



GEOMORFOLOGIA E SEDIMENTOLOGIA GLACIAL APLICADAS NA RECONSTRUÇÃO DA EVOLUÇÃO DO AMBIENTE DE DEGLACIAÇÃO DA GELEIRA WANDA, ILHA REI GEORGE, ANTÁRTICA

Kátia Kellem Rosa

Centro Polar e Climatológico - Departamento de Geografia, Instituto de Geociências - Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Av. Bento Gonçalves, 9500 - CEP 91501-970 - Porto Alegre - RS - e-mail: katiakellem@yahoo.com.br;

Rosemary Vieira

Centro Polar e Climatológico - Departamento de Geografia, Instituto de Geociências - Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Av. Bento Gonçalves, 9500 - CEP 91501-970 - Porto Alegre - RS - e-mail: rosemary.vieira@ufrgs.com.br

Francisco Ferrando Acuna

Departamento de Geografía - Universidad de Chile - Av. Libertador Bernardo O'Higgins, 1058 - Santiago de Chile - Chile - e-mail: fferrand@uchile.cl

Jefferson Cardia Simões

Centro Polar e Climatológico - Departamento de Geografia - Instituto de Geociências - Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Av. Bento Gonçalves, 9500 - CEP 91501-970 - Porto Alegre, RS - e-mail: jefferson.simoes@ufrgs.br

Resumo

Este artigo apresenta resultados das atividades de campo realizadas durante o OPERANTAR XXVI, no verão de 2007/2008, ao longo da área de deglaciação da geleira Wanda, ilha Rei George, Antártica. A geleira tem apresentado retração glacial nas últimas décadas, resultando num ambiente sedimentar, com a exposição de várias geoformas e depósitos. Esses registros geomorfológicos são úteis para a reconstrução da evolução deste ambiente de deglaciação. Os dados foram obtidos através da análise em laboratório dos sedimentos coletados em campo e posterior fotointerpretação de fotos aéreas (2003) na escala de 1:50.000, fornecidas pelo SHOA/SAF (*Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile/ Servicio Aéreo Fotogramétrico*), juntamente com a análise de imagens de satélites SPOT de diferentes anos. Os resultados mostram distintas fases de deglaciação para a geleira Wanda com uma aceleração de sua retração e perda de espessura nas últimas décadas. Registros sedimentares também indicam que a geleira possui regime termal basal úmido.

Palavras-chave: Antártica, Ilha Rei George, geleira Ecology, sedimentação glacial.

Abstract

This article presents results of field activities carried on the XXVI OPERANTAR during the 2007/2008 summer, along the deglaciaded area of Wanda glacier, King George Island, Antarctic. The glacier has experienced the retreating rate in recent decades, resulting in a sedimentary environment, with exposure of several landforms and deposits. These records are useful for the reconstruction of the evolution of this deglaciaded environment. Data were obtained at laboratory analysis of sediments collected in the field and interpretation of aerial photos (2003) on the scale of 1:50.000, provided by the SHOA / SAF (*Servicio*

Hidrográfico y Oceanográfico de la armada de Chile / Servicio Aéreo Fotogramétrico), and multi-years SPOT satellite images. The results show different stages of deglaciation for Wanda glacier with an acceleration of its retraction and loss of thickness in recent decades. Sedimentary records also indicate that the glacier has basal thermal regime wet.

Keywords: Antarctic, King George Island, glacier Ecology, glacial sedimentation

Introdução

Estudos recentes mostram um aumento na temperatura atmosférica superficial entre 2,5 a 3°C na Península Antártica nos últimos 55 anos; esta região apresentou um aquecimento regional mais intenso, quando comparado a outras regiões do planeta (IPCC, 2007; Monaghan *et al.*, 2008). Segundo Turner *et al.* (2005), ocorreu aumento desta temperatura superficial de até +0,56°C por década no setor oeste da Península (na estação *Faraday/Vernadsky* 65°15'S, 64°16'W).

Como resultado dos processos de retração tem-se a formação de ambientes de deglaciação recentes, onde é possível perceber rápidas mudanças morfológicas. A geleira Wanda, ilha Rei George, apresenta retração de sua frente de gelo e redução de espessura, formando um ambiente de deglaciação, com a exposição de várias geoformas erosivas e deposicionais na área de deglaciação, tais como flutes, cordões morânicos, pavimento de clastos e rochas estriadas. Depósitos sedimentares e geoformas erosivas permitem a reconstrução da evolução do ambiente de deglaciação, como resposta ao aquecimento climático regional ocorrido (Bennett e Glasser, 1996).

Objetivos

Este trabalho tem como objetivo, mediante estudos da geomorfologia e da sedimentologia glacial, reconstruir a evolução do ambiente de deglaciação da geleira Wanda, represen-

tando-o por meio de um modelo. Procurou-se identificar os diferentes tipos de depósitos encontrados na área de deglaciação da geleira e analisar os processos erosivos e deposicionais glaciais pelos quais foram submetidos os sedimentos.

Caracterização da Área de Estudo

A geleira Wanda (Figuras 1 e 2) pertence ao campo de gelo Kraków e possui sua frente de gelo relativamente pouco espessa, comunicando-se com a baía do Almirantado por meio de uma laguna proglacial.

Materiais e Métodos

As atividades de campo foram realizadas durante o OPERANTAR XXVI, no verão de 2007/2008, na área de deglaciação da geleira Wanda. Foram coletadas 36 amostras em transectos paralelos e transversais ao fluxo do gelo (Figura 5). Estes sedimentos foram analisados no laboratório de sedimentologia do CECO (Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica - UFRGS) para determinar a distribuição granulométrica e características morfoscópicas, tais como arredondamento, esfericidade e textura superficial.

