

IDENTIFICAÇÃO DE GEOFORMAS GLACIAIS POR ANÁLISE VISUAL E POR ANÁLISE DE RELEVO: UM COMPARATIVO ENTRE SENSORES ORBITAIS E VANT.

Petsch, C. (UFSM) ; Perondi, C. (UFRGS) ; Rosa, K.K. (UFRGS) ; Velho, L.F. (IF RS) ; Trentin, R. (UFSM) ; Vieira, R. (UFF) ; Sotille, M.E. (UFF)

RESUMO

No século XXI, diversas geleiras da Antártica têm apresentado retração, expondo os registros do sistema deposicional subglacial. As feições geomorfológicas disponíveis possibilitam a interpretação desses ambientes, mas são de pequenas dimensões, exigindo produtos de geotecnologias compatíveis com sua escala de representação. Assim, o objetivo deste trabalho é comparar a análise visual entre imagens ópticas de três sensores diferentes e a análise por altimetria, comparando três modelos digitais de elevação submetidos a um algoritmo de identificação automática de geofomas. Os resultados mostram que a resolução espacial impacta tanto a análise visual quanto a identificação automática de geofomas. Sugere-se que novos testes sejam realizados, com novos parâmetros e pré-processamentos dos materiais, visando avaliar as potencialidades e limitações de cada material.

PALAVRAS CHAVES

Geomorphon; MDE; Antártica; Sensoriamento remoto; Geomorfologia glacial

ABSTRACT

In the 21st century, several glaciers in Antarctica have retreated, exposing the records of the subglacial depositional system. The available geomorphological features allow the interpretation of these environments, but they are small, requiring geotechnological products compatible with their scale of representation. Thus, the objective of this work is to compare the visual analysis between optical images from three different sensors and the analysis by altimetry, comparing three digital elevation models submitted to an algorithm for automatic identification of geoforms. The results show that the spatial resolution impacts both the visual analysis and the automatic identification of geoforms. It is suggested that new tests be carried out, with new parameters and pre-processing of the materials, aiming to evaluate the potentialities and limitations of each material.

INTRODUÇÃO

As geleiras do planeta têm apresentado retração como resposta ao balanço de massa negativo, o qual tem se acelerado nas primeiras décadas do século XXI (HUGONNET et al., 2021; ROE et al 2021). Após o recuo glacial, se formam ambientes livres de gelo, que estão sujeitos a rápidas modificações, com intensa atividade geomórfica, reajuste e redistribuição de sedimentos e água de degelo (BALLANTYNE, 2002; KLAAR et al 2014). Dessa forma, é importante monitorar as formas de relevo dos ambientes marginais ao gelo em sistemas terrestres (BENN et al., 2003; Ó COFAIGH et al., 2003). O sistema deposicional subglacial pode ser observado quando a geleira retrai e exhibe formas de relevo, como as lineações glaciais nas novas áreas livres de gelo. Mega-lineações glaciais, flutes, eskers, blocos stoss and lee e drumlins são exemplos de feições subglaciais que estão relacionadas a um fluxo de gelo ativo e com a presença de regime termo-basal úmido das geleiras. Muitas dessas feições são consideradas de pequena dimensão. Séries temporais de imagens orbitais e modelos digitais de elevação (MDEs) facilitam a interpretação da geomorfologia glacial e das mudanças no padrão de rápida retração (JAMIESON et al., 2015; SILVA et al., 2019). Salienta-se que a análise de áreas pequenas é possível com o uso de imagens de alta resolução espacial (pixel menor que 2m), contudo, os custos são elevados. Ademais, a identificação de feições com poucos metros ou centímetros de comprimento e largura dificilmente é possível de ser realizada, mesmo em imagens de satélite de alta resolução espacial, como Planet Scope e Worldview-2 ou 4, por exemplo. Nesse viés, a elevação é um parâmetro relevante na distinção dos tipos de formas, pois podem ser

