

FLÁVIA RAMOS FERRARI

**RELAÇÕES SOLO-VEGETAÇÃO E IMPLICAÇÕES AMBIENTAIS EM
TOPOSEQUÊNCIA NA ILHA REI GEORGE, ANTÁRTICA MARÍTIMA**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Botânica, para obtenção do título de
Magister Scientiae.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2018

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

F375r
2018
Ferrari, Flávia Ramos, 1992-
Relações solo-vegetação e implicações ambientais em
toposequência na Ilha Rei George, Antártica Marítima / Flávia
Ramos Ferrari. – Viçosa, MG, 2018.
x, 94 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Vegetação - Mapeamento - Rei George, Ilha (Antártica).
2. Vegetação e clima. 3. Comunidades vegetais. 4. Plantas e solo.
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Biologia
Vegetal. Programa de Pós-Graduação em Botânica. II. Título.

CDD 22. ed. 581.42


FLÁVIA RAMOS FERRARI

**RELAÇÕES SOLO-VEGETAÇÃO E IMPLICAÇÕES AMBIENTAIS EM
UMA TOPOSSEQUÊNCIA NA ILHA REI GEORGE, ANTÁRTICA
MARÍTIMA**

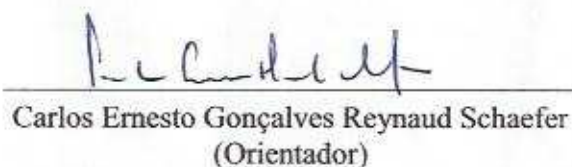
Dissertação apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das exigências
do Programa de Pós-Graduação em Botânica,
para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 26 de fevereiro de 2018.


Fabio Soares de Oliveira


Jair Putzke


Roberto Ferreira Machado Michel


Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer
(Orientador)

*Aos meus pais e meus irmãos, pelo
amor, confiança e incentivo...*

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Eugenia e Paulo e meus irmãos Lucas e Patricia, por sempre me incentivarem a estudar e jamais desistir, pelo amor e união, por compreenderem a distância e por todo o suporte emocional ao longo desses anos. Sem vocês eu não chegaria tão longe!

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós Graduação em Botânica pela aprendizagem e possibilidade de realização deste trabalho.

Ao professor Dr. Carlos Ernesto Schaefer pela orientação, confiança, oportunidade de conhecer e me encantar pela pesquisa Antártica, além de dividir comigo essa experiência única, proporcionando uma aprendizagem sem igual.

Ao professor Dr. Antonio Batista Pereira que desde a graduação na UNIPAMPA me aconselha e ensina. Obrigada pela coorientação, incentivo e colaboração em campo.

Ao professor Dr. André Thomazini pelos ensinamentos, apoio e colaboração em todas as etapas desse trabalho, principalmente em campo e nas análises estatísticas.

À agência financiadora CAPES pela bolsa concedida.

Ao INCT-CRIOSFERA pelo auxílio financeiro e logístico. Ao Núcleo de Estudos dos Ecossistemas Terrestres – TERRANTAR – UFV e ao Núcleo de Estudos da Vegetação Antártica – NEVA da Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA pelo apoio na execução deste trabalho.

Ao PROANTAR e Marinha do Brasil por toda logística em campo.

À Base Polonesa Henryk Arctowski pelo acolhimento, estrutura e suporte ao longo da pesquisa na Antártica.

Aos meus colegas Nathália e Bruno pelo auxílio no trabalho em campo, parceria, amizade e por vivenciarem essa experiência comigo.

À banca examinadora pela disponibilidade e contribuições tão importantes para o trabalho.

À Claudinha por toda ajuda, atenção e companhia ao longo desses dois anos.

Aos amigos que tive o prazer de conhecer em Viçosa, obrigada pela amizade e por tornarem minha vida mais alegre, e à Daniela Schmitz, por toda a amizade, companheirismo e por dividir comigo muitos momentos desses últimos anos.

À Prímula Viana pela amizade, apoio e auxílio nas análises estatísticas.

Ao nosso time de basquete da UFV, obrigada por nos tornarmos grandes amigas, vocês fizeram da minha passagem por Viçosa mais leve e repleta de alegrias.

A todos o meu muito obrigada!

RESUMO

FERRARI, Flávia Ramos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2018. **Relações solo-vegetação e implicações ambientais em topossequência na Ilha Rei George, Antártica Marítima.** Orientador: Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer. Coorientador: Antonio Batista Pereira.

O continente antártico apresenta condições climáticas distintas que restringem sua vegetação às áreas livres de gelo distribuídas ao longo das regiões costeiras. A flora criptogâmica dominante estabelece-se em planícies, terraços, encostas, sobre rochas e solos em diferentes estádios de desenvolvimento. O clima e a atividade biológica são fatores determinantes no avanço dos processos pedogenéticos. As características dos solos permitem a compreensão dos fatores que favorecem a colonização de determinada cobertura vegetal na Antártica Marítima, bem como seu desenvolvimento, dinâmica e sucessão em áreas extremamente sensíveis às mudanças ambientais. O objetivo do presente estudo foi avaliar a composição florística das comunidades vegetais ao longo de uma topossequência nas áreas livres de gelo adjacentes a Estação Polonesa Henryk Arctowski, Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Antártica Marítima, relacionar a distribuição da vegetação com a variação altimétrica e características do meio físico, quantificar os teores de matéria orgânica do solo ao longo da topossequência e comparar áreas ornitogênicas com áreas sem influência ornitogênica, em relação à cobertura e riqueza de espécies vegetais. Para isso foram mapeadas 10 áreas com vegetação e uma área de solo exposto, distribuídas ao longo de uma topossequência (0-300m) nas áreas livres de gelo adjacentes a Estação Polonesa Henryk Arctowski, Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Antártica Marítima, durante a XXXV OPERANTAR, nos meses de fevereiro e março de 2017. As comunidades vegetais de cada área foram amostradas utilizando-se 12 parcelas através do método fitossociológico de Braun-Blanquet (1932). Em cada parcela foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-20 cm e enviadas para análises químicas e físicas. Ao todo foram amostrados 132 quadrados e 16 espécies divididas em 12 famílias. As espécies fanerogâmicas formam comunidades com altos índices de significância ecológica. Localizadas no início da topossequência sobre terraços marinhos atuais e soerguidos, possuem teores elevados de fósforo e matéria orgânica devido à influência ornitogênica. Nessas áreas, o solo possui os

níveis mais baixos de sódio e pH. Áreas hidromórficas abrigam extensas comunidades carpete de musgos a partir de 80m, com baixa diversidade de espécies associadas a baixas taxas de acumulação de matéria orgânica em solos profundos. A área sem cobertura vegetal demonstra baixo conteúdo de matéria orgânica, alto pH e saturação por sódio, localizada a cerca de 240m. Áreas em altitudes mais elevadas são compostas por comunidades de líquens fruticosos, caracterizados pela presença de *Usnea* spp., sobre cristas rochosas, solos rasos, pedregosos, sem influência ornitogênica, com maiores teores de sódio e cálcio e menores teores de fósforo e matéria orgânica. Dessa forma, a acumulação da matéria orgânica ocorre no início da topossequência sob comunidades fanerogâmicas, e tende a decrescer com a mudança na composição vegetal e diminuição das taxas de decomposição, conforme o aumento da altitude. O presente estudo conclui que a vegetação ao longo da topossequência estudada variou com atributos do solo, ornitogênese, umidade do solo e altitude relativa, modelando-as ao longo do gradiente ambiental em diferentes pedoambientes, com maior diversificação de vegetação em solos mais estáveis e antigos, sobre deposição de material proveniente do guano nas áreas mais baixas da topossequência.

ABSTRACT

FERRARI, Flávia Ramos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2018. **Soil-vegetation relations and environmental implications in topossequence on King George Island, Maritime Antarctica.** Adviser: Carlos Ernesto Gonçalves Reynad Schaefer. Co-adviser: Antonio Batista Pereira.

The Antarctic continent present distinct climatic conditions which restrict its vegetation to ice free areas distributed along coast region. The dominant cryptogamic flora is established in plains, terraces, slopes, rocks and soils at different stages of development. The climate and biological activity are determinant factors in the progress of pedogenetics process. Soils properties allow to understand factors that favor the vegetation cover in Maritime Antarctica, as well as its development, dynamic and sucession in areas extremely sensitive to environmental changes. This study aimed to assess the floristic composition of the plant communities along the toposequence in ice free areas adjacent to Henryk Arctowski Polish Station, Admiralty Bay, King George Island, Maritime Antarctica, relate the vegetation distribution with altimetric variation and characteristics of the physical environment, quantify the contents of organic matter along toposequence and compare ornithogenics areas with areas without ornithogenic influence, in relation to plant cover and species richness. For that, were mapped 10 plants communities and one area with bare soil, distributed along a toposequence (0-300 meters above sea level) in ice free are adjacent to Henryk Arctowski Polish Station, Admiralty Bay, King George Island, Maritime Antarctica, during the XXXV OPERANTAR, in the months of February and March 2017. The communities were sampled through the phytosociological method adapted from Braun-Blanquet (1932), in 12 plots in each area. Soil samples were collected in each plot in 0-20 cm depth and sent to laboratory for physicochemical analyzes. Were sampled a total of 132 quadrants and the phytosociology results in 16 species from 12 families. The phanerogamics species form communities with high ecological significance index. These species are located at the beginning of the toposequence on current and uplifted marine terraces, and they have high levels of phosphorus and organic matter due to ornithogenic influence. In these areas, soil has the lowest levels of sodium and

pH. Hydromorphic areas have extensive mosses carpets communities above 80 m, with low species diversity associated with low rates of organic matter in deep soil. Bare soil as reference, present very low organic matter content, high pH and sodium saturation, localized above 240 m. Areas of higher altitudes are generally composed of fruticose lichens communities, characterized by the presence of *Usnea* spp., on rocky ridges, shallow, stony soils, without ornithogenic influence, higher levels of sodium and calcium and lowest levels of phosphor and organic matter. Therefore, the accumulation of organic matter occurs at the beginning of the toposequence, under phanerogamics communities, and tends to decrease as the plant composition changes and decrease of decomposition rates, as altitude increases. The present study concludes that the vegetation along toposequence varied with soil attributes, ornithogenesis, soil moisture and relative altitude, modeling them along the environmental gradient in pedoenvironment, with greater vegetation diversification in more stable and ancient soils, on guano deposition in outset of the toposequence.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL:.....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	4
ALTITUDE E SUBSTRATO CONDUZEM A COMPOSIÇÃO FLORÍSTICA DE COMUNIDADES VEGETAIS EM TOPOSSEQUÊNCIA NA ILHA REI GEORGE, ANTÁRTICA MARÍTIMA.....	7
RESUMO	7
ABSTRACT.....	9
1 INTRODUÇÃO.....	10
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	13
2.1 Área de Estudo	13
2.1.1 Seleção das áreas de estudo:.....	14
2.2 Análises das comunidades vegetais	15
2.3 Identificação de espécies	17
3 RESULTADOS	17
4 DISCUSSÃO.....	35
5 CONCLUSÃO.....	41
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:.....	41
CAPÍTULO 2	46
ATRIBUTOS DO SOLO E ALTITUDE DETERMINAM AS COMUNIDADES VEGETAIS EM TOPOSSEQUÊNCIA NA ANTÁRTICA MARÍTIMA	46
RESUMO	46
ABSTRACT.....	48
1 INTRODUÇÃO.....	50
2 MATERIAL E MÉTODOS	53
2.1 Área do Estudo	53
2.2 Seleção das áreas de estudo	55
2.3 Descrição das Comunidades Vegetais	56
2.4 Análises de Solo	63
2.5 Atributos gerais do solo e matéria orgânica	63
2.6 Análises Estatísticas.....	64

3	RESULTADOS:.....	65
3.1	Atributos gerais do solo e matéria orgânica	65
4	DISCUSSÃO.....	81
5	CONCLUSÕES.....	87
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
	CONCLUSÃO GERAL.....	94

INTRODUÇÃO GERAL:

A região abaixo do paralelo 60° Sul abrange o continente antártico, que pode ser dividido conforme zonas latitudinais, classificados em zona Subantártica, zona Antártica Marítima e zona Continental, correspondendo a regiões climáticas distintas (Greene, 1964; Lewis Smith, 1984).

A Antártica continental apresenta uma camada de gelo de até 4000m de espessura, representando 70% da água doce do planeta, conta apenas cerca de 50.000 km² de áreas livres de gelo, a menos de 2% do território antártico (Turner e Marshall, 2011). A vegetação antártica restringe-se a essas áreas livres de gelo, sendo fortemente afetada pelo isolamento geográfico e condições climáticas. Ocorrem predominantemente em regiões costeiras, distribuídas em planícies, terraços, encostas, sobre rochas e solos em diferentes estágios de desenvolvimento (Ochyra, 2008; Victoria et al., 2013; Pereira e Putzke, 2013).

Considerada uma das regiões com maior biodiversidade da Antártica, por ser uma área relativamente mais quente, por sua localização geográfica e pela configuração do terreno que a cerca, a Antártica Marítima possui as condições mais favoráveis ao desenvolvimento das espécies vegetais e colônias de animais, tais como focas, pinguins e outras aves marinhas durante o verão austral (Putzke et al., 1995; Zhu et al., 2014).

Espécies criptogâmicas compõem os grupos que dominam a cobertura vegetal de áreas livres de gelo da Antártica, dentre as quais as briófitas possuem maior biomassa e participam de extensas formações e associações, bem como os líquens (Victoria et al., 2009) que juntos formam um mosaico de populações. As espécies fanerogâmicas, embora amplamente distribuídas na Antártica, formam apenas componentes menores de vegetação e geralmente são encontrados como populações dispersas ao invés de comunidades densas e fechadas (Lewis Smith, 2003).

As espécies descritas somam cerca de 10 espécies de fungos macroscópicos (Putzke e Pereira, 1990) e 360 de fungos liquenizados (Øvstedal e Lewis Smith, 2001). As briófitas estão representadas por cerca de 110 espécies de musgos descritos e 22 espécies de hepáticas (Ochyra et al., 2008). Há duas espécies de algas macroscópicas terrestres e somente duas espécies nativas de angiospermas, a

Deschampsia antarctica Desv. e *Colobanthus quitensis* (Kunth.) Bartl. (Øvstedal e Lewis Smith, 2001). Essas espécies são mais frequentes em baixas altitudes ou em encostas mais aquecidas pela radiação solar com solos mais desenvolvidos (Longton, 1988; Thomazini et al., 2014). Há também registro da gramínea nativa da Europa, *Poa annua* L., e invasora de cultivos de inverno no sul do Brasil crescendo em áreas de degelo nos arredores da estação antártica polonesa, na Baía do Almirantado (Pereira e Putzke, 2013).

Fatores abióticos influenciam significativamente na ocorrência da vegetação, como temperatura e umidade do solo, período de degelo do permafrost e condições pedogeomorfológicas, como a estabilidade da superfície, tipo de rocha/solo e erosão eólica (Michel et al., 2012), além de fatores bióticos, como a ação microbiana e de comunidades de aves e mamíferos (Mendonça et al., 2010.; Almeida et al., 2014), contribuindo na ciclagem de nutrientes no sistema.

Na Antártica Marítima, ocorre forte relação entre o solo e a vegetação (Michel et al., 2006). Comunidades criptogâmicas estão fortemente associadas com as áreas de influência biológica, onde se formam os solos ornitogênicos. Esses solos são os maiores reservatórios de carbono, nitrogênio e fósforo da Antártica Marítima, ricos em material orgânico de fácil decomposição (Simas et al., 2007; Souza et al., 2014). Recebem grande aporte de guano, material proveniente das fezes ricas em nutrientes, principalmente de pinguins em ambientes de nidificação, favorecendo a formação e acidificação do solo, a atividade microbiana (Tatur, 1998; Michel et al., 2006; Simas et al., 2007; Schaefer et al., 2008) e o desenvolvimento da vegetação, porém com baixa diversidade de espécies em ambientes recém expostos.

Thomazini et al. (2014) demonstraram que a colonização vegetal é mais intensa quanto maior a distância das geleiras a partir do recuo das mesmas, onde o maior tempo de exposição favorece o desenvolvimento do solo. Da mesma forma colônias abandonadas por pinguins, devido ao soerguimento, possuem abundância de nutrientes, maior teor de argila e revelam uma vegetação mais diversa. O recuo glacial testemunhado na última década eleva as temperaturas do solo, com aumento concomitante da disponibilidade de água na camada ativa e atividade microbiana, promove uma pedogênese mais acentuada e favorece o desenvolvimento da vegetação.

As espécies ornitocóprófilas (tolerantes ao guano) ocupam o entorno das colônias ativas com grande influência biológica, como comunidades compostas pela alga macroscópica *Prasiola crista* (Lighfoot) Menegh e o líquen *Xanthoria elegans* (Link) Th. Fr. (Longton, 1988). Por outro lado, espécies ornitocóprófobas como a *Prasiola cladophylla* (Carmich.) Menegh., ocorrem principalmente em linhas de drenagem, onde há menor influência ornitogênica.

As gramíneas se desenvolvem em solos bem drenados, ricos em nutrientes, muitas vezes formando horizontes com elevado teor de matéria orgânica (Victoria et al., 2013). Em ambientes hidromórficos, a colonização principal se observa por extensos carpetes de *Sanionia uncinata* (Hedw.) Loeske.. Nessa região ocorrem períodos mais longos de luz do dia, temperaturas mais elevadas e maior disponibilidade de água em comparação com a Antártica Continental (Victoria et al., 2013). Apesar de baixa precipitação, o processo de evaporação reduzido mantém os solos saturados principalmente no verão austral. Por outro lado, campos de *Usnea* sp. estão fortemente correlacionados com solos com altas taxas de pedregosidade superficial (Simas et al., 2007) e baixos teores de argila.

Poeiras (2010) relatou em Lions Rump, na Antártica Marítima, comunidades de *Usnea antarctica* Du Rietz associadas a solos e substratos de pH básico, em áreas de maior elevação altitudinal. Por outro lado, comunidades de *D. antarctica* são frequentes em áreas litorâneas, suportando maiores teores e saturação por sódio, enquanto comunidades de musgos, dominadas por *S. uncinata*, colonizaram áreas com maior umidade. Michel et al. (2012) retratam a associação solo-cobertura vegetal como possibilidade de formação de um microclima com temperaturas mais elevadas, beneficiando o desenvolvimento da microbiota e de condições pedogenéticas favoráveis à formação de horizonte superficial.

Victoria et al. (2009) citou *S. uncinata* e *Polytrichastrum alpinum* Lindsay, como as espécies de musgos, e a gramínea *D. antarctica* com os maiores índices de importância ecológica em suas análises fitossociológicas nas áreas livres de gelo na região de Arctowski, Antártica Marítima. Ao descrever as formações e associações, a diversidade e riqueza eram menores naquelas próximas a colônias de pinguins atuais e linhas de drenagem, ao comparar com áreas mais secas e sem colônias ativas.

O fator altitude afeta de forma diferente as características da vegetação nos trópicos e a região polar. Campos rupestres e brejosos do Itatiaia – MG, com cotas superiores a 2400 metros, apresentam presença de organossolos fósseis, demonstrando um período mais frio e hidromórfico no Quaternário, antes da atual dissecação. A degradação da matéria orgânica é muito lenta, devido ao clima frio, mantendo turfeiras de paleoambientes brejosos conservadas (Schaefer, 2013). Entretanto a variação da vegetação ocorre em grandes intervalos de altitude, na cota de 1500 metros encontram-se Florestas Ombrófilas Nebulares Altomontanas, enquanto turfeiras ocorrem somente à partir de 2000 metros. Em regiões polares, variações da vegetação ocorrem em intervalos menores de altitude. As mudanças abruptas de comunidades vegetais polares a curtas distâncias também são reflexo da forte influência das alterações no regime hidrológico, biológico e dos ventos, modificando as condições de desenvolvimento do solo e status de nutrientes.

Neste trabalho foram estudadas as comunidades vegetais, suas relações com os atributos dos solos, as posições na paisagem e a influência ornitogênica em áreas livres de gelo na região de Ponta Thomaz, adjacente à Estação Polonesa Henryk Arctowski, Baía do Almirantado, Ilha Rei George. A dissertação é dividida em dois capítulos:

-Capítulo 1: “Altitude e substrato controlam a composição florística de comunidades vegetais em topossequência na Ilha Rei George, Antártica Marítima”.

-Capítulo 2: “Atributos do solo e altitude determinam as comunidades vegetais em topossequência na Antártica Marítima”.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, I. C. C., Schaefer, C. E. G. R., Fernandes, R. B. A., Pereira, T. T. C., Nieuwendam, A. T., Pereira, A. B. (2014). Active layer thermal regime at different vegetation covers at Lions Rump, King George Island, Maritime Antarctica. *Geomorphol (Amst.)* 225, 36–46.
- Greene, S. W. (1964). Plants of the land. In: Priestley, R., Adie, R. J., Robin, G. de Q (eds.), *Antarctic research. A review of British scientific achievements in Antarctica*, London, Butterworth, 239-253.

- Lewis Smith, R. I. (1984). Terrestrial plant biology of the sub-Antarctic and Antarctic. In: R. M. Laws (ed.), *Antarctic Ecology*, vol 1. London, Academic Press: pp. 61-162.
- Lewis Smith, R. I. (2003). The enigma of *Colobanthus quitensis* and *Deschampsia antarctica* in Antarctica. In A.H.L. Huiskes et al. (eds.): *Antarctic biology in a global context*. Pp. 234-239. Leiden: Backhuys Publications.
- Longton, R. E. (1988). Life-history strategies among bryophytes of arid regions. *J Hattori Bot Lab* 64: 15-28.
- Mendonça, E. S., La Scala, N., Panosso, A. R., Simas, F. N. B., Schaefer, C. E. G. R. (2010). Spatial variability models of CO₂ emissions from soils colonized by grass (*Deschampsia antarctica*) and moss (*Sanionia uncinata*) in Admiralty Bay, King George Island. *Antarct. Sci.* 23, 27–33.
- Michel, R. F. M., Schaefer, C. E. G. R., Dias, L. E., Simas, F. N. B., Benites, V., Mendonça, E. S. (2006). Ornithogenic gelifols (cryosols) from Maritime Antarctica: pedogenesis, vegetation and carbon studies. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70, 1370-1376.
- Michel, R. F. M., Schaefer, C. E. G. R., Poelking, E. L., Simas, F. N. B., Fernandes Filho, E. I., Bockheim, J. G. (2012). Active layer temperature in two Cryosols from King George Island, Maritime Antarctica. *Geomorphology* 155-156. 12-19
- Ochyra, R., Lewis Smith, R. I., Bednarek-Ochyra H. (2008). *The illustrated moss flora of Antarctica*. Cambridge University Press. Cambridge, 685 p.
- Øvstedal, D. O., Lewis Smith, R. I. (2001). Additions and corrections to the lichens of Antarctica and South Georgia. *Cryptogamie. Mycologie* 25: 323-331
- Pereira, A. B., Putzke, J. (2013). The Brazilian research contribution to knowledge of the plant communities from Antarctic ice free areas, *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 85(3), 923-935.
- Poeiras, L. M. (2010). *Vegetação e ambientes em Lions Rump e Hope Bay, Antártica Marítima*. Dissertação. Universidade Federal de Viçosa. 71p.
- Putzke, J., Pereira, A. B. (1990). Mosses of King George Island, Antarctica. *Pesquisa Antártica Brasileira*, v. 2, n. 1, p. 17-71.
- Putzke, J., Putzke, M. T. L., Pereira, A. B. (1995). Moss communities of Rip Point in Northern Nelson Island, South Shetland Islands, Antarctica. *Polar Biology*, v. 2, p. 20-40.

- Schaefer, C. E. G. R. (2013). Bases físicas da paisagem brasileira: estrutura geológica, relevo e solos. *Tópicos Ci. Solos*, 8:221-278.
- Simas, F. N. B., Schaefer, C. E. G. R., Albuquerque Filho, M. R., Francelino, M. R., Fernandes Filho, E. I., Costa, L. M. (2007). Genesis, Properties And Classification Of Cryosols From Admiralty Bay. *Maritime Antarctica. Geoderma*, 144, 116-122.
- Souza, K. K. D., Schaefer, C. E. G. R., Simas, F. N. B., Spinola, D. N., De Paula, M. D. (2014). Soil formation in Seymour Island, Weddell Sea, Antarctica. *Geomorphology* 225, 87–99.
- Thomazini, A., Teixeira, D. B., Turbay, C. V. G., La Scala Jr, N., Schaefer, C. E. G. R., Mendonça, E. S. (2014). Spatial variability of CO₂ emissions from newly exposed paraglacial soils at a glacier retreat zone on King George Island, Maritime Antarctica. *Permafr. Periglac. Process.* 25, 233–242.
- Turner, J., Marshall, G. J. (2011). *Climate change in the Polar Regions*. Cambridge University Press. 434 p.
- Victoria, F. C., Albuquerque, M. P., Pereira, A. B., Simas, F. N. B., Spielmann, A. A., Schaefer, C. E. G. R. (2013). Characterization and mapping of plant communities at Hennequin Point, King George Island, Antarctica. *Polar Research*, 32, 19261.
- Victoria, F. C., Pereira, A. B., Costa, D. P. (2009). Composition and distribution of moss formations in the ice-free areas adjoining the Arctowski region, Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. *Iheringia, Série Botânica*, 64(1): 81-91.
- Zhu, R., Bao, T., Wang, Q., Xu, H., Liu, Y. (2014). Summertime CO₂ fluxes and ecosystem respiration from marine animal colony tundra in maritime Antarctica. *Atmosp. Environ.* 98, 190201.

CAPÍTULO 1

ALTITUDE E SUBSTRATO CONDUZEM A COMPOSIÇÃO FLORÍSTICA DE COMUNIDADES VEGETAIS EM TOPOSEQUÊNCIA NA ILHA REI GEORGE, ANTÁRTICA MARÍTIMA

RESUMO

Ferrari, Flávia Ramos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2018. **Altitude e substrato conduzem a composição florística de comunidades vegetais em topossequência na Ilha Rei George, Antártica Marítima.** Orientador: Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer. Coorientador: Antonio Batista Pereira.

As áreas livres de gelo na Antártica Marítima apresentam maior cobertura vegetal com diversidade elevada. A altitude e a forma de relevo local podem alterar as características da vegetação e sua distribuição em pequenos intervalos de distância. O objetivo do presente estudo foi avaliar a composição florística das comunidades vegetais ao longo de uma topossequência, nas áreas livres de gelo na Antártica Marítima e relacionar a distribuição da vegetação em uma variação altimétrica. O estudo foi realizado durante a XXXV OPERANTAR nos meses de fevereiro e março de 2017 em dez comunidades vegetais e um solo exposto, adjacentes a Estação Polonesa Henryk Arctowski, Baía do Almirantado, Ilha Rei George. A vegetação foi amostrada através do método fitossociológico adaptado de Braun-Blanquet (1932) ao longo da topossequência (0-300 metros acima do nível do mar), através de 12 parcelas em cada área. Ao todo foram amostrados 132 quadrados e 16 espécies divididas em 12 famílias. As espécies fanerogâmicas formam comunidades com altos índices de significância ecológica. Localizadas no início da topossequência sobre terraços marinhos atuais e soerguidos com influência ornitogênica. Áreas hidromórficas abrigam extensas comunidades carpete de musgos a partir de 80m, com baixa diversidade de espécies em solos profundos. Áreas de altitudes mais elevadas são compostas geralmente por comunidades líquens fruticosos, caracterizados pela presença de *Usnea* spp., sobre cristas rochosas, solos rasos e pedregosos, sem influência ornitogênica. O presente

estudo conclui que a vegetação ao longo da topossequência variou com atributos do solo, ornitogênese, umidade do solo e altitude relativa, modelando-as ao longo do gradiente ambiental em diferentes pedoambientes, com maior diversificação de vegetação em solos mais estáveis e antigos, sobre deposição de material proveniente do guano.

