

Geoprocessamento aplicado ao estudo da dinâmica dos sedimentos em suspensão na Enseada Martel, ilha Rei George, Península Antártica

Kátia Kellem da Rosa ^{1,2}
Cláudio Wilson Mendes Jr. ^{1,3}

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

²katiakellem@gmail.com

³geoclaudio@yahoo.com.br

Abstract This work presents results from the application of geoprocessing techniques to investigate the spatiotemporal variability of suspended sediments on the Martel Inlet, King George Island (KGI), Antarctic Peninsula. We used visible bands of SPOT HRV imageries, obtained in February, 1998 and March, 2000, and one TERRA ASTER imagery, obtained in November, 2005. The methodology was developed in three stages: a) data pre-processing; b) classification of suspended sediments by using an unsupervised method and a knowledge-based algorithm; c) analysis and interpretation of the generated products. We used the cluster images generated by an ISODATA algorithm and a distance threshold to classify the suspended sediments. The suspended sediment were classified by integrating the selected clusters to an Euclidean distance image of the 1000 metres of coastline generated in this study. Only the selected clusters located 1 km to KGI coastal margins were considered as suspended sediments. The classified images delimited satisfactorily the pattern of spatial distribution and concentration of suspended sediments on the Martel Inlet. The methodology proved to be relevant for monitoring the glacial erosion processes, flow of meltwater discharge and glaciomarine sedimentation in the study area. These processes can be related to climate variability and glacier retreat evidenced in this area.

Palavras-chave: Martel Inlet, knowledge-based classification, glaciomarine sedimentation, Enseada Martel, classificação por regras de decisão, sedimentação glaciomarinha.

1. Introdução

As técnicas de geoprocessamento são aplicadas como um importante instrumental de análise geográfica e permitem monitorar diversos processos geomorfológicos, entre eles, o padrão de distribuição espacial e temporal de sedimentos em suspensão em estuários (Wang et al., 2005).

Este trabalho objetiva identificar a variabilidade espacial e temporal da concentração de sedimentos em suspensão no ambiente glacio-marinho situado na Enseada Martel (Figuras 1 e 2), ilha Rei George, Península Antártica. A concentração dos sedimentos em suspensão é um dos parâmetros de água mais importantes em ambientes glaciais, pois a sua distribuição espacial e a sua variabilidade temporal podem ser usadas para inferir a variabilidade dos processos de ablação das geleiras situadas na área de estudo. Isto decorre da sensibilidade da resposta das plumas de sedimentos em suspensão à descarga das geleiras.

Diante dos processos de retração das geleiras na região da Península Antártica, como reflexo da variabilidade climática ocorrida nas últimas décadas, observa-se um aporte significativo de sedimentos em suspensão fluindo das geleiras de maré em direção ao ambiente estuarino e concentrando-se em algumas áreas. A descarga de água de degelo é a principal fonte de entrada de água doce e sedimentos em suspensão para a Enseada. Água de degelo é também a maior força controladora do transporte de sedimentos (Barch e Staeblein, 1984). Sua distribuição espacial varia fortemente com as condições meteorológicas e oceanográficas (Vogt e Braun, 2004).

Os estudos de monitoramento destes processos na área de estudo mostram-se relevantes, pois de acordo com Vogt e Braun (2004), a forte contribuição de água doce e sedimentos para a enseada têm considerável impacto na vida marinha costeira, e adicionalmente no ecossistema terrestre. Rakusa-Suszczewski *et al.* (1993) observaram que na área de estudo a disponibilidade de nutrientes e sua variação sazonal são controladas mais pelos processos da dinâmica hidrológica do que pelos biológicos.