elaborados perfis topográficos e pode-se obter as curvas de nível. Na Antártica, há modelos digitais de elevação como o REMA, com 8 e 2 metros de resolução espacial, e acurácia vertical de 3,5 metros (HOWAT et al., 2019); no entanto, há descontinuidade espacial dos dados, especialmente nas áreas costeiras. Para a ilha Rei George (IRG), Braun et al (2016) geraram um MDE com resolução espacial de 10 m, a partir das imagens TANDEM-X. Assim sendo, MDE obtidos de levantamentos aéreos com aviões ou por veículo aéreo não tripulado (VANT) podem resultar em dados altimétricos mais adequados à identificação de pequenas geoformas glaciais. Os voos de VANT têm a vantagem de exigir menos tempo de preparação e execução do que os levantamentos aéreos com aviões, e têm maior flexibilidade do que os satélites (ALPHONSE et al 2023). Portanto, o VANT tem permitido obter ortofotomosaicos e modelo digital de superfície (MDS) para mapeamentos em ambientes glaciais com alta acurácia (RMSE 0,1m) (ELY et al., 2017; ALLAART et al., 2018; KRECZMER et al., 2021). Os métodos de classificação automática dos MDE e das imagens de alta resolução espacial podem ser aplicados no mapeamento geomorfológico glacial. Os elementos de Geomorphon, por exemplo, é um dos métodos de classificação automática que considera a similaridade textural do MDE, apresentando a variação de níveis de cinza em relação às células vizinhas (JASIEWICZ e STEPINSKI, 2013). O método foi testado para auxiliar no mapeamento do relevo glacial em porções da Cordilheira Branca, localizada no Peru, e na IRG, na Antártica, sendo proposta a Classificação Digital Revisada por Elementos de Geomorphon (PETSCH et al 2020; PETSCH et al 2022). Diante do exposto, considera-se relevante avaliar as diferentes técnicas de obtenção e análise dos dados para o mapeamento geomorfológico glacial. Nesse viés, o objetivo desta pesquisa é avaliar as potencialidades dos produtos do VANT (ortomosaico e MDE) na identificação de pequenas geoformas glaciais na região da Antártica Marítima, comparando-os com produtos de imagens orbitais.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área A IRG (entre latitudes 61°50'S e 62°15'S e longitudes 57°30'W e 59°01'W) está localizada nas ilhas Shetlands do Sul (OCHYRA, 1998). Nas áreas livres de gelo da IRG há formas de relevo deposicionais, como morainas, flutes e eskers (ROSA et al., 2018), e processos periglaciais, glaciais, fluviais e litorâneos (LÓPEZ- MARTINEZ et al., 2016). Para as últimas décadas, houveram mudanças de tipo de término de geleiras, de marinho para terrestre, sendo que as novas áreas livres de gelo (de 2000 - 2019) somaram um total de 1,7 km² (PERONDI et al., 2020). Há 29 bacias que drenam para a Baía do Almirantado (BA) - esta baía está na porção central da IRG. Na BA está localizada a geleira Viéville, área teste deste estudo. Esta geleira possui uma área proglacial que acompanha quase a totalidade de sua frente. A área exposta é composta por lagos proglaciais e sedimentos de diferentes formas e tamanhos. Metodologia Todos os produtos foram organizados no software QGIS 3.4. O banco de dados da pesquisa é constituído por imagens ópticas da série Landsat (janeiro de 2020), Planet Scope (fevereiro de 2019) e um ortomosaico obtido a partir de VANT; e MDEs obtidos a partir de VANT, TANDEM-X (BRAUN et al 2016) e REMA (HOWAT et al 2019). A resolução espacial dos MDE são, respectivamente: 10 cm, 10 m e 8 m. A imagem Landsat foi obtida através do site Earth Explorer - USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), e a imagem PlanetScope foi obtida através do site Planet Team. Foram aplicadas operações de realce nas imagens PlanetScope (RBG 432) e Landsat (RBG 543). A aquisição das imagens com VANT, foram realizadas durante a OPERANTAR XLI (verão austral de 2023). O VANT utilizado foi o MAVIC 2 e as missões foram planejadas e executadas usando o aplicativo Drone Deploy, com altitude de voo de 100m e sobreposição de 75% das fotografias. As imagens foram processadas no software Agisoft Metashape Professional (<https://www.agisoft.com/>) que utiliza a rotina das funções do Structure from Motion (SfM), que identifica automaticamente os parâmetros da câmera (geometria, posição e orientação), determinando feições semelhantes observadas de diversos ângulos devido ao uso de ampla sobreposição das fotografias (WESTOBY et al., 2012). O software segue uma rotina de funções começando pelo alinhamento das fotografias onde é identificada uma nuvem esparsa de pontos homólogos, após ocorre a densificação desta nuvem de pontos, utilizando os parâmetros da câmera (orientação e posição) e os pontos da nuvem esparsa. Em seguida, ocorreu a geração do modelo tridimensional, o MDE e o ortomosaico. Os produtos do MDE e do ortomosaico foram então exportados em formato TIFF. A partir dos três MDE (VANT, TANDEM-X e REMA), foi aplicado o método de Geomorphon, algoritmo executado no QGIS, como extensão do GRASS "r.geomorphons". Para definição dos geomorphons, foram utilizadas janelas móveis com extensões de 140 metros e grau de

