

Influência da radiação solar na distribuição superficial da vegetação na Península Fildes, Antártica Marítima

André Medeiros de Andrade ^{1,2}
Roberto Ferreira Machado Michel ²
Eliana Lima da Fonseca ¹
Ulisses Franz Bremer ¹
Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer ²
Jefferson Cardia Simões ¹

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS/Centro Polar e Climático
Caixa Postal 15001 - Porto Alegre - RS, Brasil
{andre.medeiros, eliana.fonseca, bremer, jefferson.simoes}@ufrgs.br

² Universidade Federal de Viçosa – UFV/Terrantar
CEP 36570-900 - Viçosa - MG, Brasil
roberto@michel.com
carlos.schaefer@ufv.br

Abstract. The aim of this study is estimate the incidente of potential solar radiation at the surface of the ice-free areas from Fildes Peninsula, Maritime Antarctica in different seasons, and analyze wheter there is a relationship between the incident radiation and the surface distribution of vegetation. The vegetation data was generated from the classification of a QuickBird satellite image of February 8, 2008. The estimation of incidence of solar radiation at the surface in four seasons was generated by modeling and from a digital elevation model with 1 m spatial resolution. The segmentation of the surface was generated from the values of incident radiation, by grouping in areas of light compensation point (PCL) and saturation point (PS). The spatial distribution of vegetation is mainly concentrated on marine terraces the east and west areas close to the sea and proglacial area adjacent to the Collins Glacier. Only the moss class has considerable vegetation in the area of PCL in the winter and autumn seasons, covering respectively 15.2 and 13.7% of the area covered by vegetation. From the joint analysis between the spatial distribution of vegetation and the quantity of incident solar radiation on the surface, it was found that Radiation is not an element that determines the spatial distribution of vegetation that area.

Palavras-chave: GIS, remote sensing, periglacial environment, SIG, sensoriamento remoto, ambiente periglacial.

1. Introdução

A temperatura do ar do planeta tem aumentado desde o final de 1800 (HANSEN e LEBEDEV, 1987) sendo que o ambiente antártico apresenta aumento na temperatura do ar superficial (TURNER *et al.*, 2005) e mudanças climáticas registradas ao longo da segunda metade do século XX (COOK *et al.*, 2005; TURNER *et al.*, 2005).

A retração das geleiras acarreta no surgimento e expansão das áreas livres de gelo, que segundo Bockheim e Hall (2002), representa menos de 1% de toda a região da Antártica, sendo que, desta porção, 14% está localizada na Península Antártica e suas ilhas. A radiação solar interfere na demanda e distribuição dos componentes do balanço hídrico superficial, podendo influenciar os ecossistemas terrestres e a distribuição de plantas (PIERCE Jr *et al.*, 2005). Para Pereira e Putzke (1994), a radiação solar é um dos principais elementos responsáveis pelo desenvolvimento de comunidades vegetais nas áreas livres de gelo na Antártica Marítima. Para Larcher (2000), a radiação solar global, composta pela radiação direta e difusa, não se limita ao fornecimento de energia para o desenvolvimento da vegetação, tendo em vista que também pode tornar-se fator de estresse em situações de excesso.

As espécies de vegetação fixam CO₂, processo denominado fotossíntese (LARCHER, 2000). Neste processo, as espécies vegetais são divididas em três grupos de vias metabólicas conforme as particularidades fisiológicas, denominados C₃, C₄ e CAM. Segundo Larcher (2000), na faixa de radiação compreendida pelo ponto de compensação à luz (PCL), ocorre a fixação da mesma quantidade de CO₂ que é liberado pela respiração, enquanto nas situações em que a radiação incidente é intensa e superior ao tolerado pela vegetação, ocorre aumento significativo na atividade fotossintética e resulta na condição de ponto de saturação (PS).

Para Lubin e Massom (2006), a utilização de técnicas de sensoriamento remoto e de sistemas de informações geográficas são essenciais no monitoramento de ambientes de acesso restrito. Por meio dessas técnicas, é possível analisar e monitorar a dinâmica dos ecossistemas desses ambientes (BREMER *et al.*, 2004; VOGT e BRAUN, 2004; FISCHER *et al.*, 2011).

O objetivo deste estudo é averiguar se a distribuição da vegetação está relacionada com a incidência de radiação solar na superfície da Península Fildes nas diferentes estações do ano.

