



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE BIOLOGIA - IB  
DEPARTAMENTO DE BOTÂNICA

# **REVISITANDO A FLORA DE BRYOPHYTA DA BAÍA DO ALMIRANTADO, ANTÁRTICA**

BÁRBARA GUEDES COSTA SILVA

ORIENTADOR:

Prof. Dr. PAULO EDUARDO AGUIAR SARAIVA CÂMARA

**Brasília- DF, setembro de 2020.**

**BÁRBARA GUEDES COSTA SILVA**

**REVISITANDO A FLORA DE BRYOPHYTA DA  
BAÍA DO ALMIRANTADO, ANTÁRTICA**

Defesa Final apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Botânica da Universidade de Brasília como requisito necessário para obtenção do título de Mestra em Botânica.

Orientador: Paulo Eduardo Aguiar Saraiva Câmara.

**Brasília – DF, setembro de 2020.**

## Sumário

1. Introdução.....	8
2. Objetivos.....	14
2.1 Objetivo Geral .....	14
2.1.1 Objetivos Específicos .....	14
3. Material e Métodos .....	14
3.1 Área de estudo .....	14
3.2 Obtenção, identificação e refinamento dos dados .....	16
3.3 Análise dos dados .....	17
4. Resultados .....	19
4.1 Levantamento florístico.....	19
4.2 Análise de registros e riqueza.....	24
4.3 Suficiência amostral.....	27
4.4 Análise de similaridade.....	33
5. Considerações finais.....	40
6. Plano de Publicação .....	41
7. Bibliografia .....	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Levantamento dos espécimes correspondente ao tipo de pesquisa, número total de espécimes e espécies para a baía do almirantado.....	20
Tabela 2. Lista das espécies de musgos encontrados na baía do almirantado e a frequência em que cada espécie foi registrada nas 116 quadrículas (continua). ....	20
Tabela 2. Lista das espécies de musgos encontrados na baía do almirantado e a frequência em que cada espécie foi registrada nas 116 quadrículas (continua).....	21
Tabela 2. Lista das espécies de musgos encontrados na baía do almirantado e a frequência em que cada espécie foi registrada nas 116 quadrículas.....	22

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1A. Localização da Ilha Rei George (King George Island), localizada no arquipélago Shetland do Sul.....	15
Figura 1B. Localização da Ilha Rei George (King George Island), localizada no arquipélago Shetland do Sul. 2B. Delimitação da Baía do Almirantado (quadrado), localizada na Ilha Rei George.....	15
Figura 2. Mapa geológico da Área Antártica Especialmente Gerenciada da Baía do Almirantado. Delimitação da ASMA N°1 (em linhas tracejadas). Mapa conforme Barton (1965) e Birkenmajer (1980b).....	18
Figura 3. Pontos de ocorrência dos espécimes de musgos encontrados na baía do almirantado.....	24
Figura 4. Resultado da análise quantitativa de registros por quadrícula para a baía do almirantado.....	25
Figura 5. Resultado da análise quantitativa de riqueza para a baía do almirantado.....	26
Figura 6. Regressão logarítmica entre o número de coletas (registros) e a riqueza observada.....	27
Figura 7. Curva de rarefação e de acúmulo de espécies de musgos para o grupo geológico "preto".....	29
Figura 8. Inclinação da curva de rarefação em relação ao número de amostras para o grupo geológico "preto".....	29
Figura 9. Curva de rarefação e de acúmulo de espécies de musgos para o grupo geológico "vermelho".....	29
Figura 10. Inclinação da curva de rarefação em relação ao número de amostras para o grupo geológico "vermelho".....	29
Figura 11. Curva de rarefação e de acúmulo de espécies de musgos para o grupo geológico "azul".....	30
Figura 12. Inclinação da curva de rarefação em relação ao número de amostras para o grupo geológico "azul".....	30

## LISTA DE FIGURAS

Figura 13. Curva de rarefação e de acúmulo de espécies de musgos para o grupo geológico "verde" .....	30
Figura 14. Inclinação da curva de rarefação em relação ao número de amostras para o grupo geológico "verde" .....	30
Figura 15. Composição RGB infravermelho 5 4 3 para a baía do Almirantado – Landsat 8/OLI/2014.....	33
Figura 16. Dendrograma de similaridade entre as áreas (A1 e A2), de acordo com a composição de espécies por unidade amostral, utilizando o coeficiente de Sørensen e o método do grupo de pares usando médias aritméticas ponderadas (WPGMA). O eixo x representa as quadrículas, variando de Q1-Q116. O eixo y representa a similaridade (distância) entre os grupos 1 e 2, variando de 0 (menos distante) a 1 (mais distante). Coeficiente de correlação cofenética: (0.744). A1: solo ornitogênico. A 2: solo não ornitogênico.....	35
Figura 17. Dendrograma de similaridade entre as áreas (A1 e A2), de acordo com a composição de espécies por unidade amostral, utilizando o coeficiente de Sørensen e o método do grupo de pares usando médias aritméticas ponderadas (WPGMA). O eixo x representa as quadrículas, variando de Q1-Q116. O eixo y representa a similaridade (distância) entre os grupos 1 e 2, variando de 0 (menos distante) a 1 (mais distante). Coeficiente de correlação cofenética: (0.744). A1: solo ornitogênico. A 2: solo não ornitogênico.....	38

## **Agradecimentos**

Em tempos difíceis, agradeço a Deus por permitir a conclusão deste trabalho. Que só foi possível devido a oportunidade dada pelo meu orientador prof. Dr. Paulo Câmara e também da professora Dr<sup>a</sup> Micheline Carvalho-Silva, que desde a graduação me ensinam o caminho das pedras, acreditando que consigo chegar lá e que sou capaz. Quero agradecer de maneira geral todos os meus colegas do laboratório de criptógamas - UnB que sempre estiveram ao meu lado, me dando algum conselho, companhia, ajuda com a identificação das espécies, inúmeras trocas de conhecimento...de verdade: vocês são lindos! Muito obrigada por tudo. Agradeço ao Dr. Dudu (Eduardo Amorim), que me deu todo o suporte para a realização deste estudo, muito obrigada pela paciência e por acreditar que eu consigo, por ter ido pra Antártica comigo e ter me guiado em todos os sentidos. Minha eterna gratidão, “Ô Dudu”.

A todo pessoal da botânica e UnB, incluindo professores (Ricardo Machado – Pacheco - Ecologia) ao pessoal da limpeza (Maria), muito obrigada! Vocês são incríveis. Quero agradecer ao André Moreira que me ajudou desde antes do início do mestrado, fazendo a inscrição do mestrado para mim, me dando dicas sobre tudo, muito obrigada! Agradeço também a Júlia Viegas Mundim, sempre muito fofa e muito solícita em tudo. Não posso deixar de agradecer ao pessoal do Intervalinho e cia, Rosinha, Dressa, Diogo, Jéssica, Joyce, Jair, dei minhas melhores risadas com vocês! Obrigada pela companhia.

Aos meus amigos e inteligentíssimos, do laboratório de ecologia de ecossistemas Jéssica Schuler e Felipe Lenti que me ajudaram muito quanto a parte ecológica deste trabalho, muito obrigada. A minha família que sempre me deu base e suporte, acreditando nos meus sonhos, ao meu pai José Antônio, minha irmã Júlia Guedes. Este trabalho é dedicado à minha mãe, que mesmo não estando presente ela me disse que eu ia passar no mestrado e ia dar tudo certo. Muito obrigada pela força que você me deu, mãe. Minha eterna gratidão. Deu tudo certo! Obrigada também Thi, seu apoio foi incrível! Eu te amo.

Ao Proantar, Marinha do Brasil, Força aérea brasileira, MCTI, Estação Polonesa Arctowski, Obrigada. Esse trabalho foi em parceria com o Ministério do Meio Ambiente, muito obrigada pela confiança. Ao Jairo Patiño - Universidad de La Laguna, por ter me recebido muito bem em seu laboratório e me ajudando também. A todos os meus amigos, em especial Jeje, Clara e Vera...eu amo vocês. Obrigada pelo apoio em tudo!

## 1. Introdução

A Antártica é definida geopoliticamente como todo continente, ilhas e as plataformas de gelo adjacentes ao Sul da latitude 60°S. Sua área é de aproximadamente 14 milhões de km<sup>2</sup>, dos quais 99,7% estão cobertos de gelo (Ochyra et al. 2008), sendo caracterizado como o mais frio, elevado, seco e inóspito ambiente do planeta terra. De acordo com Convey (2001) e Ochyra et al. (2008), a Antártica divide-se em duas zonas biogeográficas: Antártica Marítima e Continental. O que diferencia essas áreas são os aspectos como a quantidade e variedade de espécies, temperatura atmosférica, volume de precipitação, variações de pressão atmosférica e regime dos ventos (Cañadas 2001).

A atual posição geográfica da Antártica, e as sucessões expostas nas áreas livres de gelo, apontam sua ligação pretérita com outros continentes austrais (Lawver et al. 2009). A partir do Plioceno o isolamento definitivo do continente antártico das outras massas de terra do Hemisfério Sul e, desde o início do Oligoceno, as oscilações climáticas com tendência a temperaturas cada vez mais baixas, levaram ao gradativo desaparecimento da vegetação e impossibilitaram sua recolonização posterior (Truswell 1990; Dutra 2001), muito embora Birkenmajer e Zastawniak (1989) apontem ainda para a existência de uma flora bastante empobrecida para níveis do Mioceno da Ilha Rei George.

