

Potencial do uso das imagens COSMO-SkyMed na investigação da dinâmica de áreas alagadas em ambientes glaciais recentemente expostos, campo de gelo Kraków, ilha Rei George, Antártica

Kátia Kellem da Rosa¹
Cláudio Wilson Mendes JR²
Jorge Arigony-Neto²
Carina Petsch¹
Jefferson Cardia Simões¹

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Instituto de Geociências, Departamento de Geografia, Centro Polar e Climático, Av. Bento Gonçalves 9500, Campus do Vale, Porto Alegre, RS. Brasil. CEP: 91501-970.

³ Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Instituto de Geociências, Departamento de Geodésia, Av. Bento Gonçalves, 9500, Campus do Vale, Porto Alegre, RS. Brasil. CEP: 91501-970.

Abstract: This study concerns the attempt to use the high-resolution X-band (9.6 GHz) COSMO-SkyMed (Constellation of small Satellites for Mediterranean basin Observation) images to investigate glacial hidrology of the proglacial area, in Wanda proglacial area. The Wanda glacier is located in King George Island, in north-western tip of the Antarctic Peninsula and has termini on land. This paper shows results of the conversion from intensity to amplitude dB, orthorectification and speckle median filtering and filters application at high resolution images in VV and HH polarizations with several incidence angle for glacial wetlands and lake discrimination. The best filters results were the Wallis adaptative filter Edge horizontal and Edge enhance filter in HH polarization images. The prewitt directional southwest and texture filters provided more lakes edge visualization. The use of the COSMO-SkyMed and the Digital Image Processing techniques applied provided more accurate glacial wetlands and lake detection if compared of the QUICKBIRD optical images. This research shows the potential of these high-resolution X-band SAR (Synthetic Aperture Radar) satellites and the filters application for the image interpreter to distinguish more feature details, as smaller wetlands, and can further support drainage proglacial studies. The results contribute for effective hydrological monitoring and modelling systems.

Keywords: wetlands, remote sensing, Cosmo-SkyMed images.

Introdução

O entendimento dos sistemas de drenagens glaciais é fundamental para várias questões que envolvem a glaciologia (HUBBARD *et al.*, 1998). As características do sistema de drenagem interferem no grau de deslizamento basal das geleiras (FOUNTAIN e WALDER, 1998) e, desta forma, nos processos subglaciais envolvidos (PATERSON, 1994; MACGREGOR *et al.*, 2000; SWIFT *et al.* 2005).

Dados de Radar de Abertura Sintética (*Synthetic Aperture Radar - SAR*) têm sido utilizados para avaliar a extensão das áreas alagadas (BAGHDADI *et al.*, 2001) por serem uteis no delineamento dos limites destes setores (KUSHWAHA, *et al.*, 2000; HENDERSON e LEWIS, 2008). SEASAT - SAR providenciam evidencias que sistemas de baixa frequência banda L podem facilitar a delineação de interfaces entre áreas alagadas e áreas não alagadas (RUNDGUIST *et al.*, 2001). Altas frequências (banda X) têm possibilitado detectar a interface de áreas alagadas (HENDERSON e LEWIS, 2008). No entanto, é relevante utilizar imagens SAR com uma maior resolução espacial que aumente a acurácia e distinção destes ambientes.

A geleira Wanda (Figura 1) é uma das geleiras de frente em terra do campo de gelo Kraków, Ilha rei George, Shetlands do Sul, Antártica. A retração das geleiras gerou ambientes

de áreas lagunares e alagadiços, caracterizados por áreas que ficam com drenagem superficial intermitente. Geleiras de base terrestre contribuem para o aporte hidrológico ao ambiente glaciomarinho por meio de correntes fluviais proglaciais alimentadas pela fusão das geleiras.