2. Área de Estudo

A Península Fildes está localizada na Ilha Rei George, Antártica Marítima (Figura 1), entre as latitudes 62°08' e 62°14' Sul e longitudes 59°02' e 58°51' Oeste. De acordo com Birkenmajer (1989), na região da Antártica Marítima, a Península Fildes e a Ilha Ardley estão entre os primeiros locais a apresentar grandes áreas expostas e livres de gelo após o último máximo glacial, sendo que a Península Fildes possui 28,8 km² de área livre de gelo no verão, representando a maior superfície livre de gelo da Ilha Rei George (ANDRADE, 2012).

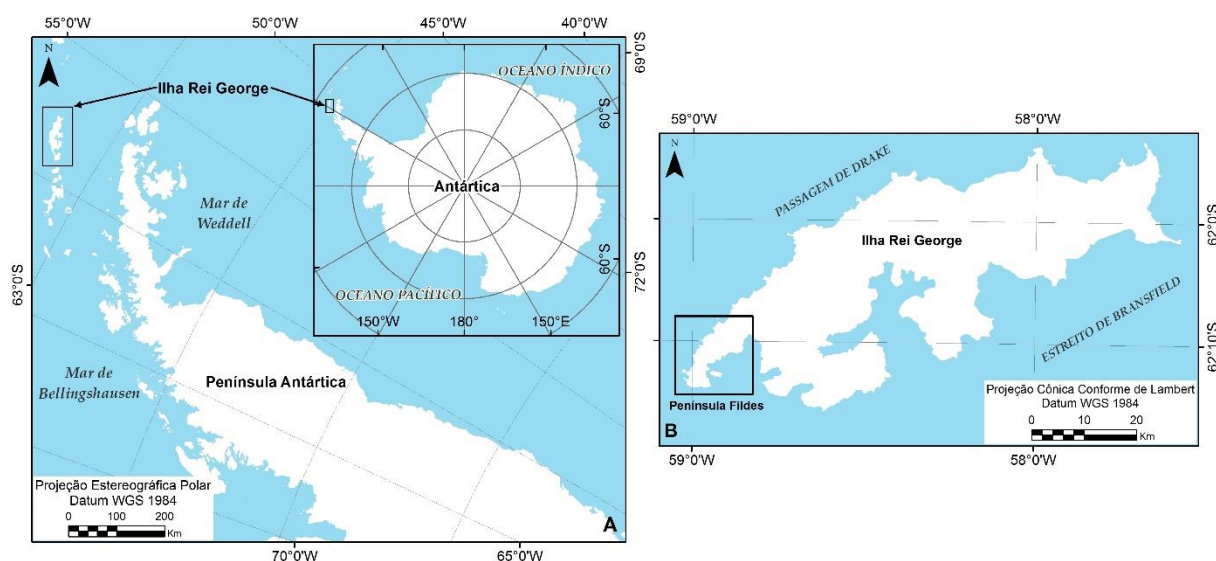


Figura 1. (A) Localização da Península Antártica no continente antártico, com destaque para a localização da Ilha Rei George. (B) Localização da Península Fildes na Ilha Rei George.

O clima da Península Fildes é marítimo sub-antártico, com ventos fortes, frequentes variações meteorológicas e temperaturas mais amenas, com a temperatura do ar média anual de -2°C e temperatura do ar média durante o verão acima de 0°C (JIAHONG *et al.*, 1994). Segundo Øvstedal e Smith (2001) a precipitação varia entre 350 e 500 mm durante o ano, com concentração durante o período do verão.

A vegetação é constituída principalmente por líquens e musgos e possui similaridade na distribuição da vegetação característico de outras penínsulas da Ilha Rei George (LINDSAY, 1971).

3. Materiais e Métodos

A classificação da vegetação na Península Fildes considerou duas classes: líquens e musgos. As amostras de vegetação utilizadas para a classificação foram obtidas *in loco* nos verões de 2008 e 2009, tendo sido utilizadas para classificar uma cena do satélite QuickBird obtida em 08 de fevereiro de 2008.

Com o intuito de ampliar a capacidade de detecção dos pixels compreendidos por vegetação, foi feito o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), proposto por Rouse et al. (1973). O NDVI foi gerado por meio da diferença de radiância entre a banda do infravermelho próximo e a banda do vermelho, dividido pela soma das bandas do infravermelho próximo e do vermelho.