A ilha é parte do Arquipélago das Shetlands do Sul, que como parte da Antártica Marítima, é caracterizada pela passagem de contínuos sistemas ciclônicos, transportando ar aquecido e úmido, fortes ventos e grande volume de precipitação (Bintanja 1995), possuindo um clima marítimo, com baixa variação na temperatura atmosférica ao longo do ano, alta umidade relativa do ar e grande cobertura de nuvens (Rakusa-suszczewski et al. 1993; Wen et al. 1994). As condições climáticas desfavoráveis desses ambientes não impediram o crescimento e estabelecimento das briófitas, ao contrário, elas habitam em ambientes extremos como a Antártica (Fernández e Serrano 2009).

As briófitas são o segundo maior grupo de plantas terrestres, estando atrás apenas das angiospermas (Buck e Goffinet 2000). Possuem cerca de 17.800 espécies distribuídas em mais de 1.200 gêneros e estão representadas por Musgos (Divisão Bryophyta, 13.000 - 12.800 espécies), Hepáticas (Divisão Marchantiophyta, 5.000 espécies) e Antóceros (Divisão Anthocerotophyta, 100 - 150 espécies) (Gradstein 2001; Goffinet et al. 2009). São organismos ecologicamente importantes pois são consideradas plantas pioneiras, sendo as primeiras a colonizar rochas e diversas áreas degradadas. Esse grupo de plantas



transforma locais desfavoráveis em locais propícios ao estabelecimento de outras espécies de plantas (Hespanhol et al. 2008), pois participam do processo de sucessão vegetal dos ecossistemas, onde normalmente desenvolvem-se agrupadas, formando extensos tapetes que recobrem determinadas áreas, evitando a erosão nestes locais e servindo de substrato para o desenvolvimento de outras plantas. Participam também da formação do solo, dos ciclos do carbono e nitrogênio e como componentes importantes da biomassa (Lisboa e Ilkiu-Borges 1995).

Além disso, criam microambientes, para a ocorrência de animais como rotíferos, nematódeos e tardígrados (Gradstein et al. 2001). Espécies de briófitas têm sido utilizadas para estudos de mudanças climáticas globais (Tuba et al. 2011) e podem ser indicadores ecológicos, pois muitas espécies são sensíveis a pequenas mudanças nas condições ambientais (Santos e Lisboa 2003). Outras espécies podem ser utilizadas como indicadoras da integridade de florestas (Frego 2007) e para recuperação de áreas degradadas (Bardat e Aubert 2007).

Economicamente o grupo apresenta grande potencial, sendo utilizado como substrato para orquídeas e como plantas ornamentais (Fernández e Serrano 2009). Também possuem propriedades antimicrobianas (Singh et al. 2007), além disso, é relatado o potencial medicinal como anticancerígeno, anti-inflamatório, bem como para a produção de antibióticos e antivirais (Fernández e Serrano 2009). Embora sejam plantas de tamanho relativamente pequeno e delicadas, as briófitas estão amplamente distribuídas pelo mundo e habitam preferencialmente os ambientes úmidos e sombreados, mas nunca o ambiente marinho (Buck e Goffinet 2000). Ocorrem em ambientes extremos como desertos, regiões do Ártico e na Antártica (Buck e Goffinet 2000).

Atualmente na Antártica, prevalecem os musgos (divisão Bryophyta), possuindo 116 espécies e 17 famílias (Ochyra et al. 2008; Ellis et al. 2013, 2013 a; Sollman et al. 2015; Câmara et al. 2019) e as hepáticas (divisão Marchantiophyta), que estão representadas por 27 espécies (Bednarek-Ochyra et al. 2000).

As condições extremas, impostas pelo inverno escuro e prolongado, limitam a ocorrência de espécies vegetais na região, especialmente as angiospermas, uma vez que as condições climáticas dificultam a sua germinação e estabelecimento (Putzke e Pereira 1990). Existem apenas duas espécies de fanerógamas nativas da Antártica, “Antarctic hairgrass” (*Deschampsia antarctica* E. Desv.) e “Antarctic pearwort” (*Colobanthus quitensis* (Kunth) Bartl.). Elas ocorrem apenas nas ilhas da Scotia Ridge e ao longo da costa ocidental da península Antártica (Ochyra et al. 2008). Sendo capazes de tolerar uma

variedade de condições de habitat devido a uma plasticidade fenotípica considerável em atributos morfológicos ou fisiológicos (Buck e Goffinet 2000), no ambiente antártico terrestre, as comunidades de briófitas se distribuem em habitats úmidos, que recebem água líquida durante o derretimento da neve no período do verão (Wasley et al. 2006).

Os musgos e hepáticas podem ser expostos a temperaturas abaixo de 0°C em plena luz e por isso, desenvolveram mecanismos que evitam danos foto-oxidativos (Melick e Seppelt 1994, Schlensoeg e Schroeter 2000). Segundo Proctor (2007), as briófitas evoluíram a sua tolerância à dessecação e representam uma estratégia alternativa com relação a adaptação à vida em terra, fotossintetizando e crescendo quando a água está disponível em forma de água líquida e suspendendo o metabolismo caso contrário.

Por não possuírem sistema vascular, os gametófitos das briófitas não possuem muitos mecanismos para evitar a dessecação, que caracterizam as plantas vasculares (Proctor et al. 2007). A capacidade de sobreviver à dessecação é frequentemente devida à presença de compostos que protegem a estrutura da membrana durante o processo de dessecação/reidratação (Proctor et al. 2007). Gray (1985) sugere que foi a tolerância ecofisiológica à dessecação e estratégias adequadas de ciclo de vida que permitiram a colonização generalizada durante o Ordoviciano médio (~ 441-504 milhões de anos atrás) a médio Siluriano primitivo (~ 400-440 milhões de anos atrás).

Briófitas são poiquilohídricas (não possuem estrutura especializada na regulação e controle sobre a perda de água) e dependem da presença de água livre durante os meses de verão para ganho e crescimento de carbono fotossintético (Longton 1988). Um fator importante na resistência de plantas poiquilohídricas é o considerável acúmulo e manutenção de níveis relativamente altos de solutos celulares, incluindo lipídios que fornecem proteção durante a dessecação e o congelamento (Roser et al. 1992; Montiel 2000; Robinson et al. 2000), aminoácidos e carboidratos solúveis (Farrar 1976, 1978; Karunen e Salin 1982; Levitt 1980; Longton 1988). Além de fornecer armazenamento rico em energia, os ácidos graxos são importantes para a estrutura da membrana celular e sua função (Hulbert 2003), para o desenvolvimento da tolerância ao frio.

Sendo plantas não vasculares e incapazes de usar estômatos para regular as taxas de evaporação de água pelos seus tecidos gametofíticos (nos musgos, os estômatos são encontrados apenas nos esporófitos e não são funcionais, enquanto os gametófitos são as estruturas vegetativas dominantes, conduzindo a maior parte da fotossíntese), a retenção e a perda de água dos musgos dependem da morfologia das plantas e condições de umidade ambiental (Glime 2017). Desta forma, a extensão das comunidades de musgos

depende da disponibilidade de água, que se apresenta de forma líquida durante o verão e, varia desde extensas turfas de musgos que ocorrem ao redor de lagos derretidos e ao longo de correntes de derretimento até pequenos botões isolados de musgos, encontrados em bolsões de umidade nos afloramentos rochosos (Robinson et al. 2000). Consequentemente, a riqueza de espécies de briófitas está distribuída amplamente às margens dos lagos derretidos, córregos e afloramentos rochosos livres de gelo (Robinson et al. 2000).

As relações planta-água, incluindo captação, transporte e perda de água, são características importantes para descrever o funcionamento de comunidades vegetais e ecossistemas e se tornaram preditores úteis dos efeitos das mudanças climáticas globais (Passioura 2001; Sack et al. 2016). A rápida colonização da comunidade de briófitas nos solos expostos pela recessão de neve e gelo também está associada ao recente aumento da temperatura e às rápidas diminuições na extensão glacial na Antártica Marítima, implicando em mudanças na composição e diversidade das espécies (Convey e Smith 2006).

A composição e diversidade de espécies depende de processos que atuam em diferentes escalas temporais e espaciais (Heino et al. 2007). Dado longos períodos de tempo, supõe-se que todas as espécies sejam capazes de se dispersar para todos os locais da região; portanto, a ausência ou baixa abundância de uma espécie em um local reflete a ação de filtros seletivos, que são essencialmente características de um habitat que pode ser definido em qualquer escala (Tonn 1990; Tonn et al. 1990). Esse conjunto de filtros compõe as “regras de montagem”, termo introduzido pela primeira vez por Diamond (1975). As regras de montagem são regidas por filtros ambientais que selecionam espécies que possuem características similares que as permitem sobreviver e reproduzir efetivamente em um ambiente (Fox e Brown 1993). Por outro lado, a teoria de nicho ecológico (Elton 1927) assume que a co-ocorrência de espécies somente é possível se elas possuírem características distintas entre si, ou seja, baixa sobreposição de nicho. Espécies com características muito similares devem se excluir por causa da competição (Funk et al. 2008).

A composição da comunidade em escala local resulta, portanto, de uma interação de fatores locais e regionais, tanto abióticos quanto bióticos (Menge e Olson 1990; Ricklefs e Schluter 1993; Hildrew e Giller 1994). A estrutura dos filtros pode facilitar o entendimento sobre como as comunidades são montadas e como elas respondem às mudanças ambientais (Keddy 1992). Assim, considerar a ação seletiva dos filtros de

habitat em múltiplas escalas pode aumentar a compreensão e a capacidade preditiva da dinâmica ecológica das comunidades (Feio e Dolédec 2012).

