

Revista Brasileira de Cartografia (2014) N^o 66/1, p. 15-28
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA RADIAÇÃO SOLAR NA DISTRIBUIÇÃO SUPERFICIAL DA VEGETAÇÃO NA PENÍNSULA POTTER, ANTÁRTICA MARÍTIMA

*Evaluation of the Influence of Solar Radiation in the Surface Distribution of
Vegetation in Potter Peninsula, Maritime Antarctica*

**André Medeiros de Andrade^{1, 2, 4}, Jorge Arigony Neto², Everton Luís Poelking³,
Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer⁴, Ulisses Franz Bremer¹, Elpídio
Inácio Fernandes Filho⁴**

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

Centro Polar e Climático – UFRGS

Avenida Bento Gonçalves, 9500. Bairro Agronomia. Porto Alegre, RS - 91501-970 - Brasil

andre.medeiros@ufrgs.br

bremer@ufrgs.br

²Universidade Federal do Rio Grande – FURG

Laboratório de Monitoramento da Criosfera - FURG

Avenida Itália, km 8. Rio Grande, RS - 96201-900 - Brasil

jorgearigony@furg.br

³Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB

Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas

Campus UFRB - 44380-000 - Cruz das Almas, BA - Brasil

evertonpoelking@yahoo.com.br

⁴Universidade Federal de Viçosa - UFV

Terrantar - UFV

Campus UFV, Departamento de Solos. Av P.H. Rolfs s/n - 36571-000 - Viçosa, MG - Brasil

carlos.schaefer@ufv.br; elpidio@ufv.br

Recebido em 07 de Março, 2013/ Aceito em 02 de Novembro, 2013

Received on March 07, 2013/ Accepted on November 02, 2013

RESUMO

O objetivo deste estudo foi estimar a radiação solar incidente na superfície da península Potter, Antártica Marítima e analisar a influência desse parâmetro na distribuição superficial da vegetação. Os dados de vegetação utilizados foram gerados a partir da classificação de uma imagem do satélite QuickBird (janeiro/2007). A estimativa da radiação solar incidente na superfície foi feita para as estações do verão, outono, inverno e primavera, tendo sido feito posteriormente o zoneamento da superfície para as áreas de ponto de compensação de luz (PCL) e ponto de saturação (PS). Apenas a classe de musgo apresentou compatibilidade entre a área classificada e a área de PCL, com 23,5% e 5,9% da vegetação dentro da área de PCL para o inverno e outono respectivamente. A radiação solar não se mostrou como um elemento determinístico na distribuição espacial da vegetação.

Palavras chaves: SIG, Sensoriamento Remoto, Ambiente Periglacial.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the incident solar radiation in the surface of Potter peninsula, Maritime Antarctica and ascertain the influence of this parameter in the surface distribution of vegetation. The vegetation data have been generated from the classification of a QuickBird satellite image (january/2007). The estimation of the incident solar radiation at the surface was made for summer, autumn, winter and spring seasons. Subsequently the classification of surface in areas of light compensation point (PCL) and areas at point of saturation (PS) were carried out. Only the class of moss, which registered 23.5% and 5.9% of the vegetation inside the area of PCL for winter and autumn respectively, had displayed compatibility among the classified area and the PCL area. The solar radiation was not considered a deterministic element in the spatial distribution of vegetation.

Keywords: GIS, Remote Sensing, Periglacial Environment.

1. INTRODUÇÃO

O ambiente antártico tem recebido muita atenção da comunidade científica em virtude de sua importância para o planeta, decorrente principalmente das mudanças climáticas registradas neste local (COOK *et al.*, 2005; TURNER *et al.*, 2005). Segundo Bockheim e Hall (2002), em toda a região da Antártica, menos de 1% (55.000 km²) de sua área é livre de gelo, e desta, aproximadamente 14% (8.000 km²) está situada na Península Antártica e suas ilhas.

Os ecossistemas das áreas livres de gelo da Antártica Marítima são fortemente condicionados pelas condições climáticas. Nesse ambiente, onde a temperatura média anual do ar é de -2,5°C, com predomínio de fortes ventos e baixa radiação solar incidente, faz-se necessário que as vegetações que ocupam essas áreas sejam adaptadas aos rigores climáticos (ØVSTEDAL e SMITH, 2001).

A radiação proveniente do Sol está entre os principais elementos para o desenvolvimento de comunidades vegetais nas áreas livres de gelo na região da Antártica Marítima (PEREIRA e PUTZKE, 1994).

O sensoriamento remoto e os sistemas de informações geográficas são fundamentais para o monitoramento de ambientes de difícil acesso (LUBIN e MASSOM, 2006; MENDES JUNIOR *et al.*, 2010). Tais ferramentas possibilitam monitorar as variações ocorridas nos ecossistemas da Antártica Marítima, através da caracterização de feições da geomorfologia periglacial (GROSSE *et al.*, 2005; ULRICH *et al.*, 2009; FISCHER *et al.*, 2011) e pelo monitoramento da dinâmica de geleiras e da

neve e gelo superficial (RAU *et al.*, 2000; VOGT e BRAUN, 2004; BREMER *et al.*, 2004; LIU, 2006; ARIGONY-NETO *et al.*, 2007).

Todavia, estudos voltados para o mapeamento de ambientes antárticos ainda são escassos, principalmente em decorrência da ausência de dados cartográficos e imagens orbitais de alta resolução que possibilitem a elaboração de estudos com escalas adequadas (SCHAEFER *et al.*, 2007).

O objetivo deste estudo é estimar a radiação solar incidente na superfície da península Potter e analisar a influência desse parâmetro na distribuição superficial da vegetação.

2. ÁREA DE ESTUDO

A península Potter está localizada na Ilha Rei George, arquipélago das Ilhas Shetland do Sul, na Antártica Marítima, entre o estreito de Bransfield e a passagem de Drake, entre as latitudes 62°13,5' e 62°16' sul e longitudes 58°42' e 58°33' oeste (Figura 1). A península possui uma expressiva área livre de gelo durante o período de verão com extensão leste-oeste de 6 km e extensão norte-sul de 3,5 km, com área de aproximadamente 7,13 km². Na península também está localizada a geleira Polar Club que apresenta franco processo de retração em sua linha de frente (BRAUN e GOßMANN, 2002).

A península Potter revela características climáticas da região da Antártica Marítima, com clima marítimo, frio e úmido, apresentando temperatura média anual de -2,8°C (FERRON *et al.*, 2004) temperatura média mensal superior a 0°C durante o período do verão, enquanto no inverno, raramente atinge valores inferiores à -12°C (ØVSTEDAL e SMITH, 2001). A