Os dados de orientação das estrias medidas nas rochas expostas foram plotados em diagramas ROSE no programa Roseta 2.0.

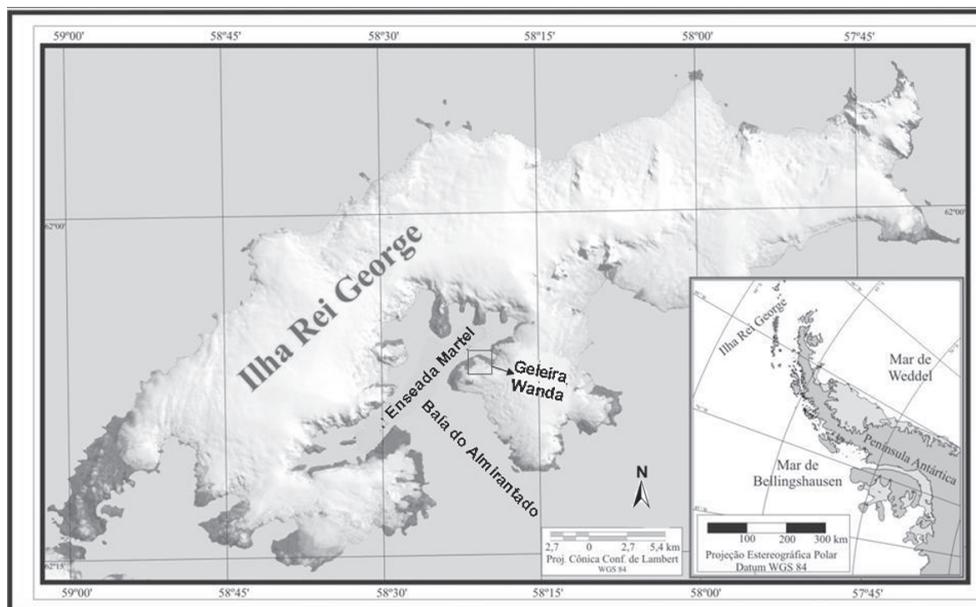


Figura 1 - Localização da geleira Wanda. (Mosaico de imagens de satélite SPOT).

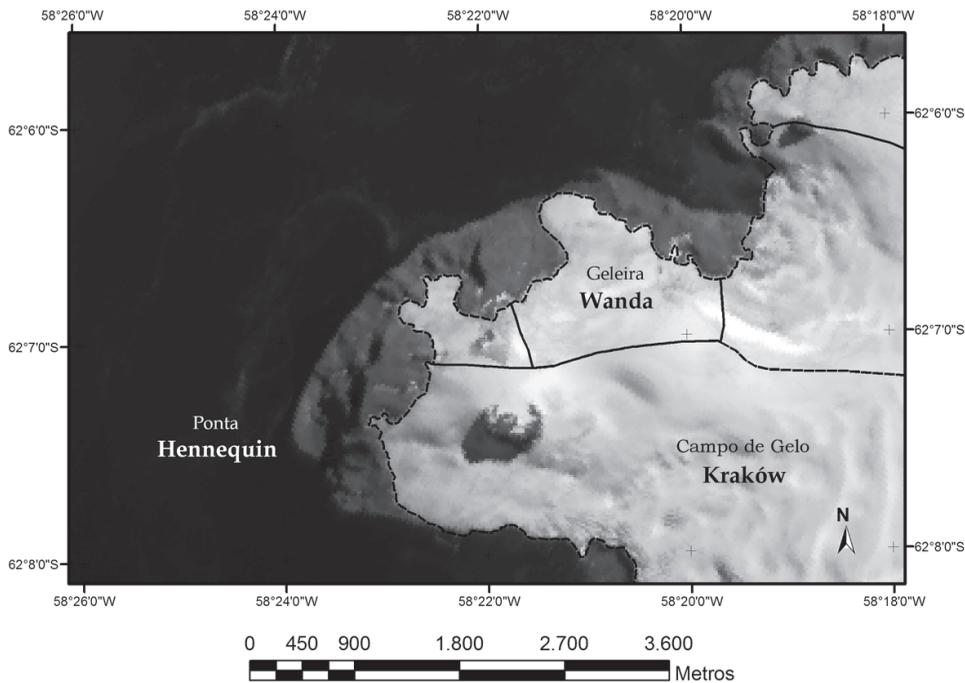


Figura 2 - Geleira Wanda. (Imagem de satélite SPOT de 23 de fevereiro (verão) de 2000).

A partir dos resultados obtido, da fotointerpretação de fotos aéreas na escala de 1:50.000 fornecidas pelo SHOA/SAF (*Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de La Armada de Chile/ Servicio Aéreo Fotogramétrico - 2002*) e do processamento de imagens de satélite SPOT, tomadas em diversos anos, foi elaborado um modelo geomorfológico, juntamente com a proposição de modelos explicativos para a evolução da área proglacial.

Resultados e Discussões

O registro sedimentar indica que houve uma retração da geleira e perda de volume e extensão nas últimas décadas (desde 1950), e que a deglaciação ocorreu com mudanças na direção do fluxo de gelo (Figura 3) (Rosa *et al.*, 2008). Os depósitos subglaciais e os cordões morânicos laterais foram formados em distintas fases da deglaciação (Rosa *et al.*, 2008). A figura 4 mostra as fases de deglaciação nas últimas décadas. Essas mudanças locais na orientação do fluxo de gelo decorrem, provavelmente, de mudanças na topografia local e na espessura da geleira, indicada pela progressiva retração da altura dos cordões morânicos frontais (Figura 11).