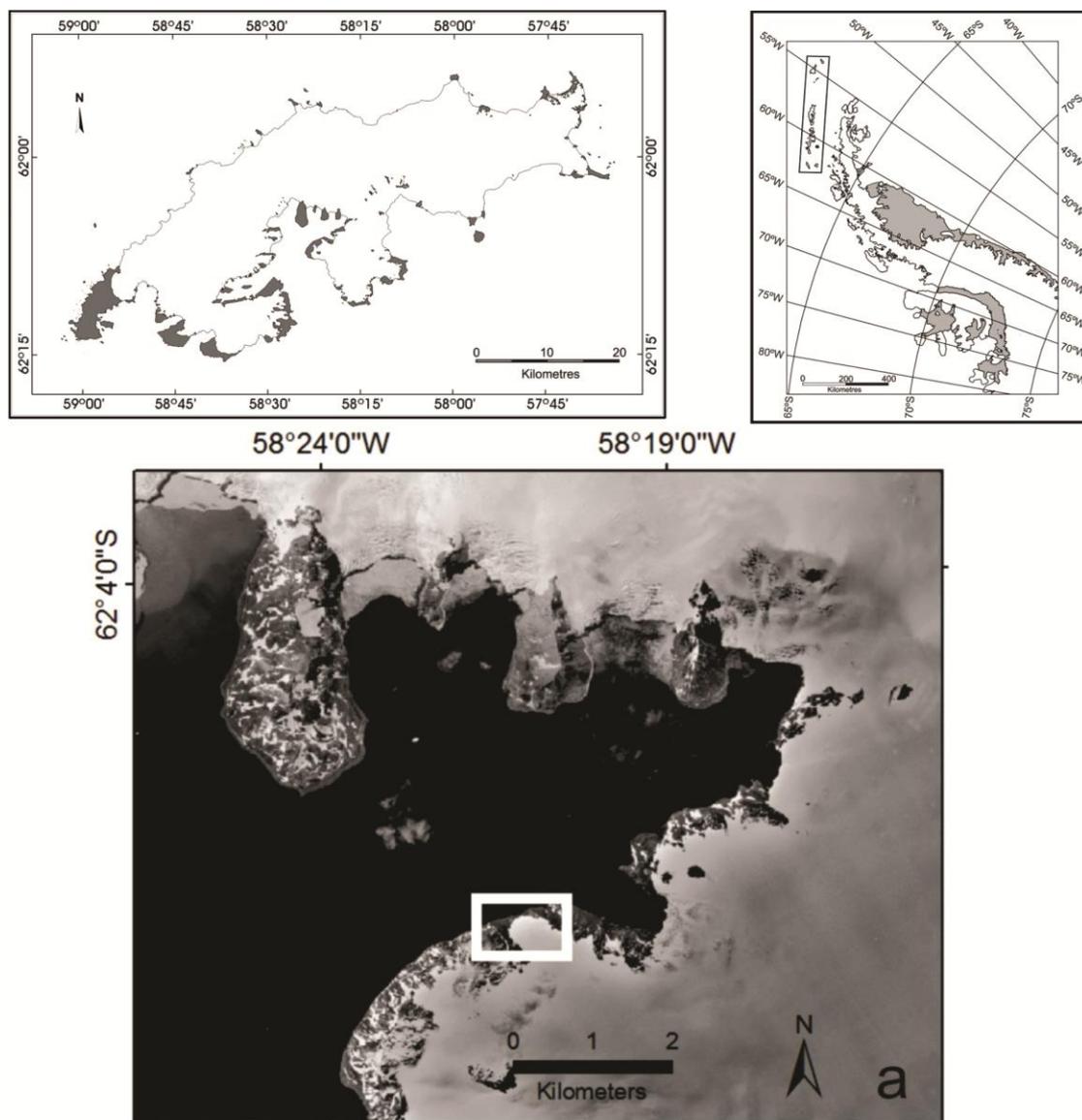


Figura 1. Mapa de localização da geleira Wanda na Ilha Rei George.

O presente trabalho objetiva avaliar o uso das imagens COSMO-SkyMed para a distinção de áreas de lagos e de alagadiços em ambientes glaciais recentemente expostos, tendo como aplicação na área proglacial da geleira Wanda. A investigação dos processos hidrológicos é importante para o entendimento da dinâmica glacial destes ambientes. O processamento digital das imagens de RADAR possibilitará a distinção entre lagos/lagunas permanentes e áreas de alagadiços temporários em ambientes glaciais. A evolução desta metodologia para estes ambientes pode auxiliar o estudo da dinâmica do desenvolvimento de sistemas de drenagens proglaciais em análises temporais.