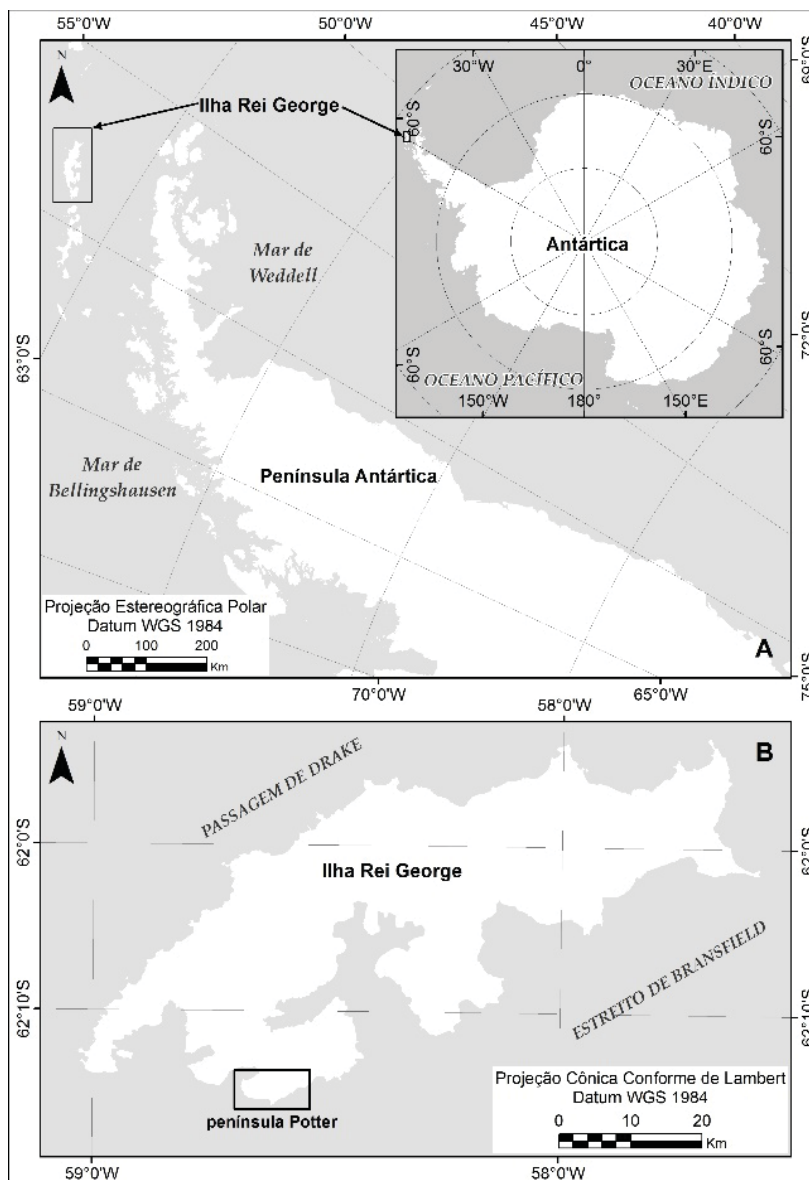


Fig. 1 - (A) Localização da Península Antártica no continente antártico, com destaque para a localização da Ilha Rei George. (B) Localização da península Potter na Ilha Rei George.

precipitação média anual nessa região varia entre 350 e 500 mm, com maior concentração durante o verão. Os ventos são fortes e provenientes principalmente do leste e oeste, podendo alcançar velocidades superiores a 100 km/h (VARELA, 1998). Durante o verão austral, como resultado do aumento da temperatura, ocorre um intenso processo de derretimento da neve acumulada durante o inverno, acarretando a saturação do solo e induzindo a um processo de hidromorfismo temporário (FRANCELINO *et al.*, 2004).

A morfologia da península Potter é caracterizada pela predominância de planaltos crioplanados, encostas íngremes ao longo das praias e relevo suave no interior. Os valores de altimetria variam desde o nível do mar até

aproximadamente 195 m de altitude no ponto mais alto do cone vulcânico denominado Three Brothers. Assim como os demais sistemas glaciais da região, a geleira Polar Club apresenta uma tendência de retrocesso durante os últimos 50 anos (DEL VALLE *et al.*, 2004; ANDRADE *et al.*, 2011). A Figura 2 exibe a localização das principais feições fisiográficas existentes na península Potter.

A vegetação da península Potter apresenta o padrão de distribuição característico da região da Antártica Marítima, sendo composta por espécies características do clima de tundra, com briófitas, cianobactérias, duas espécies de gramíneas, *Deschampsia antarctica* e *Colobanthus quitensis* e com predominância de

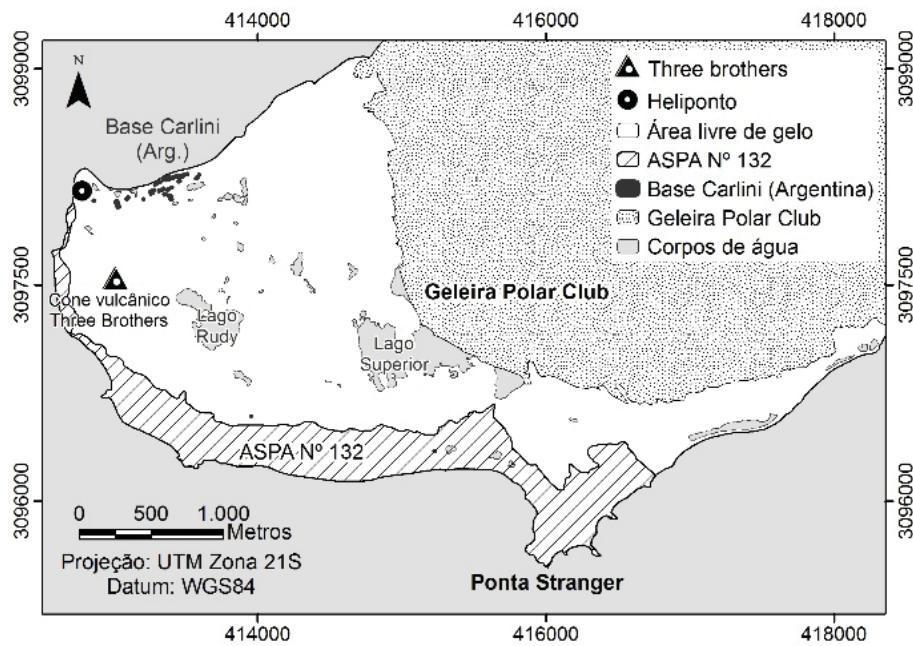


Fig. 2 - Localização das principais feições fisiográficas existentes na península Potter.

liquens (POELKING, 2011).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Obtenção e edição dos dados de vegetação

Os dados de vegetação da península Potter utilizada neste estudo é fruto do trabalho desenvolvido pelo TERRANTAR, núcleo de estudo de ecossistemas terrestres na Antártica, tendo sido a classificação desenvolvida por Poelking (2011). A caracterização da vegetação considerou cinco classes de vegetação: algas talosas, liquens, liquens e musgos e por fim musgos. As amostras de vegetação utilizadas para a classificação foram obtidas durante a expedição científica à península Potter no verão de 2008, sendo exibido na Figura 3 a

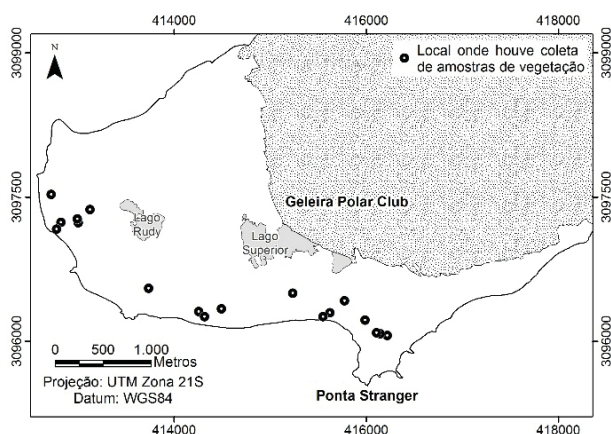


Fig. 3 - Locais onde houve coleta de amostras de vegetação na península Potter.

localização das amostras de vegetação coletadas. As amostras foram posteriormente identificadas e essa informação foi utilizada para classificar uma imagem do satélite QuickBird.