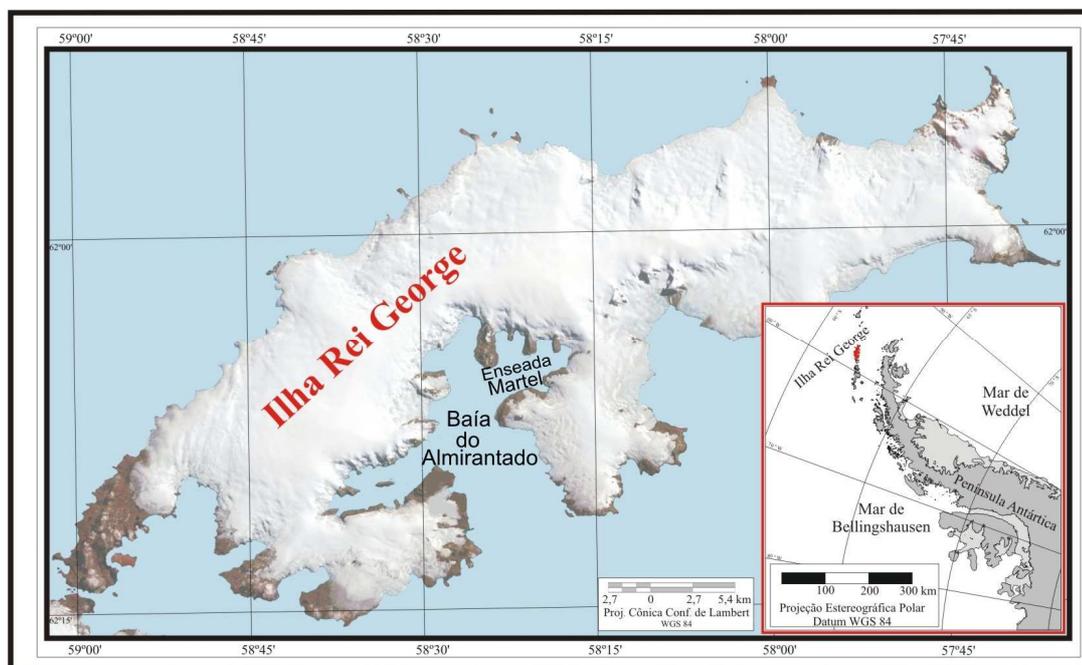


Figura 1. Localização da Enseada Martel na ilha Rei George.



Figura 2 – Vista da Enseada Martel. Fotografia de Velho, 2007.

Desta forma, dados obtidos por Sensoriamento Remoto podem revelar informações sobre a variabilidade espacial destas concentrações. Adicionalmente, devido à grande inacessibilidade de muitas áreas da ilha Rei George, dados de Sensoriamento Remoto podem ser utilizados como ferramentas para monitorar os processos glaciais (Vogt e Braun, 2004).

2. Metodologia de trabalho

O processamento digital foi realizado com cenas multiespectrais dos sensores das plataformas SPOT e TERRA. As imagens SPOT foram obtidas no verão austral, em fevereiro de 1988 e 2000 e em março de 1995, com resolução espacial de 20 metros. A imagem do sensor ASTER foi obtida em 11 de novembro de 2005, com resolução espacial de 15 metros.

A metodologia foi desenvolvida em três etapas: (a) pré-processamento dos dados; (b) classificação dos sedimentos em suspensão por método não supervisionado e por regras de decisão (Figura 3); (c) análise e interpretação dos produtos gerados.

Aplicações de dados de Sensoriamento Remoto nestas áreas dependem do acesso a séries temporais de imagens. Em climas subpolares marítimos, como o da ilha Rei George, há uma extensa cobertura de nuvens durante quase o ano todo e limitada iluminação solar em alguns meses do ano, devido a sua latitude, podendo inferir significativamente na cobertura temporal de dados de sensores ópticos.

O pré-processamento de dados consistiu no registro da imagem ASTER no programa ENVITM (*ITT Visual Information Solutions*), pelo método de interpolação do vizinho mais próximo e polinômio de segundo grau, tendo como base cartográfica as imagens SPOT já corrigidas geometricamente, adotando-se a projeção UTM e *Datum* WGS-84.

A análise da imagens, baseada em técnicas de processamento, foi realizada com as bandas do visível dos sensores utilizados, devido a reflectividade dos sedimentos em suspensão na água nessa faixa espectral (Vogt e Braun, 2004; Lorenzetti et al., 2007).