Palavras-chave: fitossociologia; gradiente ambiental; vegetação Antártica.

ABSTRACT

Ferrari, Flávia Ramos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2018. **Altitude and substrate drive the floristic composition of plant communities in topossequence on King George Island, Maritime Antarctica.** Adviser: Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer. Coadviser: Antonio Batista Pereira.

The ice free areas in Maritime Antarctica present greater vegetation cover with elevated diversity. The altitude and local landform that can alter the vegetation characteristics and the distribution at little intervals of distance. This study aimed to assess the floristic composition of the plant communities along the topossequence in ice free areas in Maritime Antarctica and relate the vegetation distribution with altimetric variation. The survey was carried out during XXXV OPERANTAR in February and March 2017 in ten plants communities and one bare soil area adjacent to the Henryk Arctowski Polish Station, Admiralty Bay, King George Island. The vegetation was sampled through phytosociological method was adapted from Braun-Blanquet (1932) along a topossequence (0-300 meters above sea level), through 12 plots in each area. Were sampled a total of 132 quadrants and the phytosociology results in 16 species from 12 families. The phanerogamics species form communities with high ecological significance. Localized at the outset of the topossequence on actually or uplifted marine terrace with ornithogenic influence. Hydromorphic areas occupy extensive mosses carpets communities above 80m, with low diversity of species in soils deep. Higher altitude areas are generally composed of fruticose lichens community, characterized by *Usnea* spp., on rocky ridges, shallow and stony soils, without ornithogenic influence. The present study concludes that the vegetation along topossequence varied with soil attributes, ornithogenesis, soil moisture and relative altitude, modeling them along the environmental gradient in pedoenvironment, with greater vegetation diversification in more stable and ancient soils, on guano deposition.

Keywords: phytosociology; environmental gradient; Antarctica vegetation.

1 INTRODUÇÃO

O Continente Antártico é subdividido conforme zonas latitudinais, classificados em zona Subantártica, zona Antártica Marítima e zona Continental, que correspondem a regiões bioclimáticas distintas. Apenas 0,35% do continente, ou 45.000km², são áreas livres de gelo (Bockheim, 2015a), restringindo o desenvolvimento de espécies vegetais, pequenos invertebrados e microrganismos às áreas costeiras, afloramentos rochosos e ao longo da costa da Antártica Marítima (Putzke e Pereira, 2001; Zhu et al., 2014).

A Antártica Marítima é considerada um semi-deserto dominado por espécies criptogâmicas, com presença de duas espécies fanerogâmicas. A região costeira abriga a maior biodiversidade, na qual comunidades de musgos formam extensos tapetes característicos de locais mais úmidos e abrigados, enquanto os líquens são mais abundantes em afloramentos rochosos e no entorno de colônias de aves. Normalmente mais expostos, com algas e macrofungos, o verão austral na Antártica Marítima é composto por abundante fauna marinha, com aves e mamíferos (Greene, 1964; Lewis Smith, 1984).

Apesar das condições climáticas extremas, a flora criptogâmica é significativa no continente Antártico. As espécies descritas correspondem a cerca de 10 fungos macroscópicos (Putzke e Pereira, 1990) e 360 de fungos liquenizados (Øvstedal e Lewis Smith, 2001). As briófitas são componentes dominantes da vegetação nas áreas livres de gelo, representadas por 110 espécies descritas de musgos, sendo 11 espécies endêmicas, e 22 espécies de hepáticas (Ochyra et al., 2008). Há um gênero de algas macroscópicas terrestres, com duas espécies conhecidas, e somente duas espécies nativas de angiospermas, a *Deschampsia antarctica* Desv. e *Colobanthus quitensis* (Kunth.) Bartl. (Øvstedal e Lewis Smith, 2001). Essas últimas são mais frequentes em baixas altitudes ou em encostas onde recebem maior incidência de radiação solar, em solos pedogeneticamente mais desenvolvidos (Longton, 1988; Thomazini et al., 2014).

As aves marinhas, principalmente pinguins, desempenham um papel importante na modificação dos solos nas áreas costeiras, como exemplificado pelo esquema adaptado de Bockheim e Haus (2014) (Figura 1). Ao nidificarem, depositam grandes quantidades de guano, proveniente de suas fezes, formando os

solos ornitogênicos através do processo de fosfatização, pelo qual um conjunto de minerais de fosfato é precipitado. Assim, é possível encontrar esses solos também em pinguineiras abandonas no passado.

Solos ornitogênicos são descritos como ricos em material orgânico de fácil decomposição misturado a uma matriz mineral rica em fosfato e seixos sobre manto rochoso (Michel et al., 2012). Com um pH em torno de 3,8-5,8, possuem também altos níveis de nitrogênio e fósforo. O nitrogênio está presente principalmente como ácido úrico e amônia, resultante da dieta dos pinguins, rica em proteínas. O fósforo tem origem dos ossos, fezes e carcaças dessas aves (Bockheim, 2015b).

Os nutrientes provenientes do guano não se restringem às pinguineiras, pois mecanismos de redistribuição carregam os mesmos para áreas adjacentes, através da erosão eólica ou nival, bem como em solução. Tais áreas, contudo, podem propiciar o crescimento de espécies tolerantes ao aporte concentrado de guano, denominadas espécies ornitocófilas, como a *Prasiola crispa* (alga) (Longton, 1988, Simas et al., 2003).

Fatores físicos contribuem para as alterações na paisagem a partir das taxas de temperatura e umidade, degelo do permafrost, condições pedogeomorfológicas associadas também à alta erodibilidade dos solos (Michel et al., 2012). Enquanto os fatores biológicos, como a ação da comunidade microbiana (Mendonça et al., 2010; Almeida et al., 2014) e o efeito da atividade biológica promovem o aparecimento de áreas quase inteiramente desprovidas de vegetação, proporcionando solos superficiais ricos em nutrientes, porém, suscetíveis à erosão do vento e da água.

A altitude, em regiões polares, altera as características da vegetação em intervalos curtos, como por exemplo, a partir das alterações na temperatura e umidade e maiores exposições aos fortes ventos. As mudanças abruptas de comunidades vegetais a curtas distâncias são reflexo da forte influência das alterações no regime hidrológico e biológico, modificando as condições de desenvolvimento do solo e status de nutrientes.

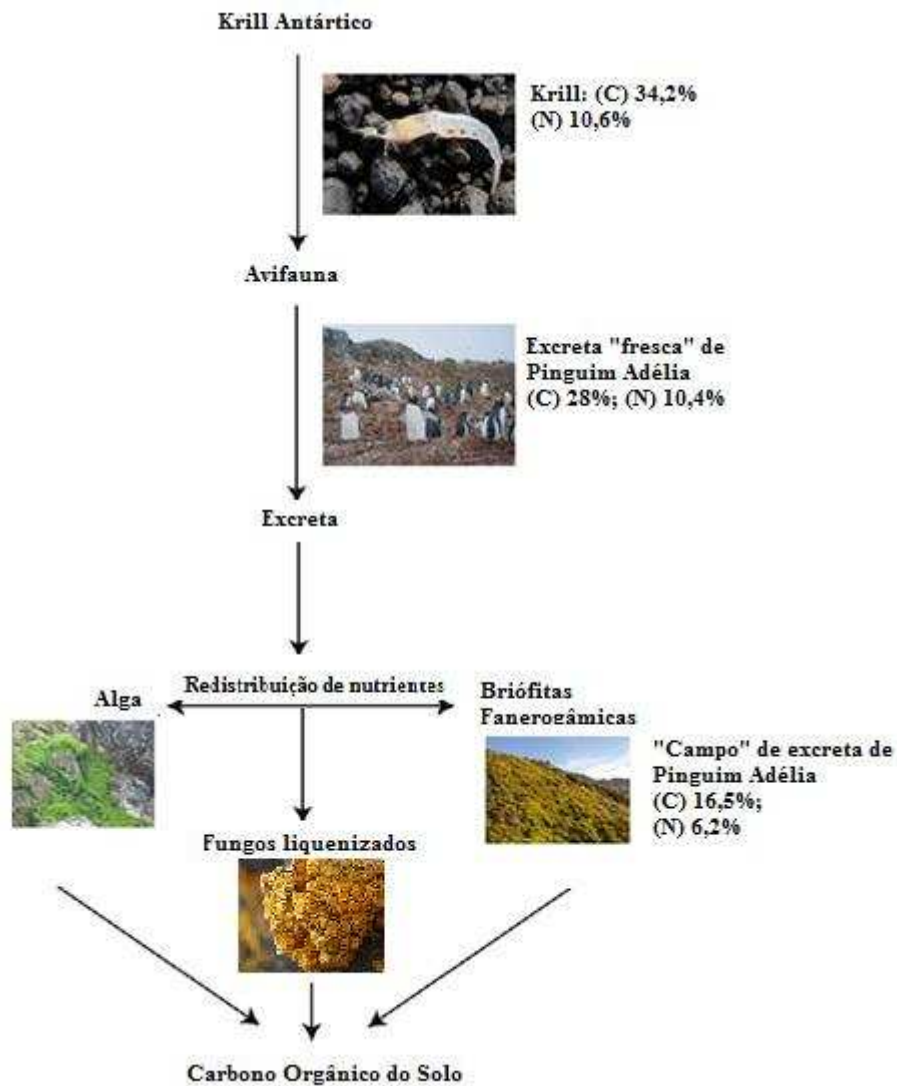


Figura 1: Influência dos nutrientes provenientes das aves marinhas e carbono orgânico do solo (SOC) na Antártica Marítima. A entrada de nutrientes no solo inicia pela dieta da avifauna baseada em proteína proveniente do Krill, onde a excreta rica em carbono e nitrogênio é redistribuída para a flora. Adaptado de: Bockheim e Haus, 2014.

As hipóteses levantadas no presente estudo foram: (1) existe variação da composição vegetal ao longo do gradiente altitudinal; (2) áreas de menor altitude comportam comunidades vegetais com maior diversidade de espécies.

O objetivo do presente estudo foi examinar a composição florística das comunidades vegetais ao longo de uma topossequência, nas áreas livres de gelo adjacentes a Estação Polonesa Henryk Arctowski, na Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Antártica Marítima, avaliando como a vegetação responde à variação altimétrica.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

O trabalho de campo foi conduzido nas áreas livres de gelo adjacentes à Estação Polonesa Henryk Arctowski, na parte noroeste da Baía do Almirantado, Thomas Point (61°50'S, 62°15'W), Ilha Rei George (Figura 2), durante a XXXV OPERANTAR, no período de fevereiro a março de 2017.

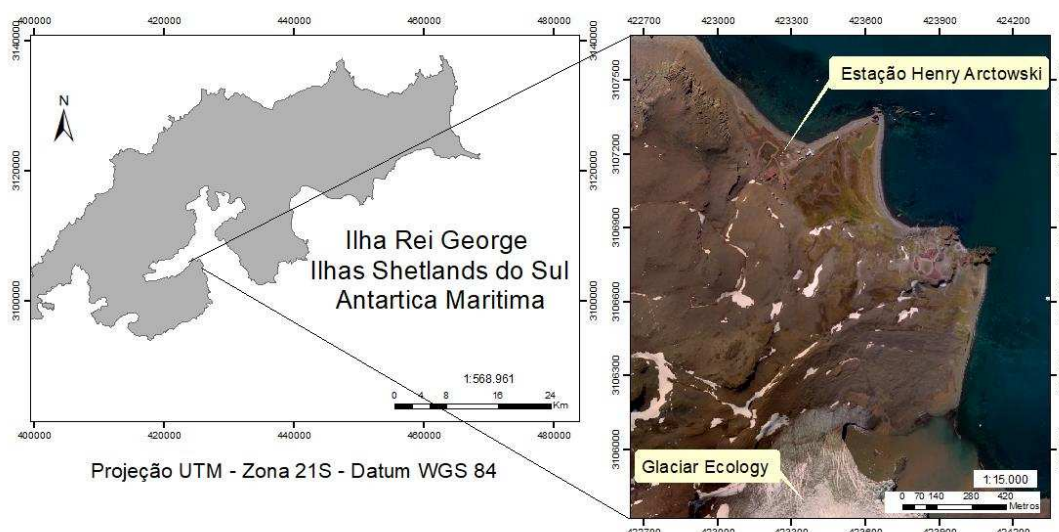


Figura 2 - Localização Estação Polonesa Henryk Arctowski, na Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Antártica Marítima.

A geomorfologia das áreas adjacentes à Estação Polonesa indicam variações do nível do mar durante os últimos 10.000 anos, com soerguimento glacioisostático de antigas praias com vestígios de esqueletos de baleias enterrados (Rakusa-Suszczewski, 2002) do século XIX e início do XX, provenientes da indústria de extração de óleo de baleia (Victoria et al., 2009). Compostos principalmente por cascalho, areia e pedregulhos, em uma base rochosa, os sedimentos possuem cerca de 1,5 metros de espessura (Rakusa-Suszczewski, 2002).

Na região do estudo, a estação meteorológica mais próxima (Estação Brasileira Comandante Ferraz) caracteriza o clima da região com temperatura média de 1,6 e durante o verão (dezembro-março) e -5,3°C no inverno (julho-

setembro) no período de 1986 a 2013. A Ilha Rei George possui uma precipitação anual em torno de 366 mm, concentrada nos meses de março e abril (INPE, 2015).

As áreas livres de gelo das Shetlands do Sul são constituídas por terrenos jovens, de exposição holocênica, drenados por canais intermitentes, formando geoambientes submetidos a longos períodos de inverno e verões curtos que possibilitam a existência de permafrost descontínuo. A camada ativa do solo é associada a campos pedregosos, solos com padrões, terraços marinhos soerguidos, morainas e áreas de acumulação de escombros de rocha (Bockheim, 1995).

Os solos criogênicos são encontrados de forma generalizada na Antártica tanto em áreas vegetadas como naquelas desprovidas de cobertura vegetal. Ocorrem principalmente sob briófitas, líquens e algas macroscópicas terrestres (Øvstedal e Lewis Smith, 2001). Solos mais desenvolvidos estão associados às espécies fanerogâmicas, que mantem interação positiva com a camada ativa mais desenvolvida, estabilizando a paisagem (Simas et al., 2008), pois a crioturbação é um fator inibidor da colonização vegetal mais avançada, ao tornar os substratos instáveis.

2.1.1 Seleção das áreas de estudo:

Na área de estudo foram mapeadas 10 comunidades vegetais e uma área sem cobertura vegetal, distribuídas ao longo de uma topossequência a partir do nível do mar até o pico mais alto da região (300 m acima do nível do mar) (Figura 3). As áreas foram selecionadas de acordo com a distribuição aparente das comunidades dentro dessas variações altitudinais, a fim de compreender quais os fatores condicionam diferenças nas composições das mesmas.

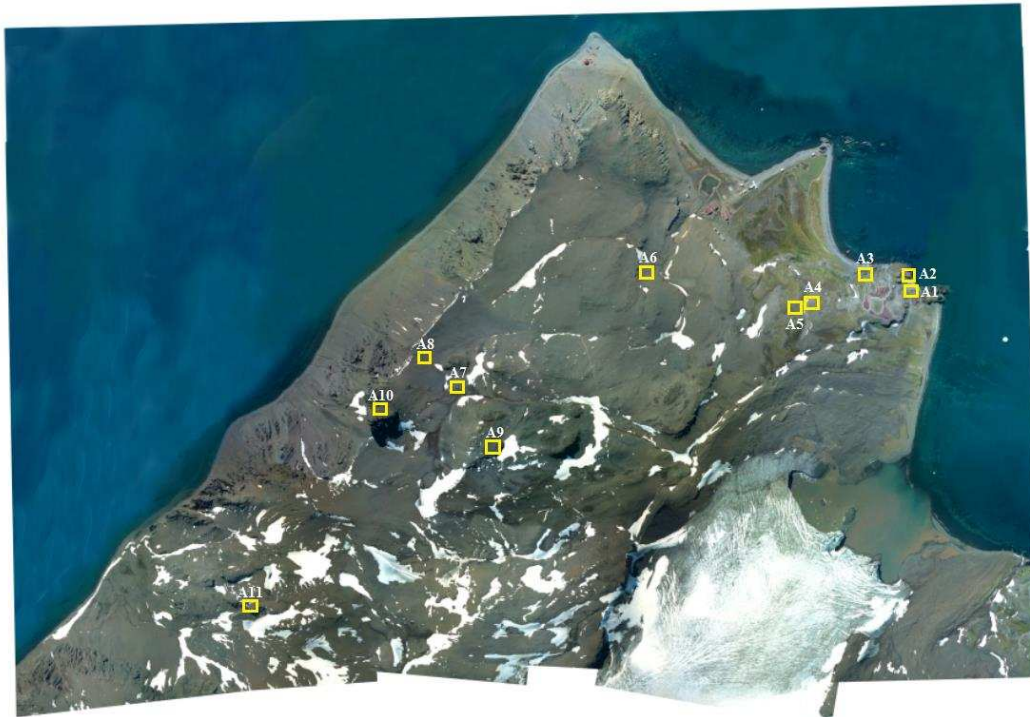


Figura 3 - Localização das 11 áreas de estudo próximas à Estação Polonesa Henryk Arctowski, Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Antártica Marítima. Editada a partir de: Mosaico semi-controlado confeccionado a partir das fotografias aéreas obtidas pelo projeto Criossolos durante a XXI OPERANTAR, Verão 2002/2003. Arquivo de imagem raster referente ao local Arctowski, Ilha Rei George. Imagem.

2.2 Análises das comunidades vegetais

As comunidades vegetais foram amostradas através do método fitossociológico de Braun-Blanquet (1932) adaptado por Kanda (1986), que busca conhecer a comunidade vegetal do ponto de vista florístico e estrutural. O método constitui-se de quadrados de 20 x 20 cm, subdivididos em 100 quadrados menores (Figura 4), lançados aleatoriamente dentro da área de estudo, somando 12 parcelas por área selecionada. A profundidade do solo foi medida com a utilização de trena e haste metálica em cada parcela. Desta forma, foi possível estimar:

Índice de significância ecológica (IES), que combina os parâmetros de abundância (cobertura e frequência) (Lara e Mazimpaka, 1998), descritos como $IES = F(1 + C)$, determinando a importância das espécies na área estudada. Essa escala varia de 0 a 600, sendo valores acima de 400 muito raros, e valores acima de 50 revelam importância ecológica significativa (Marques et al., 2005), assim:

F= Frequência relativa da espécie na área, gerada pelo número de ocorrências (**x**) dividido pelo número total de amostras consideradas (**n**): **F= 100x/n**;

C= Cobertura da espécie medida em cada quadrado individualmente, com substituição de valores:

Grau de Cobertura	Porcentagem de cobertura da espécie no quadrado
5	100-75%
4	75-50%
3	50-25%
2	25-10%
1	10-1%
0,5	<1%

Após substituição, calculou-se a cobertura média das espécies nas amostras, pela fórmula $C = \sum (c_i) / x$, em que c_i é a classe de cobertura e x é o número de pontos de amostragem em que as espécies ocorrem (12 quadrados).

Desta forma, foi possível levantar dados fitossociológicos da região, determinando as comunidades vegetais e a distribuição das mesmas.



Figura 4 – Quadrado de Braun-Blanquet (1932) adaptado para levantamento de vegetação antártica. Foto: Autora, 2017.

2.3 Identificação de espécies

A identificação taxonômica foi realizada com auxílio de especialistas em campo. As espécies que não foram possíveis identificar foram coletadas para posterior identificação em laboratório, com a utilização de microscópio e chaves de identificação segundo Putzke e Pereira (1990; 2001) e Ochyra et al. (1998) e depositadas nos herbários HBEI (Universidade Federal do Pampa) e VIC (Universidade Federal de Viçosa).

3 RESULTADOS

A análise fitossociológica foi realizada a partir de 132 quadrados amostrados nas 11 áreas selecionadas no estudo. Foram encontradas 12 famílias (Tabela 1), divididas em sete espécies de briófitas, seis espécies de líquens, duas espécies de angiospermas, e uma alga macroscópica.

A família Parmeliaceae apresentou a maior riqueza de espécies, seguida de Grimmiaceae e Teloschistaceae. A espécie *Usnea antarctica* Du Rietz foi representada em seis áreas, sendo a mais abrangente em distribuição, muitas vezes com altos valores de IES, seguida de *Colobanthus quitensis*, *Deschampsia antarctica* e *Sanionia* sp., ambas registradas em cinco áreas do estudo (Tabela 2). *D. antarctica* e *Sanionia* sp. também apresentaram os maiores IES das dez áreas abordadas, 591,67 na área 1 (Tabela 3), e 583,33 na área 6 (Tabela 8), respectivamente.

A Tabela 3 descreve as comunidades conforme sua altitude, relevo, geologia e vegetação. Foram encontradas oito diferentes associações, três formadas entre líquens e musgos, duas entre fanerogâmicas e musgos, uma dominada por fanerogâmicas, uma composta entre musgos e uma associação entre fanerogâmica e macroalga, todas representadas no bloco diagrama (Figura 5).

Tabela 1: Lista de famílias e espécies encontradas em 10 áreas de cobertura vegetal nas adjacências à Estação Polonesa Henryk Arctowski, Antártica Marítima.

Família	Espécies
Andreaeaceae	<i>Andreaea gainii</i> Card.

Amblystegiaceae	<i>Sanionia</i> sp.
Bryaceae	<i>Bryum pseudotriquetrum</i> (Hedw.) P. Gaertn., B. Mey. & Scherb
Carofilaceae	<i>Colobanthus quitensis</i> (Kunth.) Bartl.
Grimmiaceae	<i>Schistidium antarctici</i> (Card) L.I.Savicz & Smirnova <i>Schistidium falcatum</i> (Hook. f. at Wils.) B. Bremer
Ochrolechiaceae	<i>Ochrolechia frigida</i> (Sw.) Lynge
Parmeliaceae	<i>Himantormia lugubris</i> (Hue) I. M. Lamb <i>Usnea antarctica</i> Du Rietz <i>Usnea aurantiaco-atra</i> (Jacq.) Bory
Poaceae	<i>Deschampsia antarctica</i> Desv.
Polytrichaceae	<i>Polytrichastrum alpinum</i> Hedw.
Pottiaceae	<i>Syntrichia magellanica</i> (Mont.) R.H. Zander
Prasiolaceae	<i>Prasiola</i> sp.
Teloschistaceae	<i>Caloplaca regalis</i> (Vainio) Zahlbr <i>Cladonia borealis</i> S. Stenroos

Tabela 2: Relação de espécies por área registradas na fitossociologia ao longo de uma toposequência na Antártica Marítima.

Espécies	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5	Área 6	Área 7	Área 8	Área 9	Área 10	Área 11
<i>Andreaea gainii</i>						X				X	
<i>Bryum pseudotriquetrum</i>	X			X			X				
<i>Caloplaca regalis</i>			X								
<i>Cladonia borealis</i>			X		X						
<i>Colobanthus quitensis</i>	X	X			X	X					
<i>Deschampsia antarctica</i>	X	X	X		X	X					
<i>Himantormia lugubris</i>										X	
<i>Ochrolechia frigida</i>					X	X			X		X
<i>Polytrichastrum alpinum</i>		X		X	X						
<i>Prasiola</i> sp.	X		X								
<i>Sanionia</i> sp.		X	X	X	X		X				
<i>Schistidium antarctici</i>											X
<i>Schistidium falcatum</i>									X		
<i>Syntrichia magellanica</i>		X	X	X	X	X			X		
<i>Usnea antarctica</i>		X			X	X			X	X	X
<i>Usnea aurantiaco-atra</i>						X			X	X	X

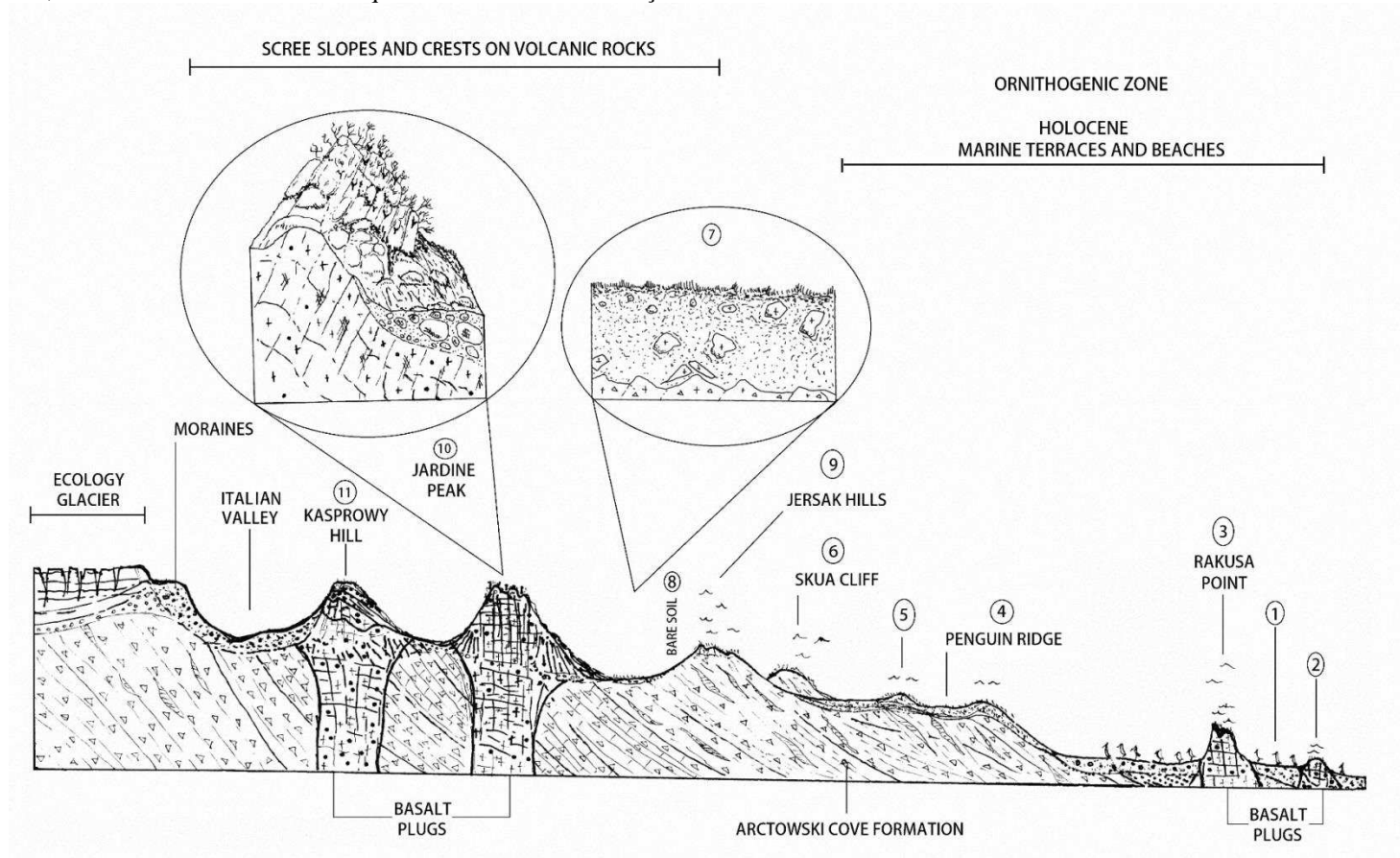
Tabela 3: Descrição de 11 áreas de amostragem, compondo 10 comunidades vegetais distintas através de suas associações e uma área sem cobertura vegetal ao longo de uma topossequência na Antártica Marítima.