Foi utilizada uma cena do satélite QuickBird obtida em 06 de janeiro de 2007, com quatro bandas espectrais e resolução espacial de 2,44 m e uma banda pancromática com resolução espacial de 0,61 m. Na cena foi feita uma operação de fusão entre as bandas multiespectrais e a banda pancromática, utilizando a transformação IHS, resultando em uma cena com resolução espacial de 0,61 m.

A categorização da vegetação superficial a partir dos valores espectrais da imagem QuickBird foi feita através do método de classificação supervisionada, utilizando o classificador estatístico de Máxima verossimilhança (Maxver). Os resultados obtidos por Poelking (2011) na classificação foram considerados bons, alcançado o valor de 0,97 no índice kappa.

Para as operações de modelagem espacial do terreno optou-se por melhorar a qualidade cartográfica dos dados referentes à vegetação, utilizando para tal a técnica da área mínima mapeável (AMM). Por definição, a AMM é tida como a menor área abrangida por um elemento contido em um mapa ou carta topográfica, com valor de 0,4 cm² (IBGE, 2007). Esta operação teve o objetivo de eliminar os pixels de vegetação com áreas menores do que a AMM. Para determinar o valor da AMM da

classificação da vegetação utilizou-se a equação:

$$AMM = \frac{E^2 \cdot 0,4}{10^8}$$

onde a variável “E” representa a escala numérica dos dados cartográficos, sendo 1:25.000 a escala dos dados de vegetação. A partir desta expressão, obteve-se o valor de 1.960 m² como AMM, tendo sido posteriormente eliminados todos os polígonos com área inferior a este valor. A Figura 4 exibe o mapa de vegetação da península Potter com a eliminação do conjunto de polígonos com área menor que a AMM.

3.2 Estimativa da radiação solar incidente na superfície

A estimativa da radiação solar global incidente na superfície da península Potter foi feita utilizando o módulo Solar Analyst, através do método descrito por Fu e Rich (1999). A partir dessa operação, foram gerados mapas representando a radiação solar global total

potencial incidente em cada porção da superfície, englobando a soma das radiações diretas e difusas.

Este método de quantificação da radiação solar global incidente possui limitações em decorrência dos valores gerados serem potenciais máximos, simulando situações em que não ocorram variações nos componentes atmosféricos, não sendo portanto considerada a cobertura de nuvens. Esta modelagem considera principalmente a latitude da área analisada, a geometria da topografia e o ângulo de incidência do Sol em cada período do ano.

A estimativa da radiação solar global incidente foi feita para as estações do verão, outono, inverno e primavera de 2011. Esta divisão foi feita com o objetivo de determinar as estações do ano que apresentaram valores de radiação solar propício e não propício para o desenvolvimento das comunidades vegetais.

3.3 Relação entre a radiação solar incidente e a distribuição espacial da vegetação

Toda vida na superfície terrestre depende

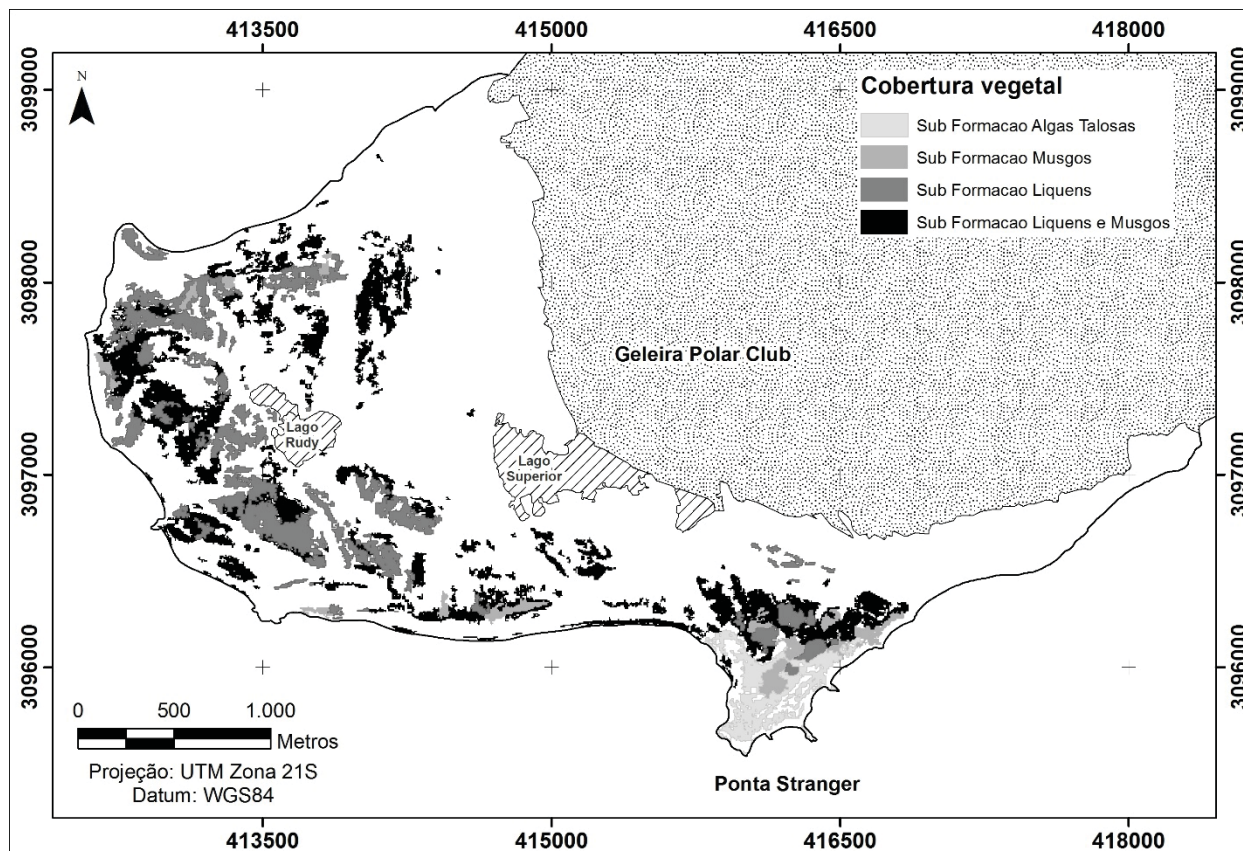


Fig. 4 - Mapa de vegetação da península Potter gerado por classificação de uma imagem QuickBird e com a exclusão das áreas inferiores à área mínima mapeável.

Tabela 1: Características gerais das três vias de metabolismo e de fixação DO CO₂.

Características	Vias de metabolismo		
	C ₃	C ₄	CAM
Liberação de CO ₂ na presença de luz	Sim	Não	Não
Capacidade fotossintética líquida	Baixa a alta	Alta a muito alta	Baixa na luz moderada e no escuro
Ponto de saturação da fotossíntese em relação à radiação	Intensidades intermediárias	Não ocorre saturação	Intensidades altas ou intermediárias

da energia proveniente do Sol. A radiação solar global, composta pela radiação direta e difusa, não se limita ao fornecimento de energia para a vegetação, desempenhando também a importante função de condicionamento e desenvolvimento da vegetação, podendo inclusive, em situações de excesso tornar-se fator de estresse (LARCHER, 2000). Aproximadamente 45% da radiação solar está na faixa espectral entre 0,38 e 0,71 μm , energia na faixa do visível e utilizada para as atividades fotossintéticas.