Para a classificação das imagens foi utilizado o método não supervisionado ISODATA (*Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique*). Este método designa um conjunto de classes em função de parâmetros estatísticos das propriedades espectrais da imagem e os algoritmos de análise de agrupamento consideram os níveis de cinza de praticamente toda a imagem. Desta forma, o reconhecimento de padrões espectrais ocorre sem o fornecimento dos parâmetros espectrais de cada classe contida na cena e o programa identifica as classes dentro do conjunto de dados (Crosta, 1992; Fonseca, 2008). O algoritmo ISODATA identifica padrões típicos nos níveis de cinza e as classes são determinadas pela análise de agrupamentos (*clusters*). Para tanto, foi determinado um número de sete classes e seis iterações de recálculo para os novos valores médios.

Na classificação final das imagens, foi utilizado um algoritmo de classificação por regras de decisão. Os critérios usados na classificação dos sedimentos em suspensão foram baseados nos clusters gerados a partir do algoritmo ISODATA e em um limiar de distância da linha de costa definido para essa classe temática. Imagens georreferenciadas da distância da linha de costa da IRG foram derivadas de polígonos digitalizados com base nas imagens utilizadas neste estudo. Todas as imagens foram armazenadas em um Sistema de Informação Geográfica (SIG), para a análise espacial dos dados.

A distância máxima da linha de costa estipulada para a ocorrência de sedimentos em suspensão na Enseada Martel foi de 1 km. Devido à retração das frentes de geleiras durante o período analisado, foi gerada uma imagem de distância da linha de costa relativa a cada imagem classificada. Na regra de decisão, os pixels foram classificados como sedimentos em suspensão quando atendessem aos dois critérios definidos; somente foram considerados nessa classe os clusters previamente selecionados, dentro do limite de 1 km à linha de costa da IRG.

Um filtro do tipo Focal Majority, com janela móvel 5 x 5 pixels, foi aplicado nas imagens classificadas, para a geração de classes mais contíguas e coerentes.

3. Resultados e discussões

A classificação, gerada a partir da integração dos *layers* como critério de decisão, delimitou satisfatoriamente o padrão de distribuição espacial da concentração de sedimentos

em suspensão na Enseada Martel (Figura 4) e possibilitou uma melhor distinção dos sedimentos localizados nas áreas expostas pela deglaciação.