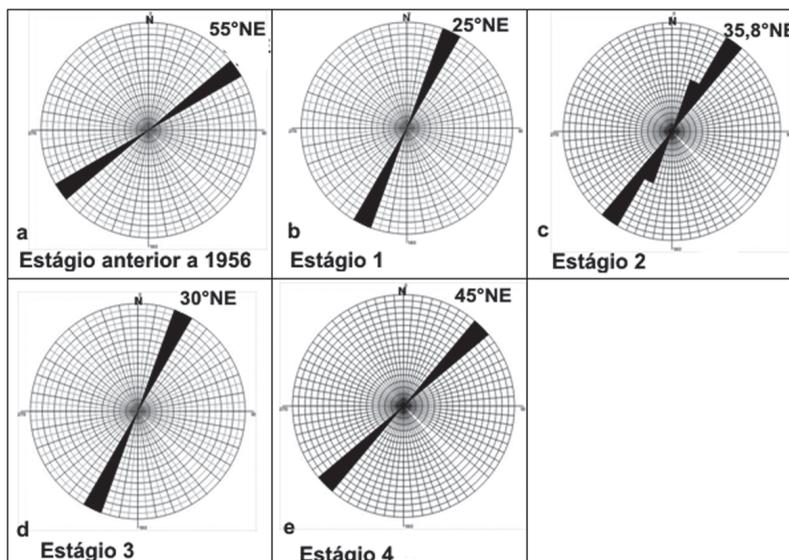


Figura 3 - Diagramas ROSE (a-e) mostram a orientação do fluxo de gelo em diferentes fases de retração da geleira Wanda sugeridas pelas estriações.

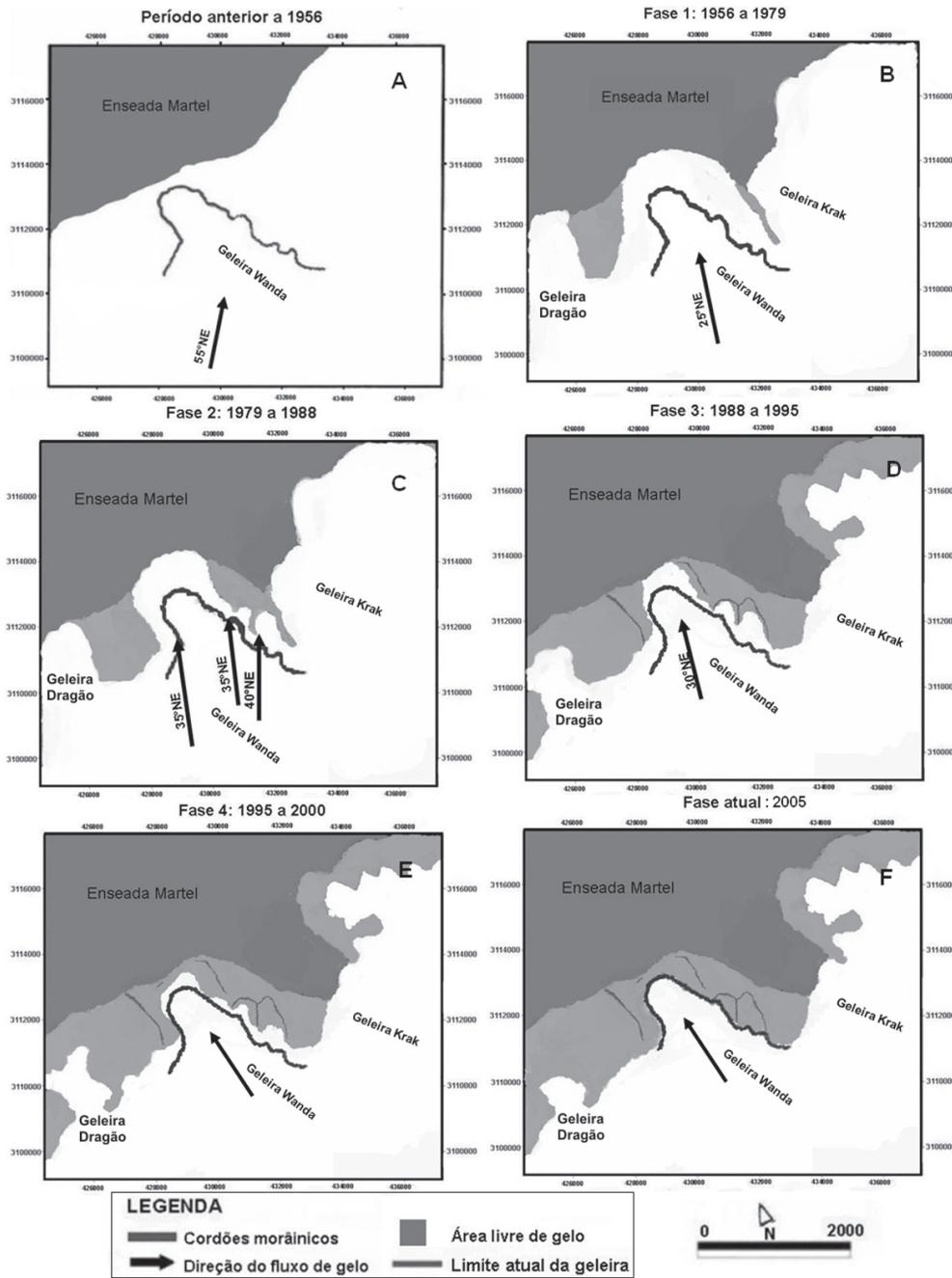


Figura 4 - Fases de evolução da deglaciação da geleira Wanda.

Fase anterior a 1956

Nesta fase a geleira Wanda unia-se com a geleira Krak a leste e com a geleira Dragão a oeste (Figura 4a e localização na figura 5), com um fluxo de gelo originado do interior do campo de gelo Kraków e com direção predominante 55°NE (Figura 3a), identificados pelas estriações. Estas estrias são observadas nas rochas localizadas sob o depósito morânico, posteriormente formado à separação com a geleira Krak.