Área	Altitude ¹ (m)	Relevo	Geologia	Geomorfologia	Vegetação
1	0-3	Suave ondulado	Sedimentos marinhos soerguidos (Holoceno)	Terraço marinho atual (nível 1)	Comunidade Fanerogâmica - Associação <i>Deschampsia - Prasiola</i>
2	5	Ondulado	Plug de rocha basáltica (Pleistoceno) (Grupo Cape Syrezol)	Patamar rochoso marinho acima do primeiro nível de terraço marinho	Comunidade Fanerogâmica - Associação <i>Deschampsia - Colobanthus</i>
3	20	Suave ondulado	Sedimentos marinhos soerguidos (Holoceno)	Terraço marinho soerguido (nível 2)	Comunidade Fanerogâmica - Associação <i>Deschampsia - Syntrichia</i>
4	80	Plano/suave ondulado	Sedimentos marinhos soerguidos (Holoceno)	Vale hidromórfico suspenso (nível 3)	Comunidade Carpete de Musgo - Associação <i>Sanionia - Bryum</i>
5	83	Inclinado ondulado	Sedimentos marinhos soerguidos (Holoceno)	Terraço marinho soerguido (nível 4)	Comunidade Fanerogâmica - Associação <i>Deschampsia - Sanionia</i>
6	85	Ondulado	Tufos (Formação Enseada Arctowski) (Eoceno/Oligoceno)	Crista rochosa	Comunidade Liquens Fruticosos - Associação <i>Usnea - Andreaea</i>
7	90	Plano (depressão)	Encostas de detritos (Formação Enseada Arctowski) (Eoceno/Oligoceno)	Vale suspenso em terreno encharcado	Comunidade Carpete de Musgo - Associação <i>Sanionia - Bryum</i>
8	220	Suave ondulado	Encostas de detritos	Encosta	Solo sem vegetação

			(Formação Enseada Arctowski) (Eoceno/Oligoceno)		
9	260	Topo montanhoso	Tufos (Formação Enseada Arctowski) (Eoceno/Oligoceno)	Crista de tufos vulcânicos	Comunidade Líquens Fruticosos - Associação <i>Usena - Schistidium</i>
10	280	Topo montanhoso	Plug de rocha basáltica (Formação Cape Syrezol) (Pleistoceno)	Crista basáltica de topo	Comunidade Líquens Fruticosos - Associação <i>Himantormia - Usnea</i>
11	300	Topo escarpado	Tufos/Piroclásticos (Formação Ponta Thomas) (Oligoceno)	Crista rochosa de topo de borda glacial	Comunidade Líquens Fruticosos - Associação <i>Usnea - Schistidium</i>

¹Em relação ao nível do mar; altitude aproximada.

Figura 5 - Bloco diagrama evidenciando a composição florística e geologia ao longo da topossequência em áreas livres de gelo na região da Antártica Marítima. 1: Área 1 – Comunidade Fanerogâmica – Associação *Deschampsia - Prasiola*; 2: Área 2 – Comunidade Fanerogâmica – Associação *Deschampsia - Colobanthus*; 3: Área 3 – Comunidade Fanerogâmica – Associação *Deschampsia - Syntrichia*; 4: Área 4 – Comunidade Carpete de Musgo – Associação *Sanionia - Bryum*; 5: Área 5 – Comunidade Fanerogâmica – Associação *Deschampsia - Sanionia*; 6: Área 6 – Comunidade Líquens Frutuosos – Associação *Usnea - Andreaea*; 7: Área 7 – Comunidade Carpete de Musgo; 8: Área 8 – Solo sem cobertura vegetal; 9: Área 9 – Comunidade Líquens Frutuosos – Associação *Usnea - Schistidium*; 10: Área 10 – Comunidade Líquens Frutuosos – Associação *Himantormia - Usnea*; 11: Área 11 – Comunidade Líquens Frutuosos – Associação *Usnea - Schistidium*.



Área 1: Terraço Marinho atual (Nível 1) Comunidade Fanerogâmica – Associação *Deschampsia* - *Prasiola*

A área 1 encontra-se sobre terraço marinho ligeiramente acima do nível do mar em declive suave, atingindo cerca de três metros de altitude (Figura 6). Recebe forte influência ornitogênica, devido à proximidade de colônias de pinguins e lobos marinhos, com vestígios recentes da alimentação, crescimento e morte de animais.

A vegetação predominante é composta por tufos da gramínea *Deschampsia antarctica* com muitos indivíduos floridos, em um índice de significância ecológica (IES) de 591,67 e frequência (F) de 100% (Tabela 4), associados a macroalga *Prasiola* sp., segunda mais frequente na área (F=41,67%; IES=62,50), crescendo sobre cascalhos trazidos pelos pinguins para a formação dos ninhos. *Bryum pseudotriquetrum*, o único musgo registrado, aparece com baixa frequência em pequenos tufos entremeados a *Colobanthus quitensis*. Quatro espécies foram amostradas nessa área, o solo apresentou profundidade média de 43,5 cm.

Tabela 4: Espécies representativas da Área 1 – Comunidade Fanerogâmica - Associação *Deschampsia* – *Prasiola*. Onde: F = frequência relativa da espécie; C = cobertura da espécie (%); IES = Índice de Significância Ecológica.

Espécie	F	C	IES
<i>Deschampsia antarctica</i>	100	4,92	591,67
<i>Prasiola</i> sp.	41,67	0,50	62,50
<i>Colobanthus quitensis</i>	25	0,42	35,42
<i>Bryum pseudotriquetrum</i>	8,33	0,08	9,03
Sem vegetação	25	0,33	33,33



Figura 6: Área 1 – Terraço marinho atual. Comunidade formada pela gramínea *Deschampsia antarctica* e pela macroalga *Prasiola* sp..

Área 2: Patamar rochoso marinho com Comunidade Fanerogâmica - Associação *Deschampsia* – *Colobanthus*

Comunidade localizada acima do primeiro nível de terraço marinho em afloramento de rocha basáltica próxima à estação polonesa. Recebe influência ornitogênica de skuas. Possui predominantemente as duas espécies fanerogâmicas (*Deschampsia antarctica*: IES=383,33; F=100%; *Colobanthus quitensis*: IES 221,53; F:91,67%) (Tabela 5) mescladas por musgos em meio aos afloramentos rochosos, como *Polytrichastrum alpinum* (IES=155,56; F=66,67%) e *Sanionia* sp. (IES=95,83; F=50%) (Figura 7). *C. quitensis* apresentava muitos indivíduos bem desenvolvidos com sementes maduras. Demais espécies de musgos e líquens não apresentaram IES significativo e tem baixa frequência. Altitude em relação ao nível do mar de aproximadamente 5 metros, com média de 33 cm de profundidade do solo.

Tabela 5: Espécies representativas da Área 2 – Comunidade Fanerogâmica – associação *Deschampsia* – *Colobanthus*. Onde: F = frequência relativa da espécie; C = cobertura da espécie (%); IES = Índice de Significância Ecológica.

Espécie	F	C	IES
<i>Deschampsia antarctica</i>	100	2,83	383,33
<i>Colobanthus quitensis</i>	91,67	1,42	221,53

<i>Polytrichastrum alpinum</i>	66,67	1,33	155,56
<i>Sanionia</i> sp	50	0,92	95,83
<i>Syntrichia magellanica</i>	25	0,42	35,42
<i>Cladonia borealis</i>	8,33	0,17	9,72
<i>Usnea antarctica</i>	8,33	0,08	9,03
Sem vegetação	91,67	2,75	343,75



Figura 7: Área 2 – Patamar rochoso marinho sob comunidade fanerogâmica – associação *Deschampsia* – *Colobanthus*.

Área 3: Terraço marinho soerguido (Nível 2) com Comunidade Fanerogâmica - Associação *Deschampsia* –*Syntrichia*

Área com predominância de *Deschampsia antarctica* (IES=491,67; F=100%) e *Syntrichia magellanica* (IES=201,39; F=83,33%), totalizando seis espécies amostradas (Tabela 6), mais próxima à costa, sofre influência ornitogênica devido à proximidade de pinguineira e presença de Skuas no entorno, favorecendo o desenvolvimento da macroalga *Prasiola* sp., porém com registro raro. A área de estudo é coberta pela gramínea *D. antarctica*, o líquen fruticoso ornitocoprófilo *Caloplaca regalis* domina a superfície das rochas expostas com sua forte coloração laranja (Figura 8). Localizada a cerca de 20 metros de altitude, é uma

formação rochosa de pequena extensão e solo raso, atingindo média de 15 cm de profundidade.

Tabela 6: Espécies representativas da Área 3 – Comunidade Fanerogâmica - Associação *Deschampsia* – *Syntrichia*. Onde: F = frequência relativa da espécie; C = cobertura da espécie (%); IES = Índice de Significância Ecológica.

Espécie	F	C	IES
<i>Deschampsia antarctica</i>	100	3,92	491,67
<i>Syntrichia magellanica</i>	83,33	1,42	201,39
<i>Sanionia</i> sp.	58,33	1,08	121,53
<i>Caloplaca regalis</i>	58,33	0,58	92,36
<i>Colobanthus quitensis</i>	16,67	0,33	22,22
<i>Prasiola</i> sp.	8,33	0,08	9,03
Sem vegetação	91,67	1,58	236,81



Figura 8: Área 3 – Comunidade Fanerogâmica - Associação *Deschampsia* – *Syntrichia*. Formação rochosa próxima à linha da praia, com influência ornitogênica.

Área 4: Vale hidromórfico suspenso (Nível 3) com Comunidade Carpete de Musgo - Associação *Sanionia* - *Bryum*

Composta exclusivamente por musgos (Figura 9), a área 4 forma um vasto carpete de *Sanionia* sp, com 100% de frequência nas parcelas estudadas e IES de 533,33, em associação com espécies hidromórficas, como *Bryum pseudotriquetrum*, em um ambiente de solo úmido. *Syntrichia magellanica* e *Polytrichastrum alpinum* aparecem com baixa frequência e IES. Localizado a

aproximadamente 80 metros de altitude, apresenta um total de apenas quatro espécies (Tabela 7). Nesta área, nota-se a coloração escura de parte do carpete de *Sanionia* sp., demonstrando uma possível sucessão ecológica por fungos, em associação a algas. O solo é desenvolvido sobre colônia de pinguins abandonada, com média de 35,6 cm de profundidade, atingindo 42 cm em algumas parcelas.

Tabela 7: Espécies representativas da Área 4 – Comunidade Carpete de Musgo. Onde: F = frequência relativa da espécie; C = cobertura da espécie (%); IES = Índice de Significância Ecológica.

Espécie	F	C	IES
<i>Sanionia</i> sp	100	4,33	533,33
<i>Bryum pseudotriquetrum</i>	50	0,67	83,33
<i>Syntrichia magellanica</i>	25	0,42	35,42
<i>Polytrichastrum alpinum</i>	16,67	0,25	20,83
Sem vegetação	58,33	1,42	140,97



Figura 9: Área 4 – Comunidade Carpete de Musgo – composta exclusivamente por musgos com formação de carpetes de *Sanionia* sp..

Área 5: Terraço marinho soerguido (Nível 4) com Comunidade

Fanerogâmica - Associação *Deschampsia* - *Sanionia*

Localizada em um terraço marinho soerguido com aproximadamente 83 metros de altitude (Figura 10). As espécies com maiores valores de IES e frequência são *D. antarctica* (IES=400; F=100%) e *Sanionia* sp. (IES=200; F=75%) (Tabela 8). A área também apresenta três espécies de musgos e três espécies de líquens, com maior diversidade dentre as áreas mapeadas, totalizando oito espécies, a maioria com grande frequência e IES significativo. Solo profundo,

bem drenado, desenvolvido sobre colônia de pinguins abandonada e atual presença de ninhais de skuas, com média de 49,16 cm, atingindo 58 cm de profundidade, o que favorece o estabelecimento de espécies fanerogâmicas, com intenso crescimento radicular.

Tabela 8: Espécies representativas da Área 5 – Comunidade Fanerogâmica - Associação *Deschampsia - Sanionia*. Onde: F = frequência relativa da espécie; C = cobertura da espécie (%); IES = Índice de Significância Ecológica.

Espécie	F	C	IES
<i>Deschampsia antarctica</i>	100	3	400
<i>Sanionia</i> sp.	75	1,67	200
<i>Polytrichastrum alpinum</i>	58,33	0,83	106,94
<i>Colobanthus quitensis</i>	58,33	0,58	92,36
<i>Ochrolechia frigida</i>	41,67	0,58	65,97
<i>Usnea antarctica</i>	33,33	0,50	50
<i>Syntrichia magellanica</i>	8,33	0,17	9,72
<i>Cladonia borealis</i>	8,33	0,08	9,03
Sem vegetação	100	2,83	383,33



Figura 10: Área 5 – Comunidade Fanerogâmica - Associação *Deschampsia - Sanionia* em terraço marinho soerguido, com predominância de *D. antarctica* e *Sanionia* sp..

Área 6: Crista rochosa com Comunidade de Líquens Fruticulosos – Associação *Usnea – Andreaea*

Área rochosa formada por afloramento de blocos rochosos espaçados entre si (Figura 11) e entremeados de faixas de solo com pouca cobertura, localizada a cerca de 85 metros de altitude. Devido ao afloramento rochoso predominante e dos sedimentos soltos, a vegetação é muito dispersa e sem influência ornitogênica, composta principalmente por líquens como *Usnea antarctica* (IES= 366,67; F=100%) e *Usnea aurantiaco-atra* (IES=79,86) em associação a pequenas almofadas de *Andreaea gainii* (IES=76,39), com mesmos valores de frequência (F=41,67%). A área totaliza sete espécies (Tabela 9) e apenas três possuem IES significativo. O solo mostra-se bem mais raso, com média de 8,33 cm de profundidade.

Tabela 9: Espécies representativas da Área 6 – Comunidade Líquens Fruticulosos – Associação *Usnea – Andreaea*. Onde: F = frequência relativa da espécie; C = cobertura da espécie (%); IES = Índice de Significância Ecológica.

Espécie	F	C	IES
<i>Usnea antarctica</i>	100	2,67	366,67
<i>Usnea aurantiaco-atra</i>	41,67	0,92	79,86
<i>Andreaea gainii</i>	41,67	0,83	76,39
<i>Colobanthus quitensis</i>	33,33	0,33	44,44
<i>Deschampsia antarctica</i>	25	0,33	33,33
<i>Syntrichia magellanica</i>	16,67	0,33	22,22
<i>Ochrolechia frigida</i>	8,33	0,08	9,03
Sem vegetação	100	3,67	466,67



Figura 11: Área 6 – Comunidade Líquens Fruticosos Associação *Usnea – Andreaea* – a 85 metros de altitude, formada por pequenas e diversas rochas, com cobertura de *Usnea* spp.

Área 7: Vale suspenso com Comunidade Carpete de Musgo - Associação *Sanionia - Bryum*

Comunidade em ambiente alagado próxima à linha de drenagem a 90 metros de altitude, em área rebaixada, formando um vale suspenso de drenagem de degelo (Figura 12) e dominada por *Sanionia* sp. (IES=583,33; F=100%) e *B. pseudotriquetrum* com baixo IES e frequência (IES=9,03; F=8,33%) (Tabela 10) em condição de solo mal drenado e blocos suspensos de rocha na superfície. As condições do solo encharcado não permitem o desenvolvimento de outras espécies. O solo é profundo, desenvolvido sobre material depositado pelo canal de degelo, com média de 47,91 cm de profundidade. Ocorreram muitas zonas onde a erosão periglacial desestabiliza a cobertura de carpete, levando à perda por erosão e exposição do solo sem vegetação. A diversidade desta comunidade é baixa se comparada à comunidade de carpete de altitude aproximada, sendo encontradas apenas duas espécies.

Tabela 10: Espécies representativas da Área 7 – Comunidade Carpete de Musgo Associação *Sanionia - Bryum*. Onde: F = frequência relativa da espécie; C = cobertura da espécie (%); IES = Índice de Significância Ecológica.

Espécie	F	C	IES
<i>Sanionia</i> sp	100	4,83	583,33
<i>Bryum pseudotriquetrum</i>	8,33	0,08	9,03
Sem vegetação	50	0,75	87,50



Figura 12: Área 7 – Comunidade Carpete de Musgo Associação *Sanionia - Bryum* adjacente à linha de drenagem. Localizada a cerca de 90 metros de altitude, em meio a um vale.

Área 8: Encosta com solo sem vegetação

Extensa área de solo exposto, sem cobertura vegetal significativa e pequenos seixos dispersos. Encontra-se entre a área 7 e o Pico Jardine a aproximadamente 220 metros de altitude, formando um vale (Figura 13). O solo possui média de 20 cm de profundidade.



Figura 13: Área 8 composta por solo sem cobertura vegetal. Encontra-se a 220 metros de altitude em região formando um vale entre as áreas 7 e 9.

Área 9: Crista de tufos vulcânicos com Liquens Fruticosos - Associação *Usnea - Schistidium*

Crista rochosa dominada por *Usnea antarctica* (IES=277,78; F=83,33%) e *Usnea aurantiaco-atra* (IES=267,36; F=83,33%), associados ao musgo *Schistidium falcatum* (IES=72,92; F=41,66%) que difere-se na paisagem por sua coloração em meio aos líquens (Tabela 11), em cota elevada (260 metros de altitude). É composta por afloramentos rochosos de maior porte favorecendo espécies de líquens fruticosos (Figura 14) pelo pouco desenvolvimento do solo (média de 10,83 cm de profundidade) e instabilidade. Não foram observadas *D. antarctica* e *C. quitensis* nessas áreas de maior altitude, aparentemente pela maior exposição aos ventos e fraco desenvolvimento dos solos.

Tabela 11: Espécies representativas da Área 9 – Comunidade Líquens Fruticosos - Associação *Usnea - Schistidium*. Onde: F = frequência relativa da espécie; C = cobertura da espécie (%); IES = Índice de Significância Ecológica.

Espécie	F	C	IES
<i>Usnea aurantiaco-atra</i>	83,33	2,33	277,78
<i>Usnea antarctica</i>	91,66	1,91	267,36
<i>Schistidium falcatum</i>	41,66	0,75	72,92
<i>Syntrichia magellanica</i>	33,33	0,66	55,56
<i>Ochrolechia frigida</i>	33,33	0,58	52,78
Sem vegetação	100	2,83	383,33



Figura 14: Área 9 – Comunidade Líquens Fruticosos - Associação *Usnea* - *Schistidium* – composta por *Usnea* spp que desenvolvem-se sobre superfície de afloramentos rochosos de maior porte.

Área 10: Crista basáltica de topo com Comunidade Líquens Fruticosos - Associação *Himantormia* - *Usnea*

Localizada no Pico Jardine, a 280 metros de altitude apresenta uma área rochosa basáltica de cor negra (Figura 15) que abriga a única ocorrência do líquen fruticoso *Himantormia lugubris*, com IES=308,33 e frequência de 100%, associado a *Usnea aurantiaco-atra* (IES= 308,33; F= 83,33%), *Usnea antarctica* e pequenas almofadas de *Andreaea gainii* (Tabela 12). O solo ocorre em bolsões, com desenvolvimento incipiente e média de 7,16 cm de profundidade, mas aparenta ser bastante alterado, com fração argila dominante. Há muito acúmulo de neve nos bolsões.

Tabela 12: Espécies representativas da Área 10 – Comunidade Líquens Fruticosos Associação *Himantormia* - *Usnea*. Onde: F = frequência relativa da espécie; C = cobertura da espécie (%); IES = Índice de Significância Ecológica.

Espécie	F	C	IES
<i>Himantormia lugubris</i>	100	2,08	308,33
<i>Usnea aurantiaco-atra</i>	83,33	2	250,00
<i>Usnea antarctica</i>	66,66	1,33	155,56
<i>Andreaea gainii</i>	16,66	0,16	19,44

Sem vegetação	100	3,33	433,33
---------------	-----	------	--------



Figura 15: Área 10 – Comunidade Líquens Fruticosos - Associação *Himantormia - Usnea* – localizada no Pico Jardine, a cerca de 280 metros.

Área 11: Crista rochosa de topo de borda glacial com Comunidade Líquens Fruticosos – Associação *Usnea - Schistidium*

Área localizada no topo geral da paisagem, ponto de maior altitude (cerca de 300 m) e mais próxima à lateral da geleira. Sua cobertura é formada por campos de *U. antarctica* (IES=305,56; F=91,66) e *U. aurantiaco-atra* (IES=267,36; F=91,66) (Tabela 13), bem como outras espécies de líquens e de musgos dispersos que se destacam pela coloração verde na paisagem de tons escuros do solo e rochas, como *Schistidium antarctici* (IES=106,94; F=58,33%) (Figura 16). Desenvolvem-se em superfície extremamente rochosa, com ocorrência de solos em bolsões, com 9,91 cm de profundidade média.

Tabela 13: Espécies representativas da Área 11 – Comunidade Líquens Fruticosos Associação *Usnea - Schistidium*. Onde: F = frequência relativa da espécie; C = cobertura da espécie (%); IES = Índice de Significância Ecológica.

Espécie	F	C	IES
<i>Usnea aurantiaco-atra</i>	91,66	2,33	305,56
<i>Usnea antarctica</i>	91,66	1,91	267,36
<i>Schistidium antarctici</i>	58,33	0,83	106,94
<i>Ochrolechia frigida</i>	8,33	0,083	9,03

Sem vegetação	100	3,66	466,67
---------------	-----	------	--------



Figura 16: Área 11 – Comunidade Líquens Fruticosos Associação *Usnea - Schistidium*– área de maior altitude, atingindo cerca de 300 metros.

4 DISCUSSÃO

As áreas costeiras de degelo da Baía do Almirantado possuem cobertura vegetal diversificada, onde o fator topográfico controla o desenvolvimento de diferentes comunidades vegetais condicionando microclimas e condições de solo específicas, o que corrobora observações de Ochyra (1998) e Rakusa-Suszczewski (2002). Das 58 espécies de musgos citadas para essa região (Putzke e Pereira 1990, Putzke e Pereira 2001, Ochyra 1998), apenas sete foram observadas no levantamento fitossociológico nos locais do estudo, em um total de 132 quadrados amostrados, totalizando 12% das espécies descritas para a Baía do Almirantado, o que evidencia as diferenças marcantes entre abordagens voltadas à caracterização florísticas ou fitossociológicas.

As comunidades vegetais diferenciaram-se conforme a topografia e altitude. As áreas mais baixas são compostas por terraços marinhos, atuais e soerguidos, caracterizados por comunidades fanerogâmicas com diferentes associações. Apresentam soerguimento devido aos movimentos glacio-isostáticos como

resposta elástica da crosta frente ao derretimento de grandes massas de gelo (Francelino, 2004). São observados quatro níveis de terraço ocorrendo do nível do mar até 83 metros de altitude. Suas posições na paisagem refletem diretamente a predominância das fanerogâmicas, ocorrendo influência ornitogênica atual ou passada com maior tempo de abandono de colônias nas áreas mais elevadas (Myrcha et al., 1985; Myrcha e Tatur, 1991; Zhu, et al., 2014). Essas interações criam microambientes favoráveis para colonização e diversificação da vegetação, pois são os principais locais de nidificação de muitas aves antárticas (Schaefer et al., 2004), alterando substancialmente a fertilidade dos solos na Antártica Marítima (Bölter e Beyer, 2002).

Em um ambiente onde uma característica significativa é a falta de nutrientes, tais *inputs* de material alóctone são de especial importância (Bölter e Beyer, 2002), bem como os nutrientes soprados pelo vento do spray marinho, adicionam outros componentes ao solo (Greenfield, 1992; Bölter et al., 1995).

Dentro das pinguineiras ativas, altos teores de nutrientes e o pisoteamento constante impedem o estabelecimento da vegetação, mas no entorno e após o abandono das mesmas, inicia-se a sucessão a partir do desenvolvimento da alga *Prasiola crista*, levando a compactação da vegetação e diversidade de espécies (Tatur et al., 1997; Rakusa-Suszczewski et al., 1998). Assim, a associação entre a gramínea e *Prasiola* sp. é indicadora satisfatória para classificar as áreas 1 e 3 como ornitogênicas, tolerando as condições de perturbação mecânica, baixo pH e altas concentrações de nitrogênio e sódio (Longton, 1988). No levantamento fitossociológico, a macroalga aparece com IES significativo apenas na área 1 e não predomina sobre a gramínea.

Deschampsia antarctica caracteriza como comunidades fanerogâmicas as três áreas de menor altitude e atinge 83 metros na área 5, com altos índices de significância ecológica, até diminuir sua frequência na área 6 e não ser registrada nas altitudes superiores. Segundo Lewis Smith (1982), as espécies fanerogâmicas são geralmente encontradas abaixo de 100 metros acima do nível do mar, embora possam ocorrer esporadicamente até 275 m, o que não foi observado nas áreas de estudo. *Colobanthus quitensis* aparece em associação a *D. antarctica* nas áreas 1, 2, 3, 5 e 6, essas comunidades ocorrem em planícies costeiras ou encostas suaves,

sobre seixos e solos moderadamente úmidos ao longo da Ilha Rei George (Olech, 2002).

Outro fator atribuído à colonização das espécies fanerogâmicas em diversas áreas amostradas é o importante papel das aves na dispersão dessas espécies (Parnikoza et al., 2007), onde *C. quitensis* é ocasionalmente dispersa por aves durante a construção de ninhos quando transportados fragmentos de *D. antarctica* que carregam consigo sementes de *C. quitensis* (Vera, 2011).

Nas áreas 1 e 2, a gramínea apresenta sementes maduras e as classifica como áreas de maior aporte biológico, pois segundo Convey et al. (2011), essa presença reflete maior profundidade de solo orgânico, sugerindo que esses locais oferecem condições microambientais particularmente adequadas para o seu estabelecimento e crescimento.

O conteúdo orgânico mais elevado se acumula onde a umidade e o calor do verão estimulam o crescimento das fanerogâmicas. Suas raízes penetram e se misturam intimamente com as partículas subjacentes, proporcionando substrato rico para as bactérias do solo. O desenvolvimento avançado do solo e a proliferação da vegetação na Antártica Marítima podem ser atribuídos principalmente pelas condições de crescimento mais favoráveis dos verões mais quentes e invernos menos rigorosos, muitas vezes com cobertura de neve espessa, além da atividade de nidificação das aves, com nutrientes lixiviados que são aceitáveis pelas plantas nitrófilas, principalmente N e P (Lewis Smith, 1984; Simas et al., 2006; 2007).

No momento em que a comunidade se desenvolve sobre patamar rochoso acima do primeiro nível em afloramento de rocha basáltica, a 5 metros de altitude (área 2), líquens começam a se estabelecer, como *Cladonia borealis*, uma espécie cosmopolita, e *Usnea antarctica*, de grande amplitude ecológica (Olech, 2004), ambas ainda com baixo IES. Os musgos também começam a apresentar maior riqueza de espécies, modificando o cenário antes repleto de *D. antarctica*.

A cobertura de líquens fica mais evidente no terraço marinho soerguido da área 3, onde as rochas são dominadas pela espécie fruticosa *Caloplaca regalis*, alterando a coloração da paisagem para seu tom laranja proveniente de carotenoides típicos encontrados no krill, principal alimento dos pinguins (Filho et al., 1986). Essa espécie desenvolve-se em superfícies de rochas enriquecidas pelo

guano e encontra-se associada à *Syntrichia magellanica*, espécie também nitrófila localizada nas margens das rochas, onde o solo se acumula ligeiramente (Olech, 2002; 2004). Muitas espécies de líquens se adaptaram para tolerar altos níveis de nutrientes, particularmente nitrogênio e fósforo e estão presentes principalmente nos penhascos e planícies costeiras (Olech, 2002). Nessa altitude iniciam-se modificações nas associações das comunidades, onde musgos passam a predominar com maior frequência sobre *Prasiola* sp. e *C. quitensis*.

Nas áreas a 80 metros acima do nível do mar, o solo é coberto por vastos carpetes de musgos (áreas 4 e 7). São terrenos suaves em que muitas partes favorecem a retenção de água, ocupados por carpetes de briófitas, diretamente relacionados com o hidromorfismo (Thomazini et al, 2016). Comunidades de musgos em solos saturados foram caracterizados por Davis (1981) por terem maior biomassa e respiração e menor ciclagem de materiais do que em áreas bem drenadas.

