

Br



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Identificação de Mudanças Ambientais Através da Caracterização Sedimentar e Investigação de Processos Glaciogênicos e Paraglaciais no Ambiente Glacial da Geleira Wanda, Ilha Rei George, Antártica

Kátia Kellem da Rosa^{1, 2, 3}; Rosemary Vieira³; Jefferson Cardia Simões²

¹Netap (Núcleo de Estudos Território Ambiente e Paisagem) - Universidade Federal da Fronteira Sul.

²Centro Polar e Climático Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

³Laboratório de Processos Sedimentares e Ambientais, Universidade Federal Fluminense.

Artigo recebido em 19/06/2012 e aceito em 16/09/2012

RESUMO

Este estudo objetiva identificar as características sedimentares associadas aos depósitos glaciogênicos e sedimentos com modificação por processos não glaciais na área proglacial da geleira Wanda, Ilha Rei George, Antártica. A metodologia foi desenvolvida através de atividades de campo realizadas durante a estação de verão em 2007, 2010 e 2011. Os sedimentos foram analisados para determinar a distribuição granulométrica e características morfológicas. Este estudo apresenta resultados de interpretações dos sedimentos coletados na proglacial da geleira Wanda. A análise sedimentar possibilita a distinção de sedimentos glaciogênicos e dos sedimentos modificados por atividade paraglacial, podendo evidenciar mudanças ambientais em decorrência do aumento da temperatura atmosférica superficial e da precipitação líquida.

Palavras chaves: sedimentologia, depósitos glaciogênicos, processos paraglaciais, mudanças ambientais.

Identification of Environmental Change Through Sedimentary Characterization and Research of Glaciogenic and Paraglacial Processes on Glacial Environment of Wanda Glacier, King George Island, Antarctica

ABSTRACT

This study aims to identify sediment characteristics related to glaciogenic deposits and modification with paraglacial processes in Wanda Glacier proglacial area, King George Island, Antarctica. The methodology was developed through field activities performed during summers in 2007, 2010 and 2011. The sediments were analyzed to determine the particle size distribution and morphological characteristics. This study presents results of the samples sediment interpretation in Wanda Glacier proglacial area. The sediment analyses provided the discrimination of the glaciogenic sediments and paraglacial modified sediments, and was evidence for environment changes in the study area due to the increase surface atmospheric temperature and liquid precipitation.

Keywords: sedimentology, glaciogenic deposits, paraglacial process, environmental changes.

Introdução

A geleira Wanda, localizada na Ilha Rei George, na Antártica, apresentou um processo de rápida retração ao longo das últimas décadas. Este evento expôs várias geoformas e depósitos na área proglacial, tais como *eskers*, *flutes*, cordões morânicos, rochas *moutonnées*, pavimento de clastos e rochas

estriadas (Rosa et al., 2007). O estudo de depósitos sedimentares e geoformas erosivas nestas áreas são importantes, pois providenciam informações sobre as condições termais e dinâmica passada e atual da geleira.

Este estudo objetiva a identificação dos diferentes tipos de características sedimentares encontrados na zona proglacial da geleira Wanda analisando-se os processos erosivos e deposicionais glaciais e paraglaciais pelos quais foram submetidos os

* E-mail para correspondência: katiakellem@gmail.com.

sedimentos. Esta proposta tem por base o importante papel dos processos de erosão e deposição glacial no reflexo da variabilidade climática sobre as geoformas e os sedimentos.

Material e métodos

As atividades de campo foram realizadas durante os anos de 2007, 2010 e 2011 na área proglacial da geleira Wanda, na Ilha Rei Jorge, na Antártica. Os sedimentos foram analisados no laboratório de sedimentologia do Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica-CECO da Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS para determinar a distribuição granulométrica e características morfoscópicas.

Área de estudo

A geleira Wanda (Figuras 1 e 2), localizada na Ilha Rei Jorge-Antártica, é alimentada pelo campo de gelo Kraków e flui para a baía do Almirantado. Atualmente, ela possui base terrestre, ou seja, a maior parte de suas paredes de gelo está situada acima do nível do mar (Birkenmajer, 2002). Esta geleira possui 1,56 km² (dados baseados em imagem QuickBird obtida em 2006), atualmente ela possui uma frente pouca espessa (máximo de 4 m de espessura). Esta geleira transporta sedimentos na enseada Martel através de uma laguna proglacial, alimentada por canais provenientes dos processos de degelo na frente da geleira.