Posteriormente, fez-se a fusão do NDVI com as bandas individualizadas 1, 2, 3 e 4 do satélite QuickBird. Em seguida, cada par fusionado foi classificado e para cada classificação foi gerado o índice kappa com o intuito de avaliar os melhores resultados e a escolha da melhor composição de bandas para a classificação da vegetação.

A classificação da vegetação a partir dos valores espectrais da imagem QuickBird foi feita através da classificação supervisionada, utilizando o classificador estatístico de Máxima verossimilhança (maxver).

3.1. Relação entre a distribuição superficial da vegetação e a radiação solar incidente na superfície

A estimativa da radiação solar incidente na superfície da Península Fildes foi feita utilizando o método proposto por Fu e Rich (1999) e implementado no módulo *Solar Analyst*. Foi estimada a radiação solar global potencial, englobando a radiação direta e difusa que incide na superfície. Este método estima o potencial máximo de radiação incidente através de uma quantificação que não considera as variações meteorológicas, como a cobertura de nuvens e/ou dias nublados. Para estimar as taxas de radiação utilizou-se a latitude da área analisada, a geometria do relevo por meio de um modelo digital de elevação (MDE) e o ângulo de incidência do Sol em cada estação do ano período do ano (BURROUGH e MCDONNELL, 2011).

A estimativa da radiação solar incidente foi feita para as estações do verão, outono, inverno e primavera de 2013. A segmentação por estações visa avaliar os períodos que apresentam taxas de radiação solar propícias e não propícias para o desenvolvimento das comunidades vegetais.

Os valores de PCL e PS variam de acordo com a espécie da vegetação. Para delimitar e mapear as áreas de PCL e PS foi feita a transformação da unidade dos valores obtidos em $\mu\text{mol.fótons.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (LARCHER, 2000) para kWm^{-2} , tornando-os compatíveis com os dados da modelagem da radiação solar global incidente nas estações do ano. A Tabela 1 exibe os valores de PCL e PS para as espécies de líquen e musgo, ambas pertencentes à via metabólica C_3 .

Tabela 1 - Valores de Ponto de Compensação à Luz e Ponto de Saturação em relação à radiação (Adaptado de Larcher, 2000).

Classe	Ponto de Compensação à Luz (PCL) kWm^{-2}	Ponto de Saturação (PS) kWm^{-2}
Líquén	42,7 - 128,1	256,2 - 512,4
Musgo	4,27 - 17,08	128,1 - 256,2

4. Resultados e Discussão

O melhor resultado alcançado na classificação da vegetação foi a partir da composição de bandas 2, 4 e o NDVI, obtendo 0,9286 no índice kappa, valor considerado excelente; essa classificação também apresentou alta similaridade com a verdade de campo realizada para fins de validação. A Figura 2 exibe o mapa de vegetação da Península Fildes gerado pela

classificação da imagem QuickBird. A área abrangida pela vegetação de líquen é de 2,04 km² e de musgo 2,09 km², representando 7,08 e 7,25% da área livre de gelo respectivamente.