As comunidades das áreas 4 e 5 possuem alta proximidade e conformações totalmente diferentes na paisagem, o que se pode atribuir ao terreno e drenagem. Ao compararmos o carpete da área 4 com a vegetação mista do terraço marinho soerguido da área 5, a topografia é o principal fator condicionante, proporcionando melhor drenagem do solo e estabelecimento de espécies superiores, a curta distância do carpete. Ao ser drenada, transfere a umidade para a área 4, que a recebe e armazena sobre o declive suave, possibilitando o estabelecimento de vasto e contínuo carpete de musgo de *Sanionia* sp.

Dessa forma, a influência ornitogênica atingiu 83 metros de altitude, ao ser registrada a partir da área 1 até a 5. Nas demais áreas, não houve registro de influência devido à distância em relação à praia e ausência de aves nidificando no local, resultado das elevadas altitudes. As skuas desempenham papel importante na fertilização das áreas mais afastadas das pinguineiras, são as espécies de aves voadoras mais abundantes da Baía do Almirantado, distribuídas na maior parte das áreas livres de gelo (Carneiro et al., 2010), expandindo a influência ornitogênica (Simas et al., 2007).

O excesso de água é considerado como fator limitante para a diversidade nestes sítios. Somente duas espécies foram identificadas na área 7, exatamente aquelas que suportam longos períodos em condições de saturação de água, como

por exemplo, *Bryum pseudotriquetrum*. Victoria et al. (2009) reportam essa espécie como sendo altamente adaptada ao encharcamento, ocorrendo em abundância nas linhas de drenagem da região de Arctowski e comumente associadas a *S. uncinata*, conforme observado na área 4. Porém, essa espécie apresentou IES abaixo de 50 nas duas comunidades amostradas, o que pode significar sensibilidade às alterações no ambiente por serem altamente dependentes das linhas d'água de degelo (Victoria e Pereira, 2007).

A Antártica Marítima registra *Sanionia uncinata* e *Polytrichastrum alpinum* como espécies de musgos com maior abundância e biomassa ao longo da Antártica Marítima (Ochyra, 1998). No presente estudo, a fitossociologia registrou *Sanionia* sp. em cinco áreas (2, 3, 4, 5 e 7) formando vastos carpetes em duas (4 e 7) com altos índices de significância ecológica (IES: 533,33 e 583,33). Essas espécie não ultrapassou 90 metros de altitude na topossequência, e assim, manteve-se associada à *D. antarctica* nas demais e à *P. alpinum* nas áreas 2, 4 e 5.

O terraço marinho soerguido da área 5, a 90 metros de altitude, possui alta diversidade de espécies formando comunidade heterogênea, resultado da influência ornitogênica no passado que proporcionou substrato mais fino, de maior riqueza química, capaz de suportar espécies superiores em uma vegetação contínua. Sua cobertura vegetal bem desenvolvida representa maior período de abandono da pinguineira, provavelmente o nível mais antigo de solo ornitogênico do estudo. Mudanças na localização das colônias ocorreram ao longo do período do Holoceno e as colônias abandonadas tornaram-se fontes valiosas de nutrientes (Bölter e Beyer, 2002).

Afloramentos de blocos rochosos predominam na topografia a partir dos 85 metros de altitude. De forma descontínua, a vegetação passa a ser composta por líquens, principalmente por *Usnea* spp., com altas taxas de IES, classificando quatro comunidades como líquens fruticosos em diferentes associações (6, 9, 10 e 11). Essas áreas não possuem influência ornitogênica atual, pois *U. aurantiaco-atra* é uma espécie nitrofóbica, que prefere superfícies rochosas secas e expostas (Olech, 2004), mas a área 6 registra a ocorrência de *C. quitensis* e *D. antarctica* em solo raso, com baixos valores de frequência e IES, podendo ser resultado da dispersão a partir dos fortes ventos e/ou da formação de ninhais esporádicos.

S. falcatum ocorre somente na área 9, composta por afloramentos rochosos de maior porte com solos pouco desenvolvidos. Segundo Victoria et al. (2006), essa espécie ocorre sobre seixo e rocha solta pela ação dos líquens, dependendo dessas associações para manterem-se nas comunidades. No presente estudo, essa espécie ocorre em associação a *Usnea* spp.

As áreas 6 e 10 apresentaram comunidades com a presença de *Andreaea* spp., que preferem substratos ácidos e pobres com textura variável em ambientes normalmente elevados, expostos e influenciados por processos de crioturbação (Ochyra, 1998), considerada uma espécie pioneira em solo pedregoso (Ochyra et al., 2008). Nessas áreas apresentam-se em associações com líquens fruticosos, com menor cobertura em relação aos mesmos. Estas comunidades são dominadas por *Usnea* spp., (área 6) e *H. lugubris* (área 10), essa última predomina nas faces expostas das rochas na área 10, com 100% de frequência. Associada a comunidades nitrofóbicas, ocorre somente a 280 metros de altitude em áreas estáveis, e não possui registro para regiões da Antártica abaixo de 100 metros (Olech, 2002; 2004). As comunidades nitrófilas distinguem-se das nitrofóbicas em um gradiente distributivo entre as espécies da costa, com alta atividade animal, para as áreas rochosas e pobres do interior.

Os pequenos coxins dispersos de *Schitidium antarctici* na área superior da topossequência (área 11) dão coloração verde à superfície rochosa coberta por *Usnea* spp.. Essa associação ocorre, segundo Victoria et al. (2009), pelos coxins serem formas de vida mais resistentes aos ventos e necessitarem de reduzida área para fixação no substrato, usualmente crescendo em afloramentos rochosos.

Dessa forma, a distribuição das comunidades vegetais está ligada a condições ambientais pedológicas e geomorfológicas como a estabilidade da superfície, drenagem do solo e altitude. A composição da vegetação nas áreas costeiras e de baixa altitude é mais diversa, onde ocorrem coberturas vegetais mais densas e maior presença de atividades de aves, provocando alterações físico-químicas dos solos distintas para a Antártica Marítima, favorecidas pela maior umidade, luminosidade e temperatura da região (Campbel e Claridge, 1987; Michel et al., 2006; Simas et al., 2007), quando comparadas às áreas mais elevadas e secas.

5 CONCLUSÃO

A distribuição das comunidades vegetais ao longo das áreas livres de gelo adjacentes a Estação Polonesa é condicionada por fatores pedogeomorfológicos, influência ornitogênica, umidade do solo e altitude, modelando-as ao longo do gradiente ambiental em diferentes pedoambientes.

As formações de terraços marinhos ao longo da costa com atividade biológica, principalmente das aves, intensificam o processo de decomposição e desempenham papel importante no desenvolvimento de comunidades vegetais mais complexas. Esses ecossistemas ornitogênicos possuem dominância da gramínea *Deschampsia antarctica* associada a espécies tolerantes ao nitrogênio.

O musgo *Sanionia* sp. esteve presente em diversas áreas do atual estudo, formando extensos carpetes associados a espécies hidromórficas sobre solos mal drenados próximos a áreas de degelo. Essas condições são influenciadas pela topografia da região.

As comunidades de líquens fruticosos predominaram em áreas de altitudes elevadas e pouca influência ornitogênica, com alta representatividade de *Usnea aurantiaco-atra* e *Usnea antarctica* sobre solos rasos e superfícies de rochas fragmentadas, intercalados por raros musgos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- Almeida, I. C. C., Schaefer, C. E. G. R.; Fernandes, R. B. A., Pereira, T. T. C., Nieuwendam, A., Pereira, A. B. (2014). Active layer thermal regime at different vegetation covers at Lions Rump, King George Island, Maritime Antarctica. Permafrost and periglacial research in Antarctica: New results and perspectives, *Geomorphology* -11-15 225: p 36-46.
- Bockheim, J. G. (2015a). Soils of Antarctica: History and Challenges. In: Bockheim, J. G. (ed.) (2015). *The Soils of Antarctica*, Word Soils Book Series. Springer Internacional Publishing Swizerland.
- Bockheim, J. G. (2015b). Soil-Forming Factors in Antarctica. In: Bockheim, J. G. (ed.) (2015). *The Soils of Antarctica*, Word Soils Book Series. Springer Internacional Publishing Swizerland.

- Bockheim, J. G., Haus N. W. (2014). Distribution of organic carbon in the soils of Antarctica. In: Hartemink, A. E., McSweeney, K. (eds) Soil carbon. SPI Global, Pondicherry (in press).
- Bockheim, J. G. (1995). Properties and classification of cold desert soils from Antarctica. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61: 224-231.
- Bölter, M., Beyer, L. (2002). Maritime and Continental Antarctic: the sites of investigation in context. In: Bölter, M., Beyer, L. (eds.) (2002). *Geological of Antarctic Ice-Free Coastal Landscapes*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Bölter, M., Blume, H. P., Kappen, L. (1995). *Bodenbiologische Untersuchungen in der environment*. Elsevier, Amsterdam.
- Braun-Blanquet, J. (1932). *Plant Sociology: The study of plant communities*. McGraw-Hill, New York.
- Campbell, I. B., Claridge, G. G. C. (1987). *Antarctica: Soils, Weathering Processes and Environment*. Elsevier, Amsterdam. 368 pp.
- Carneiro, A. P. B., Polito, M., Sander, M., Trivelpiece, W. Z. (2010). Abundance and Spatial Distribution of Sympatrically Breeding *Catharacta* spp. (Skuas) in Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. *Polar Biology*, Vol. 33, No. 5, 2010, pp. 673-682.
- Convey, P., Hopkins, D. W., Roberts, S. J., Tyler A. N. (2011). Global southern limit of flowering plants and moss peat accumulation. *Polar Research*, 30, 8929, DOI: 10.3402/polar.v30i0.8929.
- Davis, R. C. (1981). Structure and function of two Antarctic terrestrial moss communities. *Ecological Monographs* 51 (2), 125–143.
- Filho, L. X., Kolakowska, A., Vincente, C. (1986) Carotenoid composition of *Caloplaca regalis* (Vain.) Zahlbr. (Lichenes) and of penguin faeces at King George Island (Antarctica). *Pol Polar Res* 7:289–294.
- Francelino, M. R. (2004). *Geoprocessamento aplicado ao monitoramento ambiental da Antártica Marítima: solos, geomorfologia e cobertura vegetal da Península Keller*. Tese de Doutorado, Viçosa, UFV. 102.
- Greene, S. W. (1964). Plants of the land. In: Priestley, R., Adie, R. J., Robin, G. de Q (eds.), *Antarctic research. A review of British scientific achievements in Antarctica*, London, Butterworth, 239-253.
- Greenfield, L. (1992). Precipitation, nitrogen at maritime Signy Island and continental Cape Byrd, Antarctica. *Polar boil* 11:649-653.
- INPE (2015). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-CPTEC. <http://antartica.cptec.inpe.br/~antar/weatherdata.shtml>.

- Kanda, H. (1986). Moss communities in some ice-free areas along the Söya Coast, East Antarctica. Mem.Natl. Inst. Polar Res., Special Issue. 44: 229-240.
- Lara, F., Mazimpaka, V. (1998). Sucession of epiphytic bryophytes in a *Quercus pyrenaica* forest from Spanish Central Range (Iberian Peninsula). Nova Hedwigia, 67: 125-138.
- Lewis Smith, R. I. (1984). Terrestrial plant biology of the sub-Antarctic and Antarctic. In: R. M. Laws (ed.), Antarctic Ecology, vol 1. London, Academic Press: pp. 61-162.
- Lewis Smith, R. I. (1982). Farthest south and highest occurrences of vascular plants in the Antarctic. Polar Record 21, 170173.
- Longton, R. E. (1988). Life-history strategies among bryophytes of arid regions. J Hattori Bot Lab 64: 15-28.
- Marques, J., Hespanho, L, H., Vieira, C., Sêneca, A. (2005). Comparative study of the bryophyte epiphytic vegetation in *Quercus pyrenaica* and *Quercus robur* Woodlands from northern Portugal. Boletim Sociedad Espanhola Briología, 26-27: 75-84.
- Mendonça, E., La Scala Jr., N., Panosso, A. R., Simas, F. N. B., Schaefer, C. E. G. R., (2010). Spatial variability models of CO₂ emissions from soils colonized by grass (*Deschampsia antarctica*) and moss (*Sanionia uncinata*) in Admiralty Bay, King George Island. Antarctic Science 23 (1), 27–33.
- Michel, R. F. M., Schaefer, C. E. G. R., Dias, L. E., Simas, F. N. B., Benites, V., Mendonça, E. S. (2006). Ornithogenic gelisols (cryosols) from Maritime Antarctica: pedogenesis, vegetation and carbon studies. Soil Sci. Soc. Am. J. 70, 1370-1376.
- Michel, R. F. M., Schaefer, C. E. G. R., Poelking, E. L., Simas, F. N. B., Fernandes Filho, E. I., Bockheim, J. G. (2012). Active layer temperature in two Cryosols from King George Island, Maritime Antarctica. Geomorphology 155-156. 12-19.
- Myrcha A., Pietr, S. J., Tatur., A. (1985). The role of *Pygoscelis penguin* rookeries in nutrient cycles at Admiralty Bay, King George Island. In: Siegfried, W. R., Condy, P. R., Lows, R. M (eds.). Antarctic Nutrient Cycle and Food Webs. SDpringer Verlag, berlin. Heidelberg: 156-162.
- Myrcha, A., Tatur, A. (1991). Ecological role of the current and abandoned penguin rookeries in the land environment of the maritime Antarctic. Pol Polar Res 12:3–24.
- Ochyra, R. (1998). The moss flora of King George Island Antarctica. Cracow: Polish Academy of Sciences. 279p.

- Ochyra, R., Lewis Smith, R. I., Bednarek-Ochyra, H. (2008). The illustrated moss flora of Antarctica. Cambridge University Press. Cambridge, 685 p.
- Øvstedal, D. O., Lewis Smith, R. I. (2001). Additions and corrections to the lichens of Antarctica and South Georgia. *Cryptogamie. Mycologie* 25: 323-331.
- Olech, M. (2002). Plant communities on King George Island. In: Bölter, M., Beyer, L. (eds.) (2002). *Geological of Antarctic Ice-Free Coastal Landscapes*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Olech, M. (2004). *Lichens of King George Island Antarctica*. The Institute of Botany of The Jagiellonian University, Cracow: 391p.
- Parnikoza I. Y., Maidanuk D. N., Kozeretka I. A. (2007). Are *Deschampsia antarctica* Desv. and *Colobanthus quitensis* (Kunth) Bartl. migratory relicts? *Cytology and Genetics* 41, 226229.
- Putzke, J., Pereira, A. B. (1990). Mosses of King George Island, Antarctica. *Pesquisa antártica brasileira*, v. 2, n. 1, p. 17-71.
- Putzke, J., Pereira, A. B. (2001). The Antarctic mosses with special reference to the South Shetland Islands. *Canoas: Ed. ULBRA*, 85-7528-008-2.
- Rakusa-Suszczewski, S. (2002). King George Island. South Shetland Islands, Maritime Antarctic. In: Beyer, L., Bölter, M. (eds.) (2002). *Geocology of Antarctic Ice-Free Coastal Landscapes*. *Ecological Studies*, vol. 154, Berlin.
- Rakusa-Suszczewski, S. Jążdżewski, K., Myrcha, A., Olech, M. (1998). Biological and ecological studies carried out at the Polish Antarctic Station Henryk Arctowski, 1977-1997. *Polish Polar Research*. 19, 1-2, 37-60.
- Schaefer, C. E. G. R., Francelino, M. R., Simas, F. N. B., Albuquerque, M. R. (Org.). (2004). *Ecossistemas costeiros e monitoramento ambiental da Antártica Marítima: Baía do Almirantado, Ilha Rei George - Rede 2*. 1ª. ed. Viçosa, Brasil.
- Simas, F. N. B. (2006). *Solos da Baía do Almirantado, Antártica Marítima: Mineralogia, Gênese, Classificação e Biogeoquímica*. Tese de doutorado, Viçosa, UFV.
- Simas, F. N. B., Schaefer, C. E. G. R., Melo, V. F., Albuquerque-Filho, M. R., Francelino, M. R., Fernandes Filho, E. I., Costa, L. M. (2008). Genesis, properties and classification of Cryosols from Admiralty Bay, Maritime Antarctica. *Geoderma*, v. 144, p. 116-122.
- Simas, F. N. B., Schaefer, C. E. G. R., Melo, V. F., Albuquerque-Filho, M. R., Michel, R. F. M.; Costa, L. M., Mendonça, E. S., Pedroso, I. V. C. P. (2003).

- Carbono imobilizado: indicador ambiental nos criossolos da Península Keller, In *Ecossistemas Terrestres e Solos da Antártica Marítima*. Viçosa Núcleo de Estudo de Planejamento e Uso da Terra – NEPUT, p. 32-38.
- 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. M., Costa, L. M. (2007). Ornithogenic cryossols from Maritime Antarctica: Phosphatization as a soil forming process. *Geoderma*: 138, 191-203.
- Tatur, A., Myrcha, A., Niegodzisz, J. (1997). Formation of abandoned penguin rookery ecosystems in the maritime Antarctic. *Polar Biol* 17: 405-417.
- Thomazini, A., Francelino, M. R., Pereira, A. B., Schünemann, A. L., Mendonça, E. S., Almeida, P. H. A., Schaefer, C. E. G. R. (2016). Geospatial variability of soil CO₂-C exchange in the main terrestrial ecosystems of Keller Peninsula, Maritime Antarctica. *Science of the Total Environment* 562, 802-811.
- Thomazini, A., Teixeira, D. B., Turbay, C. V. G., La Scala Jr, N., Schaefer, C. E. G. R., Mendonça, E. S. (2014). Spatial variability of CO₂ emissions from newly exposed paraglacial soils at a glacier retreat zone on King George Island, Maritime Antarctica. *Permafr. Periglac. Process.* 25, 233–242.
- Vera, M. L. (2011). Colonization and demographic structure of *Deschampsia Antarctica* and *Colobanthus quitensis* along an altitudinal gradient on Livingston Island, South Shetland Islands, Antarctica. *Polar Research* 1751-8369.
- Victoria, F. C., Albuquerque, M. P., Pereira. (2006). Lichen-Moss associations in plant communities of the Southwest Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. *Neotropical Biology and Conservation*. 1(2): 84-89.
- Victoria, F. C; Pereira, A. P. (2007). Índice de valor ecológico (IES) como ferramenta para estudos fitossociológicos e conservação das espécies de musgos na Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Antártica Marítima. *Oecol. Bras.*, 11(1): 50-55.
- Victoria, F. C., Pereira, A. B., Costa, D. P. (2009). Composition and distribution of moss formations in the ice-free areas adjoining the Arctowski region, Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. *Iheringia, Série Botânica*, 64(1): 81-91.
- Zhu, R., Bao, T., Wang, Q., Xu, H., Liu, Y. (2014). Summertime CO₂ fluxes and ecosystem respiration from marine animal colony tundra in maritime Antarctica. *Atmosp. Environ.* 98, 190201.

CAPÍTULO 2

ATRIBUTOS DO SOLO E ALTITUDE DETERMINAM AS COMUNIDADES VEGETAIS EM TOPOSSEQUÊNCIA NA ANTÁRTICA MARÍTIMA

RESUMO

Ferrari, Flávia Ramos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2018. **Atributos do solo e altitude determinam as comunidades vegetais em topossequência na Antártica Marítima.** Orientador: Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer. Coorientador: Antonio Batista Pereira.

As características do solo permitem a compreensão dos fatores que impulsionam o desenvolvimento e a dinâmica da vegetação na Antártica Marítima, sendo extremamente sensível às mudanças ambientais. As áreas livres de gelo proporcionam ambientes únicos para o estudo das relações entre solo e vegetação devido a sua exposição recente e gradual. O clima e a atividade biológica são fatores determinantes no estabelecimento da pedogênese. Os solos ornitogênicos, sobre influência principalmente da avifauna, são importantes fontes de nutrientes para o desenvolvimento da vegetação, como fósforo e nitrogênio, da mesma forma seus maiores teores de silte e argila incrementam a retenção de água no solo. O objetivo deste estudo é investigar a relação entre atributos do solo e altitude com a distribuição das comunidades vegetais na paisagem às características do meio físico, quantificar os teores de matéria orgânica do solo em diferentes comunidades e comparar áreas ornitogênicas com áreas sem influência ornitogênica, em relação à cobertura vegetal e riqueza de espécies vegetais ao longo de uma topossequência na Antártica Marítima. Foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-20 cm em 10 comunidades vegetais e uma área de solo exposto, próximas à Estação Polonesa Henryk Arctowski, Baía do Almirantado, Antártica Marítima, e enviadas para análises químicas e físicas. Os resultados indicam que as comunidades de fanerogâmicas costeiras apresentaram maior conteúdo de silte, argila, fósforo e matéria orgânica devido à influência

ornitogênica. Nessas áreas, o solo apresenta baixos níveis de sódio e baixo pH na parte inferior da topossequência. Carpetes de musgo são principalmente encontrados em solos úmidos, com pouca diversidade de espécies e com pouca acumulação de matéria orgânica do solo. Solo nú como referência, apresentou maiores conteúdos de areia e matéria orgânica muito baixo, alto pH e saturação de sódio. As comunidades de líquens fruticosos foram observadas em altitudes elevadas, caracterizadas por maiores teores de sódio, cálcio e magnésio, bem como quantidades mais baixas de fósforo e matéria orgânica. Assim, a matéria orgânica se acumula de forma mais intensa na parte inferior da topossequência, sob comunidade fanerogâmica devido a maior produtividade primária. O presente estudo conclui que atributos do solo, ornitogênese e altitude relativa influenciam a composição florística ao longo da topossequência. Há maior diversificação de espécies em solos mais estáveis, antigos e moderadamente ácidos, sobre influência ornitogênica, proporcionando maiores teores de silte, argila, fósforo e alumínio, associados a espécies fanerogâmicas em áreas de baixas altitudes.

Palavras-chave: vegetação antártica; influência ornitogênica; altitude relativa; atributos químicos;

ABSTRACT

Ferrari, Flávia Ramos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2018. **Soil and altitude attributes determine plant communities in toposequence in Maritime Antarctica.** Adviser: Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer. Coadviser: Antonio Batista Pereira.

Soil characteristics allow the understanding of the factors that drive vegetation development and dynamics in Maritime Antarctica, being extremely sensitive to environmental changes. Ice free areas provide singular environments for the study of soil vegetation relation due to its recent and gradual exposure. The climate and biological activity are determining factors in the establishment of pedogenesis. The ornithogenic soils, on the main influence of birds, are important sources of nutrients, mainly phosphorus and nitrogen, for vegetation development, in the same way their higher levels of silt and clay increase the retention of water in the soil. The aim of this study was to investigate the relation between altitude and soil attributes with landscape features and plant community to the characteristics of the physical environment, to quantify soil organic matter contents in different communities and to compare ornithogenics areas with areas without ornithogenic influence in relation to plant communities and species richness along the toposequence in Maritime Antarctica. Soil samples were collected at depths of 0-20 cm in 10 plant communities and a bare soil, adjacent the Henryk Arctowski Polish Station, Admiralty Bay, Antarctica Maritime, and sent to laboratory for physiocochemical analyzed. Results indicate that coastal phanerogamic communities presented greater silt, clay, phosphorus and organic matter contents due to ornithogenic influence. In these areas, soil shows low levels of sodium and low pH at the bottom of the toposequence. Mosses carpets are mainly found on wet soils, with low diversity of species with little soil organic matter accumulation. Bare soil as reference, presented high sand content, very low organic matter content, high pH and sodium saturation. Fruticose lichen communities were observed at high altitudes, characterized by higher exchangeable sodium, calcium and magnesium contents, as well as lower amounts of phosphorus and organic matter. The organic matter only accumulates more

intensely at the bottom of the topossequence, under phanerogamic community, due to higher primary productivity. The present study concludes that soil attributes ornithogenesis and relative altitude influence the floristic composition along the topossequence. There is more diversification of species in more stable, ancient and moderately acid soils, on ornithogenic influence, providing higher levels of silt, clay, phosphorus and aluminum, associated with phanerogamic species in low altitude areas.

Keywords: Antarctic vegetation; ornithogenic influence; relative altitude; chemical attributes.

1 INTRODUÇÃO

As áreas livres de gelo na Antártica Marítima proporcionam ambientes únicos para o estudo das relações entre solo e vegetação e sua coevolução. Sua recente exposição devido ao recuo dos glaciares e soerguimento glacioisostático abre uma janela para o estudo da colonização e sucessão vegetal e sua correlação com o desenvolvimento pedogenético. Estes ambientes são dominados pela dinâmica periglacial, extremamente sensível aos impactos das alterações climáticas (Cannone et al., 2012). Da mesma forma a atividade biológica é determinante no estabelecimento da pedogênese, refletindo diretamente nos atributos dos solos. A baixa disponibilidade de água na maior parte do continente Antártico, devido às baixas temperaturas, inibe os processos de formação dos solos, limitando principalmente o intemperismo químico (Campbell e Claridge, 1987; Simas et al., 2006).

A Antártica Marítima possui as maiores temperaturas médias, maiores taxas de precipitações médias anuais e maior participação da água líquida nos processos pedogenéticos e morfogenéticos do que a Antártica Peninsular e Continental, favorecendo o desenvolvimento da vegetação. Nesta porção mais quente e úmida, os solos permanecem descongelados por praticamente três meses. Resultam também, em camada ativa mais profunda e favorecem a produção primária e desagregação mineral (Campbell e Claridge, 1987; Michel et al., 2006; Schaefer et al., 2008).

A vegetação restringe-se as áreas livres de gelo, afetada fortemente pelo isolamento geográfico e condições climáticas como aumento na temperatura do solo e do ar, degelo do permafrost e aumento da umidade do solo (Gornall et al., 2007). A formação dos solos é favorecida nessas regiões pela influência da zona climática no status hídrico dos solos e diferenças morfoclimáticas dentro de cada zona em função da topografia, face de exposição, ventos e *spray* salino (Simas, 2006).

Sua flora criptogâmica predominante estabelece-se em regiões costeiras, encostas, sobre rochas e solos em diferentes estádios de desenvolvimento (Victoria et al., 2013; Pereira e Putzke, 2013). As briófitas possuem maior biomassa e participam de extensas formações e associações, bem como líquens

(Victoria et al., 2009), formando um mosaico de populações. As espécies fanerogâmicas, embora amplamente distribuídas na Antártica, formam apenas componentes menores de vegetação e geralmente são encontrados como populações dispersas ao invés de comunidades densas fechadas (Lewis Smith, 2003). Os afloramentos rochosos e os sedimentos soltos favorecem o desenvolvimento de líquens elípticos dispersos e musgos esporádicos (Convey et al., 2011).

Áreas com umidade relativamente alta do solo são colonizadas por *Sanionia uncinata* (Hedw.) Loeske, compondo comunidades carpete de musgos. Em áreas bem drenadas predominam *Polytrichastrum alpinum* Hedw., e *Andreaea* sp. e podendo ocorrer associadas a líquens, como *Usnea* sp.. As áreas de influência ornitogênica são dominadas pela alga *Prasiola crispa* (Lightfoot) Menegh., enquanto a gramínea *Deschampsia antarctica* Desv e a carofilácea *Colobanthus quitensis* (Kunth.) Bartl são encontradas em encostas protegidas, sob influência ornitogênica e solos mais profundos, formando comunidades fanerogâmicas (Lewis Smith, 2003), únicas espécies superiores registradas para a região Antártica.

No continente Antártico, pesquisas de solo baseiam-se na camada ativa e no estudo do permafrost. O permafrost é definido como a camada permanentemente congelada, abaixo de 0°C por dois anos consecutivos, enquanto a camada ativa é a porção de solo sobre o permafrost (Muller, 1943; van Everdingen, 1998; Bockheim, 2014). Há também permafrost em regiões mais frias e secas, onde o gelo pode não estar presente (Bockheim, 2014). O ponto de congelamento da água pode ser reduzido a vários graus abaixo de 0°C pela presença de sais minerais, metabólitos secundários e de pressão, fazendo com que o permafrost não seja necessariamente congelado (French, 2007). Sujeita a ciclos de congelamento e descongelamento anuais, a camada ativa sofre variações conforme interação dos fatores como temperatura do ar, orientação da vertente, vegetação, drenagem, cobertura de neve, tipos de solo, rocha de origem e conteúdo de água no solo, com grande importância na estabilização e evolução da paisagem. São solos com desenvolvimento incipiente, com intensa ação do intemperismo físico e características químicas relacionadas ao material de origem podendo ser influenciados pela transferência de nutrientes entre os ecossistemas terrestres e

marinhos (French, 1987). A nidificação de aves se concentra ao longo da costa em diversas ilhas do arquipélago das Shetlands do Sul, onde a incorporação de materiais orgânicos à matriz mineral, como fezes, penas, casca de ovos, conchas e restos animais e vegetais, origina os solos ornitogênicos (Tatur e Myrcha, 1993).