Belyea e Lancaster (1999) agrupam os agentes e fatores de montagem da comunidade em três fatores principais: as restrições de dispersão, as restrições ambientais e as interações bióticas. As restrições de dispersão determinam quais espécies chegam a um determinado local (Booth e Swanton 2002). A capacidade de dispersão dos organismos é um determinante de sua presença ou ausência em uma comunidade. Essa capacidade está ligada à forma de dispersão, ao tamanho do corpo, à conectividade entre habitats e a qualidade dos mesmos (De Biet et al. 2012). A dispersão de longo alcance na escala continental pode operar ao longo de séculos e milênios e explicar, por exemplo, a migração de espécies após a última glaciação (Buck e Goffinet 2000). Com seus numerosos e pequenos esporos, as briófitas são menos limitadas à dispersão pelo vento do que as plantas vasculares em escala continental (Muñoz 2004; During e Lloret 2001). Isso é testemunhado pela grande similaridade na composição das espécies em relação às distâncias continentais e também indica que as distribuições de briófitas podem ser menos limitadas por fatores climáticos, considerando sua tolerância a dessecação e geada (Heinrichs et al. 2009).

Fatores abióticos restringem consideravelmente a 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). A disponibilidade de água é o fator ambiental mais importante relacionado à diferenciação da estrutura da comunidade, afetando a vegetação em combinação com outros fatores, como exposição ao vento e grau de acúmulo de neve. Sendo adaptados e tolerantes ao frio (Rudolph 1971), a baixa temperatura na Antártica tem sido considerada como um dos fatores mais críticos que limitam o crescimento das plantas, porém, a temperatura parece estar relacionada à vida da planta como um fator secundário, limitando a disponibilidade de água (Kennedy 1993; Ando 1979). As observações de Matsuda (1963, 1968) e autores subsequentes (Kobayashi 1974; Nakanishi 1977; Shimizu 1977; Yamanaka e Sato 1977) nas ilhas Ongul do Leste - Antártica e arredores mostram que a distribuição das comunidades de musgos está fortemente correlacionada com a disponibilidade de água através do padrão de nevascas que são afetadas pela direção dos ventos predominantes. O vento é uma variável que influencia diretamente a perda de água nas briófitas. Muitos musgos acrocárpicos crescem em tapetes formando “almofadas apertadas”, reduzindo a relação área/volume da

superfície e, portanto, evitando a perda de água (Glime 2017). Além disso, o estágio inicial do processo de colonização da vegetação foi correlacionado com o tamanho da rocha, natureza do terreno e suprimento de nitrogênio como principais fatores reguladores (Corner e Smith 1973; Smith 1995; Valladares e Sancho 1995).

Fatores bióticos também influenciam na dinâmica interna da vegetação, como a ação microbiana no solo de comunidades de aves e mamíferos através de suas fezes (Mendonça et al. 2010), contribuindo na ciclagem de nutrientes no sistema. A influência de animais, como focas, pinguins e outras aves marinhas, é localmente eficaz na restrição do desenvolvimento da vegetação, onde estes, pisam e causam acúmulo de guano na superfície, destruindo a vegetação (Smith 1972). A distribuição das comunidades vegetais na ilha Rei George, como em outras partes da Antártica, mostra evidências de zonalidade, ou seja, a colonização da vegetação dá-se início na costa e continua para o interior (Beyer e Bölter 2002). A zonalidade pode frequentemente estar relacionada a gradientes ambientais, como a resultante de concentrações variáveis de guano em torno de colônias de pinguins (Beyer e Bölter 2002).

Como mostrado, uma série de controles que atuam em várias escalas determina quais espécies persistem em uma comunidade. As restrições ambientais e de dispersão geralmente montam o cenário para a dinâmica interna no local (Weiher e Keddy 1995). Compreender a dinâmica interna de uma comunidade é, talvez, o aspecto mais difícil da assembléia da comunidade (Booth e Swanton 2002). Processos como competição (Grace e Tilman 1990), predação (Olf et al. 1999) e mutualismo (Withgott 2000) são bem descritos, mas seu papel e como eles interagem para determinar a composição de uma comunidade em particular são pouco compreendidos (Booth e Swanton 2002). Estes processos envolvidos na formação das assembleias são dependentes da escala espacial, já que escalas espaciais maiores comportam uma alta heterogeneidade de habitats, enquanto em escalas espaciais menores os habitats tendem a ser mais homogêneos (Webb et al. 2002; Sobral e Cianciaruso 2012).

Com base nos fatores bióticos e abióticos que influenciam a ocorrência da vegetação Antártica em escala local, o estudo na baía do Almirantado foi contruído a partir da hipótese de que em escalas espaciais menores os habitats tendem a ser mais homogêneos e por sofrerem a ação dos filtros ambientais, espera-se uma homogeneidade em termos de composição da vegetação nas áreas atribuídas na baía, conseqüentemente a riqueza de espécies será semelhante, com possibilidades de nichos sem distinção para a

ocupação das espécies e assim, podendo gerar afinidade na similaridade florística, ou seja, alta similaridade para as áreas atribuídas.

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo Geral**

O presente trabalho teve por objetivo geral, realizar um estudo sobre a distribuição de musgos para a baía do Almirantado, traçando os seguintes objetivos específicos.

#### **2.1.1 Objetivos Específicos:**

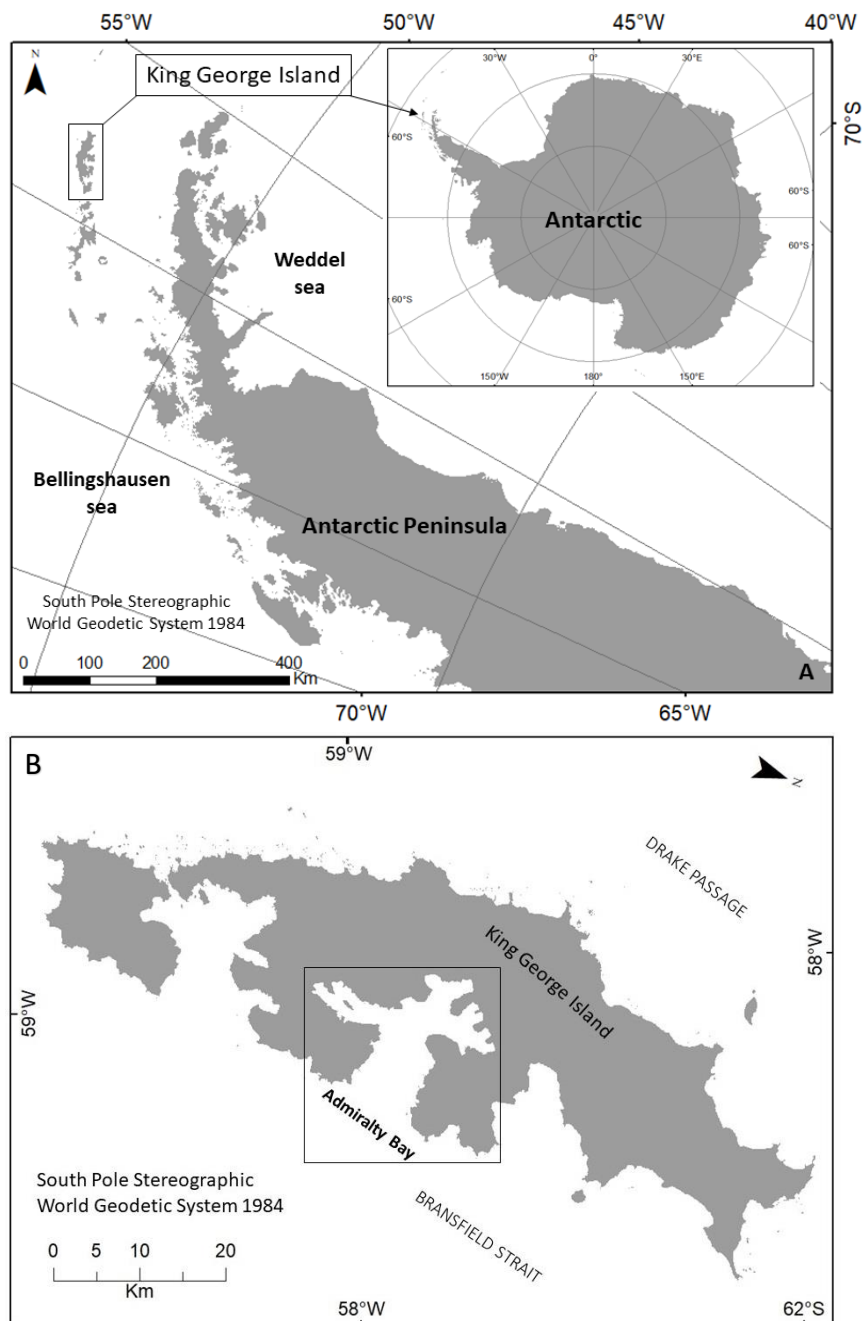
- Atualizar o número de espécies para a Baía do almirantado;
- Atualizar a lista de espécies de musgos do plano de manejo para ASMA N° 1 da Baía Almirantado;
- Detectar variabilidade de riqueza e registros de musgos da Baía do Almirantado;
- Averiguar a existência de similaridade florística entre áreas da Baía do Almirantado;
- Compreender os fatores que moldam a distribuição de musgos na Baía do Almirantado.