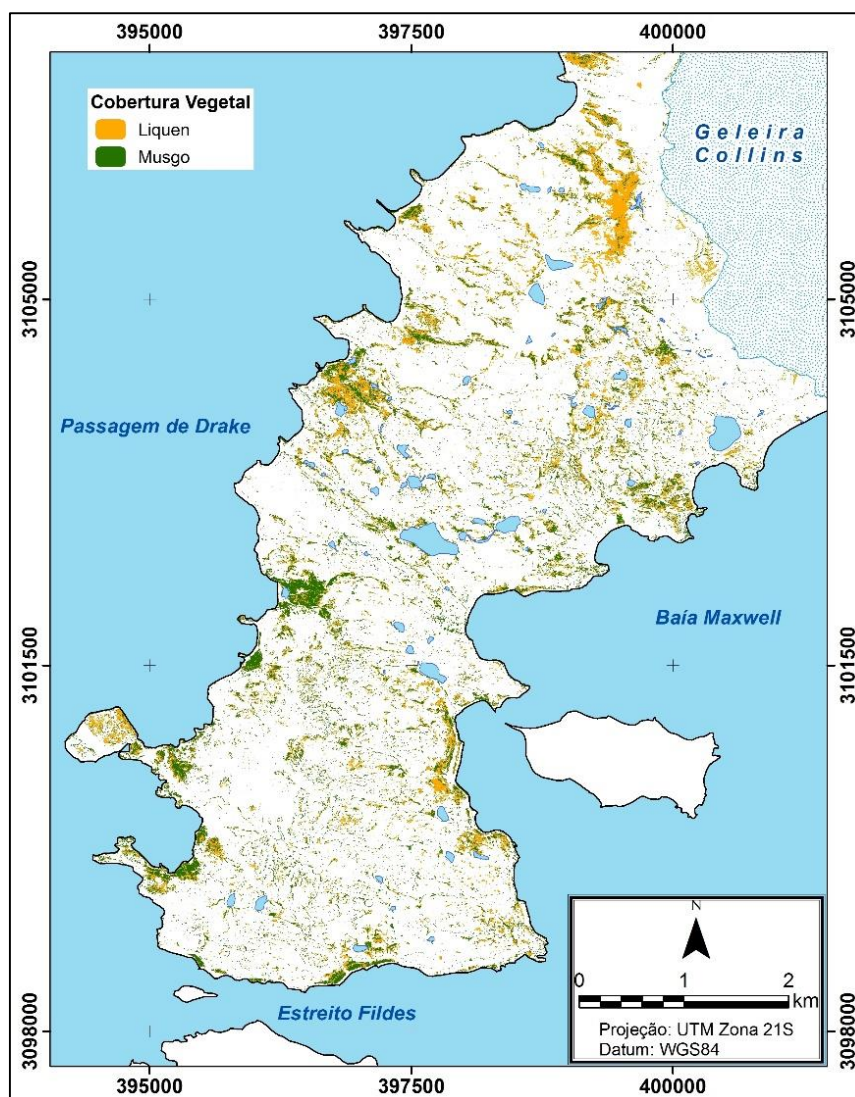


Figura 2. Distribuição da vegetação na Península Fildes.

A distribuição da vegetação na península ocorre predominantemente nos terraços marinhos nas extremidades leste e oeste. Esse padrão de distribuição superficial da vegetação ocorre devido às áreas próximas ao mar apresentarem predominância de solos ornitogênicos, com maior aporte de material orgânico de fácil decomposição. O musgo ocorre predominantemente em áreas com superfície mais úmidas e em encostas sombreadas, enquanto o líquen ocorre principalmente em superfícies mais secas, em geral fixado sobre superfícies rochosas e em blocos erráticos.

A incidência de radiação solar global varia ao longo das estações do ano, com a quantidade e duração da radiação solar incidente apresentado similaridade nos valores máximos e mínimos para o verão e primavera e entre o inverno e outono. Todavia, a similaridade apresentada para os períodos do outono e inverno para a radiação incidente e para a duração da radiação ao longo da estação foi mais acentuada, com diferença de 1 kWm⁻² e 7 horas, respectivamente. A Tabela 2 exibe os valores máximos e mínimos de radiação incidente e a duração para as estações do verão, outono, inverno e primavera na Península Fildes.

Tabela 2 – Valores máximos e mínimos da quantidade e duração de radiação solar global incidente nas estações do ano na península fildes

Estação	Radiação solar global incidente (kWm^{-2})		Duração da radiação solar global incidente (horas)	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
Verão	362,4	42,3	1.446	26
Outono	42,9	3,0	709	0
Inverno	41,9	3,0	702	0
Primavera	371,4	43,4	1.480	28

Durante todo o ano ocorre maior incidência de radiação nas vertentes mais íngremes e direcionadas para o norte, sendo que, durante o verão e primavera incide até $362,4 \text{ kWm}^{-2}$, enquanto no inverno e outono, a incidência de radiação solar é 88,5% inferior, enquanto nas vertentes para sul ocorre as menores taxas de incidência de radiação solar em todas as estações. A Figura 3 exibe as taxas de radiação solar global potencial incidente e o tempo de incidência desta radiação nas áreas livres de gelo da Península Fildes durante o verão e inverno.