Descritos como solos ricos em material orgânico de fácil decomposição misturado a uma matriz mineral rica em fosfatos e seixos sobre manto rochoso, esses ecossistemas envolvem diferentes classes de solos, com influência na dinâmica vegetal e processos pedogenéticos peculiares. Possuem grande variabilidade nas propriedades físico-químicas em função da mistura de materiais de origens e dos diferentes graus de influência ornitogênica. São solos arenosos e geralmente ácidos (pH 3,8-5,8), ricos em nutrientes, principalmente fósforo, alta atividade de Al e níveis variáveis de Ca, Mg e K (Michel et al., 2012; Simas et al., 2003). Estima-se que 11% do fósforo depositado pode permanecer no solo, enquanto o restante retorna ao mar como guano em suspensão parcialmente mineralizado (Myrcha e Tatur, 1991). São reservatórios de carbono orgânico e de nitrogênio mais significativos no ecossistema de tundra Antártica.

O guano fresco é lixiviado no horizonte superficial no entorno das pinguineiras e desempenha importante papel na ciclagem de nutrientes pela transferência desses entre os ambientes aquáticos e terrestres durante o período de reprodução e crescimento (Myrcha et al., 1985; Myrcha e Tatur, 1991; Zhu, et al., 2014). Em solos expostos, o pisoteamento dos pinguins e a toxicidade do guano fresco, durante o período de reprodução, impedem o crescimento da vegetação (Tatur, 1989; Schaefer et al., 2017).

Os processos de mineralização e fosfatização do substrato sob a influência das soluções de guano controlam a formação dos solos ornitogênicos dentro e no entorno das pinguineiras atuais e colônias abandonadas. Ambos os processos dependem da presença de água líquida, isto é, precisam de temperaturas positivas pelo menos periodicamente (Tatur, 1998).

Schaefer et al. (2017) reportam o regime térmico mais elevado e com maior teor de água no solo em pinguineiras ativas do que nas abandonadas, a entrada sazonal de excremento das aves e a decomposição da matéria orgânica contribuem para criar um microambiente mais quente em manchas específicas em toda a paisagem, afetando o regime da temperatura e a espessura da camada ativa local.

A temperatura do solo e umidade do solo, associadas ao tipo de vegetação, são os fatores que mais influenciam a emissão de carbono na Antártica Marítima (Mendonça et al., 2010; La Scala et al., 2010; Carvalho et al., 2012; Thomazini et al., 2014, Thomazini et al., 2015). O processo se dá de forma lenta com grande acúmulo e migração de substâncias húmicas de peso variado e grande densidade de carga no solo (Bokhorst et al., 2007). A dinâmica do carbono em ambientes periglaciais, onde a conservação de C é favorecida, é fundamental para o monitoramento dos mecanismos de retroalimentação das mudanças climáticas.

As hipóteses levantadas no presente estudo foram: (1) Comunidades vegetais variam com efeito dos solos e da altitude, conjuntamente; (2) Comunidades com maior diversidade se encontram em áreas ornitogênicas mais antigas, onde os teores de matéria orgânica são maiores.

O objetivo do presente estudo foi (i) relacionar os atributos dos solos e altitude com a distribuição das plantas às características do meio físico (ii) quantificar os teores de matéria orgânica do solo em comunidades ao longo de uma topossequência na Antártica Marítima, e (iii) comparar áreas ornitogênicas com áreas sem influência ornitogênica, em relação a cobertura vegetal e riqueza de espécies vegetais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área do Estudo

O estudo foi conduzido nas áreas livres de gelo adjacentes à Estação Polonesa Henryk Arctowski, Baía do Almirantado (61°50'S, 62°15'W), Ilha Rei George, compondo o arquipélago das Shetlands do Sul, Antártica Marítima. (Figura 1). A ilha Rei George é a maior das ilhas, com área total de 1140 km² (Orheim e Govorukha, 1982; Francelino et al., 2011). A Baía do Almirantado possui condições que proporcionam proteção contra as intempéries climáticas típicas da região (Francelino, 2004). Dessa forma, a localização geográfica da Baía do Almirantado, junto com a configuração do terreno que a cerca, influenciam condições climáticas locais, favorecendo o estabelecimento da vegetação (Rakusa-Suszczewski et al., 1993).

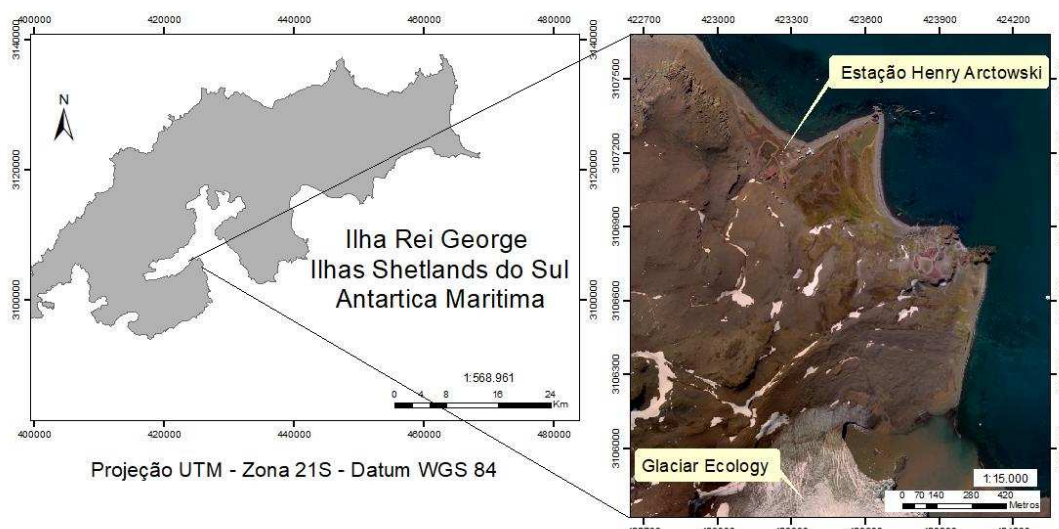


Figura 1 - Localização da Estação Polonesa Henryk Arctowski, na Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Antártica Marítima.

De acordo com a estação meteorológica mais próxima (Estação Brasileira Comandante Ferraz) o clima da região possui temperatura média de 1,6 durante o verão (dezembro-março) e -5,3°C durante o inverno (julho-setembro) no período de 1986 a 2013 (INPE, 2009). A Ilha Rei George possui uma precipitação anual em torno de 366 mm, bem distribuída ao longo do ano, concentrando-se nos meses de março e abril (INPE, 2015).

A altitude nas regiões adjacentes à Estação Polonesa possui variação do nível do mar até cerca de 500 metros. As praias são formadas de seixos, cascalhos e areias de rochas ígneas vulcânicas e abrigam muitos restos de esqueletos de baleias do século XIX e início do XX, provenientes da indústria de extração de óleo de baleia (Victoria et al., 2009).

As áreas livres de gelo das Shetlands do Sul são constituídas por terrenos jovens, de exposição holocênica, drenados por canais intermitentes, formando diversos geoambientes submetidos a longos períodos de inverno e verões curtos, possibilitando a existência de permafrost. A camada ativa do solo é associada a campos pedregosos, superfícies de padrões, terraços marinhos soerguidos, morainas e áreas de acumulação de escombros de rocha (Bockheim, 1998).

Os solos criogênicos são encontrados de forma generalizada na Antártica, em áreas vegetadas como em áreas desprovidas de cobertura vegetal. Ocorrem

principalmente sob briófitas, líquens e algas macroscópicas terrestres (Ovstedal e Lewis Smith, 2001). Solos mais desenvolvidos estão associados às espécies fanerogâmicas, que mantem interação positiva com a camada ativa mais desenvolvida, estabilizando a paisagem (Simas et al., 2008), pois a crioturbação, resultante dos ciclos de congelamento e degelo e maior disponibilidade de água, é um fator limitante do desenvolvimento da vegetação, ao tornar os substratos instáveis (Convey, 2012).

2.2 Seleção das áreas de estudo

Toda a área livre de gelo foi intensamente percorrida e mapeada em três verões anteriores e as áreas de estudo foram selecionadas durante a OPERANTAR XXXV nos meses de fevereiro e março de 2017. Foram estudadas 10 comunidades vegetais, distribuídas ao longo de uma topossequência, e uma área de solo exposto, sem cobertura vegetal, caracterizadas desde o nível do mar até o ponto mais alto da região (aproximadamente 300 m) (Figura 2). As áreas foram selecionadas de acordo com os limites de distribuição geográficos das comunidades dentro destas variações altitudinais.



Figura 2 - Localização das 11 áreas de estudo adjacentes à Estação Polonesa Henryk Arctowski, Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Antártica Marítima. Editada a partir de: Mosaico semi-controlado confeccionado a partir das fotografias aéreas obtidas pelo projeto Criossolos durante a XXI OPERANTAR, Verão2002/2003. Arquivo de imagem raster referente ao local Arctowski, Ilha Rei George. Imagem.

2.3 Descrição das Comunidades Vegetais

As comunidades vegetais foram amostradas através do método fitossociológico de Braun-Blanquet (1932) adaptado por Kanda (1986), que busca conhecer a comunidade vegetal do ponto de vista florístico e estrutural. O método constitui-se de quadrados de 20 x 20 cm, subdivididos em 100 quadrados menores, lançados aleatoriamente dentro da área de estudo, somando 12 parcelas por área selecionada. Foi possível estimar o Índice de Significância Ecológica, a frequência relativa e a cobertura das espécies (Tabela 1), além da altitude das áreas e profundidade média do solo.

No total de 132 quadrados amostrados foram encontradas 12 famílias, divididas em seis espécies de briófitas, três espécies de líquens, duas espécies de angiospermas e uma alga macroscópica. As comunidades (Figura 3) foram descritas conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Descrição das 11 áreas de amostragem de solo, compondo 10 comunidades vegetais distintas através de suas associações e uma área sem cobertura vegetal.

Área	Altitude (m) ¹	Nº de spp	μ Profundidade do solo (cm)	Descrição Geral	Espécies	F ²	C ³	IES ⁴
1	0-3	4	43,5	Terraço marinho atual ao nível do mar sobre declive suave, atingindo cerca de três metros de altitude. Forte influência ornitogênica, com colônias de pinguins e lobos marinhos. Vegetação descontínua formada por Comunidade Fanerogâmica Associação <i>Deschampsia</i> – <i>Prasiola</i> . Porção inferior da topossequência.	<i>Deschampsia antarctica</i>	100	4,92	591,67
					<i>Prasiola</i> sp.	41,67	0,5	62,5
					<i>Colobanthus quitensis</i>	25	0,42	35,42
					<i>Bryum pseudotriquetrum</i>	8,33	0,08	9,03
2	5	7	32,83	Patamar rochoso marinho próximo à estação polonesa, acima do primeiro nível de terraço marinho em afloramento de rocha basáltica. Possui predominantemente as duas espécies fanerogâmicas, formando a Comunidade Fanerogâmica - Associação <i>Deschampsia</i> – <i>Colobanthus</i> .	<i>Deschampsia antarctica</i>	100	2,83	383,33
					<i>Colobanthus quitensis</i>	91,67	1,42	221,53
					<i>Polytrichastrum alpinum</i>	66,67	1,33	155,56
					<i>Sanionia</i> sp	50	0,92	95,83
					<i>Syntrichia magellanica</i>	25	0,42	35,42
					<i>Cladonia borealis</i>	8,33	0,17	9,72
<i>Usnea antarctica</i>	8,33	0,08	9,03					
3	20	6	15	Segundo nível de terraço marinho soerguido. Influência ornitogênica por pinguineira abandonada recentemente.	<i>Deschampsia antarctica</i>	100	3,92	491,67
					<i>Syntrichia magellanica</i>	83,33	1,42	201,39
					<i>Sanionia</i> sp.	58,33	1,08	121,53

				Formação rochosa de pequena extensão e solo raso. Composta por Comunidade Fanerogâmica - Associação <i>Deschampsia - Syntrichia</i> .	<i>Caloplaca regalis</i>	58,33	0,58	92,36
					<i>Colobanthus quitensis</i>	16,67	0,33	22,22
					<i>Prasiola</i> sp.	8,33	0,08	9,03
4	80	4	35,6	Extenso carpete de <i>Sanionia</i> sp. em ambiente mal drenado. Terceiro nível de terraço marinho. Composto somente por musgos em solo profundo, abrigando a Comunidade Carpete de Musgo – Associação <i>Sanionia – Bryum</i> .	<i>Sanionia</i> sp.	100	4,33	533,33
					<i>Bryum pseudotriquetrum</i>	50	0,67	83,33
					<i>Syntrichia magellanica</i>	25	0,42	35,42
					<i>Polytrichastrum alpinum</i>	16,67	0,25	20,83
5	83	8	49,16	Quarto nível de terraço marinho soerguido bem drenado, na parte inferior de uma inclinação, formando uma Associação Fanerogâmica <i>Deschampsia - Sanionia</i> . Maior diversidade de espécies dentre as áreas mapeadas. Solo profundo. Presença de Skuas.	<i>Deschampsia antarctica</i>	100	3	400
					<i>Sanionia</i> sp.	75	1,67	200
					<i>Polytrichastrum alpinum</i>	58,33	0,83	106,94
					<i>Colobanthus quitensis</i>	58,33	0,58	92,36
					<i>Ochrolechia frigida</i>	41,67	0,58	65,97
					<i>Usnea antarctica</i>	33,33	0,5	50
					<i>Syntrichia magellanica</i>	8,33	0,17	9,72
					<i>Cladonia borealis</i>	8,33	0,08	9,03
6	85	7	8,33	Crista rochosa com numerosas e pequenas rochas bem espaçadas entre si. Extensas faixas de solo sem cobertura. Vegetação dispersa e sem influência ornitogênica. Formada por Comunidade Líquens Fruticosos - Associação <i>Usnea - Andreaea</i>	<i>Usnea antarctica</i>	100	2,67	366,67
					<i>Usnea aurantiaco-atra</i>	41,67	0,92	79,86
					<i>Andreaea gainii</i>	41,67	0,83	76,39
					<i>Colobanthus quitensis</i>	33,33	0,33	44,44
					<i>Deschampsia antarctica</i>	25	0,33	33,33
					<i>Syntrichia magellanica</i>	16,67	0,33	22,22
					<i>Ochrolechia frigida</i>	8,33	0,08	9,03

7	90	2	47,91	Vale suspenso de drenagem de degelo com blocos de rocha na superfície. Composta pela Comunidade Carpete de Musgo - Associação <i>Sanionia</i> - <i>Bryum</i> , com baixa diversidade.	<i>Sanionia</i> sp.	100	4,83	583,33
					<i>Bryum pseudotriquetrum</i>	8,33	0,08	9,03
8	220	0	20,08	Extensa área de solo exposto e pequenos seixos dispersos, ausência de cobertura vegetal. Encontra-se entre a Área 7 e o Pico Jardine, formando um vale. Sem influência ornitogênica.	-	-	-	-
9	260	4	10,83	Crista de tufos vulcânicos com afloramentos rochosos de maior porte em terreno inclinado. Solo pouco desenvolvidos e raso, Composta por Comunidade Líquens Fruticosos - Associação <i>Usnea</i> - <i>Schistidium</i> . Sem influência ornitogênica.	<i>Usnea aurantiaco-atra</i>	83,33	2,33	277,78
					<i>Usnea antarctica</i>	91,66	1,91	267,36
					<i>Schistidium falcatum</i>	41,66	0,75	72,92
					<i>Syntrichia magellanica</i>	33,33	0,66	55,56
					<i>Ochrolechia frigida</i>	33,33	0,58	52,78
10	280	4	7,16	Crista basáltica de topo. Topo Jardine, sobre área rochosa. Única ocorrência do líquen fruticoso <i>H. lugubris</i> que domina a região. Solo com desenvolvimento incipiente e raso, sem influência ornitogênica. Abriga a Comunidade Líquens Fruticosos - Associação <i>Himantormia</i> - <i>Usnea</i> .	<i>Himantormia lugubris</i>	100	2,08	308,33
					<i>Usnea aurantiaco-atra</i>	83,33	2	250
					<i>Usnea antarctica</i>	66,66	1,33	155,56
					<i>Andreaea gainii</i>	16,66	0,16	19,44

11	300	5	9,91	Crista rochosa de topo de borda glacial com Comunidade Líquens Fruticulosos - Associação <i>Usnea</i> – <i>Schistidium</i> . Ponto de maior altitude e mais próxima à lateral da geleira. Superfície extremamente rochosa, solos em bolsões sem influência ornitogênica.	<i>Usnea aurantiaco-atra</i>	91,66	2,33	305,56
					<i>Usnea antarctica</i>	91,66	1,91	267,36
					<i>Schistidium antarctici</i>	58,33	0,83	106,94
					<i>Ochrolechia frigida</i>	8,33	0,083	9,03

¹Em relação ao nível do mar; altitude aproximada. ²Frequência (%); ³Cobertura; ⁴Índice de importância ecológica;



Figura 3: Áreas e parcelas amostradas em uma topossequência na Antártica Marítima. A: área 1 – Comunidade Fanerogâmica – Associação *Deschampsia* - *Prasiola*; B: área 2 – Comunidade Fanerogâmica – Associação *Deschampsia* - *Colobanthus*; C: área 3 – Comunidade Fanerogâmica – Associação *Deschampsia* – *Syntrichia*; D: área 4 – Comunidade Carpete de Musgo; E: área 5 – Comunidade Fanerogâmica – Associação *Deschampsia* - *Sanionia*; F: área 6 – Comunidade Líquens Fruticosos – Associação *Usnea* - *Andreaea*; G: área 7 – Comunidade Carpete de Musgo; H: área 8 – Solo sem cobertura vegetal. I: área 9 – Comunidade Líquens Fruticosos – Associação *Usnea* - *Schistidium*; J: área 10 – Comunidade Líquens Fruticosos – Associação *Himantormia* - *Usnea*; K: área 11 – Comunidade Líquens Fruticosos – Associação *Usnea* – *Schistidium*; Fotos: autora; Monteiro, B.

Tabela 2: Lista de famílias e espécies encontradas em 10 áreas de cobertura vegetal nas adjacências à Estação Polonesa Henryk Arctowski, Antártica Marítima.

Família	Espécies
Andreaeaceae	<i>Andreaea gainii</i> Card.
Amblystegiaceae	<i>Sanionia</i> sp.
Bryaceae	<i>Bryum pseudotriquetrum</i> (Hedw.) P. Gaertn., B. Mey. & Scherb
Carofilaceae	<i>Colobanthus quitensis</i> (Kunth.) Bartl.
Grimmiaceae	<i>Schistidium antarctici</i> (Card) L.I. Savicz & Smirnova <i>Schistidium falcatum</i> (Hook. f. at Wils.) B. Bremer
Ochrolechiaceae	<i>Ochrolechia frigida</i> (Sw.) Lynge
Parmeliaceae	<i>Himantormia lugubris</i> (Hue) I. M. Lamb <i>Usnea antarctica</i> Du Rietz <i>Usnea aurantiaco-atra</i> (Jacq.) Bory
Poaceae	<i>Deschampsia antarctica</i> Desv.
Polytrichaceae	<i>Polytrichastrum alpinum</i> Hedw.
Pottiaceae	<i>Syntrichia magellanica</i> (Mont.) R.H. Zander
Prasiolaceae	<i>Prasiola</i> sp.
Teloschistaceae	<i>Caloplaca regalis</i> (Vainio) Zahlbr. <i>Cladonia borealis</i> S. Stenroos

2.4 Análises de Solo

Amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0-20 cm, a fim de determinar as propriedades físicas e químicas do solo e matéria orgânica em cada parcela das 11 áreas amostrais, totalizando 132 amostras, armazenadas e identificadas em sacos plásticos. Em campo com o auxílio de trena e haste metálica, foi medida a profundidade do solo em cada parcela. O solo foi seco ao ar e passado em peneira de 2 mm de abertura de malha.

2.5 Atributos gerais do solo e matéria orgânica

O pH em água foi determinado pela relação solo: solução de 1:2,5; a acidez potencial (H+Al) foi extraída com Ca (OAc)₂ 0,5 mol L⁻¹ tamponado a pH 7,0 e quantificada por titulometria com NaOH 0,0606 mol L⁻¹. Os teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio (Al) trocáveis foram extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ e determinados por espectroscopia de absorção atômica. O sódio (Na), potássio (K), manganês (Mn), ferro (Fe) e zinco (Zn) foram extraídos com Mehlich1 e quantificados por fotometria de chama. O fósforo disponível (P) foi extraído com Mehlich1 e quantificado por colorimetria. O P remanescente (P- rem) foi obtido em amostra de TFSA com CaCl₂ 0,01 mols L⁻¹ contendo 60 mg L⁻¹ de P, na relação solo:extrator de 1:10. Todas as análises de rotina foram efetuadas segundo Embrapa (1997). A capacidade de troca catiônica efetiva (t) foi calculada pela soma dos cátions (Ca, Mg, Na, K e Al) e a capacidade de troca catiônica potencial (T) calculada pela soma de bases (SB) e acidez potencial. A partir dos resultados das análises, foram obtidos os valores de índice de saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m). A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta (Embrapa, 1997). A matéria orgânica do solo foi obtida através do método de Walkley-Black.

2.6 Análises Estatísticas

Os dados foram analisados por meio de estatística descritiva (mínimo, máximo, média, mediana, erro padrão, coeficiente de variação, assimetria e curtose) nas diferentes áreas. A análise de componentes principais (PCA) foi realizada para explorar tendências gerais, bem como o grau de relação entre solo x vegetação x altitude x influência biológica. Além disso, a similaridade ou dissimilaridade das áreas foram descritas por meio de correlações de Pearson.

As relações entre as espécies com as variáveis edáficas e altitude foram verificadas através da Análise de Correspondência Canônica (CCA) (Ter Braak, 1987). Variações dos parâmetros estruturais das comunidades em relação ao solo foram comparadas por meio da função ANOVA, seguido do teste a *posteriori* de Tukey. A partir do levantamento fitossociológico foi construída a matriz principal, com 16 espécies (Tabela 2). A matriz das variáveis ambientais foi representada pelas variáveis edáficas mais significativas (Tabela 3) e cotas altimétricas (Tabela

1). Entre elas: SB (soma de bases), V (índice de saturação por bases), pH (H₂O), P (fósforo), H+Al (potencial de acidez), m (índice de saturação por alumínio), MO (matéria orgânica), Fe (ferro), t (capacidade de troca catiônica efetiva), ISNa (índice de saturação por sódio) e profundidade do solo. Para a execução das análises foi utilizado o software livre R versão 3.5.0 (Team, 2017).

3 RESULTADOS:

3.1 Atributos gerais do solo e matéria orgânica

Os atributos gerais do solo (Tabela 3) apresentaram valores diferenciados de pH, indicando tendência à acidez dos solos da parte mais baixa do litoral e valores maiores nas partes mais elevadas da região (Figura 4). Os baixos valores de pH ocorrem pela influência da entrada de excrementos de aves marinhas, criando um ambiente ácido, rico em fósforo, que se torna progressivamente menos ácido com o desenvolvimento do solo após o abandono das colônias.

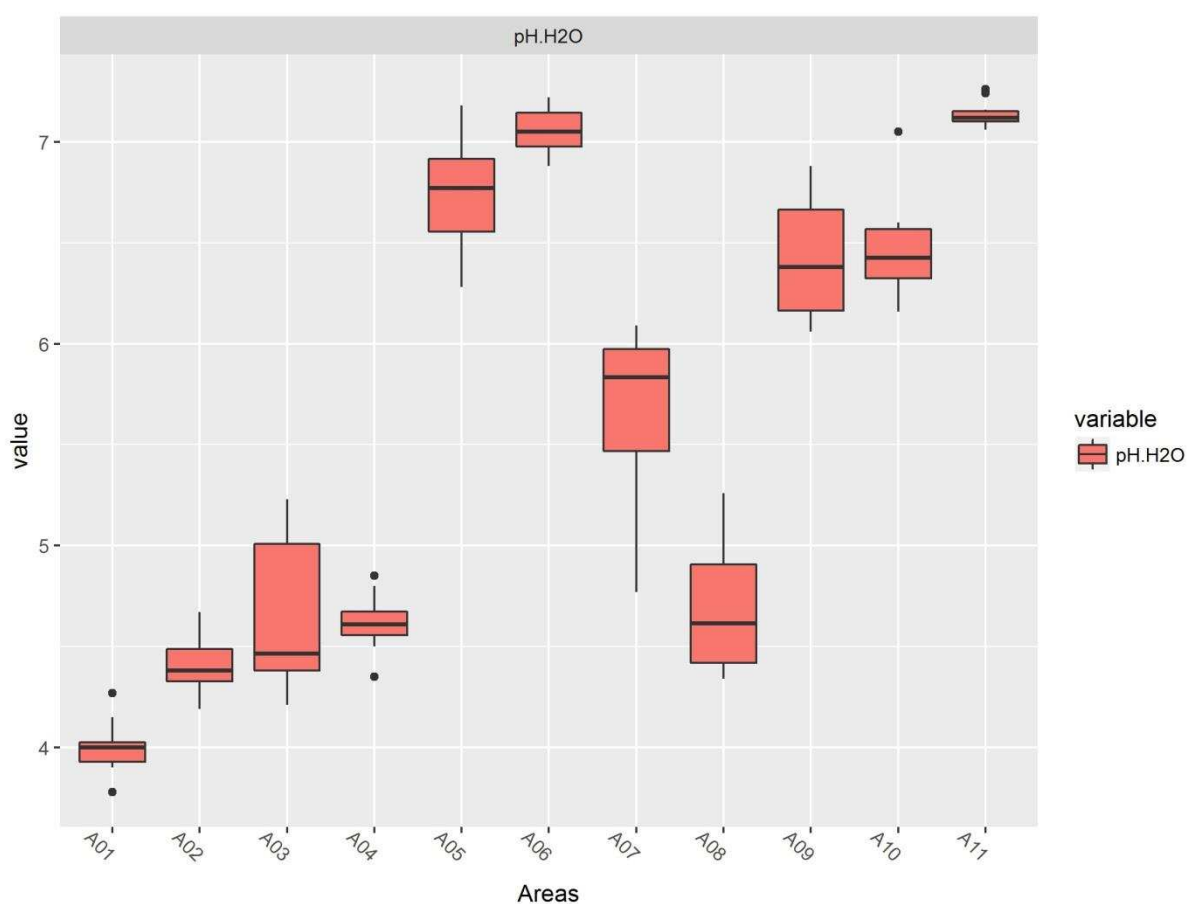


Figura 4: Análise descritiva selecionada: pH em água, - Relação 1:2,5, das 11 áreas amostradas em uma topossequência nas áreas livres de gelo adjacentes a Estação Polonesa Henryk Arctowski, Antártica

Tabela 3: Atributos gerais do solo e matéria orgânica das 11 áreas amostradas em uma topossequência nas áreas livres de gelo adjacentes a Estação Polonesa Henryk Arctowski, Antártica Marítima.

	pH H ₂ O	pH KCl	P mg/dm ³	K	Na	Ca ²⁺ cmolc/dm ³	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	t
Área 1	4,00	3,15	1241,2	246	248,6	4,81	1,49	1,78	10,7	8,35	9,04
Área 2	4,62	3,24	701,55	149,50	389,00	3,66	2,09	4,94	16,05	7,44	11,80
Área 3	4,35	3,63	4397,69	137,50	625,75	7,07	2,14	0,49	13,60	13,07	13,58
Área 4	4,47	3,30	872,70	140,00	364,20	2,15	0,78	6,57	15,55	4,71	12,08
Área 5	4,61	3,235	814,9	128,5	298,9	2,035	1,505	8,74	22,25	5,245	14,28
Área 6	6,77	4,56	61,3	149	1533,05	17,195	9,955	0	1,7	34,225	34,275
Área 7	7,05	4,92	50,05	141,5	1234,35	25,365	14,105	0	1,1	45,02	45,02
Área 8	7,12	4,75	73,25	103	1488,1	16,54	8,235	0	1,3	31,635	31,635
Área 9	5,84	4,18	55,90	198,50	1257,40	7,43	8,11	0,64	5,00	22,29	22,69
Área 10	6,38	4,48	29,6	191	1287,5	10,945	9,695	0,1	3,5	27	27,1
Área 11	6,43	4,71	53,50	148,00	1287,45	22,40	11,86	0,00	1,60	40,36	40,36
	T cmolc/dm ³	V %	m	ISNa	MO dag/kg	P-Rem mg/L	Cu mg/dm ³	Mn	Fe	Zn	
Área 1	21,68	36,7	20,4	5,09	3,88	54,1	10,61	3,2	322,1	6,49	
Área 2	24,85	31,55	34,70	6,90	2,68	33,35	12,11	7,00	453,30	2,57	
Área 3	26,19	47,90	3,5	10,28	9,69	50,2	29,98	13,75	281,20	37,35	
Área 4	21,68	23,40	58,55	7,89	2,07	25,35	7,28	4,35	257,90	1,69	
Área 5	26,46	18,15	62,05	4,57	3,23	18,5	7,22	2,1	189,2	0,82	
Área 6	35,725	95,15	0	18,44	1,29	34,2	2,52	17,9	94	0,165	
Área 7	46,42	97	0	11,41	1,29	36,6	4,63	44,2	180,85	0,385	
Área 8	32,87	96,05	0	19,7	0,39	34,85	3,515	28,1	87,05	0,165	
Área 9	27,42	81,95	2,65	19,51	2,87	24,95	2,82	16,75	85,75	0,36	
Área 10	30,645	88,6	0,4	18,66	1,83	22	2,8	22,1	93,45	0,385	
Área 11	42,21	96,15	0,00	13,30	0,39	38,45	4,28	22,00	68,70	0,26	

pH: H₂O e KCL (Relação 1:2:,5;) P: fósforos; K: potássio; Na: sódio (extrator Mehlich 1); Ca: cálcio; Mg: magnésio; Al³⁺: alumínio trocável (extrator KCl 1 mol L⁻¹; H + Al: potencial de acidez (extrator acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0); SB: soma de bases trocáveis; t: capacidade de troca catiônica efetiva; T: capacidade de troca catiônica a pH 7; V: índice de saturação por bases; m: índice de saturação por alumínio; ISNa: índice de saturação por sódio; MO: matéria orgânica; P-Rem: fósforo remanescente; Cu: cobre; Mn: manganês; Fe: ferro; Zn: zinco.