Estágio 1: 1956 a 1979

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. 4b). Com a separação da geleira Wanda à geleira Krak ocorre a formação de uma moraina lateral mais oriental (Fig. 6a e b). Neste estágio havia apenas uma direção de fluxo de gelo de 25°NE (verificado por estriações em rochas situadas nas amostras 5 e 8 (Figura 7 a e b respectivamente).

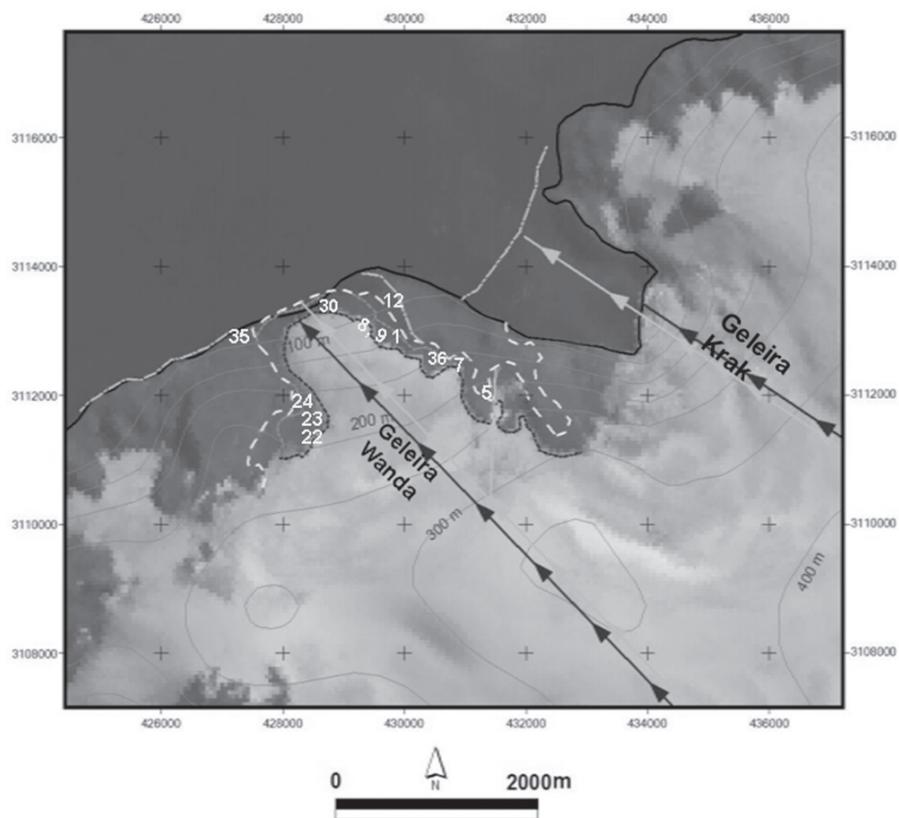


Figura 5 - Localização das amostras. As setas indicam o fluxo atual e passado das geleiras Wanda e Krak (Imagem de satélite SPOT de 23 de fevereiro (verão) de 2000).

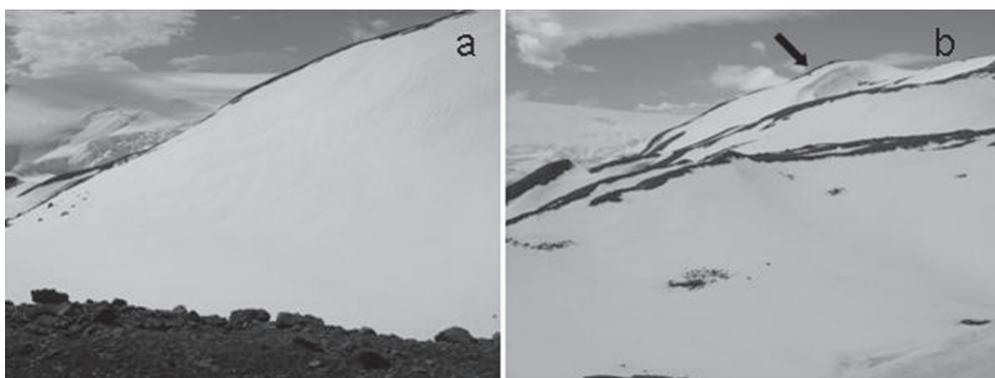


Figura 6 - Cordões morênicos (a e b) localizadas no limite mais oriental da geleira Wanda (Fotografias de Rosa, 2007).