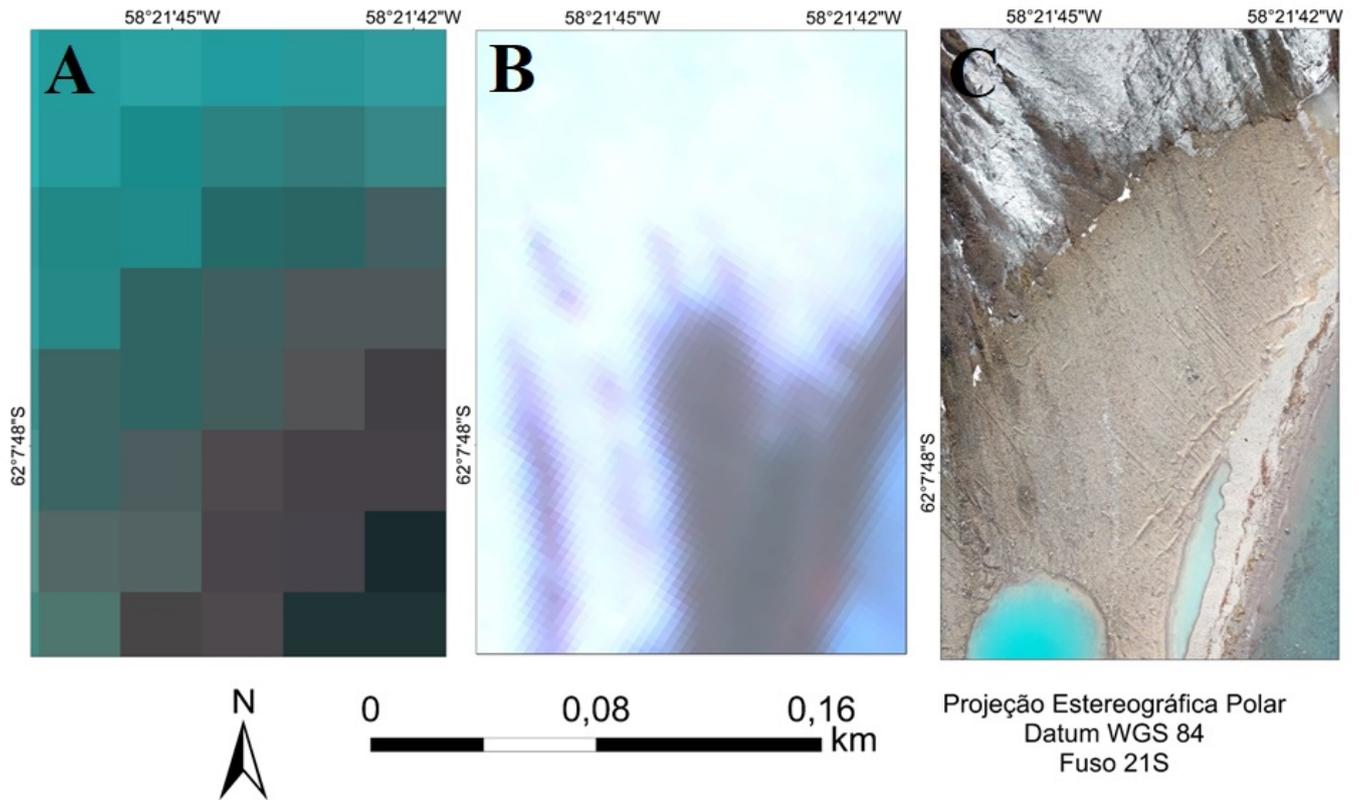
suavização de visada de 2 graus. Posteriormente, foi realizada uma vetorização manual (com base no ortomosaico do VANT) das principais lineações glaciais e morainas na área teste, visando comparar com o método automático de identificação de formas de relevo. Destaca-se que outras técnicas de mapeamento automático poderiam ter sido aplicadas, contudo os elementos de Geomorphons já haviam sido usados com êxito por Petsch et al (2020) e Petsch et al (2022), para feições glaciais. Nesta etapa do desenvolvimento da investigação, testes foram realizados com diferentes janelas móveis e grau de suavização dos MDEs, visando a melhor representação das formas de relevo, assim como Sarasan et al. (2018), que realizaram pesquisas explorando a possibilidade de classificação automática de drumlins usando o método de Geomorphons.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A área teste escolhida, localizada na área livre de gelo da geleira Viéville, ocorreu em função de sua diversidade de feições de relevo, bem como a retração observada nos últimos anos. Comparando as imagens ópticas (Figura 1), na Landsat (Figura 1 A) é possível notar que há uma área livre de gelo na porção proglacial, contudo, é difícil identificar a linha de frente da geleira. Na imagem Planet Scope (Figura 1 B), é possível observar com maior contraste o limite da frente da geleira, embora deve-se fazer ressalvas quanto à presença de sedimentos e de gelo nessa porção, o que pode causar erros de interpretação. Ainda, destaca-se que a imagem Planet Scope é de quatro anos antes da obtenção do ortomosaico com VANT, contudo, é a imagem mais recente deste satélite que não apresenta nuvens para esta área. Em campo (verão austral de 2023), e com auxílio das imagens do VANT (Figura 1 C), é possível verificar que a frente da geleira está coberta por sedimentos, além disso, também apresentou retração em relação ao ano de 2019. Figura 1: A demonstra a frente da geleira na imagem Landsat; em B a área livre de gelo está representada na imagem PlanetScope; em C o ortomosaico obtido a partir de voo de VANT realizado em março de 2023. Considerando a resolução espacial das imagens analisadas, há que se destacar potencialidades e limitações de cada um dos materiais diante das mudanças climáticas e da retração verificada nas geleiras da região. Avaliando a imagem Landsat, nota-se que sua resolução espacial de 30 metros não é adequada para a identificação de geoformas nas áreas recentemente expostas, visto que o próprio limite