## **3. Material e Métodos**

### **3.1 Área de estudo**

O estudo foi realizado na baía do Almirantado (62° 09'S - 58° 28'W) na Antártica Marítima (Figura 1B), que está situada na parte central no interior da Ilha Rei George (Figura 1A e 1B). Pertencente ao arquipélago das Shetlands do Sul, a Ilha Rei George localiza-se entre as coordenadas de 61°54' - 62°16' S e 57°35' - 59°02' W (Moll et al. 2005). Possui um clima oceânico frio e uma temperatura média anual de -1,88 ° C a -1,68 °C, umidade relativa de 89%, precipitação de 437,6 mm, e 92,7% de sua área é coberta por gelo permanente (Simões et al. 1999). Grande parte da superfície é coberta por geleiras e o terreno exposto aproximadamente (8%), não coberto de gelo é encontrado

unicamente nas margens da ilha (Moll et al. 2005). É a maior das baías da Ilha Rei George, possuindo 122,08 km<sup>2</sup> de área de superfície e 83,4 km de costa (Rakusa-Suszczewski 1980a, b, 1987; Marsz e Rakusa-Suszczewski 1987). A baía do Almirantado é uma região que por ser abrigada, apresenta um microclima bastante distinto no que diz respeito as outras partes da ilha, especialmente em relação aos ventos (Lewis-Smith 1972, Putzke e Pereira 2001).



**Figura 1-A.** Localização da Ilha Rei George (King George Island), localizada no arquipélago Shetland do Sul. **B.** Delimitação da Baía do Almirantado (quadrado), localizada na Ilha Rei George.

A área é regida pelo Tratado Antártico, que define as áreas protegidas na Antártica. A baía possui duas áreas protegidas: Áreas Especialmente Protegidas (Antarctic Specially Protected Areas – ASPA Nº 128) e Áreas Especialmente Gerenciadas (Antarctic Specially Managed Areas – ASMA Nº 1), que são locais de interesse científico ou que possuem impactos ambientais acumulativos, onde a entrada é permitida de acordo com as regras definidas do tratado. A delimitação da área de estudo - ASMA - Nº 1 foi utilizada a partir do arquivo shapefile obtido no Antarctic Treaty Secretariat, ([https://www.ats.aq/index\\_e.htm](https://www.ats.aq/index_e.htm)).

### **3.2 Obtenção, identificação e refinamento dos dados**

Os dados empregados neste estudo foram obtidos através do levantamento das ocorrências registradas na literatura, em especial Ochyra et al. (2008), informações dos bancos de dados extraídos dos herbários (AAS, UB, KRAM), do *Species link* (<http://smlink.cria.org.br/>) e ainda, do material coletado na Baía do Almirantado pelo Projeto Evolução e Dispersão de Espécies Antárticas Bipolares de Briófitas e Líquens (EDITAL CNPQ/MCTI-64/2013) durante os verões dos anos de 2013 a 2019 e depositado no herbário UB. Durante a expedição em fevereiro/março de 2019, 17 pontos foram previamente marcados e aproximadamente 300 espécimes foram coletados.

Os espécimes coletados foram identificados seguindo a literatura básica Ochyra et al. (2008), com uso de chaves de identificação até o nível de espécie. As amostras estudadas foram mantidas como amostra-testemunha em lâminas semipermanentes elaboradas com o fixador Hoyer (Anderson 1954). O material e as lâminas foram analisados sob estereoscópio e microscópio óptico para a identificação das espécies.

Para a construção da base de dados, foi elaborada uma planilha compilada de todos os registros, com informações sobre as espécies família, nome científico, coletor, número de coleta, localidade, latitude e longitude.

Posteriormente foi realizado um refinamento dos dados, efetuando sempre que possível uma busca e validação de coordenadas no software Google Earth Pro v. 7.1.8. Além disso, foram excluídas coordenadas ausentes e duplicatas das amostras. Para validação taxonômica dos espécimes coletados e validação de sinônimos, foi efetuada uma busca em publicações recentes e verificação taxonômica utilizando o Tropicos (2020) ([www.tropicos.org](http://www.tropicos.org)).



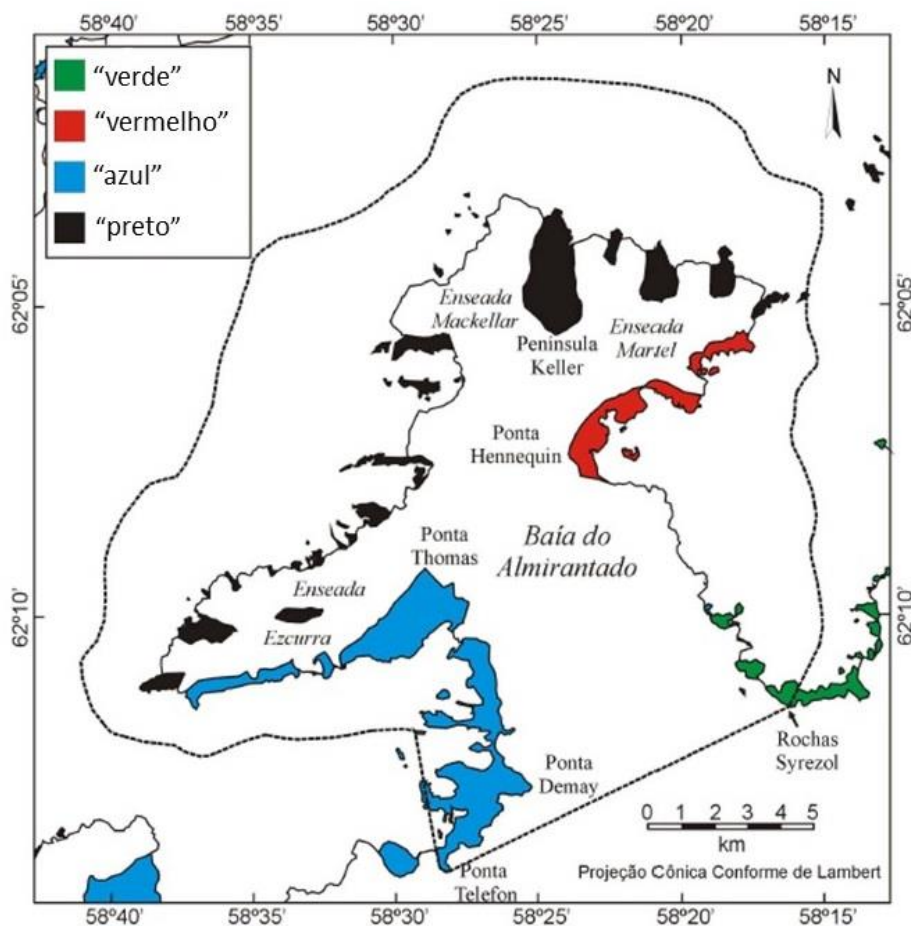
### 3.3 Análise dos dados

Os dados foram sobrepostos em um mapa utilizando o *software* QGIS® v 3.0.3 para verificação da distribuição dos espécimes coletados na Baía do Almirantado e assim, poder identificar as áreas deficientes em amostragem, que foram exploradas na expedição a Antártica no verão de 2019, com o intuito de aumentar o esforço amostral.

Utilizando o *software* DIVA-GIS v. 7.5 (Hijmans et al. 2012), foi realizado um gradeamento por quadrículas de  $0.01^\circ \times 0.01^\circ$ , de aproximadamente 1 km<sup>2</sup>. Em seguida, foram realizadas análises quantitativas de riqueza e de número de registros por cada quadrícula, com o objetivo de averiguar o número espécies e registros coletados para a Baía do Almirantado. A riqueza e os registros foram classificados em categorias, com intervalos iguais de espécies e registros. Com o intuito de averiguar a existência de relação entre a riqueza e a amostragem das espécies, realizou-se uma regressão linear relacionando o número de coletas (registros) e a riqueza estimada.

A suficiência da amostragem foi verificada pela curva de rarefação de espécies, elaborada no programa R (R Development Core Team 2013), com a utilização do pacote *vegan* (Oksanen et al. 2017). A análise de rarefação foi calculada com objetivo de comparar a riqueza em cada área geológica e retirar o efeito da superamostragem em algumas áreas, afim de que seja possível compreender se cada área geológica está amostrada suficientemente para as análises de similaridade realizadas neste estudo.

A curva foi construída por meio do método de aleatorização, com 10.000 permutações (Chiarucci et al. 2008). A distribuição dos valores de riqueza estimados para as unidades amostrais, por meio das permutações, foi inserida na curva de acumulação de espécies. A rarefação calculada para a baía foi separada em quatro grupos geológicos, de acordo com Barton (1965) (Figura 2). As áreas foram caracterizadas: como: Grupo “preto” - Rochas Vulcânicas Jurássicas, o grupo “vermelho” - com a ocorrência de lavas cenozóicas (andesitos), o grupo “azul”, com a ocorrência de lavas cenozóicas (andesitos) e por fim, o grupo “verde” com rochas do tipo olivina-basalto, localizadas na área sudeste da baía, sendo evidenciado na Figura 2. De acordo com Barton (1965), a caracterização dos grupos geológicos se deu pela idade de formação de cada área. O grupo geológico preto possui origem no Jurássico Superior, o grupo vermelho originou-se no Mioceno, o grupo azul no Cretáceo superior e o grupo verde no Pleistoceno recente.