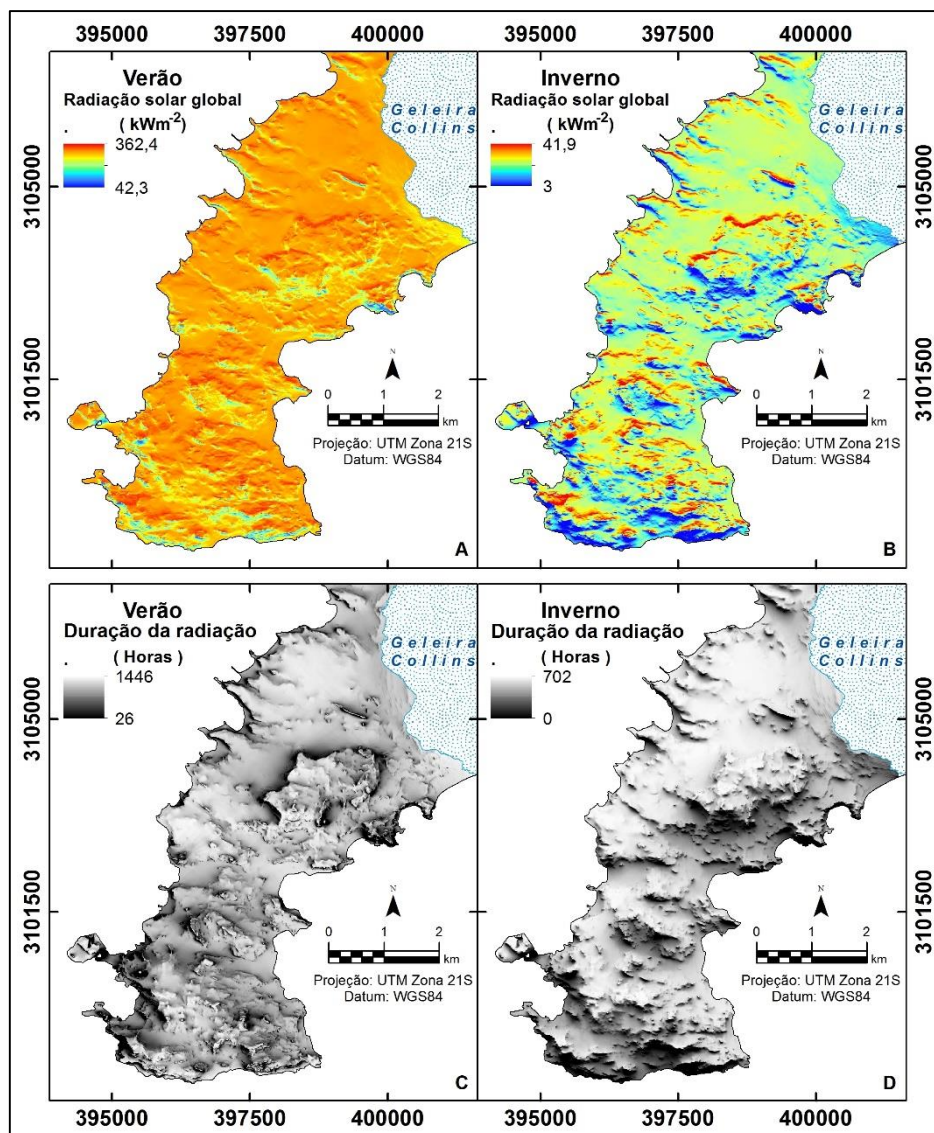


Figura 3. Radiação solar global incidente e horas de incidência da radiação no verão (A e C) e inverno (B e D).

Por meio da relação entre as áreas de PCL e PS com a distribuição da vegetação, obteve-se a espacialização do líquen e do musgo localizados dentro e fora das áreas de PCL e PS para cada estação do ano. A Tabela 3 exibe as áreas de PCL para as classes de líquen e musgo, assim como as áreas de cada vegetação classificada dentro e fora das áreas de PCL enquanto na Tabela 4 são apresentadas as áreas de musgo dentro e fora das áreas de PS para o verão e primavera.