da frente da geleira é de difícil identificação. A imagem Planet Scope, apesar de sua alta resolução espacial, também apresenta limitações para aplicações em geomorfologia glacial. Dada a cobertura da porção final da geleira por sedimentos, em um pixel da imagem PlanetScope há a mistura espectral desses alvos, o que dificulta a identificação da frente da geleira. O limite da geleira apresenta um aspecto de suavização de bordas, mesmo a imagem não sendo processada. Analisando o ortomosaico do VANT, é possível identificar, com excelente contraste, a linha de frente da geleira, o contorno dos lagos proglaciais, bem como pequenas geoformas da área exposta como morainas e flutes. É possível, também, identificar porções terminais da geleira cobertas por sedimento, diferenciando-as das áreas de depósito de sedimentos. Dessa forma, mesmo que a série Landsat possibilite um acervo maior de imagens, não é adequado o uso dessas imagens para o mapeamento geomorfológico de feições proglaciais da Antártica Marítima. Já o ortomosaico gerado a partir do VANT, permite avanços em diversas áreas, como o monitoramento da frente da geleira, identificação dos lagos e feições geomorfológicas. Diante dos resultados obtidos, foi elaborada uma tabela (Figura 2) com um resumo das potencialidades associadas a cada produto analisado para o desenvolvimento de pesquisas em porções de áreas livres de gelo para a Antártica Marítima. Destaca-se que as geoformas e limites da frente da geleira podem ser obtidos de forma manual utilizando técnicas de interpretação visual das imagens de satélite ou VANT apresentadas. Contudo, evidentemente, algumas técnicas como a aplicação de índices espectrais podem auxiliar na delimitação dos alvos, e.g. Lorenz et al (no prelo) que utilizou o NDWI e NDSI em imagens Sentinel e Landsat para delimitação das frentes das geleiras. Figura 2: Tabela demonstrativa das potencialidades de mapeamento em cada imagem. No que se refere à identificação de formas de relevo, o MDE REMA, apesar de apresentar uma acurácia vertical de 0,6 m (HOWAT et al., 2019), apresenta baixa resolução espacial, definindo as geoformas como áreas de cristas e encostas (Figura 3 A). Utilizando o MDE TANDEM-X, embora haja predominância da classificação em crista, verifica-se a confusão dos pixels, com diferentes classes definidas de forma automática pelo método Geomorphons (Figura 3 B). Assim como identificado na análise visual das imagens (Figura 1), a resolução espacial provavelmente contribui com essa dificuldade na identificação automática das