**Figura 2. Mapa geológico da Área Antártica Especialmente Gerenciada da Baía do Almirantado. Delimitação da ASMA N°1 (em linhas tracejadas). Mapa conforme Barton (1965) e Birkenmajer (1980b).**

Para o cálculo da similaridade florística da baía do Almirantado, foi construída uma matriz por comparações qualitativas de presença (1) e ausência (0) de espécies por quadrícula, utilizando os dados coletados. Foi realizado um gradeamento para a contagem de espécies por quadrícula e construiu-se a planilha para realizar a análise. Com relação aos filtros ambientais, definimos as áreas que foram similares com base na geologia (fator abiótico) e na presença de pinguineiras (fator biótico). Para a análise de similaridade com base na geologia, foram definidas quatro áreas dentro da baía, atribuídas de área 1 (A1) até (A4), onde a escolha das áreas foi delimitada a partir do mapeamento geológico para a baía realizado por Barton (1965) (Figura 2).

Para a análise de similaridade com base na presença e ausência de pinguins, foram definidas duas áreas, denominadas de área 1 (A1) e (A2), que foram delimitadas a partir da composição RGB infravermelho 5 4 3, usando a imagem OLI/TIRS Landsat 8/2014,

no *software* QGIS® v 3.0.3. As quadrículas da área 1 foram coloridas de vermelho e as quadrículas da área 2 de preto. Além disso, a área de pinguineira também foi reconhecida durante o campo realizado, corroborando com a composição RGB utilizada para identificar as áreas espacialmente. Para melhor visualização da análise, as terminações do dendrograma referente as quadrículas foram coloridas de acordo com cada área atribuída. As quadrículas preenchidas foram enumeradas de cima para baixo, da esquerda para direita.

A partir disso, foi realizada uma análise de agrupamento (*Cluster analysis*), através do coeficiente de Sørensen, que atribui mais peso às espécies compartilhadas (Magurran 2011) e pelo do Método do grupo de pares usando médias aritméticas ponderadas, para a elaboração do dendrograma – WPGMA Weighted pair group method using arithmetic averages) (Valentin 2012), a partir do *software* R (R Development Core Team 2013), com os pacotes Vegan (Oksanen et al. 2017), ape (Paradis et al. 2004), ade4 (Dray 2007), phangorn (Schliep 2010), gg dendro (de Vries 2015), ggplot2 (Wickham 2016), a partir do método “Mcquitty” (McQuitty 1964).

#### **4. Resultados e discussão**

Os resultados apresentados fornecem o levantamento florístico, a análise de registros e riqueza, a suficiência amostral com base na análise de rarefação e a similaridade florística de musgos para a baía do almirantado, bem como para as áreas protegidas ASMA - N° 1 e ASPA - N° 128.

##### **4.1 Levantamento florístico**

A partir dos dados extraídos da literatura, dos herbários, do ‘*species link*’ e das coletas que foram realizadas na Baía do Almirantado entre os anos de 2013 a 2018 e sucessivamente com a sobreposição das coletas no mapa, observou-se locais com baixa intensidade amostral em pontos específicos da Baía. Durante a expedição no ano de 2019, foram registrados 1394 espécimes para a Baía do Almirantado (Tabela 1) e (Fig. 3), onde foram encontradas 63 espécies de musgos para a região (Tabela 2).

**Tabela 1. Levantamento dos espécimes correspondente ao tipo de pesquisa, número total de espécimes e espécies para a Baía do Almirantado.**

<b>Tipo de pesquisa</b>	<b>Número de espécimes</b>	<b>Espécies</b>
Literatura	396	
Herbário - UB	378	
Herbário - AAS	86	
Herbário – KRAM	326	
Species Link	208	
<b>Total:</b>	<b>1394</b>	<b>63</b>

**Tabela 2. Lista das espécies de musgos encontrados na Baía do Almirantado e a frequência em que cada espécie foi registrada nas 116 quadrículas. As espécies com um asterisco indicam novas ocorrências para a Baía do Almirantado (Continua).**

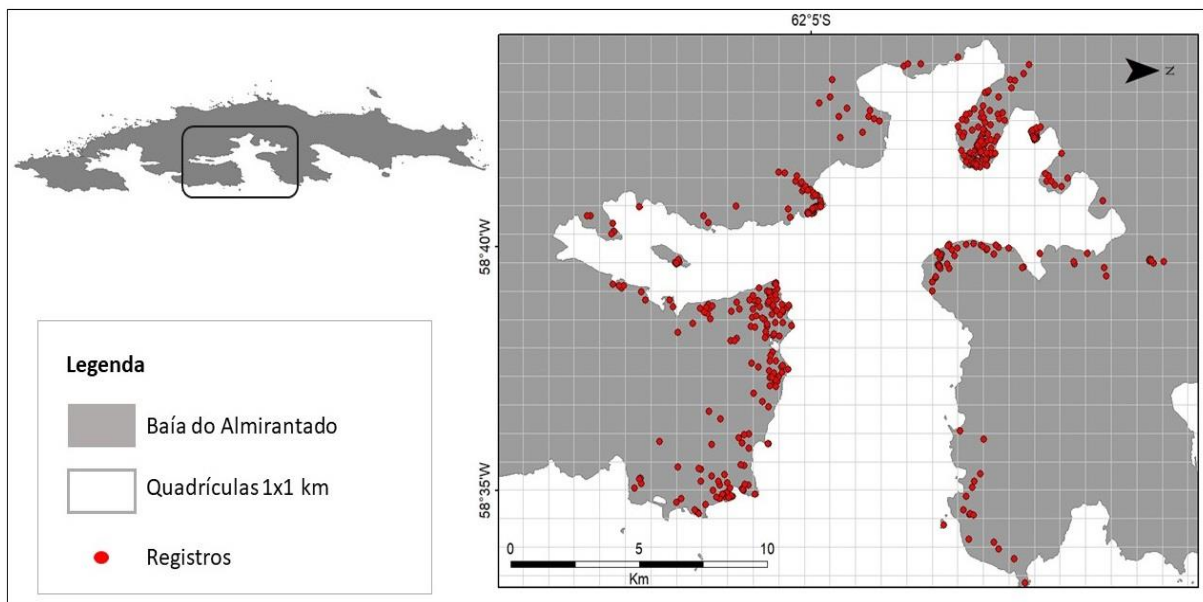
<b>Lista de espécies</b>	<b>Frequência</b>
<i>Sanionia uncinata</i> (Hedw.) Loeske	42
<i>Syntrichia magellanica</i> (Mont.) R.H. Zander	39
<i>Bryum pseudotriquetrum</i> (Hedw.) G. Gaertn., B. Mey. & Scherb.	38
<i>Andreaea gainii</i> Cardot	35
<i>Bartramia patens</i> Brid.	32
<i>Polytrichastrum alpinum</i> (Hedw.) G.L. Sm.	32
<i>Andreaea regularis</i> Müll. Hal.	30
<i>Syntrichia saxicola</i> (Cardot) R.H. Zander	28
<i>Brachythecium austrosalebrosus</i> (Müll. Hal.) Kindb.	25
<i>Hymenoloma antarcticum</i> (Müll. Hal.) Ochyra	24
<i>Schistidium antarctici</i> (Cardot) L.I. Savicz & Smirnova	24
<i>Syntrichia filaris</i> (Müll. Hal.) R.H. Zander	24
<i>Warnstorfia sarmentosa</i> (Wahlenb.) Hedenäs	22
<i>Sanionia georgicouncinata</i> (Müll. Hal.) Ochyra & Hedenäs	22
<i>Roaldia revoluta</i> (Mitt.) P.E.A.S. Câmara & Carv.-Silva	19
<i>Hennediella antarctica</i> (Ångstr.) Ochyra & Matteri	18
<i>Andreaea depressinervis</i> Cardot	17
<i>Chorisodontium aciphyllum</i> (Hook. f. & Wilson) Broth.	15

**Tabela 2. Lista das espécies de musgos encontrados na Baía do Almirantado e a frequência em que cada espécie foi registrada nas 116 quadrículas. As espécies com um asterisco indicam novas ocorrências para a Baía do Almirantado (Continua).**

<b>Lista de espécies</b>	<b>Frequência</b>
<i>Pohlia cruda</i> (Hedw.) Lindb.	14
<i>Ceratodon purpureus</i> (Hedw.) Brid.	13
<i>Meesia uliginosa</i> Hedw.	13
<i>Hymenoloma crispulum</i> (Hedw.) Ochyra	12
<i>Conostomum magellanicum</i> Sull.	10
<i>Distichium capillaceum</i> (Hedw.) Bruch & Schimp.	10
<i>Polytrichum piliferum</i> Hedw.	10
<i>Sciuro-hypnum glaciale</i> (Schimp.) Ignatov & Huttunen Schimp.	10
<i>Warnstorfia fontinaliopsis</i> (Müll. Hal.) Ochyra	9
<i>Bryum archangelicum</i> Bruch & Schimp.	8
<i>Pohlia nutans</i> (Hedw.) Lindb.	8
<i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw.	8
<i>Bucklandiella sudetica</i> (Funck) Bedn-Ochyra & Ochyra	7
<i>Ditrichum hyalinum</i> (Mitt.) Kuntze	7
<i>Henediella heimii</i> (Hedw.) R.H. Zander	7
<i>Hymenoloma grimmiaceum</i> (Müll. Hal.) Ochyra	7
<i>Brachythecium austroglareosum</i> (Müll. Hal.) Kindb.*	6
<i>Pohlia drummondii</i> (Müll. Hal.) A. L. Andrews in Grout	5
<i>Schistidium amblyophyllum</i> (Müll. Hal.) Ochyra & Hertel	5
<i>Pohlia wahlenbergii</i> (F. Weber & D. Mohr) A.L. Andrews	4
<i>Bryum argenteum</i> Hedw.	3
<i>Ditrichum hyalinocuspdatum</i> Cardot	3
<i>Encalypta rhaptocarpa</i> Schwaegr.	3
<i>Muelleriella crassifolia</i> (Hook. f. & Wilson) Dusén	3
<i>Notoligotrichum trichodon</i> (Hook. f. & Wilson) G.L. Sm.*	3
<i>Schistidium rivulare</i> (Brid.) Podp.	3
<i>Brachythecium subpilosum</i> (Hook. f. & Wilson) A. Jaeger*	2
<i>Bryum pallescens</i> Schleich. ex Schwägr.	2
<i>Schistidium andinum</i> (Mitt.) Herzog	2