Os teores de matéria orgânica foram maiores nas áreas ornitogênicas (1-5) e também nas partes mais altas e rochosas dos afloramentos de rochas mais antigas (áreas 9 e 10), indicando que a natureza do material orgânico, o tempo e a estabilidade da paisagem são determinantes para o maior acúmulo de matéria orgânica (Figura 5). O solo nu, exposto, alcança os valores mais baixos, que representam o background de MO nos ecossistemas antárticos (0,39%). Os teores de MO mais elevados são exatamente na área 3, antigo ninhal de pinguins, hoje abandonado.

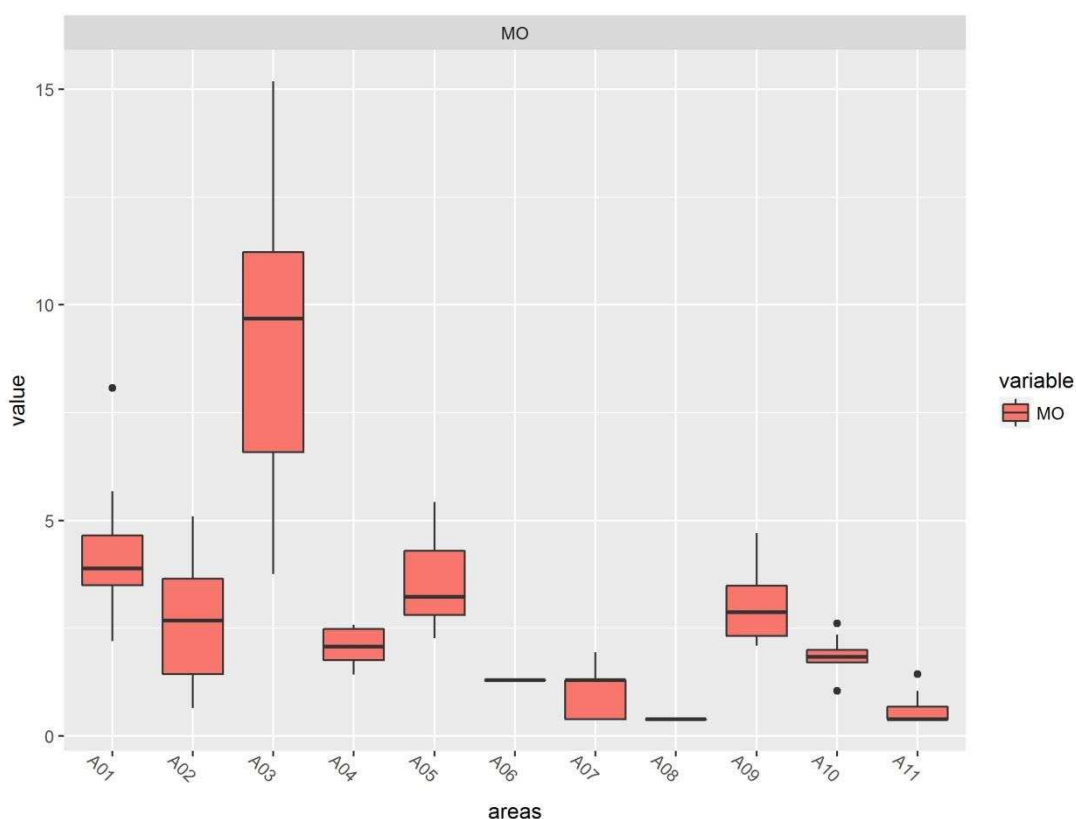


Figura 5: Análise descritiva selecionada: matéria orgânica (MO) das 11 áreas amostradas em uma topossequência nas áreas livres de gelo adjacentes a Estação Polonesa Henryk Arctowski, Antártica Marítima.

Essa característica reflete a colonização vegetal, onde as máximas foram registradas nas comunidades fanerogâmicas mais desenvolvidas e estáveis (áreas 3, 1 e 5, respectivamente) e as mínimas devem-se principalmente a ausência ou escassez de vegetais acumuladores de matéria orgânica, sendo equivalentes para a área sem cobertura vegetal e a comunidade de líquens fruticosos, relacionando a pobreza de cobertura vegetal em áreas rochosas compostas por espécies esparsas e de menor biomassa. Dessa forma, observamos que a matéria orgânica acumula-se

principalmente na parte inferior da topossequência, sob comunidade fanerogâmica e tende a diminuir com a altitude, à exceção de nunatacks intensamente colonizados (áreas 9 e 10), proporcionando maior efeito cumulativo.

As quatro comunidades de líquens fruticosos possuem teor de matéria orgânica variável, desde 2,87 dag/kg até 0,39 dag/kg, demonstrando baixa correlação entre o estabelecimento dessas comunidades e os teores com a matéria orgânica, conforme revela a PCA (Figura 14) e a CCA (Figura 15).

Os carpetes de musgos possuem similaridade e associação de espécies, mas diferem fortemente na acumulação da matéria orgânica (2,07 dag/kg na área 4 e 1,29 dag/kg na área 7), o que está ligado a fatores como riqueza de espécies e altimetria. A área 4, mais baixa e bem drenada, possui quatro espécies de musgos, em carpete contínuo de *Sanionia* sp. com possível sucessão ecológica por fungos e algas nas regiões escuras. A área 7, mais elevada, apresenta somente duas espécies em um vale hidromórfico suspenso, mal drenado, que recebe água de degelo, com blocos de rocha soltos na superfície. Zonas de erosão periglacial desestabilizaram a cobertura de carpete de musgo e levam a perdas por erosão e alguma exposição do solo nu. Diferem também em outros atributos químicos como pH mais ácido, Al^{3+} e Fe mais altos na área 4, que recebem influência da avifauna.

Os teores de fósforo foram elevados em todas as áreas com influência ornitogênica (1-5), demonstrando características típicas, como pH mais ácido menores teores de Ca e Mg e teores de Al^{3+} mais altos, bem como MO bem mais elevada. A área 3, em posição de antigo ninhal, registrou média superior muito elevada em relação às demais, além das áreas 1, 2, 4 e 5, também com altos teores de P (Figura 6).

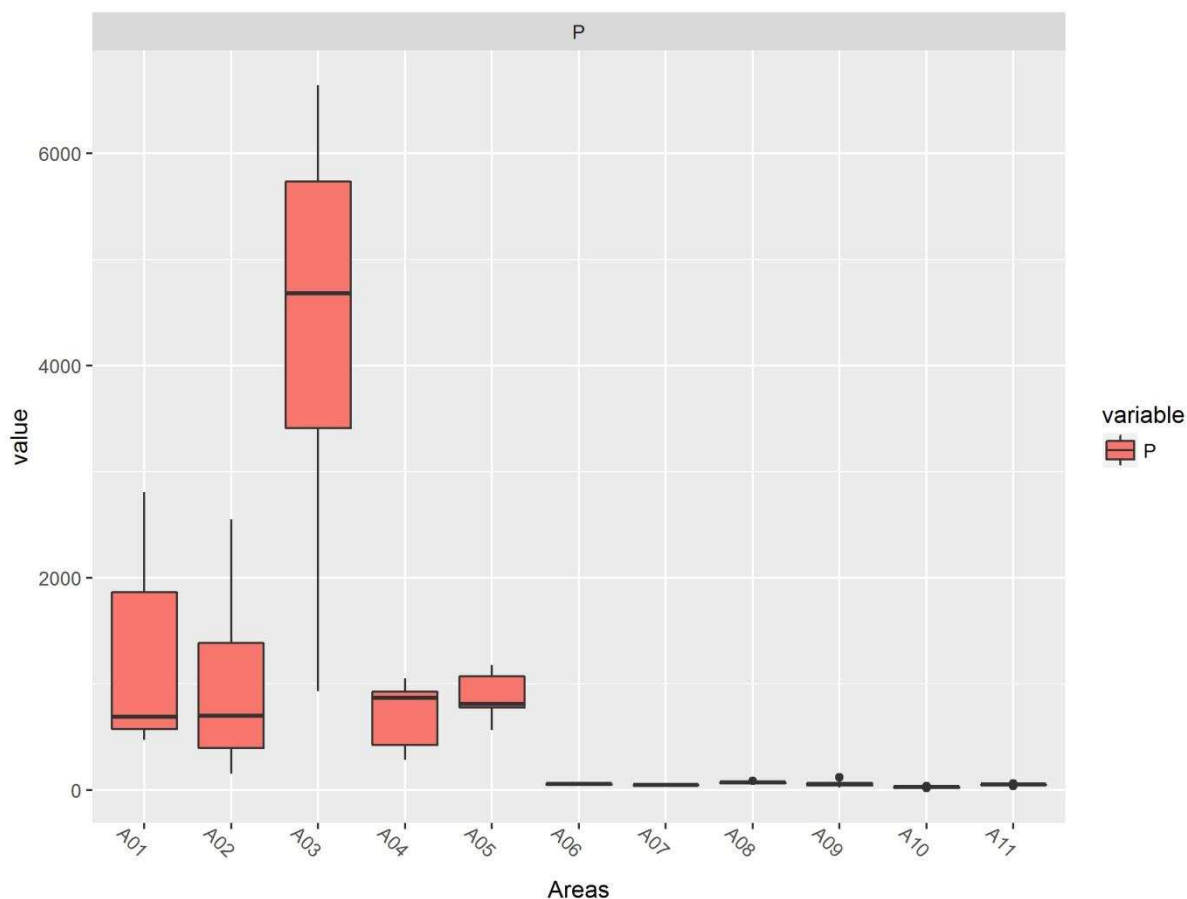


Figura 6: Análise descritiva selecionada: fósforo (P) nas 11 áreas amostradas em uma topossequência das áreas livres de gelo adjacentes a Estação Polonesa Henryk Arctowski, Antártica Marítima.

Maiores teores de sódio foram encontrados com aumento da altitude (a partir de 80 metros de altitude), acompanhados por transição nas comunidades vegetais pela dominância de líquens, presença de blocos rochosos e solos expostos. A menor concentração foi encontrada na área 1, mesmo sendo a mais próxima da praia, com pequeno aumento na segunda área mais próxima, porém seis vezes menor do que os valores extremamente elevados encontrados nas áreas 6 e 8 (80 e 220 metros de altitude, respectivamente) (Figura 8). Altas concentrações de Na também foram registradas nas áreas 7, 9, 10 e 11, todas demonstrando baixos valores de P.

Os teores de potássio não acompanharam o Na, e foram superiores nas áreas 1 e 9 ($246,0 \text{ mg/dm}^3$ e $198,5 \text{ mg/dm}^3$) e menores na área 8 (103 mg/dm^3) (Figura 7), com variações não relacionadas à altitude. Ca e Mg registraram valores elevados na área 7, e menores na área 4 (Figura 8). Baixos valores de alumínio trocável

(Figura 8) e potencial de acidez (Figura 9) foram registrados no estudo com máxima na área 5, enquanto as áreas 6, 7, 8 e 11 não tiveram registros de Al^{3+} .

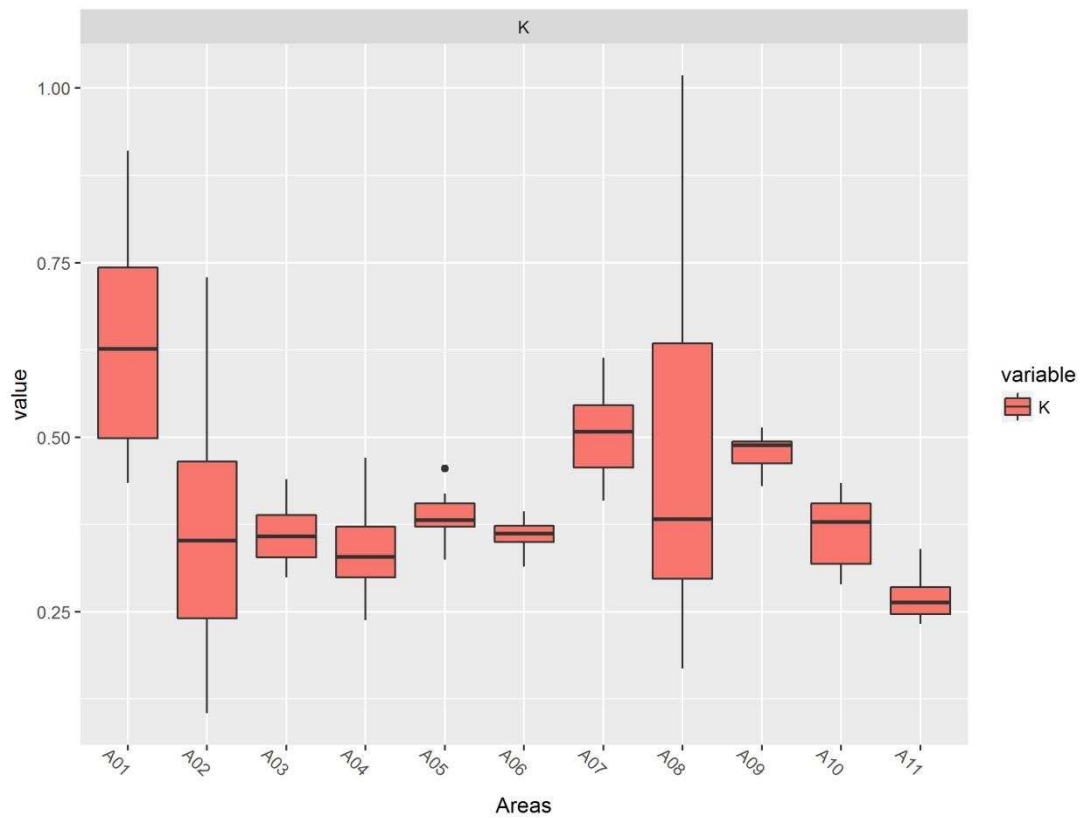


Figura 7: Análise descritiva selecionada: potássio (K) das 11 áreas amostradas em uma topossequência nas áreas livres de gelo adjacentes a Estação Polonesa Henryk Arctowski, Antártica Marítima.

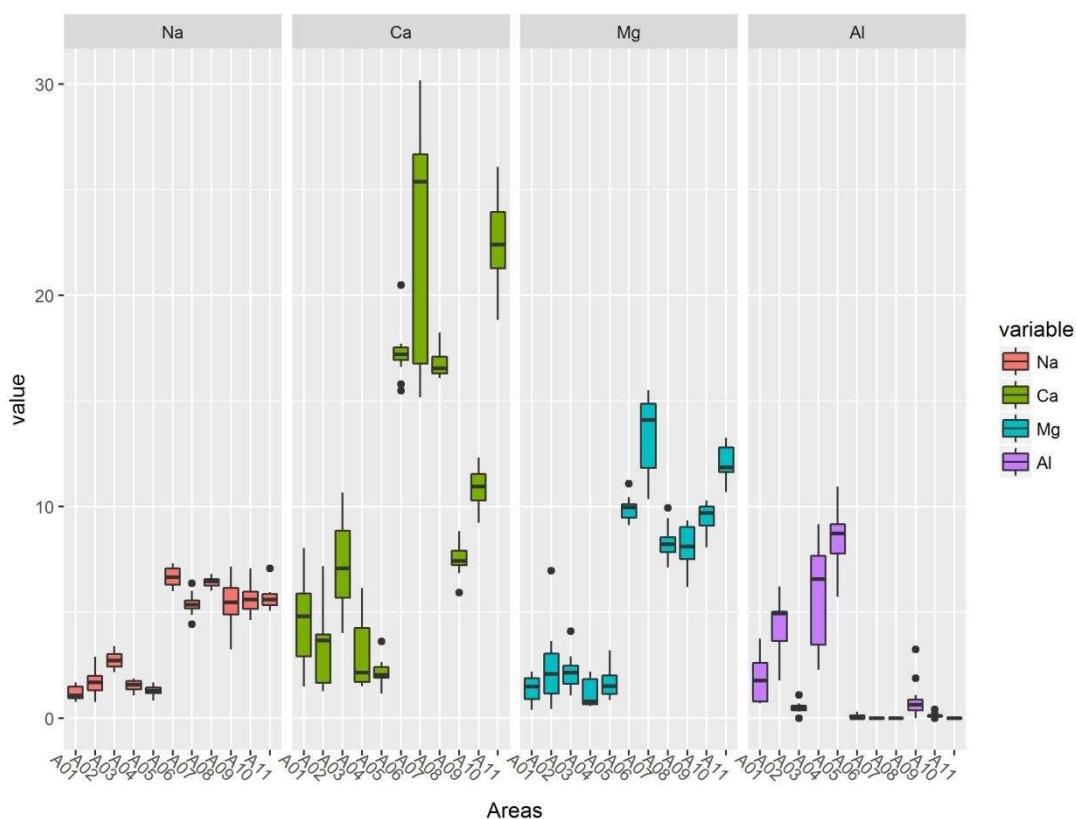


Figura 8: Análises descritivas selecionadas: sódio (Na); Cálcio (Ca); Magnésio (Mg) e alumínio (Al) das 11 áreas amostradas em uma topossequência nas áreas livres de gelo adjacentes a Estação Polonesa Henryk Arctowski, Antártica Marítima.

Os resultados indicam valores elevados de soma de bases na área 7 (média de $45,02 \text{ cmol/dm}^3$), representando o vale glacial onde se acumula a água de degelo das partes montanhosas, com campo de musgos, e mais baixos na área 4, onde o campo de musgo se desenvolve sobre antiga pinguineira, hoje drenada e lixiviada (Figura 9). A capacidade de troca catiônica efetiva e a capacidade de troca catiônica a pH 7,0 foram mais altas na área 7 ($45,02 \text{ cmol/dm}^3$ em ambas) e menores na área 1 ($9,04 \text{ cmol/dm}^3$ e $21,68$, respectivamente). A área 4 também apresentou o mesmo valor mínimo de CTC em pH 7,0 (Figura 9).

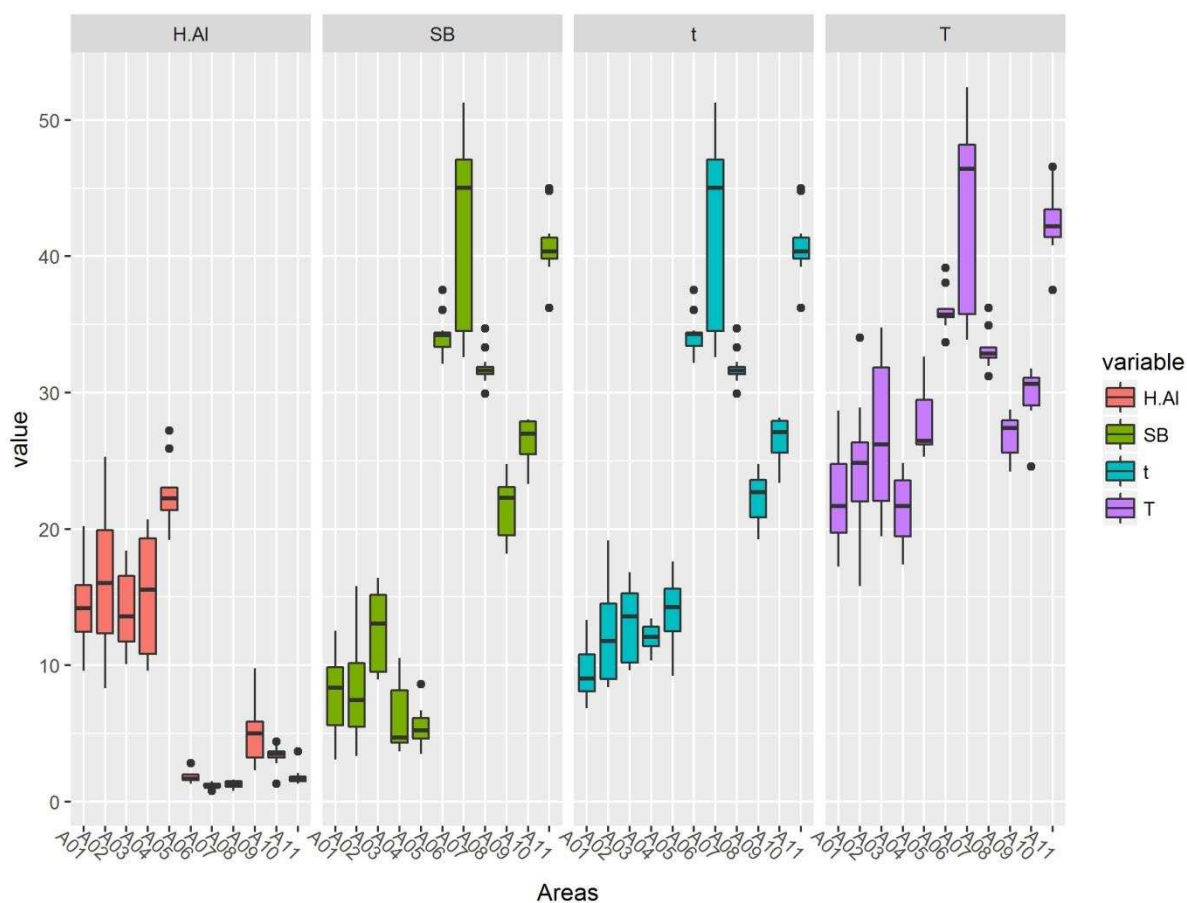


Figura 9: Análises descritivas de: acidez potencial (H.AI); soma de bases trocáveis (SB); capacidade de troca catiônica efetiva (t) e capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T) das 11 áreas amostradas em uma topossequência nas áreas livres de gelo adjacentes a Estação Polonesa Henryk Arctowski, Antártica Marítima.

O índice de saturação por alumínio foi máximo na área 5 (62,05%) e nulo nas áreas 6, 7, 8 e 11 (Figura 10), onde o pH se aproxima da neutralidade. A saturação por bases é elevada na maior parte dos solos (>50%) (Figura 10), com teores de Ca mais elevados do que Mg, e máximos na área 7. Os valores de K ocorrem em altas concentrações em todas as áreas, com máxima de 246,0 mg/dm³ na área 1, devido ao aporte atual de guano pela avifauna, rico em K.

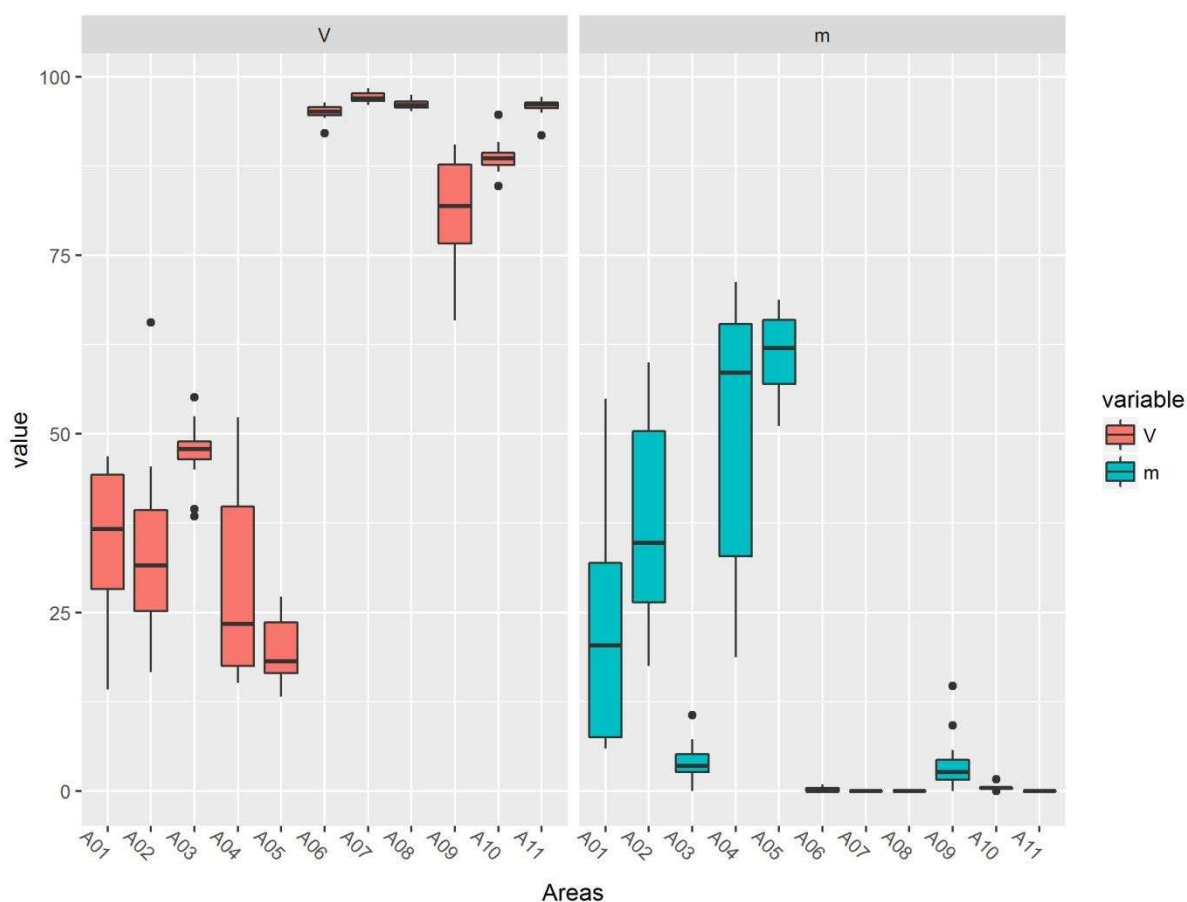


Figura 10: Análises descritivas selecionadas: índice de saturação por bases (V) e índice de saturação por alumínio (m) das 11 áreas amostradas em uma topossequência nas áreas livres de gelo adjacentes a Estação Polonesa Henryk Arctowski, Antártica Marítima.