geofomas. Considerando que as áreas proglaciais, na área de estudo, são costeiras e majoritariamente planas (com poucas ondulações geradas pelos depósitos de sedimentos), as diferenças de nível são pequenas entre os pontos. Assim, quanto maior o pixel, mais suavizado será representado o terreno. Ademais, os MDE são provenientes de imagens com quase 10 anos de diferença em relação ao produto obtido com o VANT, portanto, as posições da frente da geleira e os processos e geofomas retratados nos diferentes MDE podem não ser as mesmas. A aplicação do método dos Elementos de Geomorphons no MDE do VANT (Figura 3 C), demonstra que há problemas em porções com maior variedade de feições, havendo áreas classificadas como ressalto, crista e encosta. Salienta-se que a alta resolução espacial do MDE (~10cm), ocasiona, no método automático, que cada rocha, ou pequena alteração no terreno seja classificada como um pico ou crista. Possivelmente isso ocorra pela alta variabilidade nos valores de altitude entre pixels vizinhos, pois o pixel é muito pequeno e as diferenças de nível entre os pixels do topo de um matacão e de seu entorno podem ser interpretadas como quebra de padrão na superfície. Assim, há limitações no uso do método em um produto altimétrico de tão alta resolução espacial. Isolando somente as porções de picos, verifica-se que o método de Geomorphon apresenta melhor desempenho, identificando grande parte das feições lineares do tipo lineações glaciais (flutes ou drumlins) e morainas (Figura 3 D e E). Petsch et al (2020) e Petsch (2022) também indicaram a potencialidade do método para a representação de feições lineares. Salienta-se que a identificação destas feições é fundamental, pois possibilitam reconstruir o passado das geleiras, como sua extensão, mudanças nas condições termiais, direção do fluxo glacial, períodos de avanço ou de retração glacial (BENN; EVANS, 2010). Figura 3: Aplicação do método de Geomorphons no MDE REMA (A), TANDEM-X (B) e VANT (C); em D e E as cristas foram isoladas e comparadas com as feições mapeadas manualmente. Nesse sentido, observa-se que, apesar do método de Geomorphon apresentar potencialidades para o mapeamento automático das formas de relevo lineares, é preciso avançar em técnicas de suavização dos pixels, visando aumentar a acurácia na identificação destas feições. A classificação automática ou semi- automática confere a possibilidade de realizar mapeamentos com maior precisão e usando critérios que podem ser replicados para outras porções livres de gelo. Nesse sentido, Petsch et al (2020) salientam que a classificação automática de MDEs pode auxiliar em estudos sobre as mudanças espaço-temporais nas áreas livres de gelo. Enquanto, o mapeamento manual de feições requer um maior tempo principalmente nos produtos obtidos com VANT, pois a escala de detalhe é maior; e dificulta a continuidade do mapeamento por outros autores, pois pode ter erros inerentes aos indivíduos que estão realizando o processamento. Ainda, podem ser realizados testes, utilizando outros métodos de obtenção automática de formas de relevo, como Dikau et al. (1995) e Índice de Posição Topográfica (ITP). Petsch et al (2020) realizaram testes com MDEs de 30m de resolução espacial, obtendo resultados limitados quanto à identificação de feições de origem glacial. Contudo, pode haver uma melhoria destas técnicas, em função do aumento da resolução espacial do MDE.