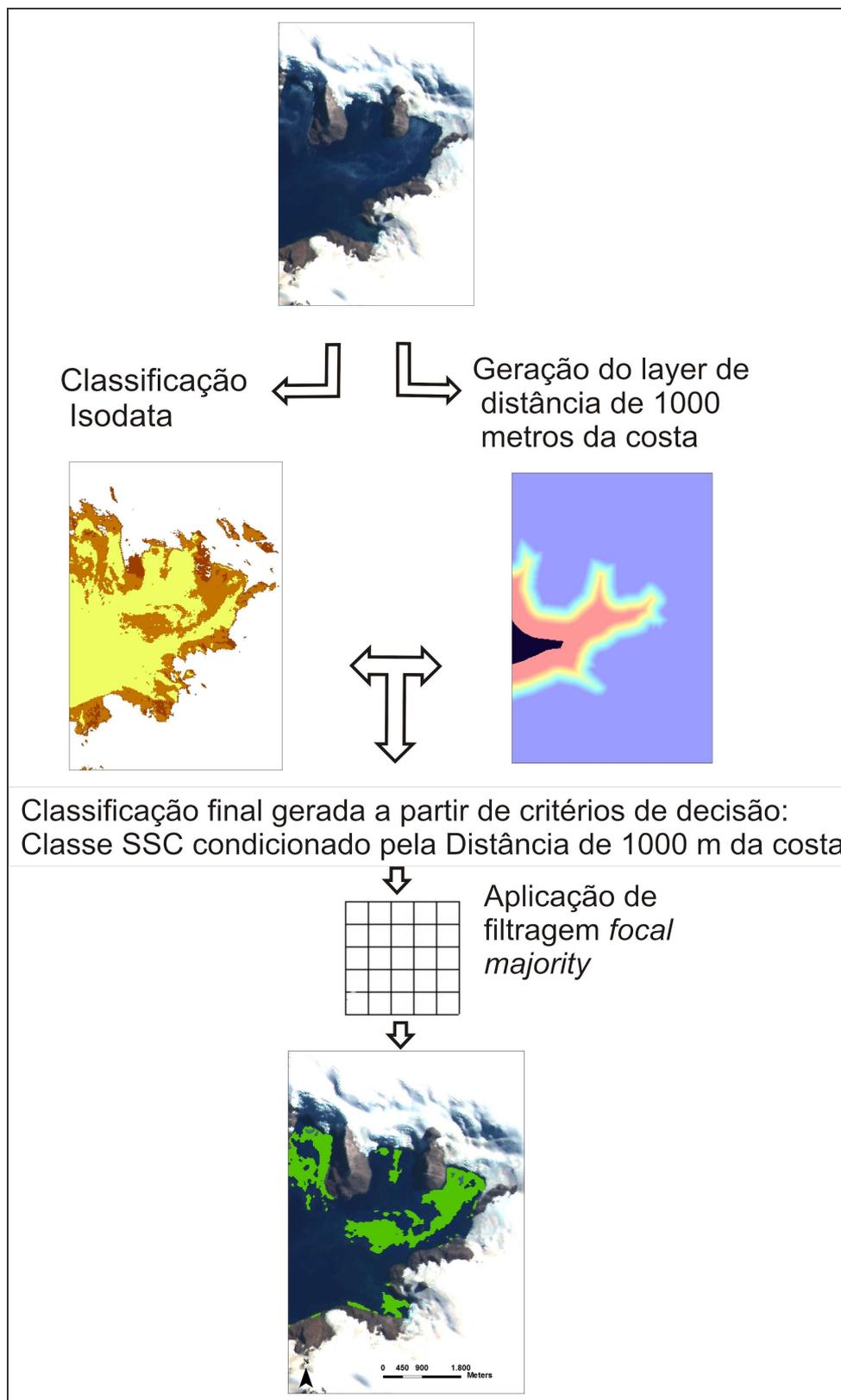


Figura 3. Fluxograma da cadeia de processamento da metodologia desenvolvida.