Metodologia

Imagens de Radar COSMO-SkyMed obtidas no modo *spotlight*, no nível de processamento 1A e com resolução espacial de 1 metro e aproximadamente 100 km² de área de cobertura, obtidas durante Janeiro e Fevereiro de 2011 (Tabela 1), foram utilizadas para o mapeamento da área proglacial da geleira Wanda. As imagens foram obtidas através de um convênio com a Agência Espacial Italiana (*Italian Space Agency – ASI*). A metodologia de processamento envolveu a calibração radiométrica, a conversão de intensidade para amplitude em dB, o co-registro das imagens e a filtragem mediana para retirada do ruído *speckle* no programa ERDAS ImagineTM (*Leica Geosystems Geospatial Imaging, LLC*) (Figura 2).

Para a realização do comparativo entre imagens de radar de diferentes polarizações e a imagem óptica foi utilizada também uma imagem ASTER, de lata resolução espectral e baixa resolução espacial, e uma imagem QUICKBIRD (com alta resolução espacial) obtidas em outubro de 2005 e 2006 respectivamente, e que demonstram conter as mesmas feições de interesse. Para a verificação do mapeamento utilizou-se informações obtidas em campo. As atividades de campo ocorreram durante a OPERANTAR XXVIII (2009/2010) e OPERANTAR XXIX (2010/2011), sendo esta realizada na mesma data de obtenção das imagens.

As imagens foram ortorretificadas com o uso de um modelo digital de alta resolução espacial (0,7 m) da área de estudo gerado por Rosa *et al* (2014). A aplicação de filtros (Figura 2) espaciais foi realizada no software ERDAS ImagineTM.

Tabela 1. Características das imagens de radar utilizadas no desenvolvimento metodológico.

Data da aquisição das imagens	Horário de aquisição (UTC)	Missão satelital	Orbita	Angulo de incidência (<i>near – far range</i>)	Modo de polarização
22/01/2011	19h 58' 45''	CSK3	12142	43.023 – 43.431	VV
25/01/2011	20h 22' 40''	CKS1	19904	28.329 – 28.992	HH
10/02/2011	20h 22' 30''	CSK1	19667	28.295 - 28.958	VV
11/02/2011	19h 52'34''	CSK2	17193	45.553 – 45.916	HH

Resultados e discussões

A análise das imagens COSMO-SkyMed, com alta resolução espacial e altas frequências (banda X), em diferentes polarizações em relação à imagem óptica ASTER, de baixa resolução espacial, e a imagem Quickbird (de alta resolução espacial) na composição RGB 543 demonstra uma maior distinção dos diferentes alvos no setor proglacial nas imagens de radar (Figura 3).

As feições de interesse como as áreas úmidas em alagadiços proglaciais e áreas de lagos/lagunas podem ser facilmente visualizadas nas polarizações VV e HH das imagens COSMO-SkyMed após a calibração radiométrica, conversão de intensidade para amplitude em dB, filtragem do ruído *speckle* e ortorretificação (Figura 3 e Tabela 2). A polarização horizontal possibilitou maior distinção entre as áreas de cobertura sedimentares, neve, lagos/laguna das áreas úmidas/encharcadas (3b e 3c).