Figura 1



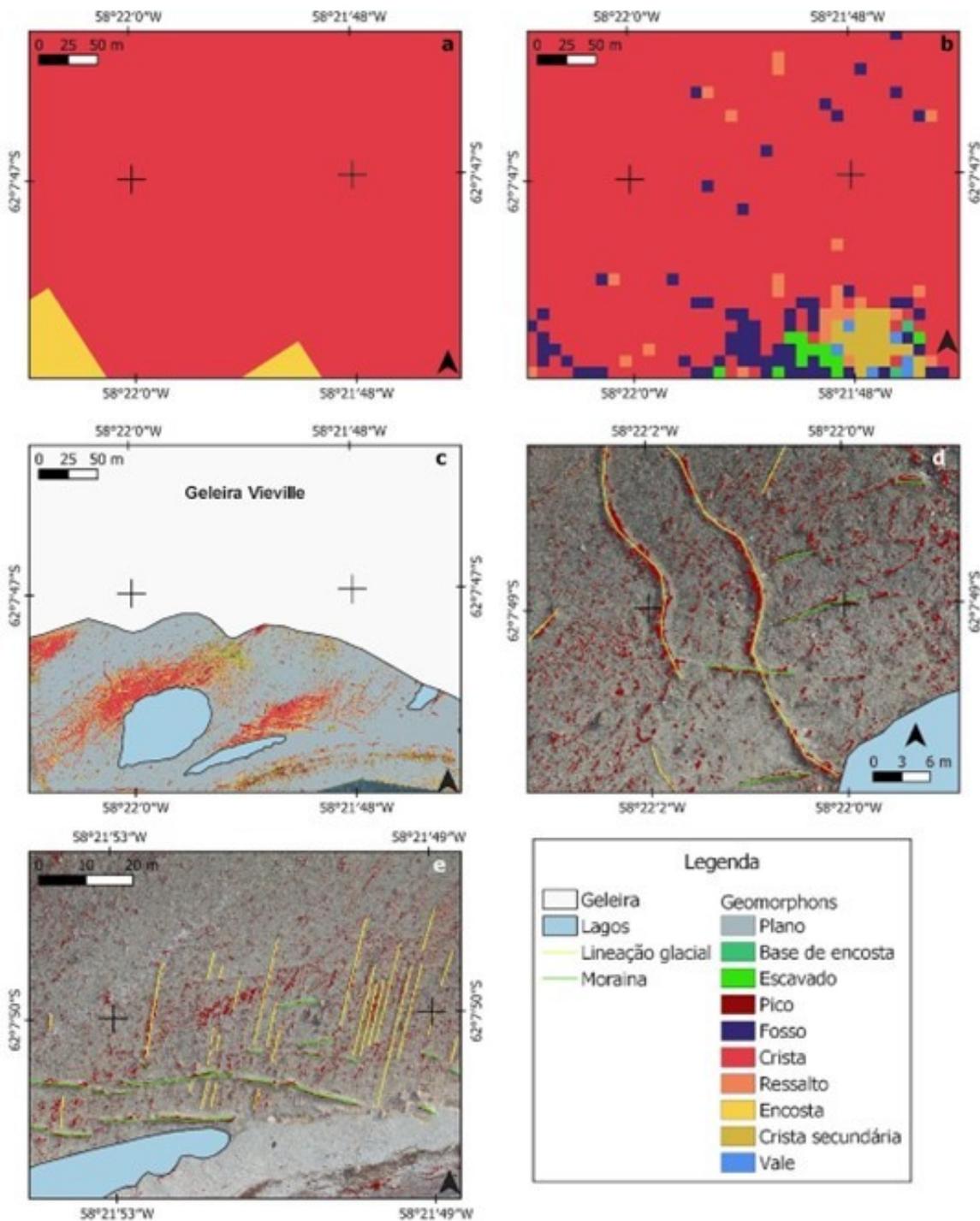
A demonstra a frente da geleira na imagem Landsat; em B a área livre de gelo está representada na imagem PlanetScope; em C o ortomosaico do VANT

Figura 2

Geoforma e identificação de áreas livres de gelo	Landsat OLI	Planet Scope	VANT
Morainas frontais de maiores dimensões (largura maior que 1 metro)		X	X
Eskers (pequenos - de 3 m)		X	X
Flutes			X
Blocos erráticos			X
<i>Stoss and lee</i>			X
Morainas frontais de menores dimensões			X
Identificação de pequenas áreas livres de gelo		X	X

Tabela demonstrativa das potencialidades de mapeamento em cada imagem.

