, 5(1): 100-110.
- Benn D.I. & Ballantyne C.K. 1994. 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.
- Benn, D.I. & Evans, D.J.A. 1998. *Glaciers & Glaciation*. Londres, Arnold, 734 p.
- Bennett M.R. & Glasser, N.F. 1996. *Glacial Geology - Ice Sheets and Landforms*. Inglaterra, John Wiley, 364 p.
- Bennett, M.R., Hambrey, M.J. & Huddart, D. 1997. Modification of clast shape in High-Arctic environments. *Journal of Sedimentary Research*, 67 (3): 550-559.
- Bigarella, J.J. 1946. Contribuição ao estudo da planície litorânea do Estado do Paraná. *Arquivos Biologia Tecnologia*, 1: 75-11.
- Birkenmajer, K. 2002. 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.
- Boulton, G.S. 1974. Processes and patterns of glacial erosion. In: Coates, D. (Ed). *Glacial Geomorphology*, Binghamton, New York: p. 41-87.
- Boulton, G.S., Dongelmans, P., Punkari, M. & Broadgate, M. 2001. Paleoglaciology of an ice sheet through a glacial cycle: the European ice sheet through the Weichselian. *Quaternary Science Reviews*, 20: 591-625.
- Etienne, J.L., Glasser, N.F. & Hambrey, M.J. 2003. Proglacial sediment-landform associations of a polythermal glacier: Storglaciären, Northern Sweden. *Geografiska Annaler, Series A: Physical Geography*, 85(2): 149-164.
- Evans, D.J.A. & Twigg, D.R. 2002. The active temperate glacial landsystem: a model based on Breiðamerkurjökull and Fjallsjökull, Iceland. *Quaternary Science Reviews*, 21(20-22): 2143-2177.
- Folk, R.L. & Ward, W.C. 1957. Petrol Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters. *Journal Sedimentology*, 3(27): 3-26.
- Glasser, N.F. & Hambrey, M. J. 2001. Styles of sedimentation beneath Svalbard valley glaciers under changing dynamic and thermal regimes. *Journal of the Geological Society*, 158(4): 697-707.
- Glasser, N.F. & Hambrey, M.J. 2002. Sedimentary facies and landform genesis at a temperate outlet glacier: Soler Glacier, North Patagonian Icefield. *Sedimentology*, 49(1): 43-64.
- Gruber, N.L.S. 1989. *Contribuição ao estudo da sedimentação glaciomarinha da Baía do Almirantado, Ilha Rei Jorge, Antártica*. Porto Alegre, 174p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto do Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Hambrey, M. 1994. *Glacial Environments*. London: UCL Press, 296 p.

- Hubbard, B. & Glasser, N. 2005. *Field Techniques in Glaciology and Glacial Geomorphology*. Inglaterra, John Wiley, 400 p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. IPCC Fourth Assessment Report - Climate Change 2007.
- Kleman, J, Hattestrand, C, Stroeven, A.P., Jansson, K.J., De Angelis, H. & Borgstrom, 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 Ltd, 527 p.
- Krumbein, W.C. 1941. Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Petrology*, 11: 64-72.
- Lian, B.L. & Hicock, S.R. 2000. 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.
- Martini, I.P., Brookfield, M.E. & Sadura, S. 2001. *Principles of Glacial Geomorphology and Geology*. Upper Saddle River, Prentice Hall, 381 p.
- Meier, M.F. & Post, A. 1987. Fast tidewater glaciers. *Journal of Geophysical Research*, 92: 9051-9058.
- Monaghan, A.J., Bromwich, D.H., Chapman, W. & Comiso, J. C. 2008. Recent variability and trends of Antarctic near-surface temperature. *Journal of Geophysical Research*, 113. doi:10.1029/2007JD009094.
- Moon, T. & Joughin. I.J. 2008. Changes in ice front position on Greenland's outlet glaciers from 1992 to 2007. *Journal of Geophysical Research*, 113. doi: 10.1029/2007JF000927.
- Powell, R.D. 1991. Grounding-line systems as second-order controls on fluctuations of tidewater termini of temperate glaciers. In: J.B. Anderson, G.M. Ashley (eds) *Glacial marine sedimentation: Paleoclimate significance*, Geological Society of America. Special Paper, 261: 74-94.
- Rittenhouse, G. 1943. A visual method of estimating two-dimensional sphericity. *Journal of Sedimentary Petrology*, 13(2): 79-81.
- Rosa, K., Vieira, R., Ferrando, F. & Simões, J. 2008. Erosional landforms and deposition processes product of the deglaciation evolution at Wanda Glacier, King George Island. Conference SCAR/IASC IPY. *Polar Research - Arctic and Antarctic Perspectives in the International Polar Year*. July 8 - 11, St.Petersburg, Rússia.
- Rosa, K.K. 2006. *Dinâmica glacial e características sedimentares resultantes na zona proglacial da geleira Ecology - Baía do Almirantado, ilha Rei George - Antártica*. Trabalho de graduação, 81 p. Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Rosa, K.K., Vieira, R. & Simões, J.C. 2006. Dinâmica glacial e características sedimentares resultantes na zona proglacial da geleira Ecology - Baía do Almirantado, ilha Rei George, Antártica. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 7(2): 51-60.
- Shepard, F.P. 1954. Petrol Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Journal of Sedimentary Research*, 24(3): 151-158.
- Turner, J., Colwell, S.R., Marshall, G.J., Lachlan-Cope, T.A., Carleton, A.M., Jones, P.D., Lagun, V., Reid, P.A. & Iagovkina, S. 2005. Antarctic climate change during the last 50 years. *International Journal of Climatology*. 25: 279-94.
- Vieira, R., Rossato, M.S., Aquino, F.E. & Simões, J.C. 2005. Feições morfológicas associadas ao ambiente de deglaciação da geleira Ecology, ilha Rei George, Antártica. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 6(2): 51-60.