Segundo Larcher (2000), as espécies vegetais fixam CO₂, processo denominado via do ácido dicarboxílico para fixação do CO₂. Neste processo as espécies vegetais são divididas em três grupos de vias metabólicas, denominados C₃ (formação de carboidratos), C₄ (fixação de CO₂) e CAM (processo de fixação e descarboxilação em dois tempos distintos). Esta subdivisão considera as particularidades da fisiologia vegetal, estando na Tabela 1 as principais características das três vias de metabolismo.

As informações da via de fixação do CO₂ são importantes por possibilitar a quantificação da capacidade fotossintética e o ponto de saturação fotossintética em relação à radiação de cada espécie vegetal.

No processo de fotossíntese, segundo Larcher (2000) ocorrem situações em que o processo fotossintético fixa a mesma quantidade de CO₂ que é liberado pela respiração, condição fisiológica chamada de ponto de compensação à luz (PCL), ou seja, a quantidade de radiação ideal para o desenvolvimento da vegetação. Em situação oposta, havendo intensa radiação, ocorre significativo aumento na atividade de

Tabela 2: Valores de ponto de compensação à luz e ponto de saturação em relação à radiação (Adaptado de Larcher, 2000).

Grupo vegetal	Ponto de Compensação à Luz - PCL (kWh.m ⁻²)	Ponto de Saturação - PS (kWh.m ⁻²)
Algas	4,27 - 6,83	170,8 - 427
Musgos	4,27 - 17,08	128,1 - 256,2
Líquens	42,7 - 128,1	256,2 - 512,4

fotossíntese, resultando na condição fisiológica do ponto de saturação (PS), atingindo valores acima do ponto de tolerância da vegetação. Os valores de PCL e PS variam conforme a espécie vegetal. Para delimitar as áreas de PCL e PS, foi necessário transformar a unidade dos valores que são dados em $\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Larcher, 2000) para kWh m⁻², tornando-os compatíveis com os dados da radiação solar global incidente nas diferentes estações do ano. A Tabela 2 apresenta os valores de PCL e PS para as espécies de musgos, líquens e algas, todas pertencentes à via metabólica C₃.

A configuração topográfica é um fator importante que interfere na incidência da radiação solar no terreno, devido à variação na elevação, orientação da vertente e declividade (BRUUN *et al.*, 2006). Devido a esta heterogeneidade espacial, as características do microclima são influenciadas pela temperatura do ar e do solo, evapotranspiração, dinâmica espacial e temporal da neve, umidade do solo e a radiação solar.

Modelos topográficos e climáticos da radiação solar e da topografia fornecem significativas informações referentes aos padrões de distribuição da radiação solar na superfície (WILSON e GALLANT, 2000). Através das ferramentas de estimativa digital da radiação solar em superfícies é possível ampliar o conhecimento acerca da influência da variável radiação solar na distribuição da vegetação. O desenvolvimento de estudos abordando a relação entre a distribuição da vegetação, as variáveis topográficas e a radiação solar incidente na superfície tornaram-se mais acessíveis à comunidade científica com o advento das ferramentas de modelagem digital superficial implantada em *softwares* de sistemas de informações geográficas (GEDDES *et al.*,

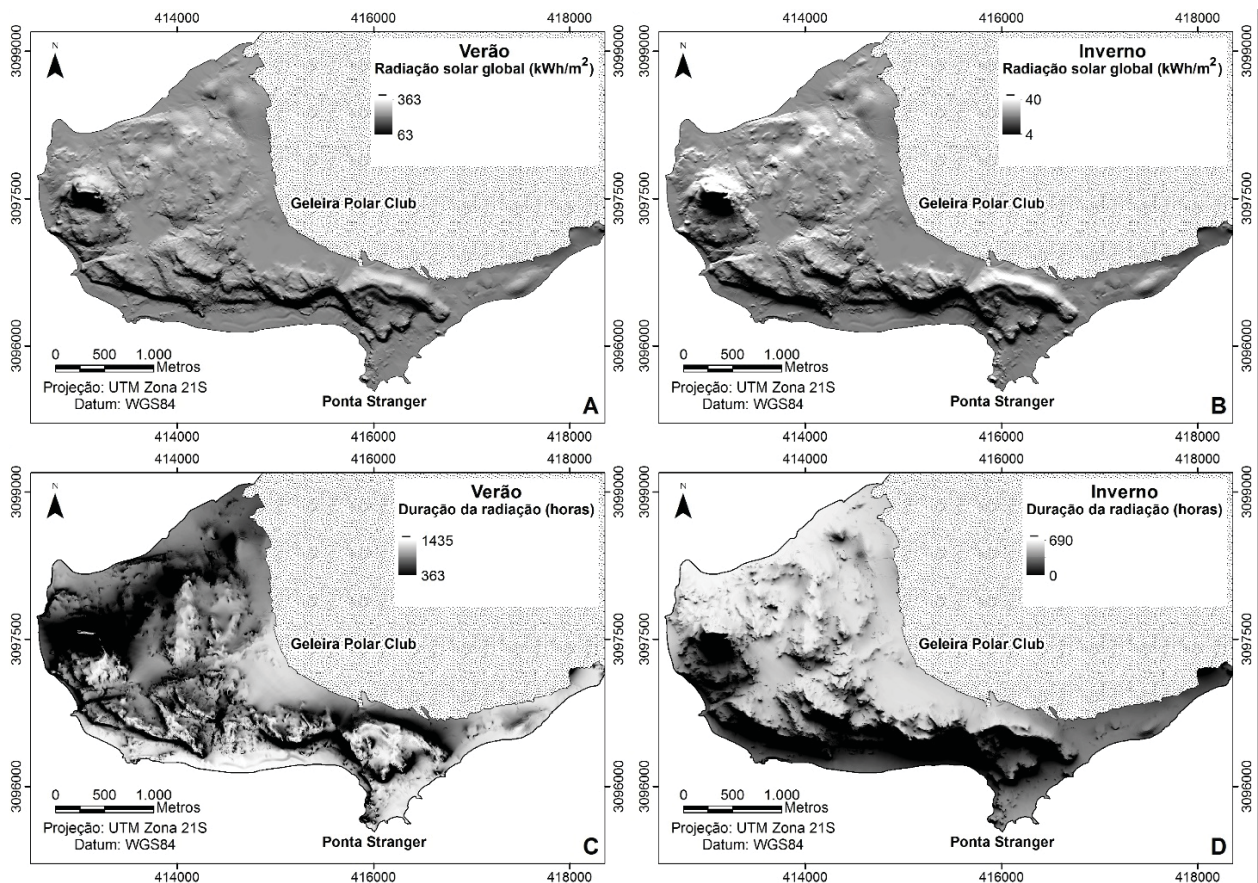


Fig. 5 – Taxas de radiação solar global incidente na superfície livre de gelo da península Potter para a estação do verão em (A) e para o inverno em (B). Em (C) e (D) o tempo de incidência da radiação solar global na superfície livre de gelo durante a estação do verão e inverno, respectivamente.