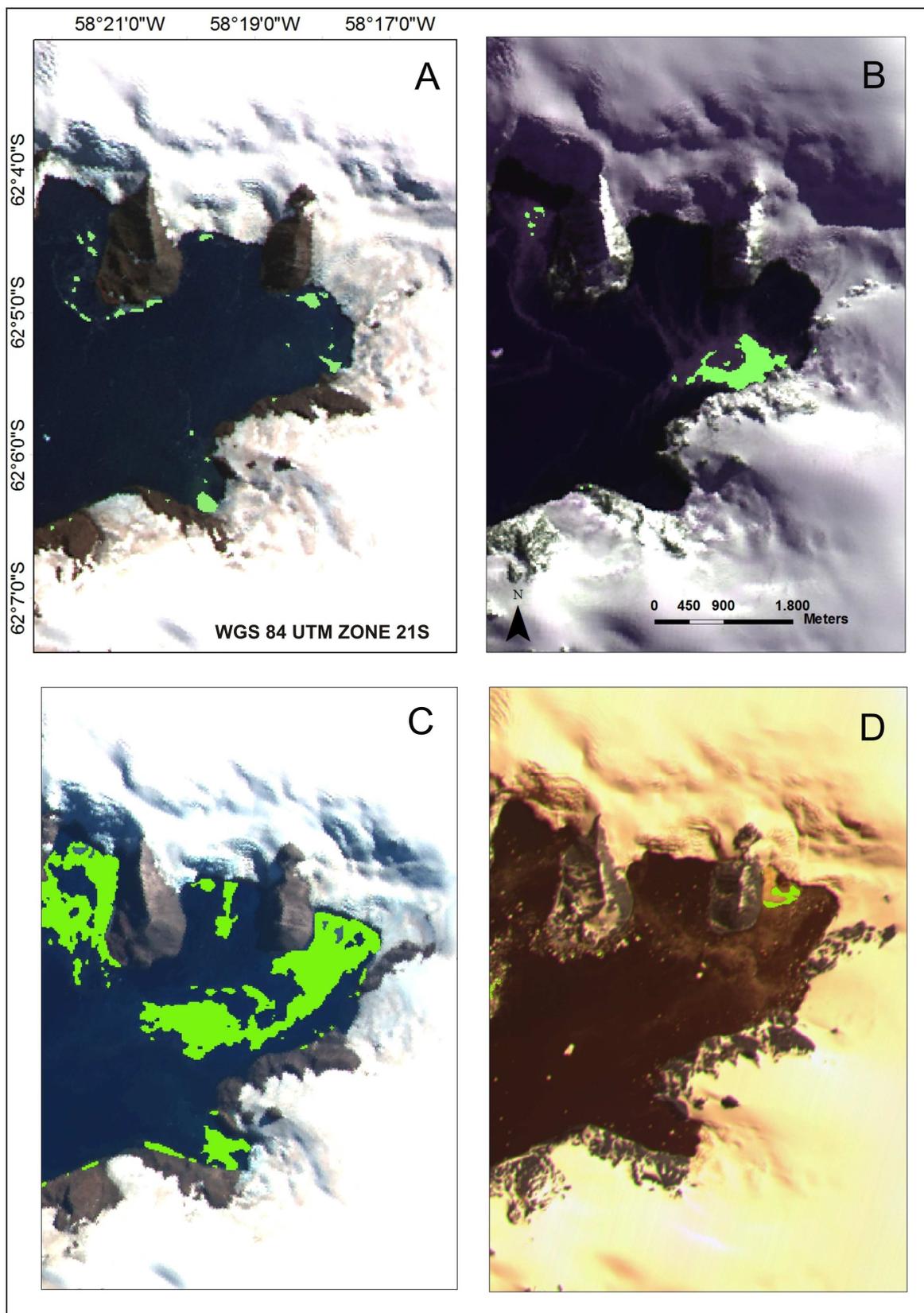


Figura 4. Distribuição espacial da concentração de sedimentos em suspensão em 1988 (A), 1995 (B), 2000 (C) e 2005 (D).

Observa-se uma elevada concentração de sedimentos em suspensão na parte proximal das geleiras de maré que drenam para a Enseada. O padrão de distribuição espacial da concentração de sedimentos em suspensão na frente das geleiras está vinculada aos processos de aporte pelas geleiras. Assim, pode-se investigar os processos de descarga de água de degelo e produção sedimentar pelas geleiras, inferindo seus regimes termais. Estes processos podem refletir a variabilidade climática evidenciada na área de estudo.

Os dados obtidos corroboram com publicação anterior (Vogt e Braun, 2004) e sugerem uma alta produção de sedimentos destas geleiras, provavelmente devido aos processos de fusão, indicando um regime termal basal úmido.

Observa-se que a maior concentração de sedimentos em suspensão ocorre na parte proximal das geleiras que possuem maior extensão e velocidade do fluxo de gelo e assim, maior capacidade de transportar sedimentos. Adicionalmente, pode-se relacionar o aumento do fluxo de água de degelo basal e do suprimento de sedimentos em suspensão inferido com as geleiras registradas como em processo acelerado e contínuo de retração.

A ausência de plumas de sedimentos observadas próximas às áreas expostas (sem cobertura de gelo), indica que há pouca contribuição sedimentar destas áreas.

A aplicação desta metodologia apresentou resultados satisfatórios na detecção das variações temporais no padrão espacial da concentração de sedimentos em suspensão e possui potencial para o uso no desenvolvimento de modelos de monitoramento da variabilidade temporal destes processos.

No entanto, diferenças de concentrações observadas de acordo com o mês em que a imagem foi obtida demonstram o controle sazonal, de acordo com as condições meteorológicas, nos processos de descarga de sedimentos em suspensão pelas geleiras, tal como evidenciado por Pilchmaier et al. (2004). Além disso, sua distribuição pode ser influenciada pelo processo de variação da maré e características hidrodinâmicas na enseada. A presença de nuvens na área de estudo prejudicou a aplicação dos métodos de classificação. No desenvolvimento desta metodologia, verificaram-se dificuldades em estipular limiares no critério para a identificação da concentração de sedimentos em suspensão, pois seu comportamento espectral varia, assim como o tipo de nuvens presentes na área de estudo, na região do espectro do visível.