Tabela 3. Área abrangida por vegetação de líquens e musgos localizadas dentro e fora das áreas de ponto de compensação à luz (PCL) de acordo com as estações

Período	Classe	Área de PCL por período (km ²)	Área da vegetação classificada (km ²)	Vegetação classificada	
				Dentro da área PCL (km ² - %)	Fora da área PCL (km ² - %)
Verão	Liquen	0,1672	2,043	0,0050 - 0,3	2,0381 - 99,7
	Musgo	0	2,092	<i>N</i>	<i>N</i>
Inverno	Liquen	0	2,043	<i>N</i>	<i>N</i>
	Musgo	5,1674	2,092	0,3158 - 15,1	1,7762 - 84,9
Primavera	Liquen	0,1494	2,043	0,0043 - 0,2	2,0388 - 99,8
	Musgo	0	2,092	<i>N</i>	<i>N</i>
Outono	Liquen	0	2,043	<i>N</i>	<i>N</i>
	Musgo	4,7055	2,092	0,2856 - 13,7	1,8064 - 86,3

N – não ocorre.

Tabela 4. Área da vegetação de líquens e musgos classificada dentro e fora das áreas de ponto de saturação à luz (PS).

Classe	Período	Área da vegetação classificada	
		Dentro da área de PS (km ² - %)	Fora da área de PS (km ² - %)
Musgo	Verão	2,0505 98	0,0415 2
	Primavera	2,0543 98,2	0,0377 1,8

Dentre as classes de vegetação da Península Fildes, somente o musgo apresentou distribuição no interior de áreas de PCL para as estações de inverno e outono, com 15,2 e 13,7% respectivamente. Em decorrência de praticamente todas as superfícies cobertas por líquens estarem localizadas fora das áreas de PCL, as superfícies cobertas por líquen localizadas dentro das áreas de PCL são inexpressivas, tanto no verão quanto na primavera. Esse padrão de distribuição da vegetação e relação com a incidência de radiação solar é semelhante ao verificado na Península Potter (ANDRADE *et al.*, 2014), entretanto, as superfícies cobertas por musgo dentro das áreas de PCL no inverno e outono na Península Fildes são menores, sendo que na Península Potter foi estimado respectivamente 23,5 e 5,9% da superfície coberta por musgo dentro da área de PCL.

Durante o verão e primavera, aproximadamente 93% das áreas livres de gelo recebem alta incidência de radiação solar, com valores que caracterizam PS para a classe de musgo. Quase a totalidade dessa classe está localizada na área de saturação à radiação, tanto na estação do verão quanto na primavera, compreendendo cerca de 98% da área de abrangência dessa vegetação.

5. Conclusões

Relacionar a distribuição espacial da vegetação com a incidência de radiação solar potencial sobre a superfície ao longo do ano, inclusive nos períodos de baixa luminosidade proporciona uma importante informação sobre estes ecossistemas. A partir desse tipo de análise, foi possível mapear as áreas superficiais que podem sofrer maiores alterações em decorrência da incidência da radiação solar.

A partir da análise conjunta da distribuição espacial da vegetação e das taxas de radiação global incidentes na Península Fildes, constatou-se que a quantidade de radiação incidente não é um elemento determinístico no desenvolvimento da vegetação nesse sítio. Estima-se que o processo de distribuição e colonização da vegetação é determinado principalmente pelas configurações do ambiente e com forte influência da configuração do micro relevo.

Agradecimentos

Este estudo foi financiado pelo Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, através da cooperação entre o Centro Polar e Climático/UFRGS e TERRANTAR/UFV. O autor agradece ao Instituto Antártico Chileno pelo apoio concedido durante os trabalhos de campo.

Referências Bibliográficas

ANDRADE, A. M. de; ARIGONY-NETO, J.; POELKING, E. L.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BREMER, U. F. Avaliação da influência da radiação solar na distribuição superficial da vegetação na Península Potter, Antártica Marítima. **Revista Brasileira de Cartografia**. 66/1. p. 15-28. 2014.

ANDRADE, R. P. **Geoquímica dos solos e das águas da Península Fildes e Ilha Ardley – Antártica Marítima**. 189 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.

BIRKENMAJER, K. A guide to Tertiary geochronology of King George Island, West Antarctica. **Polish Polar Research**. 10, 4. p. 555-579. 1989.

BOCKHEIM, J. G.; HALL, K. J. Permafrost, active-layer dynamics and periglacial environments of continental Antarctica. **South African Journal of Science**. n. 98, p. 82-90, 2002.