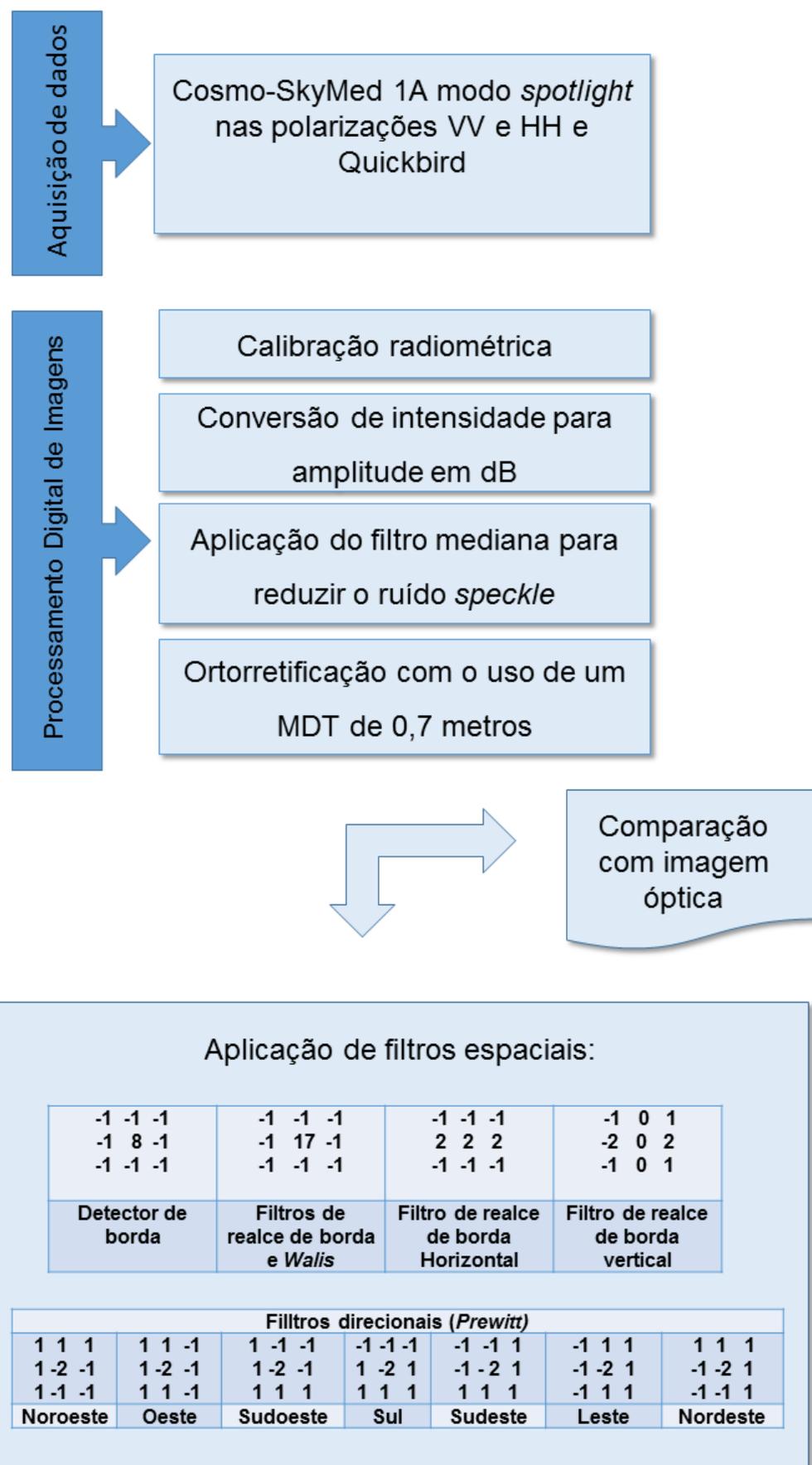


Figura 2. Fluxograma ilustrando o desenvolvimento metodológico proposto.