De acordo com Mendes e Cirilo, (2000), problemas de classificação podem ocorrer devido a variações na quantidade de energia refletida em relação à hora do dia, estação do ano. Assim, as assinaturas espectrais mudam de uma imagem para outra e também podem ocorrer diferenças entre classes dentro do próprio pixel, acarretando imprecisões nas classificações. Além disso, análises quantitativas são difíceis de serem obtidas devido ao sinal obtido pelo sensor ser integrado com toda a coluna de água. Há diferentes reflectividades da cobertura de nuvens, águas rasas e *icebergs*, devido à variação na elevação solar e ação do vento na água superficial, restringindo a comparação de dados de satélites de diferentes anos para a quantificação da concentração de sedimentos em suspensão na água (Vogt e Braun, 2004).

4. Conclusões

A aplicação desta metodologia possibilitou a obtenção de resultados satisfatórios para verificar modificações no padrão espacial e na variabilidade temporal da concentração de sedimentos em suspensão e possui potencial para uso no desenvolvimento de modelos de monitoramento da variabilidade temporal desta concentração. Com o uso de técnicas de geoprocessamento, pode-se avaliar a intensidade dos processos de produção de sedimentos pelas geleiras da área de estudo e o fluxo de água de degelo destas. Esta metodologia apresentou potencial no monitoramento dos processos relacionados à retração das geleiras, como o aumento do aporte sedimentar para a enseada associados à descarga de água de

degelo. Desta forma, contribuiu para o desenvolvimento de modelos conceituais e numéricos dos processos envolvidos na dinâmica glacial e estuarina, em reflexo à variabilidade climática evidenciada na área de estudo.

Ressaltam-se as dificuldades em se obter imagens ópticas sem a presença de cobertura de nuvens para a área estudada, prejudicando, assim, a realização de análises temporais para o monitoramento dos processos associados à retração das geleiras. Adicionalmente, os trabalhos de campo tornam-se essenciais para a verificação das imagens classificadas e para estimar quantitativamente a concentração de sedimentos em suspensão por meio de amostragens no ambiente estuarino.

Agradecimentos

O presente trabalho foi apoiado pelo Centro Polar e Climático e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq.

Referências bibliográficas

Crosta, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas: IG/UNICAMP, 1993, 170 p

Barsch, D.; Staebelin, G. Frostdynamik und Permafrost in den eisfreien Gebieten der Antarktischen Halbinsel. **Polarforschung**, v. 54, p. 111-119, 1984.

Rakusa-Suszczwski, S.; Mietus, M.; Piasecki, J. Weather and climate. In: Rakusa-Suszczwski, S. (ed.) The maritime Antarctic coastal ecosystem of Admiralty Bay. Warsaw, **Polskiej Akademii Nauk**, p.19-25, 1993.

Vogt, S. e Braun, M. Influence of glaciers and snow cover on terrestrial and marine ecosystems as revealed by remotely-sensed data. **Revista Pesquisa Antártica Brasileira**, v.4, p. 105-118, 2004.

Mendes, C.A.B.; Cirilo, J. A. **Geoprocessamento em Recursos Hídricos – princípios, integração e aplicação**. Porto Alegre: ARRH, 2001. 536p.

Fonseca, E. L. Métodos para classificação de imagens digitais multiespectrais: classificadores supervisionados e não supervisionados (Notas de Aula), 2008. Disponível em: <http://www.inpe.br> Acesso em: 19 fev 2010.

Wang, X., Wang, Q.; Liu, G.; Li, H. A study on the Quantitative Remote Sensing Model for the Suspended Sediment Concentration in Coastal Water with ASTER. **Conference paper**, n. A290054, 2005.

Lorenzetti, J.A.; Negri, E.; Knoppers, B.A.; Medeiros, P.R.P. Uso de imagens de LANDSAT como subsídio ao estudo da dispersão de sedimentos na região da foz do rio São Francisco. In: **Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, p. 3429-3436, 2007.