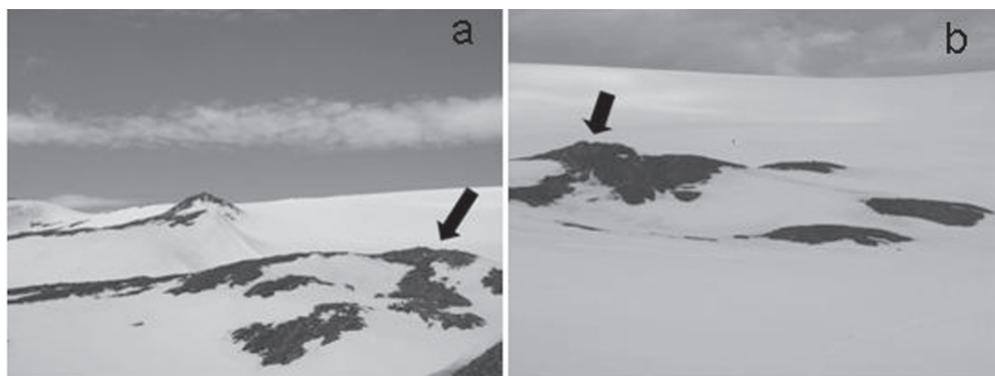
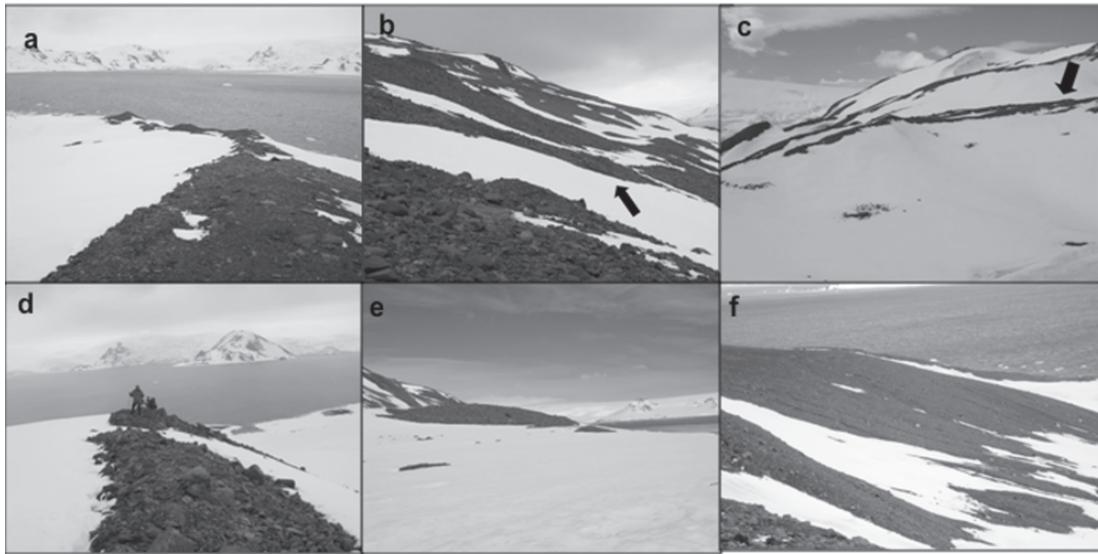


Figura 7 - Fotografia a mostra o bloco rochoso subglacial (amostra 5) localizado no setor elevado da moraina oriental a 101 metros de altitude. Fotografia b mostra o depósito subglacial (amostra 8) sob a moraina lateral (Fotografias de Rosa, 2007).

Estágio 2 - 1979 a 1988

Nesta fase o fluxo de gelo seguia três direções principais (Figura 4c). Na parte mais ocidental predominava a direção 35° NE (Figura 3c) e a geleira era mais espessa, pois cobria as áreas das amostras subglaciais 1, 2, 36 e 22. Esse foi um estágio com maior espessura e extensão da geleira. Dentro do processo de retração nesta fase, o fluxo na parte mais ocidental erodiu o embasamento rochoso onde se encontram as amostras subglaciais 1, 2, 3, 22 e 36 (Figura 9 e localização na Figura 5) e também formou as morainas laterais 7, 12, 23, 24 e 35 (Figura 8), concomitantemente com a moraina, ocorreu a formação terraço de *kame* (Figura 8f). No estágio 2, 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.



Figuras 8 - (a) Indica a localização da amostra 12, uma moraina latero-frontal; (b) Representa, a amostra 24 (crista morênica lateral no lado ocidental); (d) Amostra 7 (cordão morênico voltado para a praia); (c) Representa a amostra 23 (cordão de recessão lateral ocidental) e (e) a amostra 35 (cordão morênico latero-frontal mais ocidental); (f) Terraço de *kame* (Fotografias de Rosa e Vieira, 2007).

A concentração do tipo pavimento de clastos é formada pela deposição de till de alojamento em substratos pouco deformáveis. Nestas condições, os clastos em movimento sob a geleira sulcam o substrato, acumulando massas de sedimento à jusante, que terminam por criar resistência ao avanço do gelo, retardando o movimento para frente. Como resultado há aglomeração de outros clastos atrás do primeiro e, assim, sucessivamente, formando a concentração do pavimento de clastos (Rocha-Campos e Santos, 2001).