2005; PIERCE JR. *et al.*, 2005; PIEDALLU e GÉGOUT, 2007 e 2008).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As taxas de radiação solar global incidente na península Potter variam de acordo com o período do ano, tendo sido registrado similaridade nos valores máximos e mínimos de radiação global incidente entre os períodos de verão e primavera e entre os períodos de inverno e outono. As taxas máximas de radiação global incidente para o verão, primavera, outono e inverno foram 363, 368, 43 e 40 kWh.m⁻², respectivamente. O tempo de ocorrência de radiação solar durante as estações também acompanhou o padrão de similaridade apresentado nas taxas de incidência, com os valores máximos registrados para o verão, primavera, outono e inverno de 1435, 1430, 690 e 686 horas, respectivamente. Durante o verão ocorreu cinco horas a mais de incidência de radiação solar global do que o registrado na primavera, entretanto, a taxa máxima de radiação incidente registrada para a estação da primavera foi de 5 kWh.m⁻² a mais

do que no verão. A Figura 5 exibe as taxas de radiação solar global incidente e o tempo de incidência desta radiação na superfície livre de gelo durante o verão e inverno. Durante o verão e primavera, as áreas contíguas à praia e ao sul da península representadas pela cor branca, apresentaram o maior tempo de incidência de radiação solar, com duração máxima de 1435 horas ao longo do período, ocorrendo o inverso durante o inverno e outono, havendo superfícies que não ocorre incidência de radiação solar. Também se destacam os valores elevados de duração na área onde está localizado o lago superior, próximo à geleira Polar Club, sendo esta uma área proglacial de recuo recente. Futuramente, esta área poderá ser favorecida para o desenvolvimento de comunidades vegetais em decorrência do maior tempo de incidência de radiação e com a estabilidade no ambiente.

A distribuição espacial da vegetação nas áreas livres de gelo da península Potter foi gerada a partir da classificação da imagem QuickBird obtida na estação do verão de 2007. Entretanto, a estimativa da radiação incidente

Tabela 3: Área das vegetações de musgos, líquens e algas talosas, localizadas dentro e fora das áreas de ponto de compensação à luz (PCL). *N* – não ocorre.

Período	Classe	Área de PCL por estação do ano	Área da vegetação classificada	Vegetação classificada dentro da área de PCL	Vegetação classificada fora da área de PCL
		(km ²)	(km ²)	(km ² / %)	(km ² / %)
Verão	Musgos	0	0,051	<i>N</i>	<i>N</i>
	Líquens	0,045	0,493	0 / 0	0,493 / 100
	Algas Talosas	0	0,123	<i>N</i>	<i>N</i>
Inverno	Musgos	2,207	0,051	0,012 / 23,5	0,039 / 76,5
	Líquens	0	0,493	0 / 0	0,493 / 100
	Algas Talosas	0,046	0,123	0 / 0	0,123 / 100
Outono	Musgos	1,326	0,051	0,003 / 5,9	0,048 / 94,1
	Líquens	0,008	0,493	0 / 0	0,493 / 100
	Algas Talosas	0,008	0,123	0 / 0	0,123 / 100
Primavera	Musgos	0	0,051	<i>N</i>	<i>N</i>
	Líquens	0,044	0,493	0 / 0	0,493 / 100
	Algas Talosas	0	0,123	<i>N</i>	<i>N</i>

na superfície para outros períodos possibilita a análise da correlação existente com a distribuição da vegetação. Esta análise é importante, já que mesmo durante o inverno e outono, períodos em que normalmente a vegetação na superfície é coberta pela neve, possibilitando assim delimitar as áreas que durante o inverno a radiação solar global incidente possui valores que possibilitam o desenvolvimento da vegetação. Esta informação possibilita definir as áreas da superfície que poderiam sofrer maiores alterações em condições em que o inverno e outono venham a apresentar a temperatura do ar acima da média, podendo resultar no derretimento da camada superficial de neve e conseqüentemente na exposição da vegetação superficial.

Cada tipo de vegetação possui um determinado intervalo de valores em que a taxa de radiação solar incidente é ideal para que ocorra o processo fotossintético, denominado ponto de compensação de luz (PCL). Os valores de PCL para cada classe de vegetação são apresentados na Tabela 3.

Através dos valores de radiação global

incidente na superfície durante as estações do ano, as superfícies foram segmentadas de acordo com os intervalos de PCL para as classes de musgos, líquens e algas talosas, estando exibidas nas Figuras 6 e 7 as áreas correspondentes ao PCL das classes de musgo no inverno e de líquens durante o verão, respectivamente.

A estação do outono foi a única das estações que apresentou radiação incidente dentro da faixa propícia para as três classes de vegetação, enquanto o verão e a primavera apresentaram radiação incidente com valores propícios apenas para a classe de líquens. Finalmente, a radiação incidente durante o período do inverno apresenta valores que são condizentes com o PCL das classes de musgos e algas talosas.

Através da distribuição das classes de vegetação gerada por meio da classificação da imagem QuickBird e da delimitação das áreas PCL de cada classe de vegetação, buscou-se analisar a correlação existente entre as duas informações. Para esta análise realizou-se a interseção entre as áreas de vegetação com a área considerada como PCL para esta respectiva

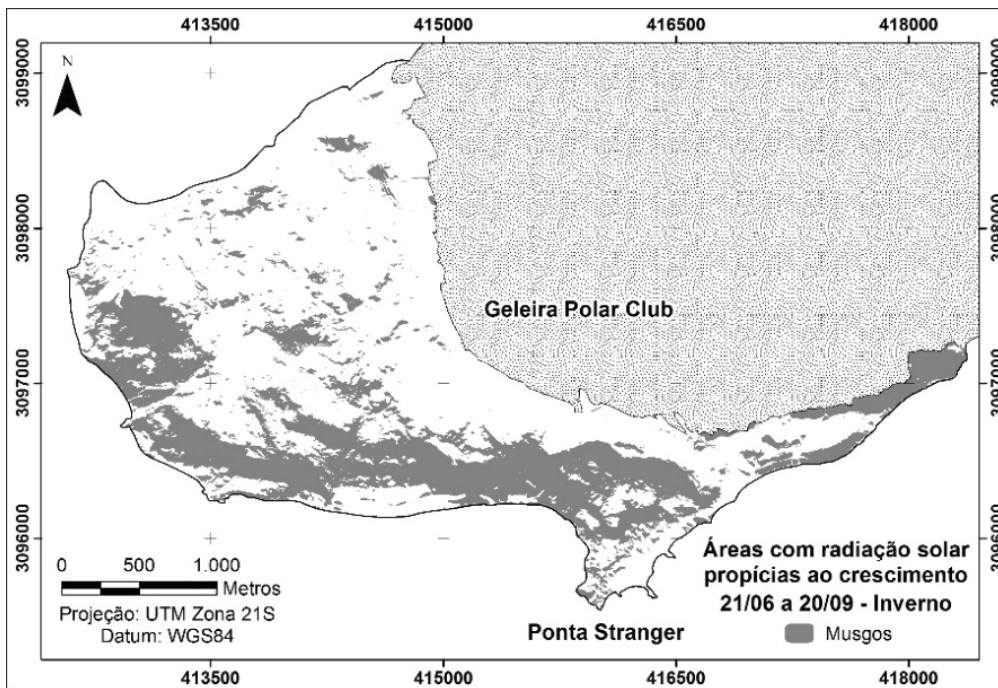


Fig. 6 - Áreas propícias ao desenvolvimento de musgos a partir da radiação solar incidente durante o inverno.