BREMER, U. F.; ARIGONY-NETO, J.; SIMÕES, J. C. Teledetecção de mudanças nas bacias de drenagem do gelo da ilha Rei George, Shetland do Sul, Antártica, entre 1956 e 2000. **Pesquisa Antártica Brasileira**. n. 4, p. 37-48, 2004.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. Principles of Geographical Information Systems. Oxford. 333 p. 2011. COOK, A. J.; FOX, A. J.; VAUGHAN, D. G.; FERRIGNO, J. G. Retreating Glacier Fronts on the Antarctic Peninsula over the Past Half-Century. **Science**. v.308, n. 5721. p. 541-544, 2005.

FISCHER, L.; EISENBEISS, H.; KÄÄB, A.; HUGGEL, C.; HAEBERLI, W. Monitoring Topographic Changes in a Periglacial High-mountain Face High-resolution DTMs, Monte Rosa East Face, Italian Alps. **Permafrost and Periglacial Processes**. 22, p. 140-152, 2011.

FU, P.; RICH, P. M. Design and implementation of the Solar Analyst: an ArcView extension for modeling solar radiation at landscape scales. In: Proceedings of the 19th Annual ESRI User Conference, San Diego, USA. **Anais...** San Diego, 1999.

HANSEN, J.; LEBEDEFF, S. Global Trends of Measured Surface Air Temperature. **Journal of Geophysical Research**. v. 92, n. D11, p. 13,345-13,372. 1987.

JIAHONG, W.; JIANCHENG, K.; ZICHU, X.; JIANKANG, H.; LLUBERAS, A. Climate, mass balance and glacial changes on small dome of Collins Ice Cap, King George Island, Antarctica. **Antarctic Research**. v. 5, n. 1. p. 52-61. 1994.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. RiMa Artes e Textos: São Carlos. 531 p. 2000.

- LINDSAY, D. C. Vegetation of the South Shetland Islands. **British Antarctic Survey Bulletin**. 25. p. 59-83, 1971.
- LUBIN, D.; MASSOM, R. **Polar Remote Sensing: Atmosphere and Oceans**. Springer: Germany. 867 p. 2006.
- MICHEL, R. F. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; DIAS, L. E.; SIMAS, F. N. B.; BENITES, V. M.; MENDONÇA, E. S. Ornithogenic Gelisols (Cryosols) from Maritime Antarctica: Pedogenesis, Vegetation, and Carbon Studies. **Soil Science Society of America Journal**. 70, 4. p. 1370-1376. 2006.
- MICHEL, R. F. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; MARTÍNEZ, J. L.; SIMAS, F. N. B.; HAUS, N. W.; SERRANO, E.; BOCKHEIM, J. G. Soils and landforms from Fildes Peninsula and Ardley Island, Maritime Antarctica. **Geomorphology**. 225. p. 76-86, 2014.
- ØVSTEDAL, D. O.; SMITH, R. I. L. **Lichens of Antactica and South Georgia: a guide to their identification and ecology**. Cambridge: Cambridge University Press. 453 p. 2001.
- PEREIRA, A. B.; PUTZKE, J. Floristic Composition of Stinker Point, Elephant Island, Antarctica. **Korian Journal of Polar Research**. 5. p. 37-47, 1994.
- PIERCE JR., K. B.; LOOKINGBILL, T.; URBAN, D. A simple method for estimating potential relative radiation (PRR) for landscape-scale vegetation analysis. **Landscape Ecology**. 20. p. 137-147, 2005.
- ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, 3. Proceedings. Washington. v. 1, sec. A, p. 309-317. 1973.
- SIMAS, F. N. B.; SCHAEFER, C. E. G. R.; MELO, V. F.; ALBUQUERQUE-FILHO, M. R.; MICHEL, R. F. M.; PEREIRA, V. V.; GOMES, M. R. M.; COSTA, L. M. Ornithogenic cryosols from Maritime Antarctica: Phosphatization as a soil forming process. **Geoderma**. 138. p. 191-203. 2007.
- 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. Antarctic climate change during the last 50 years. **International Journal of Climatology**. n. 25. p. 279-294, 2005.
- VOGT, S.; BRAUN, M. Influence of glaciers and snow cover on terrestrial and marine ecosystems as revealed by remotely-sensed data. **Pesquisa Antártica Brasileira**. v.4, p. 105-118, 2004.