Os teores de Cu, Zn e Fe foram bem superiores nas áreas ornitogênicas, enquanto para Mn deu-se o oposto, com maiores valores nos solos com pH mais básico, sem influência ornitogênica.

Os teores de cobre são cerca de dez vezes superior na área 3, quando comparada ao valor mínimo da área 10. Manganês obteve valor altos na área 7, onde o solo é hidromórfico, e mínimo na área 5. Altos valores de ferro foram encontrados sob área ornitogênica (área 2) e nas demais áreas de baixas altitudes com influência da avifauna, diminuindo ao elevar-se a altitude, com teor mínimo na área 11, nulo com o aumento da altitude (Figura 12). O mesmo padrão foi registrado para zinco, com máximo na área 3, tendendo a zero conforme avança na topossequência (Figura 11).

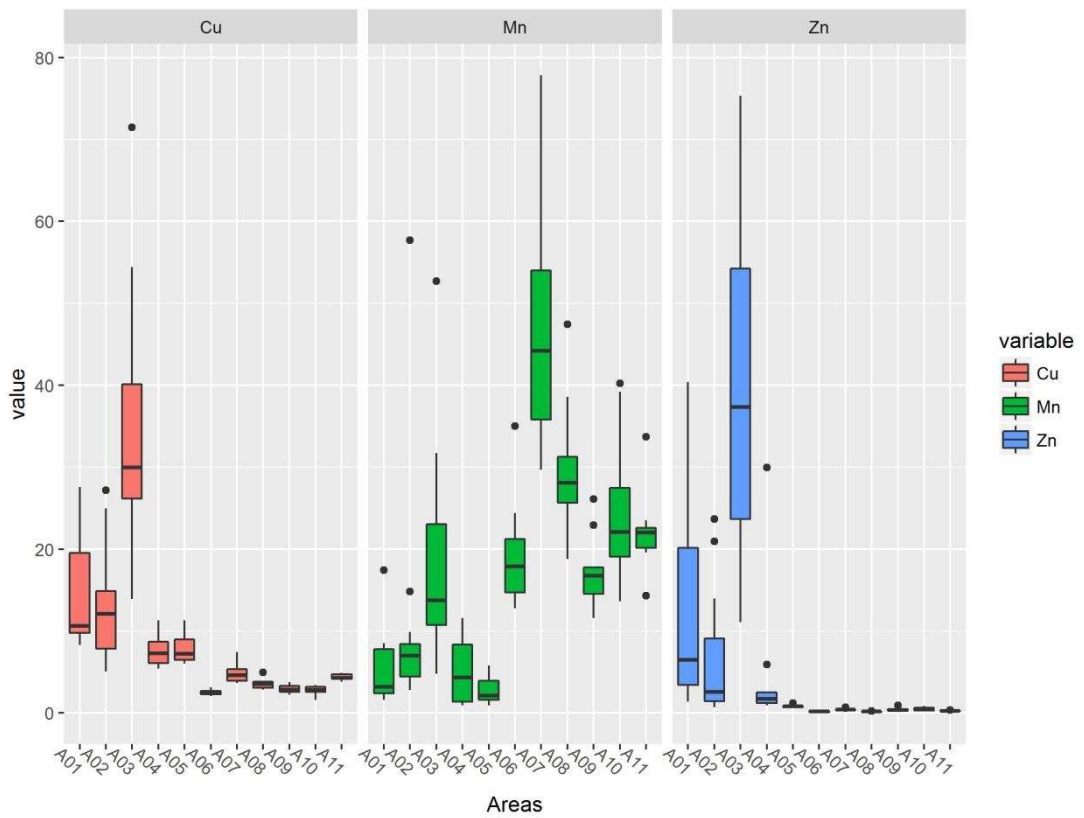


Figura 11: Análises descritivas de: cobre (Cu); manganês (Mn) e zinco (Zn) das 11 áreas amostradas em uma topossequência nas áreas livres de gelo adjacentes a Estação Polonesa Henryk Arctowski, Antártica Marítima.

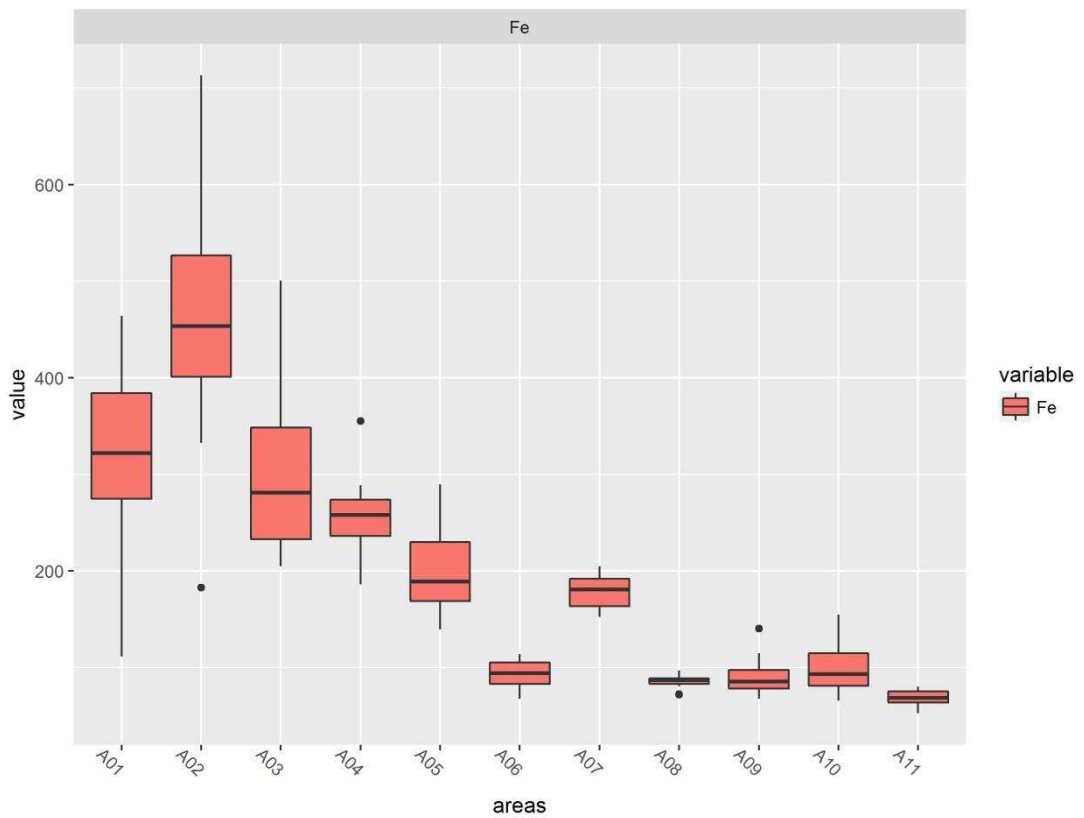


Figura 12: Análises descritivas de ferro (Fe) das 11 áreas amostradas em uma topossequência nas áreas livres de gelo adjacentes a Estação Polonesa Henryk Arctowski, Antártica Marítima.

O índice de saturação por sódio (Figura 13) obteve valor mais elevado na área sem cobertura vegetal (19,7%), o que pode estar associado ao maior nível de exposição ao spray marinho, e mínimo na comunidade de vegetação mista da área 5 (4,57%). Os resultados mostram um aumento do sódio com a elevação da altitude, mantendo valores baixos nos primeiros níveis de terraço marinho sob comunidades fanerogâmicas.

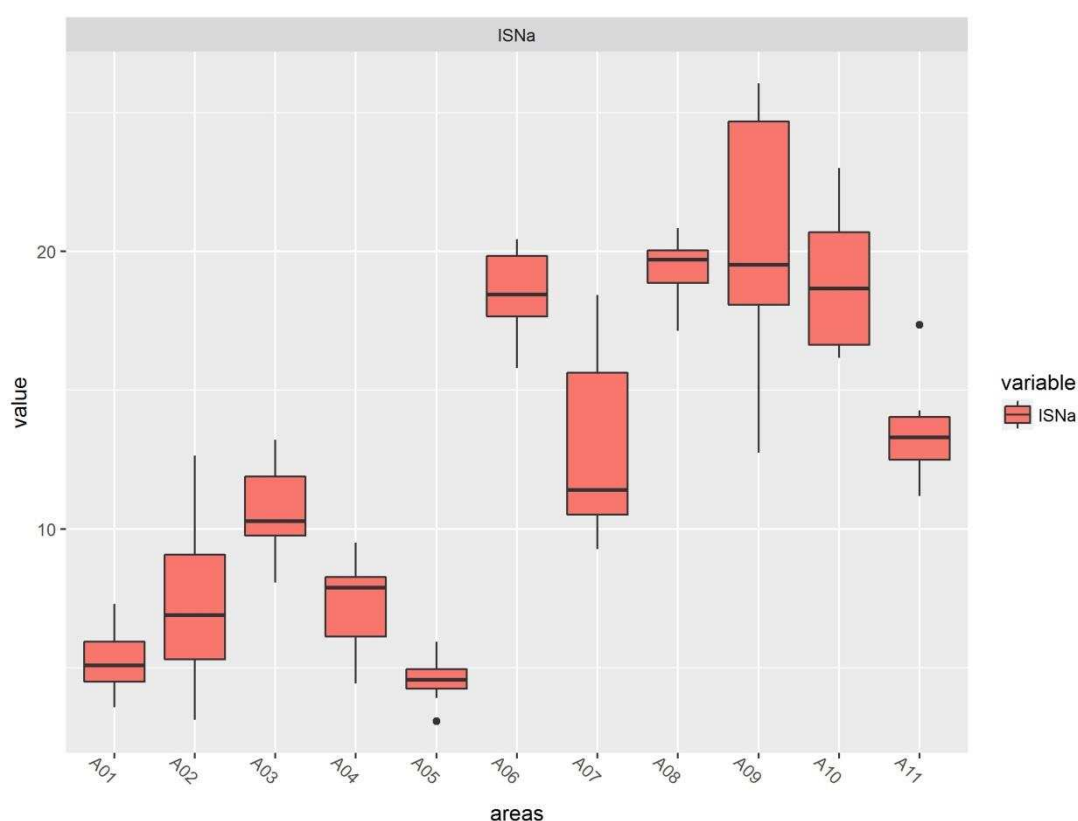


Figura 13: Análises descritivas de índice de saturação por sódio (ISNa) das 11 áreas amostradas em uma topossequência nas áreas livres de gelo adjacentes a Estação Polonesa Henryk Arctowski, Antártica Marítima.

A análise física das amostras demonstra solos geralmente correspondentes à classe textural franco arenosa. A fração areia representa 70,73% do conteúdo total de partículas < 2mm, apresenta também elevados valores de relação areia grossa/areia fina e teores baixos de argila e silte (Tabela 4). Considerando a CTC e os teores elevados de areia, todos os solos possuem argila de alta atividade, com elevada reatividade.

Tabela 4: Média das análises físicas das amostras de solo das 11 áreas em uma toposequência nas áreas livres de gelo adjacentes a Estação Polonesa Henryk Arctowski, Antártica Marítima.

	Areia grossa (kg/kg)	Areia fina (kg/kg)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classificação¹	Tipo de solo²
Área 1	0,648	0,103	75,10	10,80	14,80	Franco Arenoso	1
Área 2	0,704	0,0875	79,15	8,20	12,20	Areia Franca	1
Área 3	0,585	0,075	65,95	14,75	20,00	Franco Arenoso	2
Área 4	0,655	0,142	79,65	8,50	11,00	Areia Franca	1
Área 5	0,634	0,1325	76,65	9,90	11,45	Areia Franca	1
Área 6	0,638	0,1045	74,25	13,50	12,45	Areia Franca	1
Área 7	0,541	0,1455	68,65	14,55	15,75	Franco Arenoso	1
Área 8	0,541	0,126	66,70	19,45	13,90	Franco Arenoso	2
Área 9	0,49	0,147	63,70	18,35	17,10	Franco Arenoso	2
Área 10	0,4135	0,2355	64,90	19,15	17,10	Franco Arenoso	2
Área 11	0,534	0,0995	63,35	13,40	21,25	Franco Arenoso	2

¹SBCS; ²IN SPA/MAPA 02/2008

A Análise dos Componentes Principais – PCA (Figura 14) foi utilizada para averiguar como as áreas respondem ao conjunto das variáveis ambientais e explicar os padrões de vegetação observados. O eixo 1 foi significativo, explicando um total de 59,9% da variância observada, e o eixo 2, explicou 17,6%. Os demais 22,5% podem ser explicados por variáveis não consideradas nos modelos.

Separadas em dois grandes grupos, conforme o eixo de maior significância, as áreas 6, 7, 8, 9, 10, e 11 foram influenciadas positivamente pelas variáveis, Mg, Ca, pH a KCl, SB, ISNa, T, e Na. Dentro do segundo grande grupo (1-5), a área 3 foi correlacionada fortemente com as variáveis Zn, Cu, MO, P e Fe, a área 1 pelos atributos P, MO, Cu, Fe, H+Al e Al, a área 2 aproximou-se das explicativas dos atributos de K, Fe, H+Al e Al, por fim, para as áreas 4 e 5, apenas Al foi a variável explicativa.

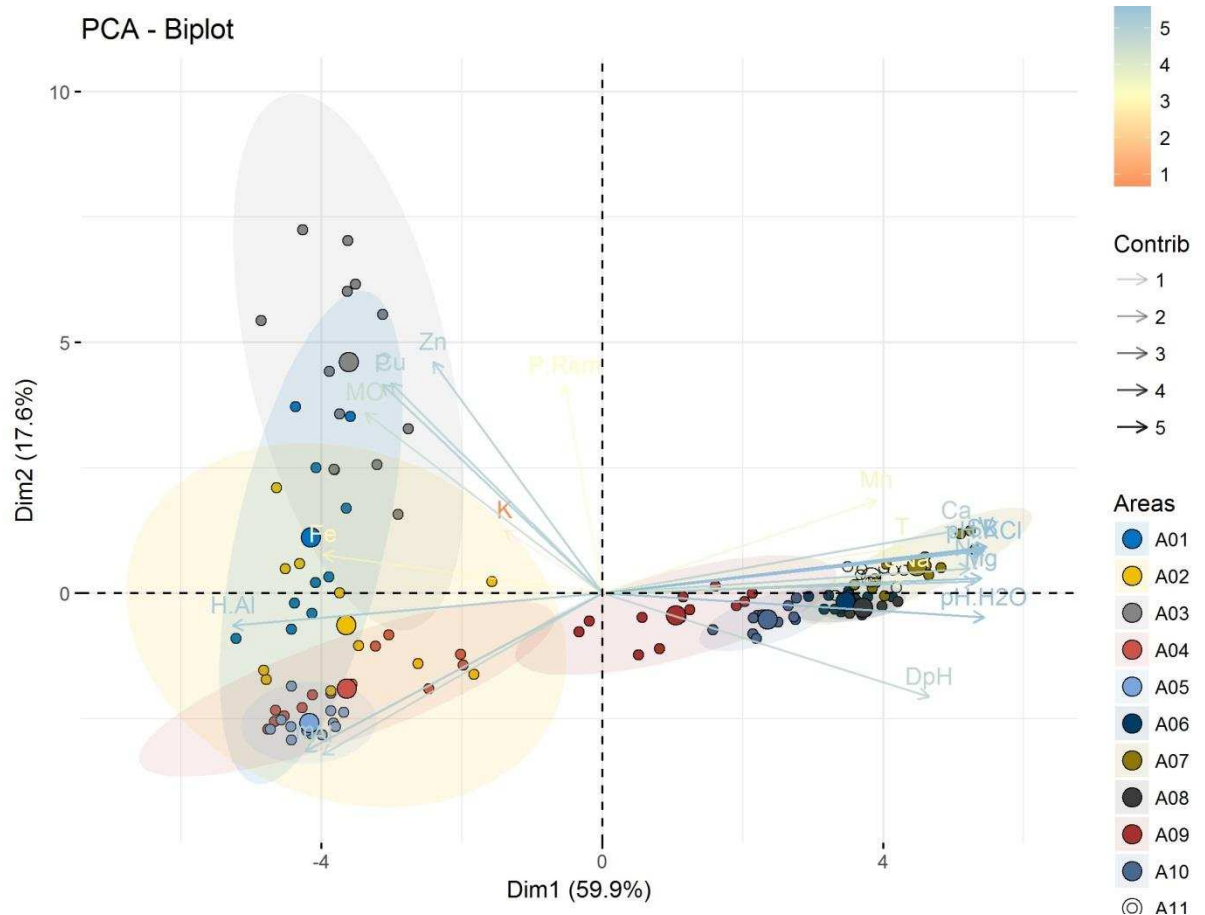


Figura 14: Análise dos componentes principais – PCA indicando separação de comunidades vegetais em dois diferentes grupos de acordo com os fatores químicos do solo em uma topossequência na Antártica Marítima.

O diagrama de ordenação da CCA separou dois grandes grupos de acordo com 12 variáveis edáficas e atitude (Figura 15). O primeiro, correlacionando as espécies com areia grossa, profundidade do solo, m, Fe, $H+Al^{+3}$, P e MO. O segundo grupo foi correlacionado com altitude, areia fina, pH a H_2O , SB, V, Altitude e ISNa. Nesta análise, os dois eixos foram significativos (ANOVA: $F_{12,106} = 4,62$, $p \leq 0.001$), explicando 44,22% no eixo 1 e 22,85% no eixo 2 da variância dos dados e indicando a existência de dois grandes ambientes distintos, com algumas espécies ocorrendo somente em determinados locais.

No primeiro grupo, *Sanionia* sp. e *B. pseudotriquetrum*, que ocorrem em associação, foram as mais relacionadas com profundidade do solo, pois os carpetes de musgos encontram-se sempre em solos mais profundos, e mais distantes dos demais atributos do grupo. Por outro lado, *P. alpinum* e *C. borealis* foram correlacionadas com teores de Al e m, com ocorrência nas áreas 2, 4 e 5, que possuem os valores mais altos de saturação por alumínio, enquanto *D.*

antarctica, *C. quitensis*, *C. regalis* e *Prasila* sp. demonstraram maior correlação a MO, P, H+Al e Fe, atributos esses encontrados em áreas ornitogênicas. O segundo grupo correlacionou-se de forma oposta ao primeiro, com maior agrupamento das espécies a partir da altitude e ISNa para as espécies *S. antarctici*, que possui ocorrência somente na área 11, *Usnea* spp., *H. lugubris*, *S. falcatum* e *O. frigida*. Os atributos de SB, V e pH a H₂O estão fortemente associados a espécie *A. gainii*, enquanto *S. magellanica* demonstrou uma distribuição intermediária entre os dois grandes grupos.

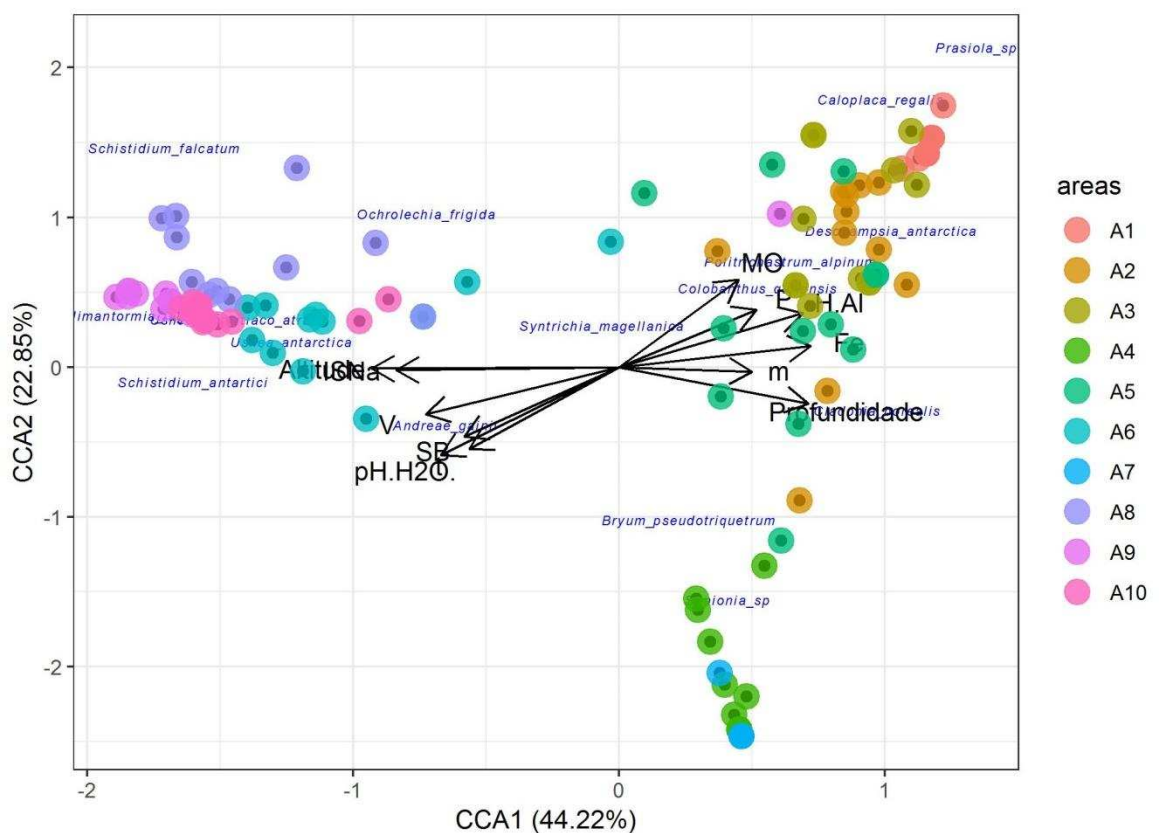


Figura 15: Diagrama de ordenação de 119 parcelas, produzido pela análise de correspondência canônica (CCA) para cobertura nas dez áreas analisadas na Antártica Marítima, relacionadas com os atributos edáficos e altitude relativa. SB: soma de bases; V: índice de saturação por bases; P: fósforo; H+Al: potencial de acidez; m: saturação por alumínio; MO: matéria orgânica; pH.H₂O: pH em água; Fe: ferro; t: capacidade de troca catiônica efetiva; ISNa: índice de saturação por sódio; Profundidade: profundidade do solo (cm); Altitude: altitude média da área em relação ao nível do mar.

A riqueza de espécies diminuiu com o aumento da altitude, onde diversos fatores alteram-se conforme o incremento da altitude. Áreas com influência ornitogênica e menor altitude possuem maior número de espécies e mais

interações entre formas de vida, enquanto as áreas de maiores altitudes possuem boa drenagem e não são afetadas pela influência de aves, sendo dominadas quase exclusivamente por líquens fruticosos, pois o substrato é composto por afloramento predominantemente rochoso e sedimentos soltos, tornando a vegetação muito dispersa sobre solos rasos, em bolsões intercalados com rocha.

4 DISCUSSÃO

Os resultados indicaram um predomínio de solos ácidos na parte mais baixa da topossequência (1-5), principalmente devido aos processos de nitrificação e ornitogênese, comum em áreas livres de gelo da Antártica (Tatur, 1989). Esse aporte de excremento é inicialmente alcalino, porém torna-se ácido devido à degradação microbiana e geração de ácidos fortes (H_2SO_4 , HF, HNO_3). Os locais abandonados onde não é possível observar nenhuma entrada adicional de guano fresco apresentam solos mais tamponados, onde altas quantidades de carbono orgânico se acumulam com o avanço do desenvolvimento do solo (Michel et al., 2006). Outras características atribuídas ao maior desenvolvimento pedogenético também estão presentes, como menor soma de bases e índice de saturação por bases, e maior índice de saturação por alumínio, como observado em outras áreas vulcânicas da Antártica, como Coppermine (Daher, 2015).

Os valores de pH mais baixos correspondem a locais de abandono mais recente de pinguins (áreas 1-5). Nas partes mais altas, o pH se aproximou da neutralidade, com valores de CTC, Ca, Mg, K e Na bem mais elevados nas áreas 7 (Carpete de Musgo - Associação *Sanionia – Bryum*) e 8 (Solo sem vegetação). A acidificação decorrente da influência ornitogênica foi demonstrada em vários estudos prévios na Antártica (Tatur, 1989; Simas et al., 2004; 2007; 2008), bem como em ilhas oceânicas (Schaefer et al., 2009, Oliveira et al., 2014).

As duas áreas que obtiveram pH acima de 7,0 a H_2O (áreas 7 e 8) são bem distintas em termos de vegetação. Por um lado, a área 7 é formada por comunidade carpete de musgo e encontra-se em linha de drenagem recebendo grande influxo de soluções lixiviadas das encostas com o derretimento dos campos de neve, aumentando a quantidade de água disponível na forma líquida. A área 8 não possui cobertura vegetal e não sofre influência ornitogênica, e revela

solo com valor de pH mais elevado, com maiores teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} , corroborando com Michel et al. (2006). Na ausência de atividade ornitogênica, o intemperismo químico do solo é menos pronunciado, apresentando características mineralógicas diretamente influenciadas pelo material de origem vulcânica, basáltica (Simas et al., 2008).

Os maiores teores de matéria orgânica foram encontradas em áreas dominadas pela gramínea *D. antarctica*. Segundo Victoria et al. (2013), *D. antarctica* se estabelece em solos mais profundos, ricos em nutrientes, geralmente com influência ornitogênica atual ou passada. Por serem enriquecidos em N e P, proporcionam melhores condições de desenvolvimento da vegetação, como relatado para outras áreas da Ilha Rei George (Simas et al., 2007). Encontram-se em altitudes menores (0 a 80 metros) representando decréscimo dos teores de MO em áreas mais elevadas, demonstrada pela CCA (Figura 12).

Além da deposição de material orgânico originário da presença e atividade de aves impulsionar o intemperismo químico e acentuar a formação do solo, favorece a biodiversidade e a disponibilidade de nutrientes nesses locais (Tatur e Myrcha, 1989; 1993; Simas et al., 2007). Blume et al. (2002) sugerem que a acumulação da matéria orgânica também ocorra pela produção de biomassa nas regiões frias, sendo esta maior do que a atividade microbiológica do solo, resultando em um balanço positivo. A preservação da MO é favorecida pelas baixas temperaturas, crioturbação e podzolização, que translocam a matéria orgânica da camada superficial do solo para as camadas inferiores.

Solos ornitogênicos são comumente observados ao longo da costa na Baía do Almirantado com atividade de aves, principalmente *Pygoscelis adeliae* na região de Arctowski (Rakusa-Suszczewski, 1993). O tipo de vegetação é fortemente influenciado pela ocupação por ninhais e características de drenagem do solo. Podem ocorrer tanto em terraços marinhos atuais, em pinguineiras ativas ou em paleoterraços, distinguindo-se por características químicas como pH ácido, P disponível muito alto, alta atividade de Al^{3+} trocável e níveis variáveis de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ no complexo de troca (Simas et al., 2003), como observado no presente estudo.