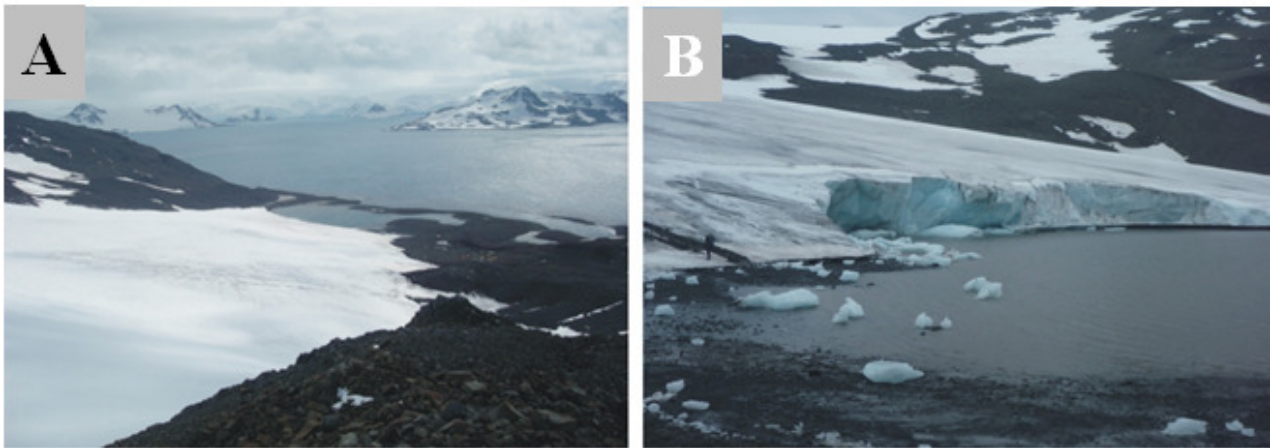


Figura 1. Geleira Wanda, na Ilha Rei Jorge-Antártica (a) e sua área proglacial e (b) laguna proglacial.

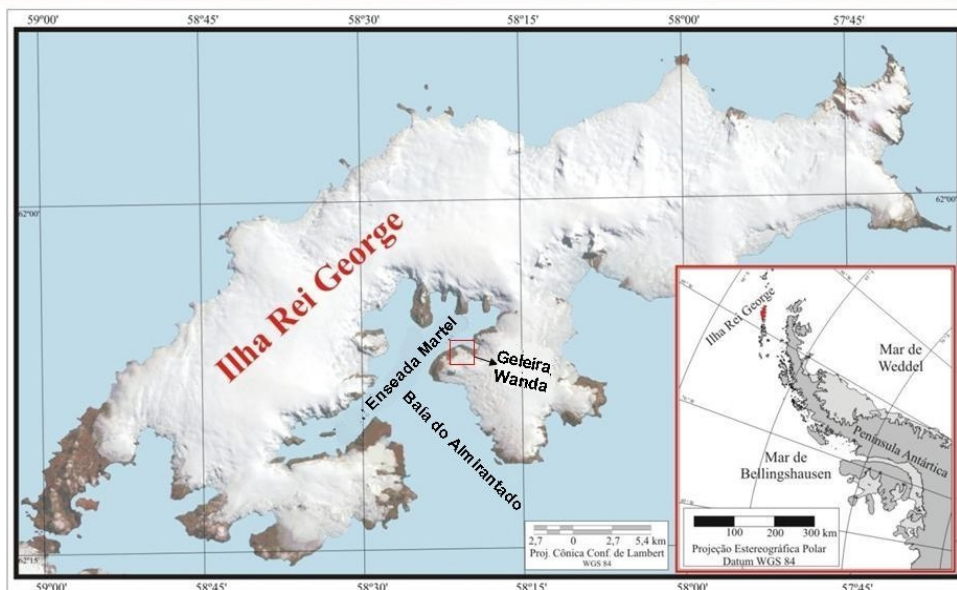


Figura 2. Mapa da localização da geleira Wanda, na Ilha Rei Jorge-Antártica.