**Tabela 2. Lista das espécies de musgos encontrados na Baía do Almirantado e a frequência em que cada espécie foi registrada nas 116 quadrículas. As espécies com um asterisco indicam novas ocorrências para a Baía do Almirantado.**

<b>Lista de espécies</b>	<b>Frequência</b>
<i>Schistidium Halinae</i> Ochyra	2
<i>Schistidium lewis-smithii</i> Ochyra*	2
<i>Schistidium urnulaceum</i> (Müll. Hal.) B. G. Bell.	2
<i>Schistidium steerei</i> Ochyra	2
<i>Schizymerium pusillum</i> (Hook. f. & Wilson) A.J. Shaw*	1
<i>Campylopus vesticaulis</i> Mitt.*	1
<i>Cratoneurosis relaxa</i> (Hook. f. & Wilson) M. Fleisch.	1
<i>Dicranella campylophylla</i> (Taylor) A. Jaeger*	1
<i>Gemmabryum dichotomum</i> (Hedw.) J. R. Spence & H.P. Ramsey*	1
<i>Didymodon brachyphyllus</i> (Sull.) R.H. Zander	1
<i>Kiaeria pumila</i> (Mitt.) Ochyra	1
<i>Orthogrimmia sessitana</i> (De Not.) Ochyra & Żarnowiec	1
<i>Platydictya jungermannioides</i> (Brid.) Crum	1
<i>Pohlia wilsonii</i> (Mitt.) Ochyra*	1
<i>Schistidium falcatum</i> (Hook. f. & Wilson) B. Bremer	1
<i>Schistidium cupulare</i> (Müll. Hal.) Ochyra	1



**Figura 1. Pontos de ocorrência dos espécimes de musgos encontrados na baía do almirantado.**

Das espécies levantadas para a baía, *Sanionia uncinata* (Hedw.) Loeske foi a espécie que obteve maior frequência perante as demais, sendo relatada em 42 das 116 quadrículas, seguido por *Syntrichia magellanica* (Mont.) R.H. Zander em 39 quadrículas, *Bryum pseudotriquetrum* (Hedw.) G. Gaertn., B. Mey. & Scherb. em 38 quadrículas, *Andreaea gainii* Cardot em 35 quadrículas, *Bartramia patens* Brid. e *Polytrichastrum alpinum* (Hedw.) G.L. Sm. em 32 quadrículas.

Este resultado já era esperado, pois *Sanionia uncinata* (Hedw.) é considerado o musgo mais abundante na Ilha Rei George (Ochyra 1998). É uma espécie alpino polar, que está distribuída sobre uma grande área da Antártica (Ochyra 1998). Ela ocorre em uma grande variedade de habitats, superfícies rochosas expostas, locais úmidos próximos a córregos (Nakatsubo e Ohtani 1992), substratos ricos em matéria orgânica, nas praias e terraços marítimos, preferencialmente próximos a colônias de aves (Putzke e Pereira 2001). Além de *Sanionia uncinata*, Ochyra (1998) cita que *Polytrichastrum alpinum* também possui maior abundância na Antártica marítima. Estas duas espécies ocorrem em substratos ricos em matéria orgânica, nas praias e terraços marítimos, dando preferência a locais próximos às colônias de aves (Kanda 1986; Putzke e Pereira 2001).

*Bryum pseudotriquetrum* é altamente dependente das linhas de drenagem formadas pelo degelo sazonal no verão austral (Allison e Lewis-Smith 1973; Kanda 1986). Em contrapartida, *Bryum pallescens* Schleich. ex Schwägr. possui a mesma especificidade de habitat que *Bryum pseudotriquetrum*, porém, *B. pallescens* foi

reportado em apenas uma quadrícula neste estudo (Kanda e Ohtani 1991). Espécies como *Andreaea depressinervis*, *Bartramia patens* e *Schistidium antarctici* ocorrem preferencialmente em afloramentos rochosos, onde o substrato é facilmente deslocado, seja pela ação da água de degelo ou pelo regime dos ventos (Longton 1988).

Ochyra et al. (1998) citou 54 espécies de musgos presentes para a baía, o plano de manejo reportou cerca de 58 espécies (ASPA 128 2014) e este estudo levantou um total de 63 espécies divididos em 34 generos e 17 famílias presentes na ASMA 1 (Tabela 1 e 2).

Uma possível explicação para o acréscimo do número de espécies pode ser justificada devido a inventários cada vez mais completos e robustos realizados para a área, ocasionando o incremento de novas espécies a cada inventário realizado. Além disso, Turner et al. (2005) cita que ocorreu aumento da temperatura atmosférica de até +0,56° C por década no setor oeste da Península. Este aquecimento foi acompanhado de retração das frentes de gelo, desprendimentos frequentes de icebergs, mudanças no padrão de precipitação e redução do gelo marinho sazonal (Arigony-Neto et al. 2006). Com isso, a disponibilidade de água líquida e de novas áreas livres de gelo aumentaram e conseqüentemente, novas áreas para a colonização de espécies de musgos na baía são cada vez mais frequentes.

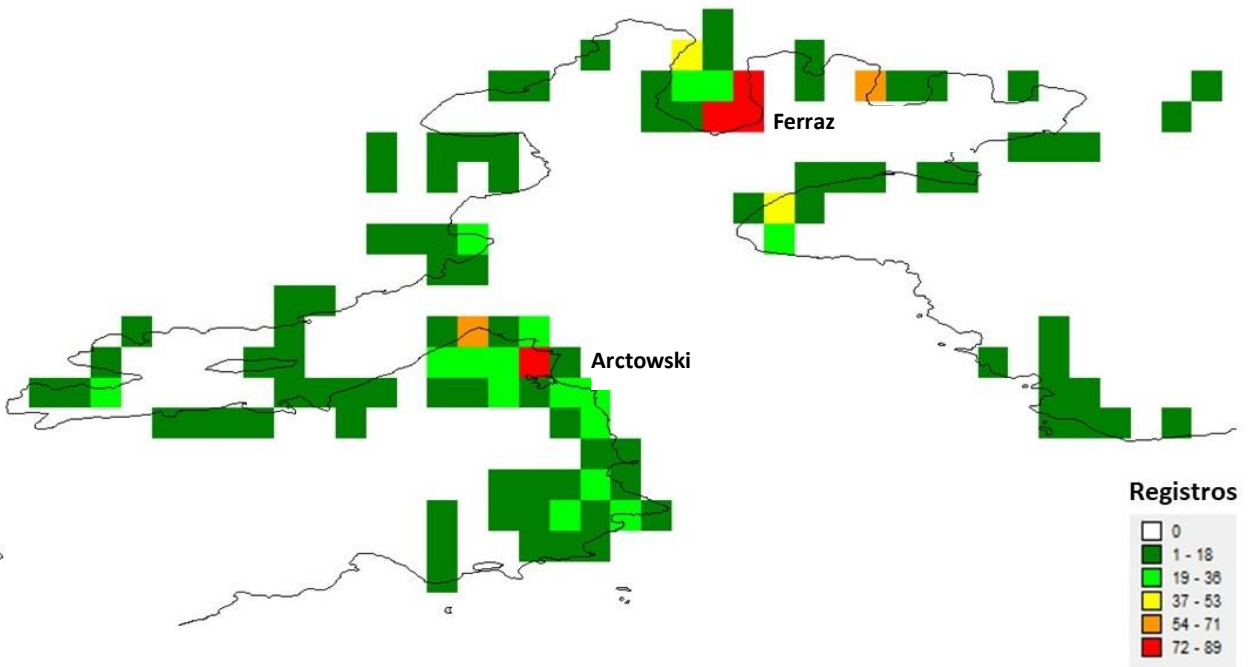
De todas as 63 espécies levantadas para este estudo, 26 espécies foram encontradas em menos que cinco quadrículas e estão localizadas em pontos diferentes da baía do almirantado. Apesar de todas as espécies possuírem distribuição cosmopolita e não estarem ameaçadas de extinção, para uma adequada gestão da ASMA 1 (Fig.4), previsões sobre o ecossistema local são necessárias para auxiliar os órgãos de tomada de decisão no âmbito do Sistema do Tratado da Antártica, visando a conservação da área protegida.

## **4.2 Análise de registros e riqueza**

Para a análise dos registros de musgos, foram adotadas cinco categorias com intervalos iguais de 17 ocorrências, variando de 1 a 89 registros por quadrícula. A primeira categoria variando de (1-18) ocorrências, a segunda (19-36), a terceira (37-53), a quarta (54-71) e a quinta (72-89). Foram preenchidas 116 quadrículas, das quais 92 pertencem à primeira categoria, 16 na segunda, 2 na terceira, 2 na quarta e 4 na quinta.