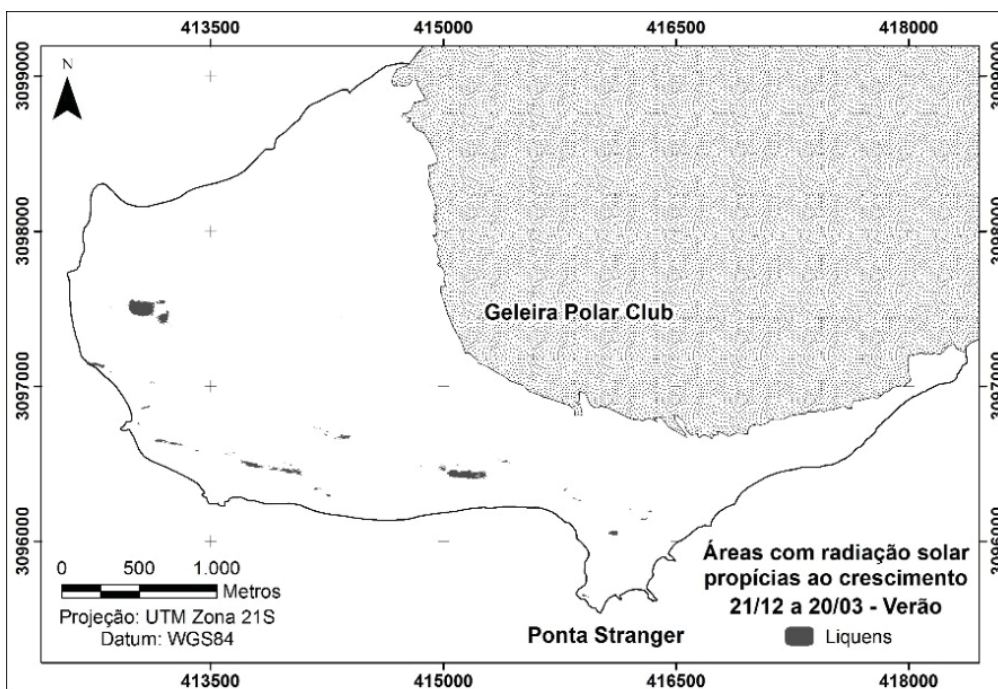


Fig. 7 - Áreas propícias ao desenvolvimento de líquens a partir da radiação solar incidente durante o verão.

classe, resultando em um terceiro mapa contendo a vegetação localizada dentro da área PCL e a vegetação localizada fora da área PCL. O resultado desta operação é mostrado nas Figuras 8 e 9, com a espacialização das classes de algas talosas no outono e de musgos no inverno, respectivamente.

O musgo foi a única classe de vegetação

que apresentou compatibilidade entre a área de distribuição da vegetação classificada e a área de PCL nas estações de inverno e outono, tendo sido registrado um total de 23,5 e 5,9% da vegetação classificada dentro da área de PCL. Em contrapartida, os líquens nas quatro estações apresentaram 100% da superfície classificada localizada fora da área de PCL. O mesmo ocorreu as algas talosas para as estações de inverno e

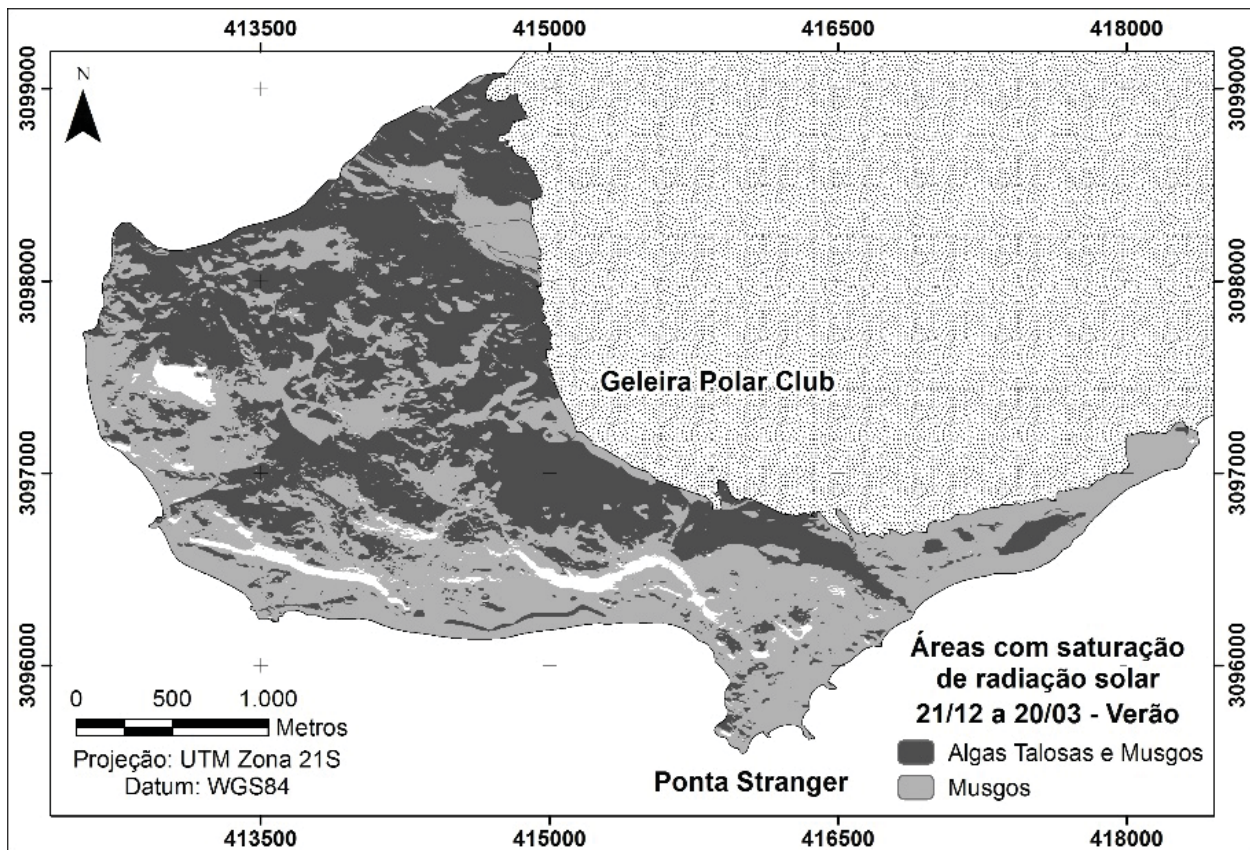


Fig. 10 - Áreas da superfície que durante o verão apresentam saturação de radiação solar incidente para o desenvolvimento de algas talosas e musgos.

Tabela 4: Área resultante da intersecção da vegetação classificada com áreas de ponto de saturação à luz (PS) para as classes de musgos, líquens e algas talosas. São apresentadas as áreas da vegetação localizadas dentro e fora da área PS

Período	Classe	Área da vegetação classificada	
		Dentro da área de PS	Fora da área de PS
		(km ² / %)	(km ² / %)
Verão	Musgos	0,051 / 5,2	0 / 0
	Associação de musgos e outra vegetação	0,909 / 92,9	0,020 / 16,1
	Algas talosas	0,018 / 1,9	0,104 / 83,9
Primavera	Musgos	0,051 / 5,1	0 / 0
	Associação de musgos e outra vegetação	0,91 / 91,7	0,019 / 17,3
	Algas talosas	0,031 / 3,2	0,091 / 82,7

outono. A Tabela 3 exhibe por completo os dados gerados a partir da intersecção entre a vegetação e as áreas de PCL.

Além das áreas de PCL é possível calcular as áreas cuja radiação solar incidente atinge valores superiores ao limite tolerável para o desenvolvimento das comunidades vegetais, denominado de ponto de saturação (PS).