A geleira Wanda tem passado por um processo de retração nas últimas década relacionados com a tendência de

aquecimentos regional evidenciada para a área de estudos (Simões et al., 1999; Rosa et al., 2007). De acordo com Ferrando et al.

(2009), nos últimos 30 anos, o número de dias com precipitação líquida aumentou, acompanhado do número de dias em que a temperatura média do ar foi superior a 0°C.

Material e métodos

Foram coletadas amostras de sedimentos da geleira Wanda em pontos selecionados em transectos paralelos e transversais ao fluxo do gelo, abarcando diferentes microambientes e feições geomórficas. As amostras foram coletas com uma pá, em pequenas cavidades, a fim de evitar o material meteorizado da superfície, na quantidade de 100 gramas e postas em sacos plásticos, contendo o código de cada amostra. Em cada local de coleta foram realizadas

pontos de controle de GPS (altitude e coordenadas), fotografia com escala e observação do ambiente de entorno (orientação, tamanho do depósito e matriz). Também foram coletados 50 clastos por amostra, com eixo maior > 20 mm.

As análises laboratoriais dos sedimentos para determinar a distribuição granulométrica e características morfoscópicas visaram classificar os sedimentos de acordo com seu processo de formação, através de suas características físicas. Na descrição dos depósitos de sedimentos foram detalhadas: suas propriedades que permitem analisar sua história erosional, de transporte e deposicional, sua geometria, e sua posição em relação às outras geoformas adjacentes.



Figura 3. Esquema das etapas da metodologia adotada para as interpretações geomorfológicas do estudo na geleira Wanda, na Ilha Rei Jorge-Antártica.

Análise granulométrica

Esta análise objetiva medir a distribuição do tamanho dos grãos das amostras, a qual é fortemente influenciada pela litologia original e também pela história dos sedimentos, pois ela é produto dos processos geradores dos mesmos. Processos pós deposicionais também podem modificar a distribuição original do tamanho dos grãos de um depósito (Lewis & McConchie, 1994).

Esta análise é útil na determinação da origem do material depositado, de como ele foi modificado durante o fluxo glacial e posteriormente depositado, e também indica alterações pós-deposicionais (Lewis e

McConchie, 1994; Hambrey, 1994). Desta forma, os resultados da distribuição granulométrica podem ser empregados na interpretação dos ambientes deposicionais dos sedimentos.

Na primeira etapa dos procedimentos as amostras foram preparadas com a elaboração de uma listagem com as etiquetas das amostragens realizadas. Após as amostras foram dessalinizadas, para a remoção dos sais solúveis, por sucessivas lavagens com água destilada e papel filtro. Isto foi repetido até que o filtro ficasse sem sais dissolvidos.

As amostras foram em seguida secadas em uma estufa (secagem de sedimentos

contendo argila: temperatura entre 50 a 60°C) e passou-se para a desagregação preliminar da amostra com o uso de um almofariz e pistilo com cuidado para não fraturar os grãos.

A preparação da amostra teste ocorreu após o quarteamento com a separação dos finos e grossos através de uma peneira com malha 0.062 (escala Wentworth & Stokes) pelo processo seco. O material retido na peneira foi considerado “grosso” e passado por peneiramento em um conjunto de peneiras com a malha decrescente até o limite de 0,062 mm, para que houvesse a separação de acordo com classes texturais. Em seguida, realizou-se a pesagem por classe.

As amostras de sedimentos finos, menores que 0,062 mm (tamanho silte e argila), utilizou-se a técnica de pipetagem, baseada na lei de Stokes, objetivando separar as classes silte e argila (Krumbein & Pettijohn, 1938).

Estes dados foram processados com métodos estatísticos, usando os *softwares* Excel, Statistica e Sysgran obtendo-se assim a distribuição percentual das classes texturais dos sedimentos segundo a escala de Wentworth (1922). A classificação dos sedimentos foram realizadas segundo Shepard (1954) e o grau de selecionamento de acordo com Folk & Ward (1957). Foram elaborados gráficos ternários para representar a distribuição granulométrica de cada amostra e histogramas para analisar se o comportamento é unimodal, bimodal ou multimodal da distribuição.