As comunidades vegetais com P elevado são dominadas por espécies fanerogâmicas ou por carpete de musgo. Encontram-se sobre terraços marinhos

atuais e soerguidos, variando do nível do mar até 83 metros. A altitude relativa indica as posições na paisagem que já receberam influência ornitogênica, com colônias antigas ou atuais de pinguins, ninhais ativos de Skuas, *Larus* e outras aves, presença de lobos marinhos e vestígios recentes da alimentação, crescimento e morte de animais. As temperaturas mais altas e maior disponibilidade de água na forma líquida, encontradas na Antártica Marítima, proporcionam intensa crioturbação com mistura profunda de detritos das aves no solo (Simas et al., 2007).

A atividade dos pinguins leva inicialmente à destruição da cobertura vegetal primária, se existente, proporcionando uma nova sucessão com ambiente com novos recursos mais adequados para a recolonização, após o abandono da área vegetal. Essas áreas são imediatamente invadidas pela vegetação com sucessão ecológica iniciada por *Prasiola crispera*, atingindo cobertura densa e diversificada cobrindo quase totalmente a superfície do solo após muitos anos (Rakusa-Suszczewski et al., 1998; Tatur, 1998). No presente estudo, essa macroalga apresentou baixa frequência na fitossociologia, o que demonstra grau avançado de sucessão e assim, maior tempo de abandono das áreas pelas aves.

Gramíneas e algas tendem a ter menor sensibilidade relativa frente à acidez do solo, tolerando condições de perturbação mecânica, baixo pH e altas concentrações de nitrogênio, sódio e fósforo que caracterizam esses locais (Longton, 1988, Simas et al., 2008). Há também líquens descritos como tolerantes a altos níveis de nutrientes cobrindo localmente grandes áreas de rochas, com talos de cores vivas, dando aparência única de laranja-amarelado às superfícies rochosas (Olech, 2004). Esses líquens ornitocoprófilos cobrem grande parte das superfícies rochosas bem representados na área 3, em que a espécie *Caloplaca regalis* aparece com 58,33% de frequência. Assim, *D. antarctica*, *C. quitensis*, *C. regalis* e *Prasiola* sp. demonstraram correlação positiva com alumínio, como mostra a CCA (Figura 12).

O enriquecimento do solo por fósforo indica influência ornitogênica em diversas áreas (1-5), variando entre 701,55 e atingindo 3858,85mmg/dm³ na comunidade fanerogâmica de associação *Deschampsia – Prasiola* (área 3). Esses valores estão de acordo com outros estudos em áreas sob influência ornitogênica na Antártica Marítima (Tatur e Keck, 1990; Michel et al., 2006; Simas et al.,

2007), alterando significativamente o status de nutrientes do solo, através dos processos de fosfatização com aporte de excrementos. O material rico em fósforo reage com o substrato mineral em um processo de fosfatização do solo (Tatur e Barczuk, 1985). A fosfatização é indutora da disponibilização dos nutrientes, e isso ocorre via intemperismo.

A área 3 encontra-se em terraço próxima à linha da praia, com influência da colônia de pinguins abandonada recentemente e presença de skuas no entorno, favorecendo o desenvolvimento de *P. crispera*, porém com pouca frequência na fitossociologia. A vegetação nessas áreas é representada pelas comunidades fanerogâmicas e apenas uma é formada por tapete de musgo. Esses valores decrescem à medida que a altitude se eleva, muitas vezes também pela distância entre os locais e as colônias de animais ou pelo baixo aporte de guano (Michel, 2005). Há uma correlação positiva entre os teores de fósforo e matéria orgânica, pois a influência ornitogênica favorece a produtividade primária e formação de horizontes mais ricos em matéria orgânica como evidenciada pela PCA (Figura 11) e CCA (Figura 12).

A disponibilidade de água e umidade mais constante do solo influenciam o crescimento de briófitas (Gornall et al., 2007). Comunidades de musgos em solos saturados são caracterizados por Davis (1981) e Convey et al. (2011; 2014) por possuírem maior biomassa, respiração e menor ciclagem de materiais do que em áreas bem drenadas. Apesar de correlacionadas a solos mais profundos pela CCA (Figura 12), o substrato saturado por água diminui a diversidade e riqueza na área encharcada, como relatado por Victoria (2009) na mesma região. Localmente, o musgo *Sanionia* sp. não foi encontrado a altitudes superiores a 90 metros, embora tenha sido descrito para todas as altitudes maiores por Putzke e Pereira (2001), constituindo a espécie de musgo mais comum da Antártica ao formar tapetes ou associada a outros musgos e líquens, geralmente muscúculas.

Os teores de Na^{2+} aumentaram com a altitude pela combinação da pulverização do *spray* marinho junto à aridez local, resultando em baixa lixiviação, sugerindo acumulação de sais solúveis em água (Michel et al., 2006; Simas et al., 2007). Já os terraços marinhos possuem alta taxa de remoção e lixiviação de Na nas partes mais baixas na topossequência. Portanto, os teores de Na são atribuídos principalmente ao *spray* salino associado aos ventos

predominantes na região e lixiviação reduzida na parte mais alta, sugerindo acumulação de sais solúveis em água, como registrado por Simas (2006) em solos não ornitogênicos em altitudes menores.

O aporte de guano e o material de origem proporcionam as taxas de K de forma equivalente, resultando em teores mais elevados nas áreas de menor altitude.

Os valores de Al^{3+} elevados estão de acordo com os descritos para diversas áreas da Antártica Marítima (Michel, 2006; Simas, 2006; Daher, 2015) variando de nulo até $8,74 \text{ cmol/dm}^3$, associados ao pH do solo e atividade de argila. Não foi detectado Al^{3+} em pH a H_2O acima de 6,43 e pH a KCl acima de 4,56, associado a teor de carbono reduzido em função da baixa acumulação de restos orgânicos, áreas colonizadas principalmente por *Usnea* spp.. Possuem também baixos valores de P, pelo baixo grau de desenvolvimento pedogenético e limitado aporte de excrementos. Os valores de magnésio também são maiores em pH 5,84 a H_2O .

Zn e Cu são reconhecidamente associados a solos ornitogênicos, como demonstrado em estudos anteriores na região (Tatur, 1989; Tatur et al., 1997). O krill, principal alimento dos pinguins, possui altos valores de F, Sr, Zn e Cu (Mauchline e Fisher 1969, Adelung et al., 1987).

Os valores de Fe, Zn e Cu aumentam em menores valores de pH, pois são micronutrientes com maior biodisponibilidade em baixo pH (Tatur, 1989).

Pela fitossociologia, houve registro de maior diversidade vegetal na comunidade da área 5 que possui substrato com teor de P moderado, alto valor de Al^{3+} e baixo pH associados a uma vegetação mista bem evoluída. Representa uma área de moderada influência ornitogênica, com cobertura vegetal bem desenvolvida sobre paleoterraço marinho soerguido, representando um longo período de abandono de pinguineira desde o Holoceno médio (Tatur et al., 1997).

O musgo *S. falcatum* se encontra somente na área 9, composta por afloramentos rochosos de maior porte em solos pouco desenvolvidos. Segundo Victoria et al. (2006), essa espécie ocorre sobre seixos e fragmentos de rocha solta pela ação dos líquens, dependendo dessa condição associações para sua manutenção. Está associada a *Usnea* spp e correlacionada a SB e V pela CCA (Figura 13), revelando-se portanto ausente de áreas ornitogênicas e ácidas.

A área 10, com comunidade de líquens fruticosos - associação *Himantormia - Usnea*, revelou os menores valores de fósforo, nas cotas de 280 metros de altitude, no isolamento do nunatack Jardine. Abriga a única ocorrência do líquen fruticoso *H. lugubris* que domina a região em associação a *Usnea* spp. Essa espécie endêmica da Antártica desenvolve-se em superfícies de rochas expostas, cumes isolados e mais raramente em encostas pedregosas, na maioria das vezes em elevações superiores a 100 metros de altitude (Olech, 2004), não ocorrendo nas áreas mais baixas. A CCA (Figura 13) a correlaciona à fertilidade elevada (soma de bases), o que pode ter sido determinante para o estabelecimento da mesma (Tabela 1), além de possuir solo com fraco desenvolvimento e sem influência ornitogênica.

O grande grupo formado na PCA (Figura 12), a partir das áreas 6, 7, 8, 9, 10 e 11, tem também como características comuns elevações maiores e associações florísticas de líquens fruticosos, na maior parte das comunidades. As associações formadas nessas comunidades de líquens são pobres em musgos, que quando presentes limitam-se a pequenas almofadas nas fendas das rochas (Victoria et al., 2006) especialmente das espécies *S. magellanica* e *S. antarctici*. Os atributos físicos dominantes nestas comunidades são pedogênese incipiente, textura mais arenosa maior acidez. Comunidades fanerogâmicas foram agrupadas no mesmo grande grupo, compartilhando poucas propriedades químicas, basicamente MO, P, Fe.

As duas comunidades de carpetes de musgos agruparam-se em grupos opostos, em diferentes altitudes e mesma predominância de espécies, embora na área 4 exista maior diversidade e riqueza de espécies e maiores teores de matéria orgânica. Já no campo de musgos mais elevado (área 7), ocorrem altos valores de pH, Ca, Mg, SB, t, T, V e Mn, representando os maiores valores encontrados nas áreas do estudo. Dessa forma nem a altitude nem a fertilidade química foram discriminantes para essas comunidades. Portanto, os campos de musgos podem tanto representar áreas de forte acúmulo de nutrientes e bases, quando se mostrarem bem intemperizados e lixiviados, sem uma tendência clara de eutrofização.

As análises físicas do solo mostram pouca heterogeneidade textural, variando entre franco arenoso e areia franca. A região hidromórfica da área 4 pode ser

atribuída às taxas mais elevadas de areia e menores de argila, com maior capacidade de retenção de água, quando comparada com um solo de maior macroporosidade e menor capacidade de retenção, resultando em maiores taxas de filtração (Michel et al., 2012). A dominância da fração areia é típica de solos da Antártica Marítima (Simas et al., 2008; Michel et al., 2006; Michel et al., 2014).

Pela CCA (Figura 13) houve correlações de espécies com atributos físicos do solo, em que as espécies *P. alpinum* e *C. borealis* estabeleceram-se em solos ricos em matéria orgânica e profundos, onde *C. borealis* é uma espécie de líquen muscícola e se desenvolve sobre o musgo *P. alpinum*, também descrita para outras áreas da Antártica crescendo sobre *Sanionia* sp. geralmente matando o musgo, ou na base de caulídeos de *P. juniperinum* (Victoria et al., 2006).

5 CONCLUSÕES

1) A vegetação ao longo da topossequência estudada variou com atributos do solo, influência da ornitogênese e altitude relativa.

2) Houve maior diversificação de vegetação em solos mais estáveis e antigos, com maior deposição do guano nas partes mais baixas da topossequência e mais próximas do mar, onde o intemperismo aumenta a biodiversidade e não a fertilidade.

3) Os solos e vegetação associados dos ambientes ornitogênicos mostram teores elevados de fósforo e alumínio, ácidos, com cobertura vegetal fanerogâmica e espécies ornitocoprófilas. Áreas com maior umidade do solo (hidromórficas) formam extensos carpetes de musgos, mas sem caracterizar um ambiente químico particular, podendo ser mais rico ou pobre em nutrientes. Esta forte fertilização com nutrientes leva à formação de solos ornitogênicos específicos;

4) A vegetação mudou com a altitude, com predominância de líquens em solos rochosos e maiores concentrações de Na. No sentido oposto, a matéria orgânica diminuiu com a altitude, com valores mínimos em áreas sem cobertura vegetal. Há, portanto, efeito da vegetação sobre os solos, e vice-versa, em íntima coevolução.

5) Os campos de musgos correlacionaram-se com profundidade do solo e hidromorfismo, com maior retenção de água na forma líquida, solos mais arenosos e menores teores de argila, não ligados aos fatores altitude e fertilidade química.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adelung, D., Buchholz, F., Culik, B., Keck, A. (1987). Fluoride in tissues of krill *Euphausia superba* Dana and *Meganyctiphanes norvegica* M. Sars in relation to the moult cycle. — Polar Biol., 7: 43—50.
- Blume, H. P., Beyer, L., Kalk, E., Kuhn, D. (2002). Weathering and Soil formation. In: Bölter, M., Beyer, L. (eds.) (2002). Geological of Antarctic Ice-Free Coastal Landscapes. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Bockheim, J. (2014). Cryopedology. Springer, NY (173 pp.)
- Braun-Blanquet, J. (1932). Plant Sociology: The study of plant communities. McGraw-Hill, New York.
- Bokhorst S., Huiskes A., Convey P., Aerts, R. (2007). The effect of environmental change on vascular plant and cryptogam communities from the Falkland Is and the Maritime Antarctic. BMC Ecology DOI: 10.1186/1472-6785-7-15.
- Bockheim, J. G., Tarnocai, C. (1998). Recognition of cryoturbation for classifying permafrost-affected soils. Geoderma 81, 281293.
- Carvalho, J. V. S., Mendonça, E. S., La Scala, N., Reis, C., Reis, E. L., Schaefer, C. E. G. R. (2012). CO₂ losses and carbon quality of selected Maritime Antarctic soils. Antarct. Sci. 25, 1118.
- Cannone, N., Binelli, G., Worland, M.R., Convey, P., Guglielmin, M. (2012). CO₂ fluxes among different vegetation types during the growing season in Marguerite Bay (Antarctic Peninsula). Geoderma 189190, 595605.
- Campbell, I. B., Claridge, G. G. C. (1987). Antarctica: Soils, Weathering Processes and Environment. Elsevier, Amsterdam. 368 pp.
- Convey, P. (2012). Polar Terrestrial Environments. In: Bell, E. M. (edit) (2012). Life at extremes: environments, organism, and strategies for survival. CAB International.
- Convey, P., Chown, S. L., Clarke, A., Barnes, D. K. A., Bokhorst, B. S., Cummings, V., Ducklow, H. W., Frati, F., Green, T. G. A., Gordon, S., Griffiths, H. J., Howard-Williams, C., Huiskes, Ad H. L., Laybourn-Parry, J., Lyons, W. B., McMinn, A., Morley, S. A., Peck, L. S., Quesada, A., Robinson,

- S. A., Schiaparelli, S., Wall, D. H. (2014). The spatial structure of Antarctic biodiversity. *Ecological Monographs*, 84(2), pp 203-244.
- Convey, P., Hopkins, D. W., Roberts, S. J., Tyler, A. N. (2011). Global southern limit of flowering plants and moss peat accumulation. *Polar Research*, 30, 8929.
- Daher, M. P. (2015). Gênese e classificação de solos na Península Coppermine (Ilha Robert) e Ilha Barrientos, Antártica Marítima. Dissertação de Mestrado, Viçosa, UFV.
- Davis, R. C. (1981). Structure and function of two Antarctic terrestrial moss communities. *Ecological Monographs* 51 (2), 125–143.
- Embrapa (1997). Manual de Métodos de Análise de Solo. 2. ed. ver. atualiz. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro (212 pp. il., EMBRAPA/CNPS-RJ. Documentos, 1).
- Francelino, M. R. (2004). Geoprocessamento aplicado ao monitoramento ambiental da Antártica Marítima: solos, geomorfologia e cobertura vegetal da Península Keller. Tese de Doutorado, Viçosa, UFV. 102.
- Francelino, M. R. Schaefer, C. E. G. R., Simas, F. N. B., Fernandes Filho, E. I., Souza, J. J. L. L., Costa, L. M. (2011). Geomorphology and soils distribution under paraglacial conditions in an ice-free area of Admiralty Bay, King George Island, Antarctica.
- French, H. M. (1987). Periglacial geomorphology in North America: Current research and future trends. *Progress in Physical Geography*, 11. 569-587.
- French, H. M. (2007). *The Periglacial Environment*. 3 ed. Longman, Harlow, England 458 pp.
- Embrapa (1997). Manual de Métodos de Análise de Solo. 2. ed. ver. atualiz. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro (212 pp. il., EMBRAPA/CNPS-RJ. Documentos, 1).
- Gornall, J. L., Jónsdóttir, I. S., Woodin, S, J. (2007). Arctic mosses govern below-ground environment and ecosystem processes. *Oecologia*, 153:931-941.
- INPE (2009). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - CPTEC. <http://antartica.cptec.inpe.br/~antar/weatherdata.shtml>.
- INPE (2015). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - CPTEC. <http://antartica.cptec.inpe.br/~antar/weatherdata.shtml>.
- Kanda, H. (1986). Moss communities in some ice-free areas along the Söya Coast, East Antarctica. *Mem.Natl. Inst. Polar Res., Special Issue*. 44: 229-240.

- La Scala, N., Mendonça, E. S., Souza, J.V., Panosso, A. R., Simas, F. N. B., Schaefer, C. E. R. G. (2010). Spatial and temporal variability in soil CO₂ emissions and relation to soil temperature at King George Island, Maritime Antarctica. *Polar Sci.* 4, 479-487.
- Lewis Smith R. I. (2003). The enigma of *Colobanthus quitensis* and *Deschampsia antarctica* in Antarctica. In A.H.L. Huiskes et al. (eds.): Antarctic biology in a global context. Pp. 234-239. Leiden: Backhuys Publications.
- Longton, R. E. (1988). Life-history strategies among bryophytes of arid regions. *J Hattori Bot Lab* 64: 15-28.
- Mauchline J. J., Fisher P. I. (1969). The biology of euphausiids. — *Adv. Mar. Biol.*, 7: 201—225.
- Mendonça, E. S., La Scala, N., Panosso, A. R., Simas, F. N. B., Schaefer, C. E. G. R. (2010). Spatial variability models of CO₂ emissions from soils colonized by grass (*Deschampsia antarctica*) and moss (*Sanionia uncinata*) in Admiralty Bay, King George Island. *Antarc. Sci.* 23, 27-33.
- Michel, R. F. M. (2005). Solo criogênicos e ornitogênicos da área de entorno da Ponta Llano, Antártica Marítima. Dissertação de mestrado, Viçosa, UFV.
- Michel, R. F. M., Schaefer, C. E. G. R., Dias, L. E., Simas, F. N. B., Benites, V., Mendonça, E. S. (2006). Ornithogenic gelifols (cryosols) from Maritime Antarctica: pedogenesis, vegetation and carbon studies. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70, 1370-1376.
- Michel, R. F. M., Schaefer, C. E. G. R., Poelking, E. L., Simas, F. N. B., Fernandes Filho, E. I., Bockheim, J. G. (2012). Active layer temperature in two Cryosols from King George Island, Maritime Antarctica. *Geomorphology* 155-156. 12-19.
- Michel, R. F. M., Schaefer, C. E. G. R., Simas, F. M. B., Francelino, M. R., Fernandes-Filho, E. I., Lyra, G. B., Bockheim, J. G. (2014). Active-layer thermal monitoring on the Fildes Peninsula, King George Island, maritime Antarctica. *Solid Earth*, 5. 1361-1374.
- Muller, S. W. (1943). Permafrost or permanently frozen ground and related engineering problems. US. Engineer. Office, Strat. Engineer. Study Spec. Rep. 62, J.W. Edwards, Ann Arbor, MI.
- Myrcha, A., Pietr, S. J., Tatur, A. (1985). The role of *Pygoscelid penguin* rookeries in nutrient cycles at Admiralty Bay, King George Island. In: Siegfried, W. R., Condy, P. R., Lows, R. M (eds.). Antarctic Nutrient Cycle and Food Webs. SDpringer Verlag, berlin. Heidelberg: 156-162.

- Myrcha, A., Tatur, A. (1991). Ecological role of the current and abandoned penguin rookeries in the land environment of the maritime Antarctic. *Pol Polar Res* 12:3–24.
- Olech, M. (2004). Lichens of King George Island Antarctica. The Institute of Botany of The Jagiellonian University, Cracow: 391p.
- Oliveira, F. S., Abrahao, W. A. P., Schaefer, C. E. G. R., Clemente, E. P., Simas, F. N. B. (2014). Soil-geomorphology interactions and paleoclimatic implications of an ornithogenic soil toposequence on Rata Island, Fernando de Noronha Archipelago, South Atlantic. *Journal of South American Earth Sciences*, p. 119-128.
- Øvstedal, D. O., Lewis Smith, R. I. (2001). Additions and corrections to the lichens of Antarctica and South Georgia. *Cryptogamie. Mycologie* 25: 323-331.
- Orhein, O., Govorukha, L. S. (1982). Present-day glaciations in the Shetland Islands. *Journal of Glaciology* 3. P-233-238.
- Pereira, A. B., Putzke, J. (2013). The Brazilian research contribution to knowledge of the plant communities from Antarctic ice free areas, *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 85(3), 923-935.
- Putzke, J. Pereira, A. B. (2001). The Antarctic mosses with special reference to the South Shetland Islands. *Canoas: Ed. ULBRA*, 85-7528-008-2.
- Rakusa-Suszczewski, S. (1993). Matter Transport and Budgets in the Admiralty Bay Area. In: S. Rakusa-Suszczewski (ed). *The Antarctic Coastal Ecosystem of Admiralty Bay*. Polish Academy of Sciences, Warsaw. P. 199-212. 216 p.
- Rakusa-Suszczewski, S., Jazdzewski, K., Myrcha, A., Olech, M. (1998). Biological and ecological studies carried out at the Polish Antarctic Station Henryk Arctowski, 1977-1997. *Polish Polar Research*, 19, 1-2, 37-60.
- Schaefer, C. E. G. R., Oliveira, F. S., Abrahao, W. A. P., Simas, F. N., Melo, J. W. V. (2009). A fosfatização por ação de aves em ilhas oceânicas: de Darwin às pesquisas atuais. In: Viana, D. L., Hazin, F. H. V., Souza, M. A. C. (Org.). *Arquipélago de São Pedro e São Paulo: dez anos de estação científica*. Brasília: SECIRM, v. 01, p. 271-278.
- Schaefer, E. G. R., Pereira, T. T., Almeida, I. C. C., Michel, R. F. M., Corrêa, G. R., Figueiredo, L. P. S., Ker, J. C. (2017). Penguin activity modify the thermal regime of active layer in Antarctica: A case study from Hope Bay. *Catena* 149 582-591.
- Schaefer, E. G. R., Simas, F. N. B., Gilkes, R. J., Mathison, C., da Costa, L. M., Albuquerque, M. A. (2008). Micromorphology and microchemistry of selected Cryosols from maritime Antarctica. *Geoderma* 144, 102-115.

- Simas, F. N. B. (2006). Solos da Baía do Almirantado, Antártica Marítima: Mineralogia, Gênese, Classificação e Biogeoquímica. Tese de doutorado, Viçosa, UFV.
- Simas, F. N. B., Schaefer, C. E. G. R., Melo, V. F., Albuquerque-Filho, M. R., Francelino, M. R., Fernandes Filho, E. I. ; Costa, L. M. (2008). Genesis, properties and classification of Cryosols from Admiralty Bay, maritime Antarctica. *Geoderma*, v. 144, p. 116-122.
- Simas, F. N. B., Schaefer, C. E. G. R., Melo, V. F., Albuquerque-Filho, M. R., Michel, R. F. M.; Costa, L. M., Mendonça, E. S., Pedroso, I. V. C. P. (2003). Carbono imobilizado: indicador ambiental nos criossolos da Península Keller, In *Ecossistemas Terrestres e Solos da Antártica Marítima*. Viçosa Núcleo de Estudo de Planejamento e Uso da Terra – NEPUT, p. 32-38.
- 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. M., Costa, L. M. (2007). Ornithogenic cryosols from Maritime Antarctica: Phosphatization as a soil forming process. *Geoderma*: 138, 191-203.
- Tatur, A. (1989). Ornithogenic soils of the maritime Antarctic. *Polish Polar Research*, 10, 4, 481-532.
- Tatur, A., Barczuk, A. (1985). Ornithogenic phosphates on King George Island, Maritime Antarctic. In: Siegfried, W. R., Condy, P. R., Laws, R. M. (Eds.) (1985). *Antarctic Nutrient Cycles and Food Webs*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 163–169.
- Tatur, A., Keck, A. (1990). Phosphates in ornithogenic soils of the maritime Antarctic. *Proc. NIPR Symp. Polar Biol.*, 3, 133-150.
- Tatur, A., Myrcha, A. (1993). Ornithogenic soils. In: Rakusa-Suszczewski, S. Ed. *The Antarctic Coastal Ecosystem of Admiralty Bay*. Polish Academy of Sciences, Warsaw, 161-165.
- Tatur, A., Myrcha, A., Niegodzisz, J. (1997). Formation of abandoned penguin rookery ecosystems in the maritime Antarctic. *Polar Biol*, 17: 405-417.
- Team, R. C. (2017). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2016.
- Ter Braak, C. J. F. (1987). The analysis of vegetation environment relationship by canonical correspondence analysis. *Vegetation* 69: 69-77.
- Ter Braak, C. J. F., Prentice, I. C. (1988). A theory of gradient analysis. *Advances in Ecological Research* 18: 271-317.

- Thomazini, A., Mendonça, E. S., Teixeira, D. B., Almeida, I. C. C., La Scala Jr, N., Canellas, L. P., Spokas, K. A., Milori, D. M. B. P., Turbay, C. V. G., Fernandes, R. B. A., Schaefer, C. E. G. R. (2015). CO₂ and N₂O emissions in a soil chronosequence at a glacier retreat zone in Maritime Antarctica. *Science of The Total Environment*. 521-522, 336-345.
- Thomazini, A., Teixeira, D. B., Turbay, C. V. G., La Scala Jr, N., Schaefer, C. E. G. R., Mendonça, E. S. (2014). Spatial variability of CO₂ emissions from newly exposed paraglacial soils at a glacier retreat zone on King George Island, Maritime Antarctica. *Permafr. Periglac. Process.* 25, 233–242
- van Everdingen, R. (1998). Multi-language glossary of permafrost and related groundice terms (revised May 2005). National Snow and Ice Data Center, Boulder, CO.
- Victoria, F. C., Albuquerque, M. P., Pereira. (2006). Lichen-Moss associations in plant communities of the Southwest Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. *Neotropical Biology and Conservation*. 1(2): 84-89.
- Victoria, F. C., Albuquerque, M. P., Pereira, A. B., Simas, F. N. B., Spielmann, A. A., Schaefer, C. E. G. R. (2013). Characterization and mapping of plant communities at Hennequin Point, King George Island, Antarctica. *Polar Research*, 32, 19261.
- Victoria, F. C., Pereira, A. B., Costa, D. P. (2009). Composition and distribution of moss formations in the ice-free areas adjoining the Arctowski region, Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. *Iheringia, Série Botânica*, 64(1): 81-91.
- Zhu, R., Bao, T., Wang, Q., Xu, H., Liu, Y. (2014). Summertime CO₂ fluxes and ecosystem respiration from marine animal colony tundra in maritime Antarctica. *Atmosp. Environ.* 98, 190201.

CONCLUSÃO GERAL

O presente trabalho mostra a distribuição das comunidades vegetais ao longo de áreas livres de gelo condicionadas por atributos do solo, ornitogênese e altitude relativa.

Solos mais estáveis e antigos, com maior deposição de material proveniente do guano, possuem dominância de *Deschampsia antarctica*, onde o guano intensifica o processo de decomposição e desempenha papel importante no desenvolvimento de comunidades, ocorrendo maior diversificação de vegetação. O solo dessas áreas demonstra teores elevados de fósforo e alumínio, caracterizando-as como ambientes ornitogênicos em baixas altitudes na topossequência, associados à cobertura vegetal fanerogâmica e espécies ornitocoprófilas.

Os campos de musgos correlacionaram-se com profundidade do solo e hidromorfismo, não ligados aos fatores altitude e fertilidade química.

Áreas de elevadas altitudes são predominadas por líquens sobre solos rochosos, com maiores concentrações de Na, através da combinação entre *spray* marinho e baixa lixiviação.

Teores de matéria orgânica são maiores em áreas ornitogênicas, no inferior da topossequência, e em partes mais altas e rochosas dos afloramentos mais antigos, em nunatacks bem vegetados, onde o tempo e estabilidade da paisagem são determinantes para o maior acúmulo de matéria orgânica, tendendo a diminuir conforme o aumento da altitude.