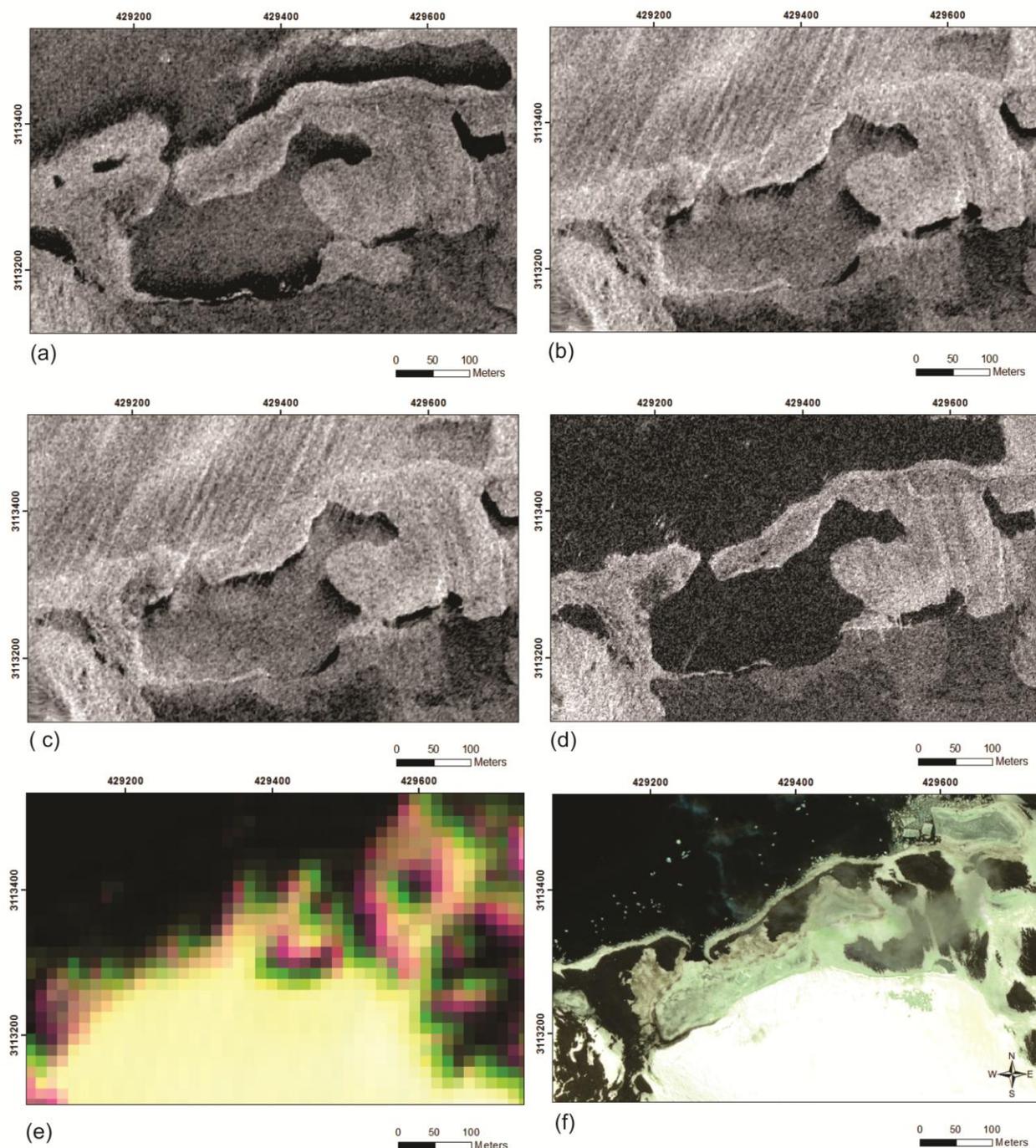


Figura 3. Análise comparativa entre as imagens COSMO-SkyMed (a-d), com alta resolução espacial, alta frequência (banda X) e em diferentes polarizações ((a) 22/01/2011 VV, (b) 25/01/2011 HH, (c) 10/02/2011 VV e (d) 11/02/2011)) em relação à imagem óptica ASTER (baixa resolução espacial) (e), e a imagem QUICKBIRD (alta resolução espacial) na composição RGB 543. As imagens COSMO-SkyMed apresentadas resultam da calibração radiométrica, conversão de intensidade para amplitude em dB, filtragem do ruído *speckle* e ortorretificação. A localização do recorte das imagens encontra-se na figura 1.

Os filtros direcionais de direção Sudoeste e Norte na polarização VV mostraram-se com resultados semelhantes. Enquanto que os filtros de realce de borda horizontal e vertical, em ambas polarizações, apresentaram o mesmo resultado de distinção espacial dos alvos. A mesma relação de semelhança nos resultados obtidos é verificada entre os resultados da aplicação dos filtros de realce de borda, detecção de borda e *Walis* na polarização HH, que se

demonstraram melhores para a distinção visual de áreas úmidas, como os alagadiços temporários (Figura 4). A obtenção do resultado da aplicação de textura verificou distinção de feições lineares do ambiente lagunar.

As áreas úmidas relacionadas a alagadiços contribuem com fluxo de metano e carbono para a atmosfera e o aumento destas áreas responde ao degelo glacial interanual. Mudanças climáticas podem afetar a dinâmica hidrológica nestes ambientes. Lagos respondem ao aumento da temperatura e as condições de deglaciação (HANSON *et al.*, 1992), sendo indicadores importantes para entender as respostas hidrogeológicas à retração glacial (LEVY *et al.*, 2012).