Análise morfoscóptica

Esse procedimento permite analisar as características morfoscópticas das partículas sedimentares, visando à obtenção de dados sobre a textura superficial (arredondamento superficial), o grau de arredondamento (grau de curvatura das bordas) e da esfericidade (dimensão relativa dos três eixos ortogonais do clasto) (Barret, 1980).

Para a análise morfoscóptica das amostras previamente selecionadas, utilizou-se uma lupa binocular. Foi analisada, além do arredondamento e esfericidade, a presença de estrias, sulcos, pontas e fraturas.

Na análise do grau de arredondamento foi utilizada a tabela de comparação de

Krumbein (1941) e o grau de esfericidade foi medido através da tabela de Rittenhouse (1943). As análises texturais superficiais foram feitas através da classificação de Bigarella (1946). Estes dados foram plotados em histogramas.

A forma do clasto foi definida pela dimensão relativa dos três eixos ortogonais, chamados *a* (maior), *b* (intermediário), e *c* (menor) (Hubbard & Glasser, 2005). Em laboratório, utilizando caliper, foram mensurados os clastos com eixo *a* > 15 mm. Os dados da forma dos clastos foram plotados em diagramas triangulares, colocando os raios dos três eixos ortogonais da partícula e realizados com o programa Statistica. Estes dados providenciam informações a respeito da história de transporte e caracterização do ambiente deposicional (Graham & Midgley, 2000).

A morfologia do clasto reflete a forma original do fragmento ao ser liberado na rocha de origem, a sua estrutura e durabilidade, a energia de transporte e deposição, a distância e o tempo de transporte (Benn & Ballantyne, 1994). Além disso, os sedimentos podem ter sido retrabalhados.

Sendo assim, o estudo da morfoscopia possibilita a identificação dos ambientes sedimentares, bem como a reconstrução da história de transporte, erosão e deposição dos depósitos glaciais (Benn & Ballantyne, 1994).

Adicionalmente, objetivando reconstruir a história do transporte dos sedimentos glaciais através das características dos clastos, foi utilizada a aproximação proposta por Benn & Ballantyne (1994), a qual é baseada na covariância entre a forma e o arredondamento do clasto. O índice RA (% dos clastos angulosos) foi plotado em relação ao índice C₄₀ (% de clastos cujo eixo *c/a* é < 0.4) na forma de gráficos de dispersão. Este método permite distinguir os sedimentos transportados ativamente dos transportados passivamente na geleira, além de quantificá-los (Bennet et al., 1997), sendo assim, é útil para discriminar ambientes glaciais (Benn & Ballantyne, 1994).

Resultados e discussão

A maioria das amostras glaciogênicas (de origem glacial, como as morainas) possui

elevados valores de C_{40} (a maioria dos grãos possui raio c/a maior que 0,4, com tendência para grãos mais esféricos) e baixos graus de arredondamento, típicos de sedimentos transportados passivamente pela geleira (Figuras 4, 6 e 7a). O elevado índice RA dos 50 clastos com diâmetro $a > 20$ mm analisados para cada amostra, indica pouco arredondamento nos grãos, geralmente de angulares a subangulares. As características morfoscópias dos sedimentos dessas amostras mostram textura superficial predominantemente sacaróide fosca.

Os altos relativos índices de C_{40} e predomínio de grãos com menores raios c/a

indicam grãos mais alongados e imaturos. A alta angularidade e pouca esfericidade podem resultar da grande quebra que sofrem os grãos.

Os sedimentos do depósito subglacial glaciogênicos aparecem muitas vezes com características morfológicas típicas de transporte basal, com arredondamento intermediário entre subangular e subarredondado e baixo índice RA. O baixo índice RA indica que ocorreu um bom arredondamento dos grãos. O grau de arredondamento esfericidade é maior em amostras que apresentam modificação pós-deposicional (paraglacial) (Figuras 5 e 7b).