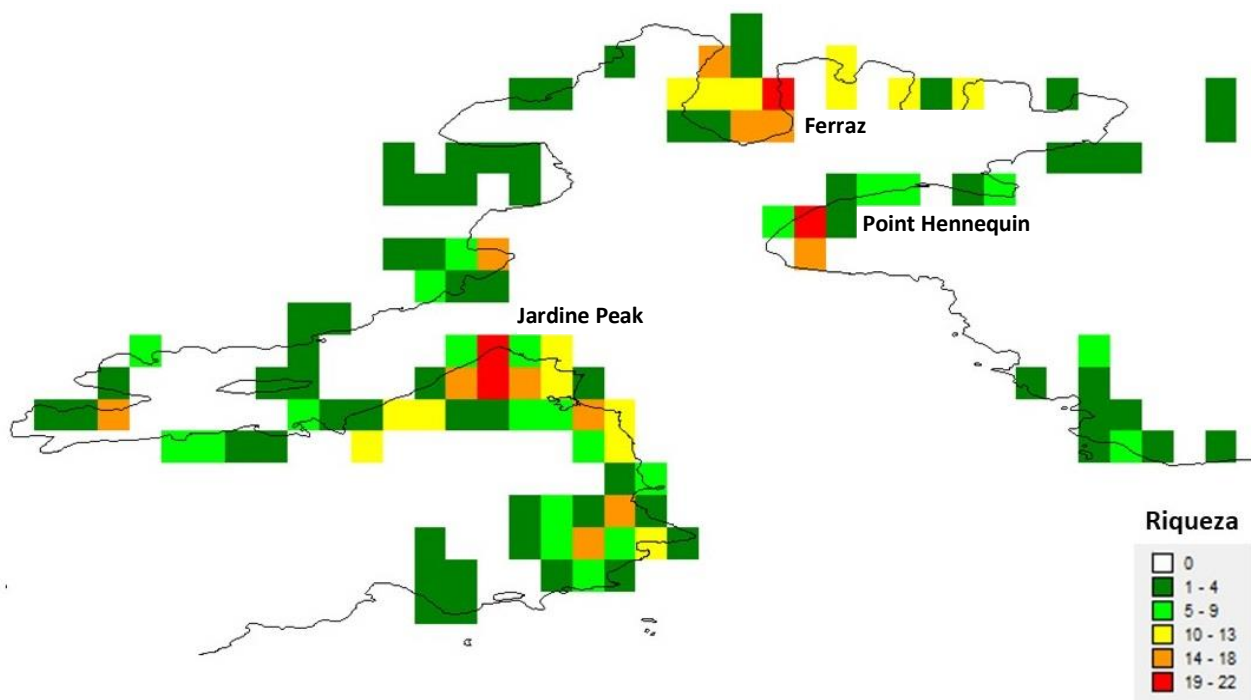


Somente quatro quadrículas apresentaram “registro máximo”, variando de (72-89) registros. Dessas, três estão localizadas próximas à estação de pesquisa brasileira “Comandante Ferraz” e uma está localizada próxima às imediações da estação de pesquisa polonesa “Arctowski” (Fig 4):



**Figura 2. Resultado da análise quantitativa de registros por quadrícula para a baía do almirantado.**

Para a análise de riqueza dos musgos, foram adotadas cinco categorias, variando de 1 a 22 espécies por quadrícula, sendo categorizadas como: “Muito baixa” (1-4), “baixa” (5-9), “média” (10-13), “alta” (14-18) e “muito alta” (19-22). Das 116 quadrículas preenchidas, o intervalo de riqueza “muito baixa” (1-4) foi expressamente maior para toda a Baía, sendo encontrado em 64 quadrículas. O intervalo de riqueza “muito alta” foi preenchido em apenas quatro quadrículas, a primeira localizada na Península Keller, próximo à estação de pesquisa brasileira “Ferraz”, a segunda no “Point Hennequin”, a terceira e quarta localizadas em “Jardine peak” – Ezcurra Inlet, próximo às imediações da estação de pesquisa polonesa “Arctowski” (Fig. 5):



**Figura 3. Resultado da análise quantitativa de riqueza para a baía do almirantado.**

As quadrículas que apresentaram riqueza “muito alta” são afloramentos rochosos, características dos estágios iniciais das sucessões vegetais (Pereira et al. 2007). Os valores de riqueza “baixa” encontradas na maioria das quadrículas, podem ser justificados devido a inacessibilidade do pesquisador juntamente ao perigo de chegar em alguns locais e a especificidade de hábitat em que as comunidades de musgos apresentam. Com base nas 63 espécies levantadas neste estudo, as quatro quadrículas que apresentaram riqueza alta representam cerca de 35% do valor da riqueza total encontrada para a baía. Este resultado evidencia que a riqueza total de espécies não está concentrada em apenas uma única localidade, estando assim distribuídas ao longo de toda baía, podendo explicar a baixa riqueza encontrada na maioria das quadrículas.

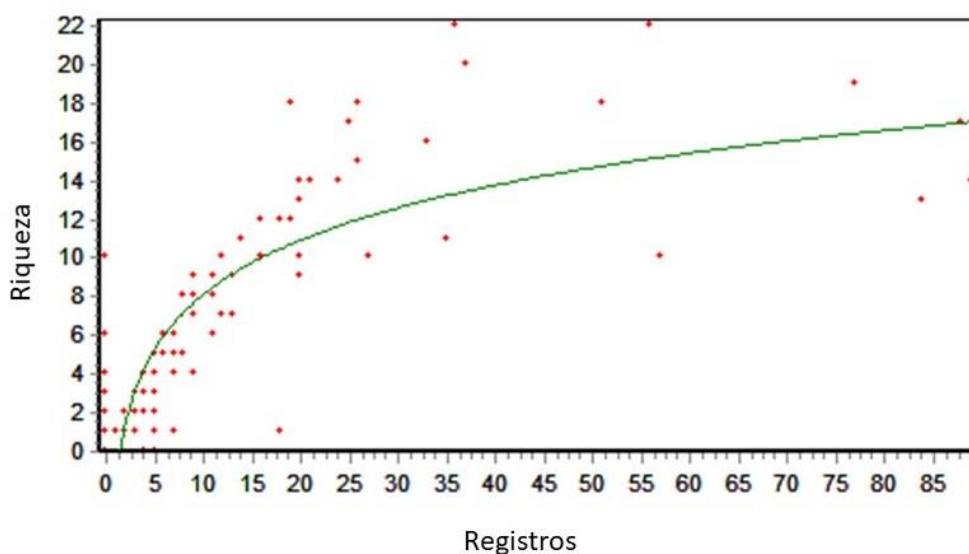
Os musgos desenvolvem-se principalmente na rocha ou solo úmidos, mas dependendo da espécie pode haver uma preferência por um ou outro tipo de substrato, contituindo diferentes tipos de habitats tais como fendas nas rochas, linhas de drenagem, solo, entre outros (Rebelatto et al. 2010). Além disso, de maneira geral, o espaço limitado de áreas livres de gelo na Baía do Almirantado (8%), é um fator limitante para o crescimento da população vegetal (Croxall 1984).

A ocorrência e as diferenciações das comunidades são principalmente afetadas pelas condições climáticas, particularmente pela duração da cobertura de neve e vento,

além da quantidade de água disponível, do tipo de substrato e da presença de atividade animal (Olech 1993). Além disso, as taxas baixas de fluxo de energia e ciclagem de nutrientes, associado ao lento desenvolvimento das comunidades de musgos, fazem com que esses ecossistemas possuam uma grande sensibilidade às perturbações (Walker et al. 1997).

### 4.3 Suficiência amostral

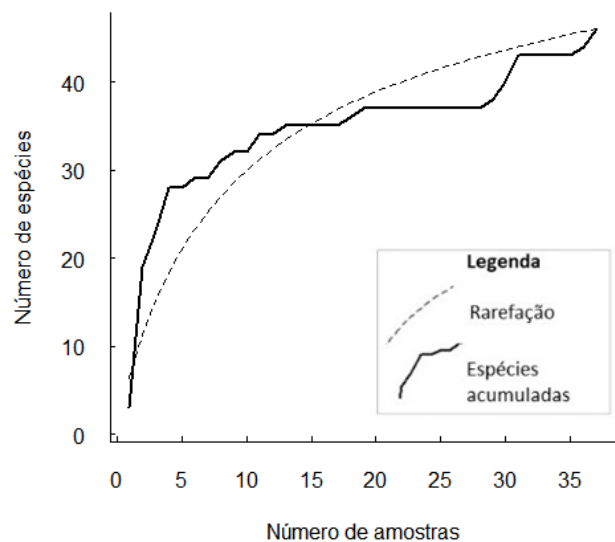
O resultado a seguir mostra a correlação entre o número de registros e a riqueza observada para toda a baía. O  $R^2$  representa a variância da variável dependente (Riqueza) que é explicada pela variável independente (Registros), onde o coeficiente de correlação é o parâmetro que explica a regressão entre os pontos. A regressão logarítmica apresentou um  $R^2$  de 0.75, ou seja, 75 % dos registros conseguem explicar a riqueza de espécies no modelo (Fig. 6):



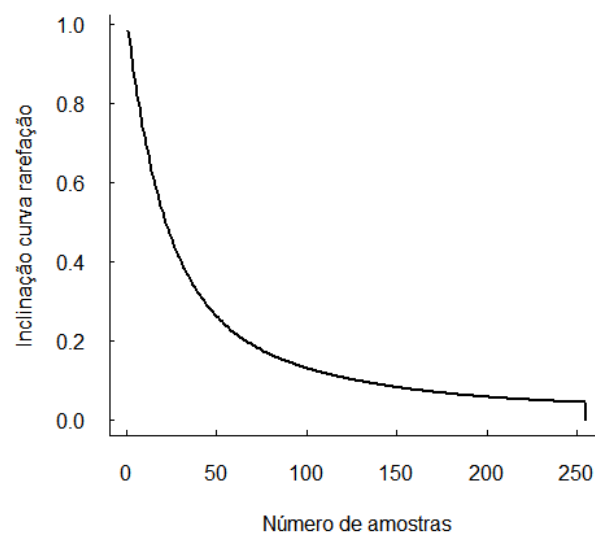
**Figura 4. Regressão logarítmica entre o número de coletas (registros) e a riqueza observada.**

A regressão realizada entre o número de registros e a riqueza estimada evidenciou que em alguns pontos que possuem maior número de registros estão abaixo da curva e que em alguns casos não há relação entre o número de registros coletados e a maior riqueza estimada para a baía. Esta afirmação pode ser confirmada a partir do resultado da análise de registros (Figura 4), onde algumas quadrículas que obtiveram registro máximo não apresentaram riqueza alta ou muito alta.