Após a conversão das informações de PS, os dados contendo os valores de radiação solar global incidente foram classificados de forma a destacar as áreas cujo valor de radiação incidente é superior ao tolerado pela vegetação, podendo acarretar na saturação. As classes de musgos e algas talosas foram as únicas que apresentaram áreas de PS nas estações do verão e primavera.

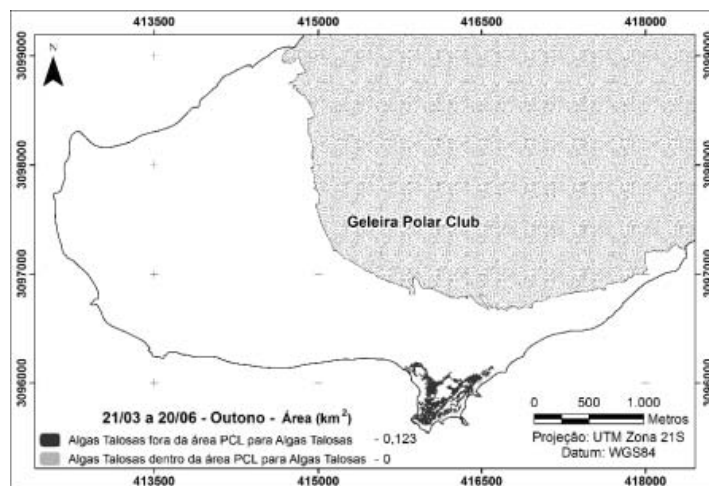


Fig. 8 - Espacialização da vegetação de algas talosas classificadas fora das áreas de PCL para o período do outono. Não tendo sido constatado a presença dessa vegetação no interior da área de PCL para esse período.

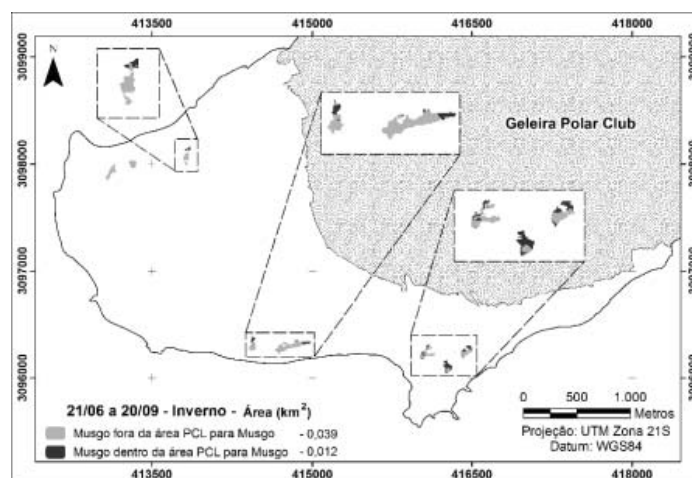


Fig. 9 - Espacialização da vegetação de musgo classificada dentro e fora das áreas de PCL para o período do inverno.

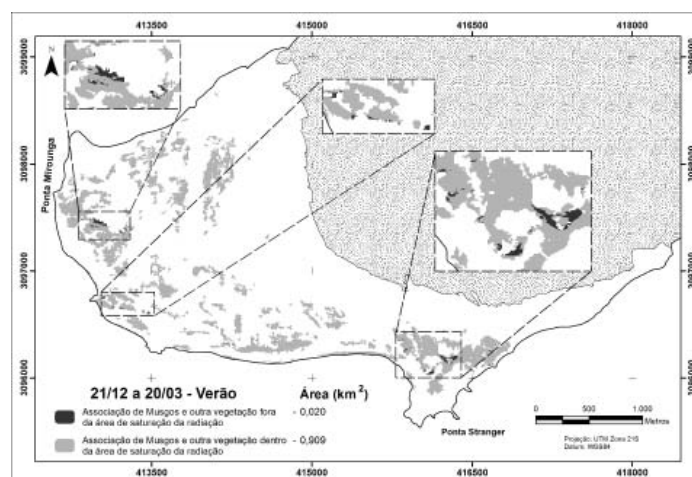


Fig. 11 - Distribuição da classe vegetal de associação de musgos e outras vegetações dentro e fora das áreas de saturação à radiação solar incidente no período do verão.

Para a classe de líquens, não houve constatação durante todo o período de incidência de radiação solar na superfície com taxa superior ao limite de PS, enquanto nas estações do inverno e outono em nenhuma das três classes houve saturação

da radiação solar. A Figura 10 exhibe as áreas de saturação por radiação solar para as classes de algas talosas e musgos para o período do verão.

Através da Figura 10 é possível visualizar a distribuição espacial das superfícies cujo valor

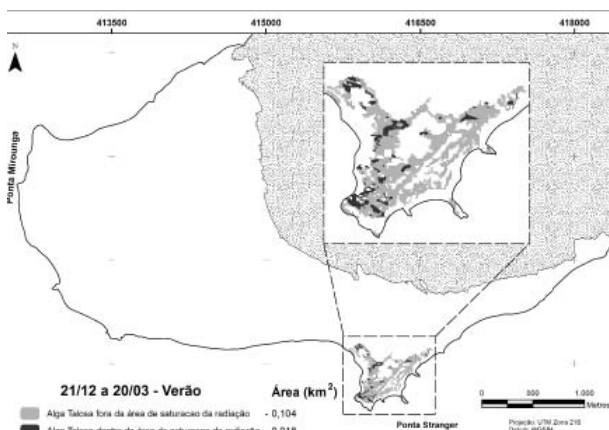


Fig. 12 - Distribuição da classe vegetal de alga talosa dentro e fora das áreas de saturação à radiação solar incidente no período do verão.

de radiação solar modelado é superior ao limite tolerado para o desenvolvimento da vegetação de acordo com o tipo. A área na cor cinza escuro, para algas talosas e musgos, representa as áreas cujo valor de radiação solar é de saturação para as duas classes, sendo que a área de saturação para a classe musgo é complementada pela área mapeada na cor cinza claro.

Após a classificação, fez-se a intersecção entre o mapa contendo a vegetação classificada e o mapa contendo as áreas na superfície de PS. Durante as estações do inverno e primavera não se constatou superfícies cujo valor de incidência resultando em PS. Já no verão e na primavera, registrou-se PS para as classes de musgos, associação de musgos e outra vegetação e algas talosas, sendo os valores altamente similares para os dois períodos. As Figuras 11 e 12 exibem respectivamente os resultados do mapeamento realizado através da intersecção entre a vegetação classificada com a área PS para as classes de associação de musgos e outra vegetação durante o verão e também a classe de algas talosas para o período do verão.

A vegetação de musgos classificada está localizada em sua totalidade no interior das áreas consideradas como PS nas duas estações, enquanto as outras duas classes apresentaram padrões distintos, com a classe de associação de musgos e outra vegetação estando em sua maior proporção localizada no interior da área PS e as algas talosas estão a maior parte localizadas fora da área PS. A Tabela 4 exhibe por completo o resultado da intersecção entre a vegetação classificada e a área PS, com a área e a respectiva porcentagem de recobrimento para cada classe.