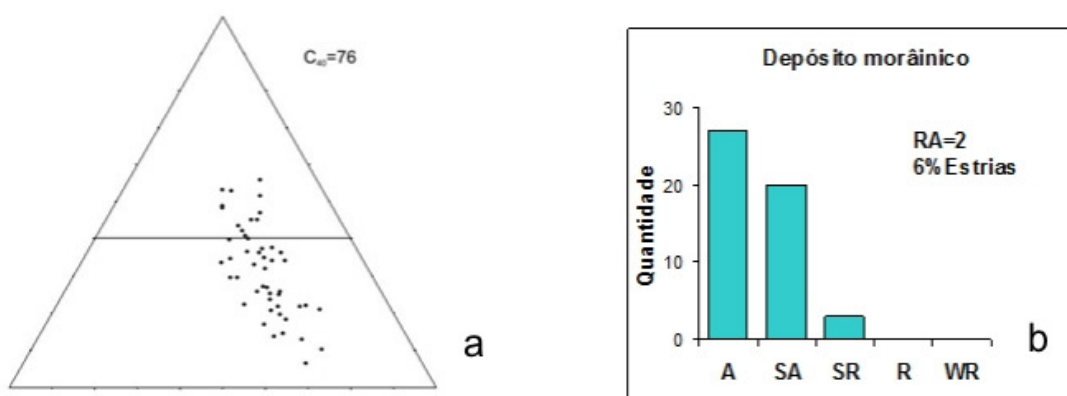


Figura 4. Forma do clasto (a) e arredondamento (b) do depósito morânico (a e b).

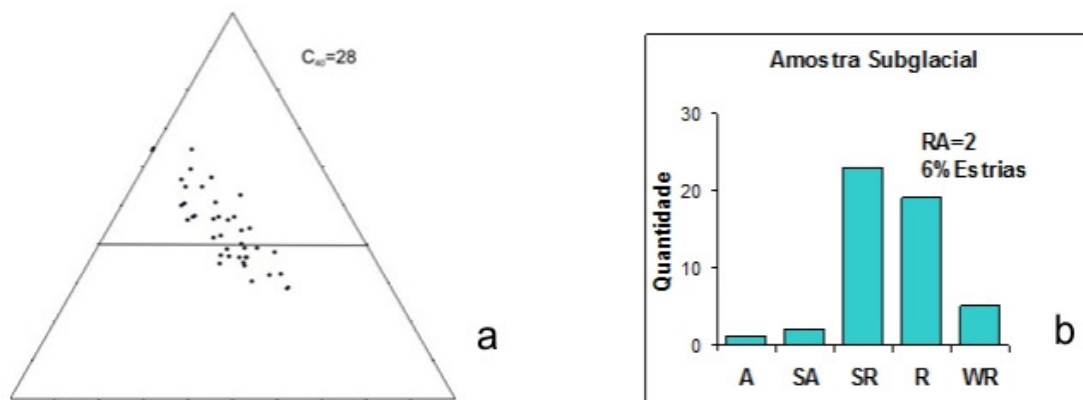


Figura 5. Características da forma e arredondamento da amostra subglacial com retrabalhamento por processos paraglaciais como água pluvial. Diagrama ternário com os raios dos três eixos da partícula (a) e índice C_{40} . Gráfico histograma (b) com dados de arredondamento.

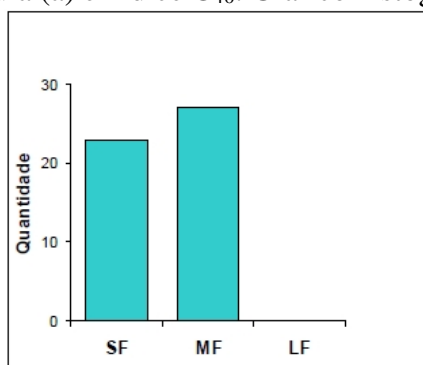


Figura 6. Gráficos de textura superficial de sedimentos da geleira Wanda. SF: sacaróide fosco, SP: sacaróide polido, MF: mamelonado fosco, MP: mamelonado polido, LF: liso fosco e LP: liso polido.

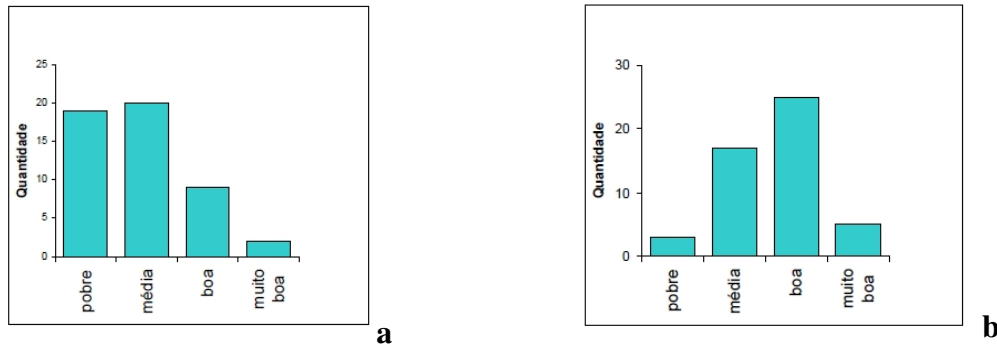


Figura 7. Grau de esfericidade das amostras de sedimentos glaciogênicos (a) e com modificação pós-deposicional com presença de água (b).