Figura 3



Aplicação do método de Geomorphons no MDE REMA (A), TANDEM-X (B) e VANT (C); em D e E as cristas foram isoladas e comparadas com as feições mapeadas

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação das potencialidades dos produtos provenientes de levantamento por VANT, proposta neste trabalho, teve duas análises distintas: (i) análise visual; e (ii) análise por MDE e métodos automáticos de identificação de geofomas. Considerando exclusivamente a análise visual,

compreende-se que a resolução espacial é fator limitante para o uso de determinados materiais, existindo uma relação direta entre uma melhor resolução espacial e uma maior possibilidade de identificação das geoformas passíveis de uso na interpretação do ambiente. Assim, o ortomosaico (VANT) contempla todas as necessidades de um mapeamento geomorfológico para a Antártica Marítima: posição da linha de frente da geleira, posição da linha de costa, posição e contorno dos lagos proglaciais, posição e morfologia das geoformas. Ressalta-se que não foram explorados os aspectos espectrais dos sensores, o que poderá ser realizado em trabalhos futuros, com o uso de índices para a identificação de alvos específicos e delimitação de áreas de interesse. Quanto à análise dos MDE e Geomorphons, não foram obtidos resultados satisfatórios com nenhum dos materiais utilizados. Isso pode estar associado à resolução espacial dos materiais - ou resoluções espaciais baixas para a identificação de quebras de padrão na superfície, ou altas demais, identificando quebras de padrão inexistentes. Dadas essas observações, recomenda-se que os MDE passem por pré-processamentos para preparar os dados para uma identificação automática.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul, ao Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR), ao Programa de Pós-graduação em Geografia da UFRGS e ao CNPq.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- ALLAART, L.; FRIIS, N.; INGÓLFSSON, Ó.; HÅKANSSON, L.; NOORMETS, R.; FARNSWORTH, W.R.; MERTES, J.; SCHOMACKER, A. Drumlins in the Nordenskiöldbreen forefield, Svalbard. *GFF*, n. 140, p. 170-188, 2018.
- BENN, D. I.; EVANS, D. J. A. *Glaciers and glaciation*. 2a ed. London: Hodder Education. 802p., 2010.
- BALLANTYNE, C. K. Paraglacial geomorphology. *Quaternary Science Reviews*, v. 21, p. 1935-2017, 2002. DOI: 10.1016/S0277-3791(02)00005-7
- BENN, D. I.; KIRKBRIDE, M. P.; OWEN, L. A.; BRAZIER, V. Glaciated valley landsystems. In: D. J. A. Evans (Ed.), *Glacial Landsystems*. Arnold, London, pp. 372-406, 2003.
- BRAUN, M.; RAU, F. Using a multi-year data archive of ERS SAR imagery for the monitoring of firn line positions and ablation patterns on the King George Island ice cap (Antarctica). *Proceedings of EARSeL-SIG-Workshop Land Ice and Snow*. Dresden, Alemanha. 1, p. 281 - 291. 2000.
- BRAUN, M. H; BETSCH, T.; SEEHAUS, T. King George Island TanDEM-X DEM, link to GeoTIFF. Institut für Geographie, Friedrich-Alexander-Universität, Erlangen-Nürnberg, PANGAEA, 2016. DOI: 10.1594/PANGAEA.863567
- DIKAU, R.; BRABB, E.; MARK, R.K.; PIKE, R. J. Morphometric landform analysis of New Mexico. *Zeitschrift Geomorphological Supplement*, n. 101, p. 109-126, 1995.
- ELY, J.C.; GRAHAM, C.; BARR, I. D.; REA, B.; SPAGNOLO, M.; EVANS, J. Using UAV acquired photography and structure from motion techniques for studying glacier landforms: application to the glacial flutes at Isfallsglaciären. *Earth Surface Processes and Landforms*. n. 42(6), p. 877-888, 2017. DOI: 10.1002/esp.4044
- HOWAT, I. M.; PORTER, C.; SMITH, B. E.; NOH, M.-J.; MORIN, P. The Reference Elevation Model of Antarctica. *The Cryosphere*, v. 13, p. 665-674, 2019. DOI: 10.5194/tc-13-665-2019.
- HUGONNET, R., MCNABB, R., BERTHIER, E. et al. Accelerated global glacier mass loss in the early twenty-first century. *Nature*, n. 592, p. 726-731, 2021. DOI: 10.1038/s41586-021-03436-z