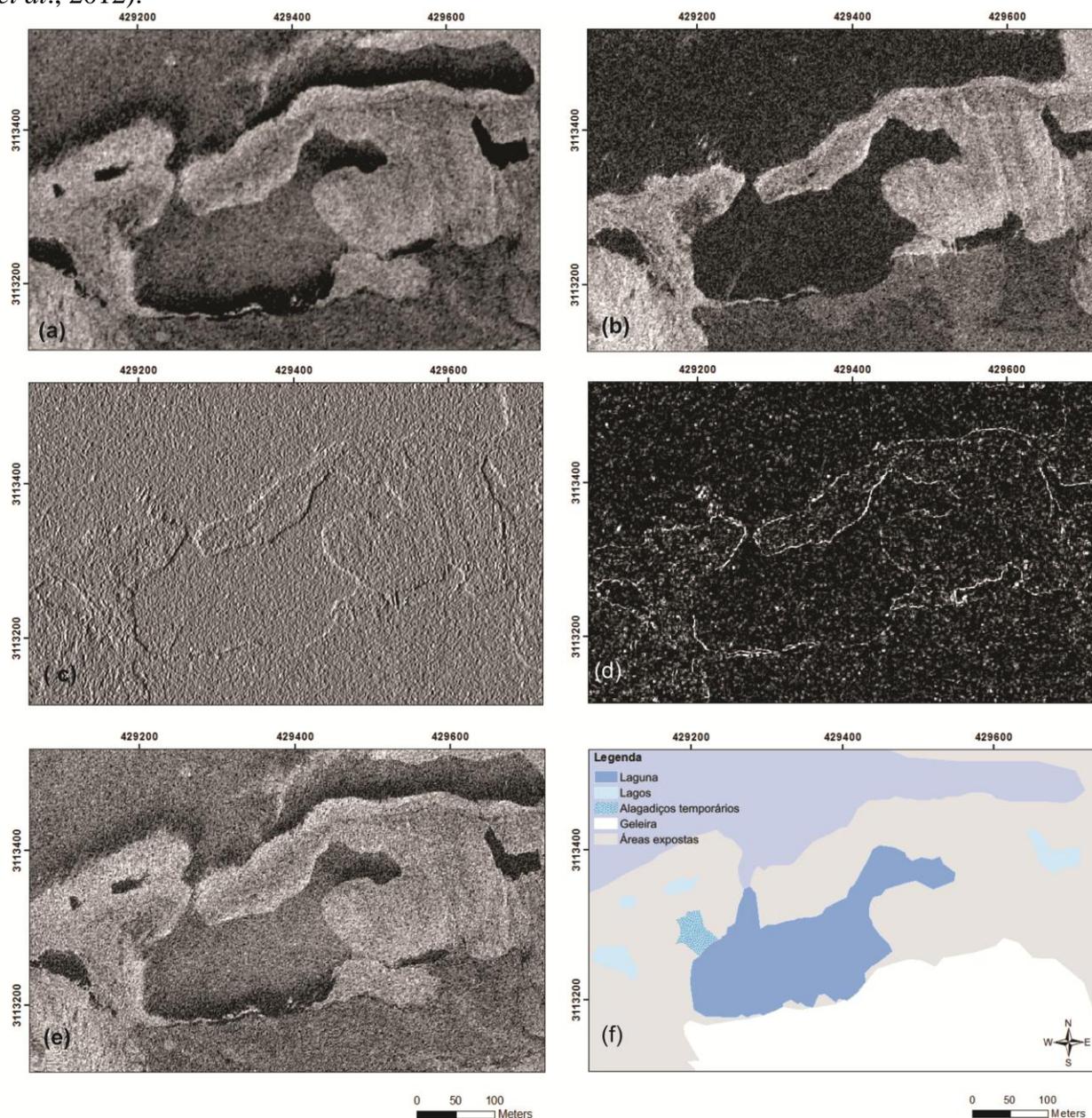


Figura 4. Imagens com polarização VV (imagem de 22 de janeiro - 4a) com a maré mais baixa e na imagem de polarização HH (imagem de 11 de fevereiro - 4b), ambas com maiores ângulos de incidência. (c) Aplicação de filtro de realce de borda horizontal na polarização HH. (d) Resultado da aplicação do filtro *Walis* na imagem de polarização HH. (e) Obtenção do resultado da aplicação de textura. (f) Mapeamento gerado pela interpretação visual após a aplicação dos filtros.