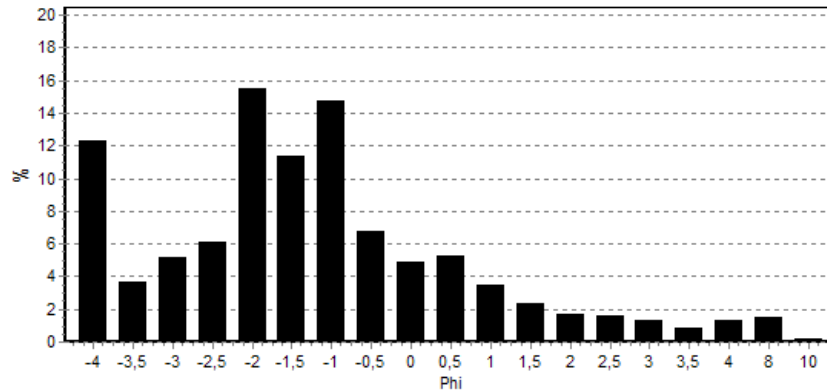


Figura 8. Gráficos da distribuição granulométrica de sedimentos glaciogênicos na geleira Wanda, na Ilha Rei Jorge-Antártica. Os tamanhos das partículas podem ser divididos em -0,5 a 4 phi areia, 4,5 phi a 8,5 silte e 8,5 a >10 phi argila.

A distribuição do tamanho dos grãos típicas em sedimentos com características de transporte glacial é bimodal e multimodal (Figura 8). Os grãos são pobremente mal selecionados.

A maioria das áreas livres de gelo da ilha possui lagos e lagunas de água de degelo e canais que conectam esses até a enseada. Esses lagos e lagunas formam-se principalmente próximo as margens frontais das geleiras com terminação terrestre. O influxo de água de degelo (Figura 9) gerada para esses lagos na ilha Rei George são essencialmente da água de degelo na neve e gelo das geleiras.

A retração de geleiras expõe um terreno a uma progressiva modificação por processos não glaciais, ou seja, paraglaciais. A alta modificação pós-deposicional, principalmente pela água de chuva no verão, torna os grãos mais esféricos, mais arredondados e com maior proporção de finos, devido à ação do intemperismo químico incipiente. De acordo com Ballantyne (2002) estes processos são considerados um dos primeiros efeitos das mudanças ambientais.



Figura 9. Fluxo de água de degelo na parte frontal da geleira Wanda, na Ilha Rei Jorge-Antártica.

Os movimentos gravitacionais promovem a movimentação de partículas pela encosta abaixo. O meio de transporte envolvido é a gravidade, mas o gelo lubrifica e aumenta o peso dos fragmentos rochosos, acelerando o movimento. A presença de áreas de maior declividade nas áreas rochosas recentemente expostas providencia condições para o desenvolvimento de processos de fluxo de detritos (Figuras 10 e 11).

Primeiramente, a erosão glacial pode tornar mais íngreme os paredões rochosos e, secundariamente, o acúmulo de neve pode propiciar condições de falta de equilíbrio na

pendente rochosa, provocando um movimento gravitacional (Benn & Evans, 1998). No sopé destas áreas existe a formação de depósito de talus (Augustinus, 1995). Na superfície dos depósitos morânicos ocorre a ação do intemperismo físico, resultando na fragmentação dos grãos (Figura 12).



Figura 10. Áreas de maior declividade localizadas nos depósitos morânicos laterais na Geleira Wanda, na Ilha Rei Jorge-Antártica.



Figura 11. Processos de fluxo de detritos na porção lateral das morainas na Geleira Wanda, na Ilha Rei Jorge-Antártica.