- JAMIESON, S. S. R.; EWERTOWSKI, M. W.; EVANS, D. J. A. Rapid advance of two mountain glaciers in response to mine-related debris loading. *Journal Geophysical Research: Earth Surface*, n. 120, p. 1418–1435, 2015. DOI: 10.1002/2015JF003504.
- JASIEWICZ, J.; STEPINSKI, T. F. Geomorphons a Pattern Recognition Approach to Classification and Mapping of Landforms. *Geomorphology*, v. 182, p. 147–156, 2013. DOI: 10.1016/j.geomorph.2012.11.005.
- KLAAR, M. J.; KIDD, C.; MALONE, E.; BARTLETT, R.; PINAY, G.; CHAPIN, F. S.; MILNER, A. Vegetation succession in deglaciated landscapes: implications for sediment and landscape stability. *Earth Surface Processes Landforms*, n. 40, p. 1088–1100. 2015. DOI: 10.1002/esp.3691.
- KRECZMER, K.; DĄBSKI, M.; ZMARZ, A. Terrestrial Signature of a Recently-Tidewater Glacier and Adjacent Periglaciation, Windy Glacier (South Shetland Islands, Antarctic). *Frontiers in Earth Sciences*, v. 9, 2021. DOI: 10.3389/feart.2021.671985
- LÓPEZ-MARTÍNEZ, J.; SCHMID, T.; SERRANO, E.; MINK, S. NIETO, A. GUILASSO, S. Geomorphology and surface landforms distribution in selected ice-free areas in the South Shetland Islands, Northern Antarctic Peninsula Region. *Cuadernos de Investigacion Geográfica*, v. 2, n. 42, p. 435-455, 2016. DOI: 10.18172/cig.2965
- Ó COFAIGH, C.; EVANS, D. J. A.; ENGLAND, J. Ice-marginal terrestrial landsystems: sub-polar glacier margins of the Canadian and Greenland high arctic. In: EVANS, D. J. A. (Ed.), *Glacial Landsystems*. Arnold, London, pp. 44–64, 2003.
- OCHYRA, R. *The moss flora of King George Island, Antarctica*. Kraków: Polish Academy of Sciences, 1998.
- PERONDI, C.; ROSA, K. K.; PETSCH, C.; IDALINO, F. D.; OLIVEIRA, M. A. G.; LORENZ, J. L.; VIEIRA, R.; SIMÕES, J. C. Recentes alterações nas geleiras e nos sistemas paraglaciais, Antártica Marítima. *Revista Geociências NE*, v. 6, p. 292-301, 2020. DOI: 10.21680/2447-3359.2020v6n2ID19301
- PETSCH, C.; PERONDI, C.; ROSA, K. K. DA; VIEIRA, R.; ROBAINA, L. E. de S.; TRENTIN, R. Método de Geomorphon aplicado à Antártica: identificação de formas de relevo paraglaciais de macro e mesoescala. *Ilha Rei George, Ilhas Shetlands do Sul. Cuadernos de Geografia*, v.31, p. 108 - 127, 2022. DOI: 10.15446/rcdg.v31n1.85644.
- PETSCH, C.; de SOUZA ROBAINA, L. E.; TRENTIN, R.; ROSA, K. K. da; FIGUEIREDO, A. R. de; SIMÕES, J. C. O uso de métodos de mapeamento automático de relevo para análise de formas glaciais. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, n. 21(2), 2020. DOI: 10.20502/rbg.v21i2.1771.
- ROE, G. H.; CHRISTIAN, J. E.; MARZEION, B. On the attribution of industrial-era glacier mass loss to anthropogenic climate change. *The Cryosphere*, n. 15, p. 1889–1905, DOI: 10.5194/tc-15-1889-2021, 2021.
- SARASAN, A.; JÓZSA, E.; ARDELEAN, A. C.; DRAGUT, L. Sensitivity of geomorphons to mapping specific landforms from a digital elevation model: A case study of drumlins. *Area*. p. 1–11, 2018. DOI: 10.1111/area.12451
- SILVA, A. B.; ARIGONY-NETO, J.; BICCA, C. E. Caracterização geomorfológica das geleiras da Península Antártica. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, n. 20(3), 2019. DOI: 10.20502/rbg.v20i3.1547
- WESTOBY, M. J. et al. ‘Structure-from-Motion’ photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, v. 179, p. 300–314, dez. 2012. DOI:



10.1016/j.geomorph.2012.08.021