Os resultados obtidos na análise da correlação existente entre a distribuição da vegetação e a radiação solar global incidente nas áreas livres de gelo evidenciam que os parâmetros de radiação solar incidente não foram eficazes para descrever os padrões de cobertura superficial da vegetação. Uma possibilidade de alcançar resultados utilizando essa metodologia seria utilizar fatores não parametrizados nesse estudo, como o tipo de solo, suscetibilidade eólica etc. Considera-se que não há correlação entre as áreas mapeadas como PCL e PS com a real distribuição da vegetação na superfície. Entretanto, essa constatação pode ser decorrente de elementos no ambiente que impossibilitam o desenvolvimento das comunidades vegetais nesses locais de PS, como por exemplo, o intenso vento incidente sobre a superfície que impede a fixação e expansão espacial da vegetação.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A radiação solar, apontada por Pereira e Putzke (1994) como um dos principais elementos para o desenvolvimento de comunidades vegetais na região da Antártica, não se mostrou como um elemento determinístico na distribuição espacial da vegetação na península Potter. Nesse local, a distribuição da vegetação é fortemente influenciada pela configuração do micro relevo, podendo ter sido estimada uma área de correlação entre a radiação solar e a distribuição da vegetação inferior à área que seria gerada através de uma estimativa utilizando modelos digitais de elevação com maior resolução espacial.

A análise dos parâmetros que influenciam na distribuição da vegetação da península Potter pode ser melhorada com a incorporação da quantificação da dinâmica dos fluxos eólicos, possibilitando averiguar a correlação existente entre a ação eólica com a área abrangida pela vegetação. Essa informação, somando-se com as informações de radiação solar incidente sobre a superfície, será essencial para o entendimento dos padrões espaciais de cobertura da vegetação na península Potter.

AGRADECIMENTOS

Este estudo foi financiado pelo Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

– CNPq, através da cooperação entre o TERRANTAR/UFV e LaCrio/FURG. O autor agradece à CAPES pela bolsa de mestrado concedida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, A. M. de; POELKING, E. L.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FERNANDES FILHO, E. I.; JUSTINO, F. B. Mudanças climáticas regionais e seus reflexos nas variações da frente da geleira Polar Club, península Potter, Ilha Rei George, entre 1986 e 2009. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011. p. 5624-5631.
- ARIGONY-NETO, J.; RAU, F.; SAURER, H.; JAÑA, R.; SIMÕES, J. C.; VOGT, S. A times series of SAR data for monitoring changes in boundaries of glacier zones on the Antarctic Peninsula. **Annals of Glaciology**. 46. p. 55-60, 2007.
- 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.
- BRAUN, M., GOßMANN, H. Glacial changes in the areas of Admiralty Bay and Potter Cove, King George Island, maritime Antarctica. In: Beyer, L.; Bölter, M. (Ed). **Geocology of Antarctic ice-free coastal landscapes**. Berlin: Springer-Verlag. p. 75-89, 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.
- BRUUN, H. H.; MOEN, J.; VIRTANEN, R.; GRYTNES, J. A.; OKSANEN, L.; ANGERBJÖRN, A. Effects of altitude and topography on species richness of vascular plants, bryophytes and lichens in alpine communities. **Journal of Vegetation Science**. 17, p. 37-46, 2006.
- 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.
- DEL VALLE, R. A.; TATUR, A.; LUSKY, J. C.; GOMEZ IZQUIERDO, D. R. Cambios morfológicos recientes en lagos de la península Potter, islã 25 de Mayo, islas Shetland del Sur, Antártida. **Revista de la Asociación Geológica Argentina**. 59 (3). p. 443-450, 2004.
- FERRON, F. A.; SIMÕES, J. C.; AQUINO, F. E.; SETZER, A. W. Air temperature time series for King George Island, Antarctica. **Pesquisa Antártica Brasileira**. v. 4, p. 155-169, 2004.
- 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.
- GEDDES, C. A.; BROWN, D. G.; FAGRE, D. B. Topography and Vegetation as Predictors of Snow Water Equivalent across the Alpine Treeline Ecotone at Lee Ridge, Glacier National Park, Montana, U.S.A. **Arctic, Antarctic, and Alpine Research**. v. 37, n. 2, p. 197-205, 2005.
- GROSSE, G.; SCHIRRMEISTER, L.; KUNITSKY, V. V.; HUBBERTEN, H. W. The use of CORONA images in remote sensing of periglacial geomorphology: an illustration from the NE Siberian coast. **Permafrost and Periglacial Processes**. 16, p. 163-172, 2005.
- IBGE. **Manual Técnico de Pedologia**. 2ª ed. IBGE: Rio de Janeiro. 316 p. 2007.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. RiMa Artes e Textos: São Carlos. 531 p. 2000.
- LIU, H.; WANG, L.; JEZEK, K. Automated Delineation of Dry and Melt Snow Zones in Antarctica Using Active and Passive Microwave Observations From Space. **IEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. v. 44, n. 8, p. 2152-2163, 2006.
- LUBIN, D.; MASSOM, R. **Polar Remote**

- Sensing: Atmosphere and Oceans.** Springer: Germany. 867 p. 2006.
- MENDES JUNIOR, C. W.; DANI, N.; ARIGONY NETO, J.; SIMÕES, J. C.; VELHO, L. F.; RIBEIRO, R. R.; PARNOW, I.; BREMER, U. F.; FONSECA JUNIOR, E. S.; ERWES, H. J. B. Elaboração de um mapa topográfico na escala 1:5.000 para a península Keller, Ilha Rei George, Antártica. **Revista Brasileira de Cartografia.** n. 63/03, p. 453-466, 2010.
- 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.
- PIEDALLU, C.; GÉGOUT J. C. Efficient assessment of topographic solar radiation to improve plant distribution models. **Agricultural and Forest Meteorology.** 148, p. 1696-1706, 2008.
- PIEDALLU, C.; GÉGOUT J. C. Multiscale computation of solar radiation for predictive vegetation modelling. **Annals of Forest Science.** 64, p. 899-909, 2007.
- PIERCE JR, K. B.; LOKINGBILL, T.; URBAN, D. A simple method for estimating potential relative radiation (PRR) for landscape-scale vegetation analysis. **Landscape Ecology.** 20, p. 137-147.
- POELKING, E. L. **Criossolos e monitoramento climático da península Potter, Antártica Marítima.** 119 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 2011.
- RAU, F.; BRAUN, M.; SAURER, H.; GOBMAN, H; KOTHE, G.; WEBER, F.; EBEL, M.; BEPPLER, D. Monitoring Multi-Year Snow Cover Dynamics on the Antarctic Peninsula Using SAR Imagery. **Polarforschung.** 67 (1/2), p. 27-40, 2000.
- SCHAEFER, C. E. G. R.; SANTANA, R. M.; SIMAS, F. N. B.; FRANCELINO, M. R.; FERNANDES FILHO, E. I.; ALBUQUERQUE, M. A.; CALIJURI, M. L. Geoenvironments from the vicinity of Arctowski Station, Admiralty Bay, King George Island, Antarctica: vulnerability and valuation assessment. In: *International Symposium on Antarctic Earth Sciences*, 10., 2007, Santa Barbara, EUA. **Anais...** Santa Barbara, 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.
- ULRICH, M.; GROSSE, G.; CHABRILLAT, S.; SCHIRRMESTER, L. Spectral characterization of periglacial surfaces and geomorphological units in the Arctic Lena Delta using field spectrometry and remote sensing. **Remote Sensing of Environment.** 113, p. 1220-1235, 2009.
- VARELA, L. Hidrology of Matias and Potter Creeks. **The Potter Cove coastal ecosystem, Antarctica: synopsis of research performed within the frame of the Argentinean - German cooperation at the Dallmann Laboratory and Jubany Station.** p. 33-39, 1998.
- 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.
- WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. **Terrain Analysis Principles and Applications.** Wiley: EUA. 479 p. 2000.