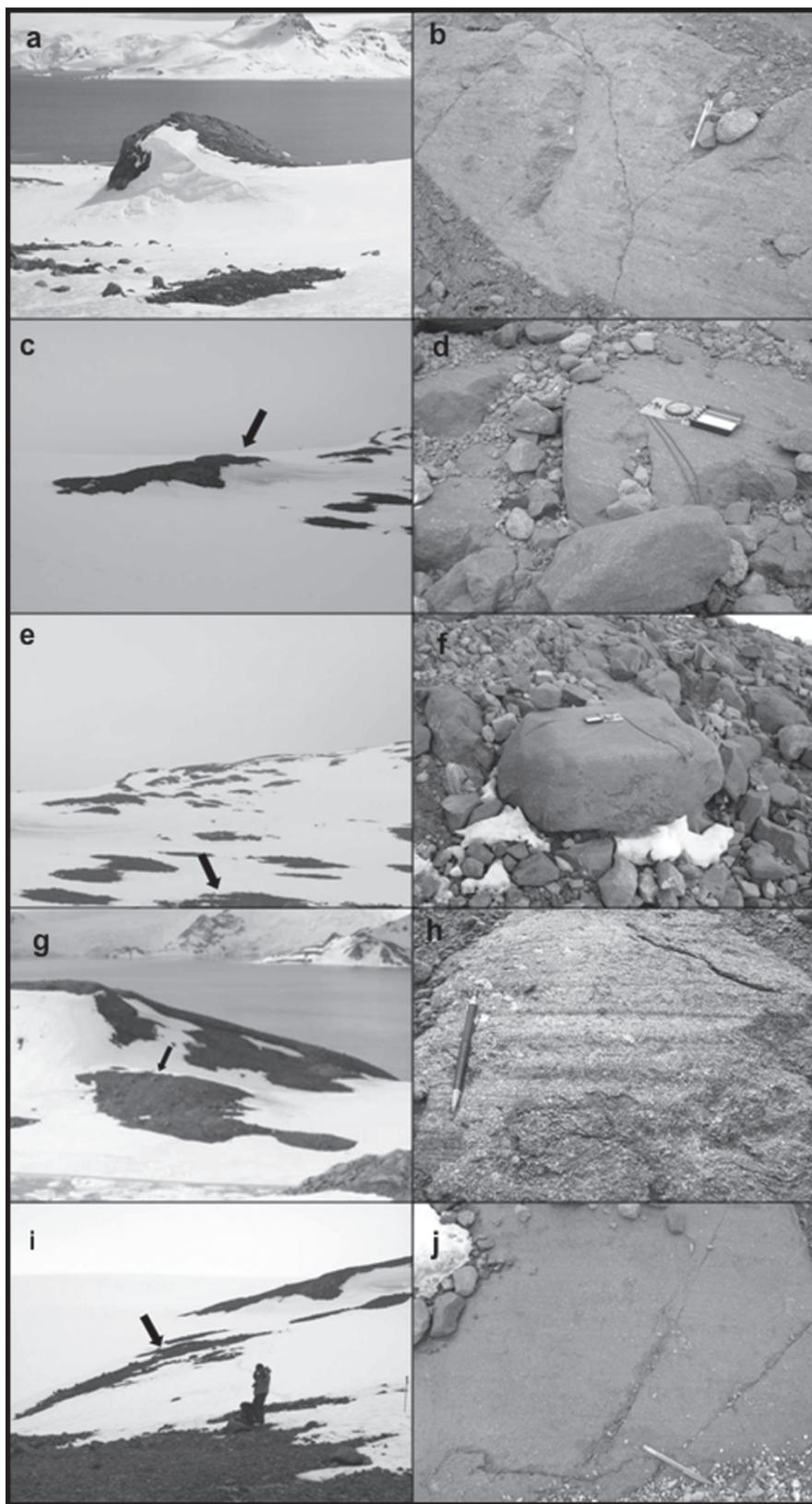
Estágio 3 - 1988 a 1995

Nesta fase ainda havia três direções de fluxos (Figura 4d), mas a parte mais oriental da geleira perde espessura e recua. O fluxo na parte mais ocidental possuía direção 30° NE (Figura 3d), evidenciado pela orientação das estrias no embasamento rochoso situado na amostra 9 (Figura 10a). Essas estrias foram formadas durante este estágio e expostas subsequentemente.

Sugere-se que a mudança da direção do fluxo de gelo, em relação à fase anterior, decorra ao encaixe da geleira, já menos espessa, na topografia local. Durante este estágio ocorreu a exposição da primeira amostra (Figura 7a) e do pavimento de clastos (Figura 10b).

Estágio 4 - 1995 a 2000

No quarto estágio (Figura 4e) a geleira Wanda tinha apenas uma direção do fluxo de gelo. Cordões morênicos laterais e frontais indicam retração e diminuição de espessura. Na parte oriental da geleira ocorreu retração, deixando como registro cordões morênicos laterais de recessão e as morainas laterais e latero-frontais localizadas na área proglacial (Figura 11). Evidenciado pela reduzida altura do cordão morênico frontal recessivo, a geleira teve uma rápida retração da sua frente de gelo e perda de espessura neste estágio.



Figuras 9 - Mostram localização das amostras subglaciais 1, 2, 3, 36 e 22 e as estriações encontradas em cada amostra. (a) A amostra 1 localizada na área mais central da geleira, que serviu como um nunatak. (b) Rocha estriada com declinação das estrias - 40° NE. (c) Amostra 2 correspondente a um depósito subglacial com a presença de rochas estriadas (d) Estrias com declinação de 30° NE a 40° NE. (e) Amostra 3, um depósito subglacial com a presença de rochas estriadas (f) com declinação de 30° NE e rocha stoss and lee. (g) localização e estriações (h) da amostra subglacial 36. (i) Localização e estriações (j) (orientação de N40° E) da amostra subglacial 22 (Fotografia de Rosa e Vieira, 2007).

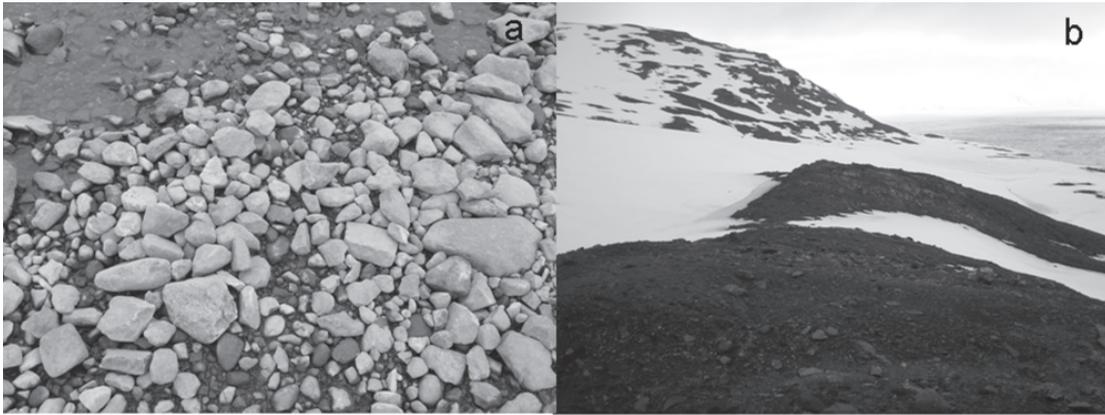
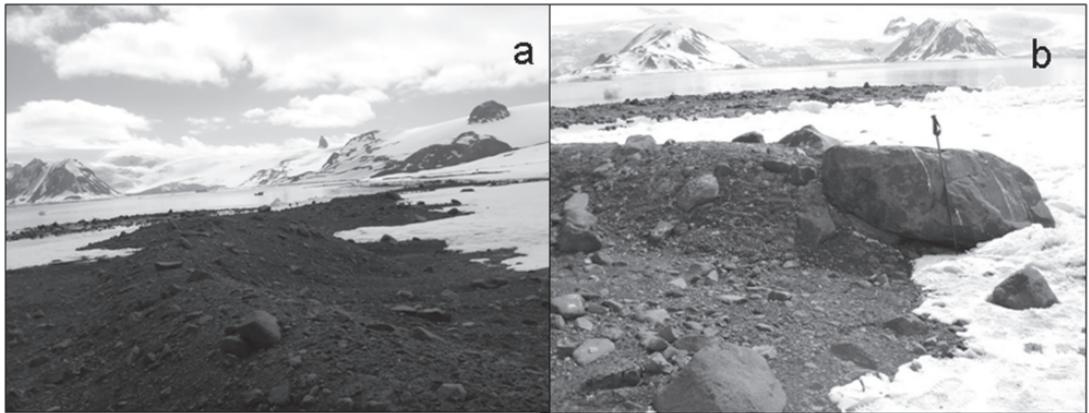