Figura 12. Fragmentação dos blocos de rochas localizadas nas áreas susceptíveis ao

intemperismo físico na Geleira Wanda, na Ilha Rei Jorge-Antártica.

Conclusões

Os registros geomorfológicos encontrados nos ambientes de deglaciação da enseada Marte foram utilizados para a interpretação dos processos erosivos e deposicionais glaciais, tais como processos erosivos e fluxo de encosta, causando retrabalhamento dos depósitos.

A atividade paraglacial evidenciada na área de estudo foi o retrabalhamento dos depósitos glaciais por atividades glaciofluvial e fluxo de detritos. A atividade paraglacial por processos não glaciais foi evidenciada como consequente do processo de retração ocorrido na geleira.

Agradecimentos

Ao Centro Polar e Climático (CPC), ao Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR), ao CNPq e ao Laboratório de Sedimentologia do Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica da UFRGS.

Referências

- Augustinus, P. (1995). Rock mass strength and the stability of some glaciated valley slopes. *Zeitschrift für Geomorphologie*, v. 39, n. 1, p. 55-68.
- Ballantyne, C.K. (2002). Paraglacial geomorphology. *Quaternary Science Reviews*, v. 21, p. 1935-2017.
- Barrett, P.J. (1980). The shape of rock particles, a critical review. *Sedimentology*, v. 27, p. 291-303.
- 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*, v. 91, n. 1-4, p. 215-227.
- Benn, D.I.; Evans, D.J.A. (1998). *Glaciers & Glaciation*. London: Arnold, 734p.
- Bennett, M.R.; Hambrey, M.J.; Huddart, D. (1997). Modification of clast shape in High-

- Arctic environments. *Journal of Sedimentary Research*, v. 67, n. 3, p. 550-559.
- Bigarella, J.J. (1946). Contribuição ao estudo da planície litorânea do Estado do Paraná. *Arquivos Biologia Tecnologia*, v. 1, p. 75-11.
- Birkenmajer, K. (2002). Retreat of Wanda Glacier, Admiralty Bay, King George Island (South Shetland Islands, West Antarctica), 1956-2001. *Bulletin of Polish Academy of Sciences: Earth Sciences*, v. 50, n. 1, p. 5-19.
- Ferrando, F.J.A.; Vieira, R.; Rosa, K.K. (2009). Respuesta de la criosfera al calentamiento global: Procesos y evidencias en el glaciar Wanda, Isla Rey Jorge, Antártica. *Revista Geográfica de Chile*, Universidad de Chile, Santiago, no prelo.
- Folk, R.L.; Ward, W.C. (1957). Brazos River bar [Texas]: A study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Research*, v. 27, n. 1, p. 3-26.
- Graham, D.J.; Midgley, N.G. (2000). Graphical representation of particle shape using Triangular diagrams: in Excel spreadsheet method. *Earth Surface processes and Landforms*, v. 25, p. 1473-1477.
- Hambrey, M. (1994). *Glacial Environments*. London: UCL Press, 296p.
- Hubberd, B.; Glasser, N. (2005). *Field Techniques in glaciology and glacial geomorphology*. John Wiley & Sons Ltd, West Sussex, 400p.
- Krumbein, W.C. (1941). Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 11, p. 64-72.
- Krumbein, W.C.; Pettijohn, F.J. (1938). *Manual of sedimentary petrography*. New York: Appleton-Century-Crofts, 549p.
- Lewis, D.W.; McConchie, D. (1994). *Analytical sedimentology*. New York: Chapman & Hall, 197p.
- Rittenhouse, G. (1943). A visual method of estimating two-dimensional sphericity. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 13, n. 2, p. 79-81.
- Rosa, K.K.; Vieira, R.; Simões, J.C. (2007). Dinâmica glacial e características sedimentares resultantes na zona proglacial da geleira Wanda - baía do Almirantado, ilha rei George Antártica. *São Paulo: Revista Brasileira de Geomorfologia*, ano 7, n. 2, p. 51-60.
- Shepard, F.P. (1954). Petrol Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Journal of Sedimentary Research*, v. 24, n. 3, p. 151-158.
- Simões, J.C.; Bremer, U.F.; Aquino, F.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.
- Wentworth, C.K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, v. 30, p. 377-392.