O resultado da aplicação de filtros espaciais nas imagens de polarização VV (3a) com a maré mais baixa e na imagem de polarização HH (3c) possibilitaram a interpretação visual de alvos como as áreas de lagos, lagunas (Figura 5a), canais de degelo e áreas úmidas (alagadiços temporários) (Figura 5b) formados pelo degelo da geleira e de neve (Figura 4 e Tabela 2).

Tabela 2. Resumo da aplicação dos filtros na metodologia desenvolvida.

Feição alvo	Polarização	Tonalidade	Textura	Melhores filtros (termos do software ERDAS Imagine™)	Kernel
Áreas alagadiças/ áreas úmidas	Ambas	Cinza médio	Fina	<i>Wallis adaptative filter</i> <i>Edge horizontal e Edge enhance filter</i>	3 x 3
Laguna de maior coluna de água e Lagos de menor coluna de água	Ambas	Cinza Escura	Fina	<i>Edge enhance filter</i> , <i>Texture analysis</i> , <i>Wallis adaptative filter</i> <i>Prewitt filter</i> , <i>Edge horizontal e vertical enhance filters</i>	3 x 3

A aplicação de filtros específicos em imagens de alta resolução espacial COSMO-SkyMed com diferentes polarizações (VV e HH), relevou-se com potencial na aplicação em análise das áreas úmidas com alagadiços (Figura 5a) e setores de lagos (Figura 5b) em ambientes glaciais. Assim como destacado por Champion e Faivre (1997) a sensibilidade do sinal de radar em detectar estes alvos dependeu da variação da polarização. Os autores também ressaltam que este comportamento é influenciado pelo ângulo de incidência e frequência de obtenção dos dados de radar. O mapeamento da distribuição espacial destas áreas é relevante para inferir o padrão de degelo e a formação do sistema de drenagem proglacial.

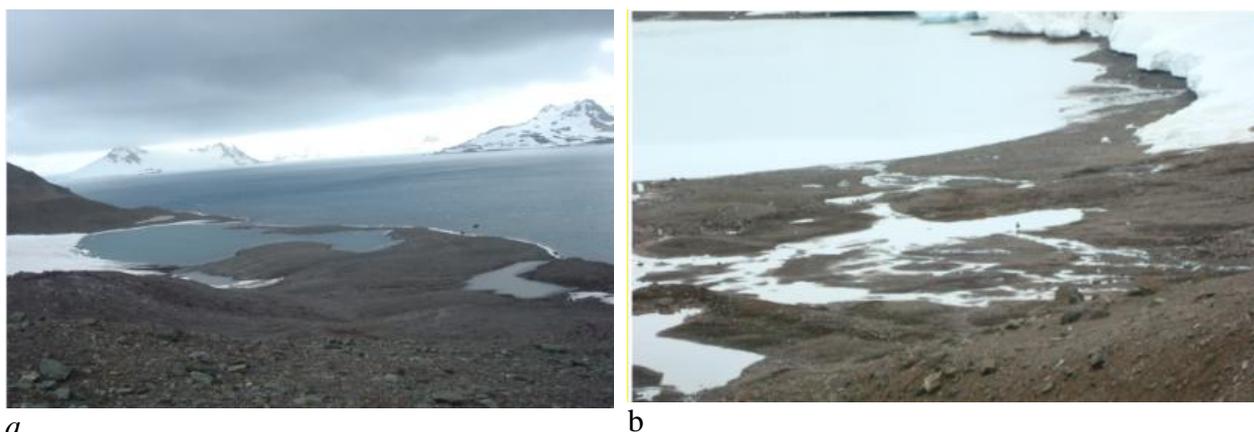


Figura 5. Ilustração das áreas de lagos e lagunas (Figura 5a) e áreas úmidas com alagadiços (Figura 5b) formados pelo degelo da geleira e de neve. Fotografias obtidas durante atividades de campo da OPERANTAR XXIX (janeiro e fevereiro de 2011) na mesma data de obtenção das imagens de radar.