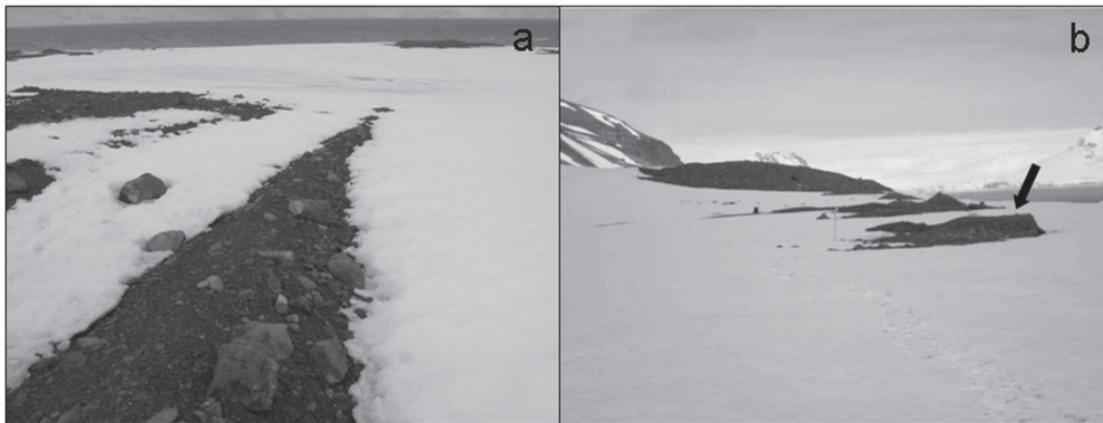
Figura 10 - Mostram respectivamente a amostra subglacial 9 (a) (com orientação das estrias -30° NE) e a amostra 30 (b) correspondente ao depósito de pavimento de clastos localizado na costa da área proglacial da geleira (Fotografias de Vieira, 2007).

Figuras 11 - Cordões morânicos frontais de recessão (fotografia de Rosa, 2007).



Em seguida com a sequência do recuo da geleira tem-se a exposição de *flutes* (Figura 12), com estriações de orientação de 45° NE (Figura 3e), na área proglacial. Estes depósitos possuem forma de uma crista alongada alinhados paralelamente ao fluxo de gelo (Figura 12). Eles são compostos por till de alojamento, e também contém areias e cascalhos. Estão localizados na área proglacial da geleira um ambiente recentemente exposto predominantemente deposicional e situados

entre 5 a 17 metros de altitude em relação ao nível do mar. Estes depósitos indicam a direção local do fluxo de gelo, a presença de gelo pouco espesso e de base úmida (Bennett e Glasser, 1996). No estágio atual (Figura 4F) o processo de retração da frente de gelo continua, observando-se uma acelerada diminuição de sua espessura. Com estes processos há exposição de pequenos cordões morânicos latero-frontais e *flutes*.



Figuras 12 - Flutes na área proglacial (a fotografia de Rosa, 2007 e fotografia b de Vieira, 2007).

Características sedimentares do ambiente de deglaciação da geleira Wanda

A morfologia da área de deglaciação da geleira Wanda, verificadas em campo, consiste em *flutes*, terraços de *kames*, cordões morânicos, pavimento de clastos, rochas estriadas e *eskers*, conforme modelo geomorfológico (Figura 13). A retração da geleira expôs uma paisagem susceptível à rápida mudança pós-deposicional. Terrenos recentemente

deglaciados, principalmente os depósitos morânicos sofrem processos de retrabalhamento marinho e por fluxo de detritos. Os depósitos morânicos latero-frontais (Figuras 6 e 8a-e) indicam posições das margens e frente da geleira durante o processo de retração. A análise textural mostra distribuição unimodal. Nessas amostras há ausência de micro-ranhuras, facetas e sulcos nos grãos, além de apresentarem baixos graus de arredondamento, esfericidade, sugerindo transporte passivo dos grãos.

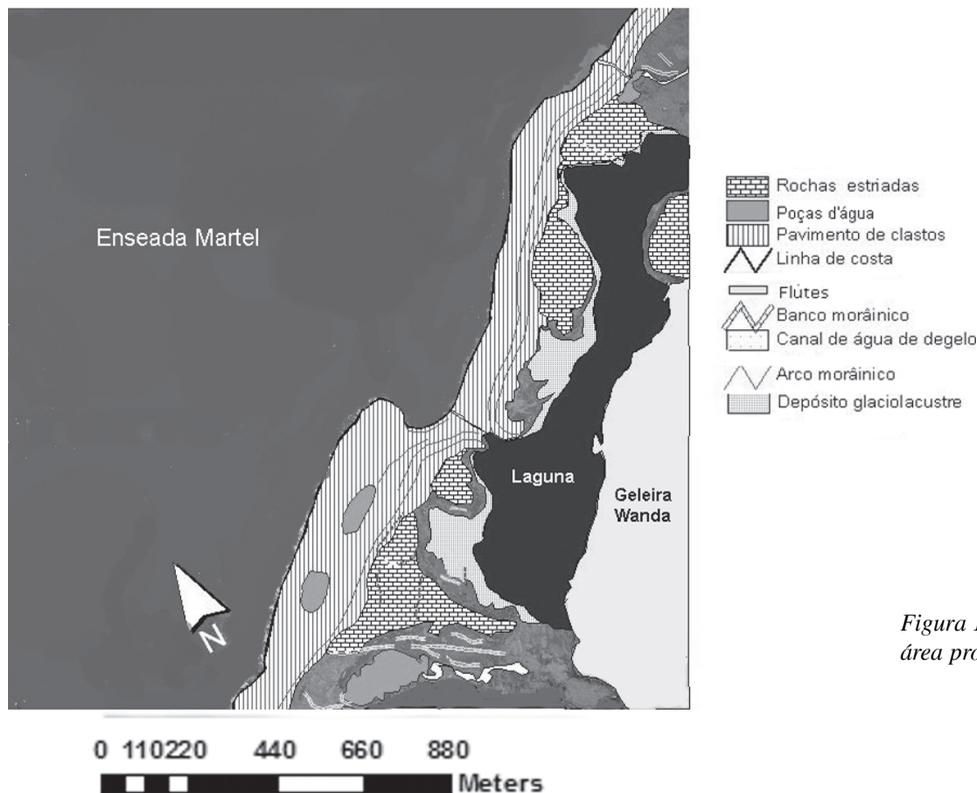


Figura 13 - Modelo geomorfológico da área proglacial da geleira Wanda.

Os depósitos morânicos de recessão (Figura 11), localizados na área proglacial da geleira, situado em baixa altitude, em torno de 5 metros, sofrem ação do retrabalhamento pós-deposicional pela água de degelo. A pequena altura (máximo 50 cm) apresentada por estes depósitos indica uma pequena espessura da frente da geleira atualmente. Esses depósitos possuem características sedimentares, tais como bom arredondamento dos grãos, presença de rochas estriadas, sulcos e micro-estriações, que revelam maior atividade de erosão subglacial nos sedimentos comparativamente aos depósitos morânicos latero-frontais.

Os depósitos subglaciais (Figuras 9) dominam o ambiente de deglaciação da geleira Wanda expondo-se em embasamentos rochosos estriados, sedimentos de granulometria fina, pavimento de clastos e *stoss in lee*, os quais são indicativos de regime termal basal úmido. Nestes depósitos são encontradas características típicas de transpor-

te subglacial, tais como distribuição do tamanho dos grãos bimodal e multimodal, bom grau de arredondamento dos grãos e tendência a serem mais esféricos, além da presença de feições *stoss in lee*, rochas facetadas e estriadas.

O depósito de pavimento de clastos (Figura 10a) está localizado na área proglacial da geleira Wanda, 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 são 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).

Os depósitos de *flutes* (Figura 12) estão localizados na área proglacial da geleira Wanda em um ambiente recentemente exposto, predominantemente deposicional. Estes depósitos possuem forma de uma crista alongada alinhados paralelamente ao fluxo de gelo. Estes depósitos indicam a direção local do fluxo de gelo, a presença de gelo pouco espesso e de base úmida (Bennett e Glasser, 1996).

Terraços de *kame* (Figura 8f), localizados a 23 metros de altitude numa área encharcada e lavada pela água de degelo sazonal da neve, junto ao cordão morânico oriental, 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).

Conclusões

As feições erosivas e deposicionais resultantes dos processos de deglaciação da geleira Wanda, conforme o mapa geomorfológico proposto, formam um ambiente de deglaciação diversificado composto por depósitos morânicos, subglaciais e glaciofluviais. A morfologia dessa área 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 da geleira expôs uma paisagem susceptível à rápida mudança pós-deposicional. 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.

A abundante quantidade de sedimentos finos nos depósitos evidencia a presença de água de degelo no contato gelo-embasamento. Essa característica é típica de geleira com regime termo basal úmido. Desta forma, a grande proporção de sedimentos finos, presença de rochas estriadas, pavimento de clastos, *stoss and lee* e depósitos subglaciais sugerem que as geleiras possuem regimes termais basais úmidos.

Por meio dos estudos da geomorfologia e da sedimentologia glacial da área de estudo foi realizada a reconstrução da evolução do ambiente de deglaciação das geleiras Wanda ao longo das últimas cinco décadas (desde 1956). A geleira Wanda passou por distintas fases de retração no período, ocorrendo mudanças na orientação principal do fluxo de gelo. Cada fase foi acompanhada pela formação de depósitos e geoformas. Desde a década de 1979 ocorre a aceleração de seu recuo, 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 Bibliográficas

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.

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

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.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). IPCC Fourth Assessment Report - Climate Change 2007.

ROCHA-CAMPOS, A.C.; SANTOS, P.R. (2000). Ação geológica do gelo. In: Teixeira, W.; Toledo, M.C.M.; Fairchild, T.R.; Taioli, F. (Organiz.). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Editora USP. 558 p.

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.

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, p. 279–294.

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), p. 51–60.