As recentes imagens captadas de sensores SAR (COSMO-SkyMed), na banda X com alta resolução espacial e diferentes ângulos de incidências e polarizações, podem providenciar

a visualização de alvos em detalhe devido à alta resolução espacial, tornam-se importantes no mapeamento de feições geomorfológicas tais como em sistemas lagunares proglaciais.

Considerações finais

Neste trabalho apresentaram-se resultados da avaliação do uso de imagens COSMO-SkyMed para a interpretação geomorfológica glacial em áreas subpolares. A aplicação de filtros específicos em determinadas polarizações, aliada à alta resolução espacial das imagens, providenciou uma melhor distinção de feições entre lagos e pequenas áreas úmidas com alagadiços do que as imagens ópticas como a QUICKBIRD, com alta resolução espacial. Imagens COSMO-SkyMed providenciam dados de alta resolução espacial e permitem o contínuo monitoramento destes ambientes de difícil acesso e com constante cobertura de nuvens.

Este estudo mostrou o potencial das imagens COSMO-SkyMed e a metodologia de aplicação de filtros específicos para promover uma melhor visualização da morfologia superficial e, assim, o melhor entendimento da distribuição espacial e desenvolvimento da drenagem em ambientes recentemente deglaciados. Os resultados fomentarão o estabelecimento de uma rotina de processamento para a análise de imagens e de detecção automática dos alvos de interesse para análises temporais.

Agradecimentos: Este trabalho foi apoiado pelo Conselho Nacional para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (processo 475478/2013-4) e da FAPERGS (processo número 1996-2551/13-0). As imagens deste estudo foram obtidas pela *Italian Space Agency* (ASI).

Referências

- Baghdadi, N.; Bernier, M.; Gauthier, R.; Neeson, I. 2001. Evaluation of C-band SAR data for wetlands mapping. **International Journal Remote Sensing**, v. 22, n. 1, p. 71-88.
- Champion, I.; Faivre, R. 1997. Sensitivity of the Radar Signal to Soil Moisture. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 35, p. 781-783.
- Fountain, A. G.; Walder, J. S. 1998. Water flow through temperate glaciers. **Reviews of Geophysics**, v. 36, n. 3: 299-328.
- Henderson, F.; Lewis, A. 2008. Radar detection of wetland ecosystems: a review. **International Journal of Remote Sensing**, v. 29, n.20, p. 5809-5835.
- Kushwaha, S.P.S.; Dwivedi, R. S.; Rao, B. R. M. 2000. Evaluation of various digital image processing techniques for detection of coastal wetlands using ERS-1 SAR data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 21, n. 3, p.565-579.
- Levy, A.; Robinson, Z.; Krause, S.; Waller, R. 2012. The impact of glacial fluctuations on the shallow proglacial groundwater systems of two SE Icelandic glaciers. **EGU General Assembly 2012**, 22-27 April, 2012, Vienna, Austria, p.898.
- Macgregor, K.R.; Anderson, R.S.; Anderson, S.P.; Waddington, E.D. 2000. Numerical simulations of glacial-valley longitudinal profile evolution. **Geology**, v. 28, p.1031-1034.
- Paterson, W.S.B. 1994. **The Physics of Glaciers**. Elsevier, Oxford, 480 p.
- Rosa, K.K.; Mendes Junior, C.W.; Vieira, R.; Dani, N.; Simões, J.C. 2014. Análise morfométrica do setor norte da Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Shetlands do Sul, Antártica. **Boletim de Geografia** (Online), v. 32, p. 52-61.
- Rundquist, D. C., Narumalani, S.; Narayanan, R. M. 2001. A review of wetlands remote sensing and defining new considerations. **Remote Sensing Reviews**, v. 20, p. 207-226.
- Swift, D. et al. 2005. Geomorphic implications of subglacial drainage configuration: rates of basal sediment evacuation controlled by seasonal drainage system evolution. **Sedimentary Geology**, v. 149, p. 5-19.