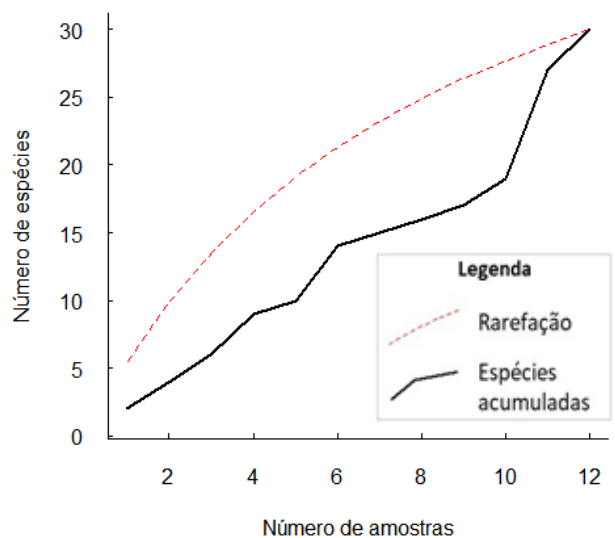
Com base na análise de rarefação, onde a mesma reduz os dados amostrados a um nível comum de abundância (tipicamente o mesmo número de indivíduos) de forma que possam ser feitas comparações diretas da riqueza de espécies das comunidades (Magurran 2011), os resultados a seguir apresentam a curva de rarefação e de acúmulo de espécies (Figuras 7, 9, 11, e 13) e as curvas de inclinação da rarefação (Figuras 8, 10, 12 e 14) para cada grupo geológico da baía:



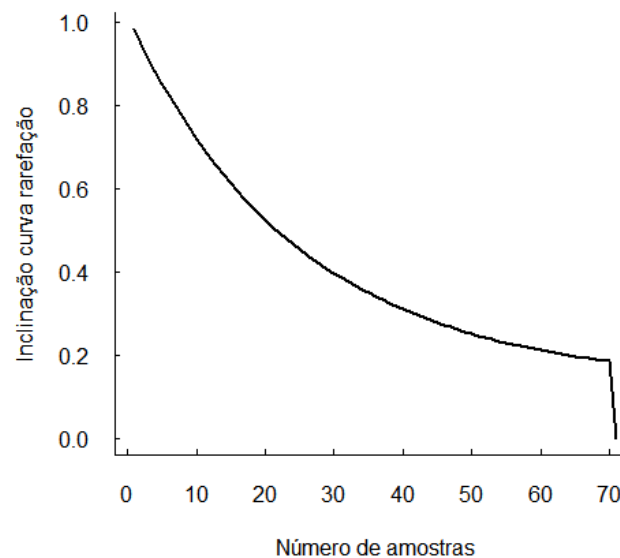
**Figura 7. Curva de rarefação e de acúmulo de espécies de musgos para o grupo geológico "preto".**



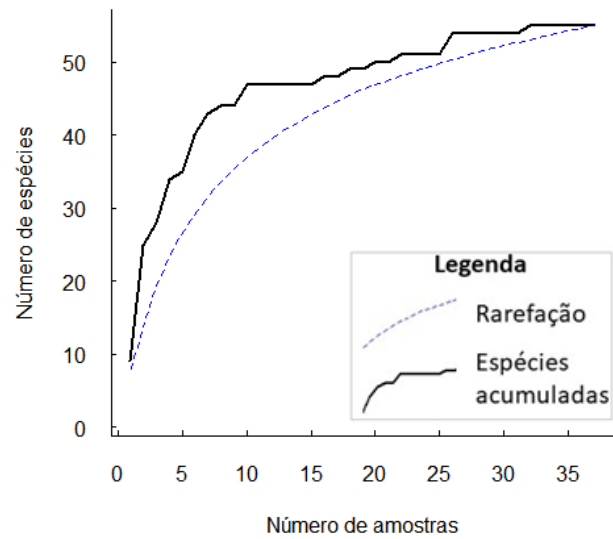
**Figura 8. Inclinação da curva de rarefação em relação ao número de amostras para o grupo geológico "preto".**



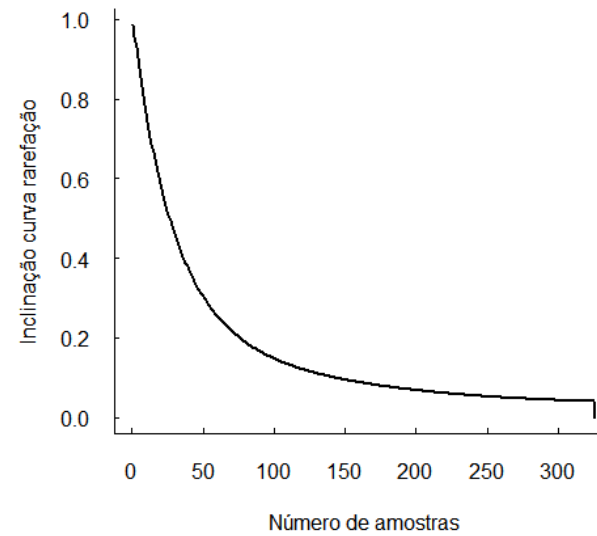
**Figura 9. Curva de rarefação e de acúmulo de espécies de musgos para o grupo geológico "vermelho".**



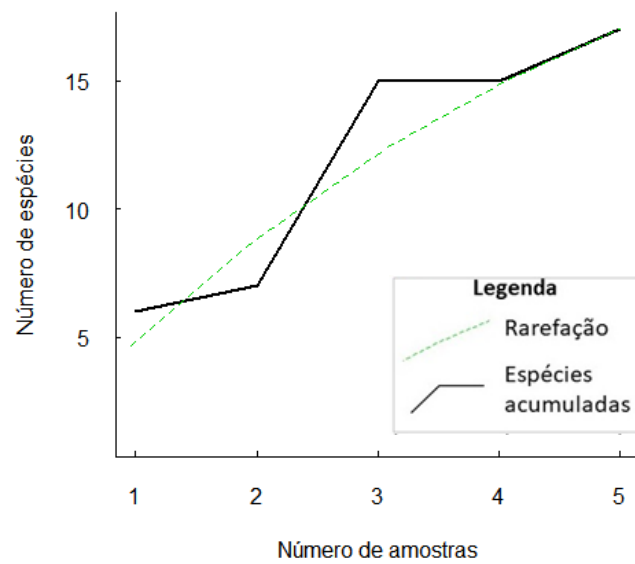
**Figura 10. Inclinação da curva de rarefação em relação ao número de amostras para o grupo geológico "vermelho".**



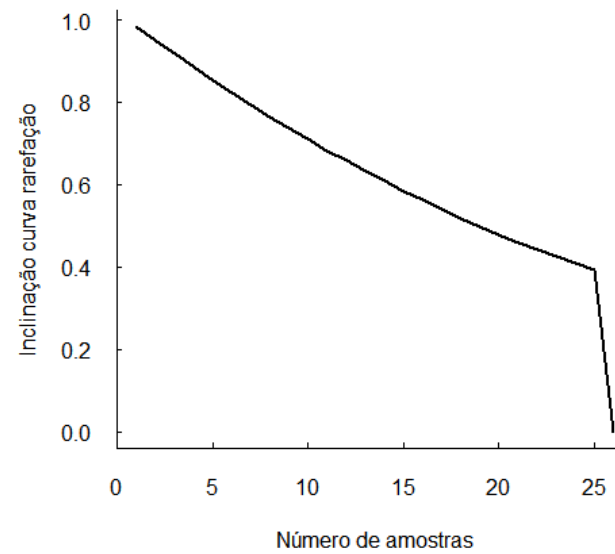
**Figura 11.** Curva de rarefação e de acúmulo de espécies de musgos para o grupo geológico "azul".



**Figura 12.** Inclinação da curva de rarefação em relação ao número de amostras para o grupo geológico "azul".



**Figura 13.** Curva de rarefação e de acúmulo de espécies de musgos para o grupo geológico "verde".



**Figura 14.** Inclinação da curva de rarefação em relação ao número de amostras para o grupo geológico "verde".

Magurran (2011) cita que a rarefação e curvas suavizadas de acúmulo de espécies são proximamente relacionadas, como pode ser observado nas curvas desta análise (Figuras 7, 9, 11, e 13). Para todos os grupos geológicos, as curvas evidenciaram que a rarefação possuiu um comportamento crescente e com o aumento do esforço amostral, a curva de espécies poderia sofrer acréscimos (Magurran 2011).

Com relação ao grupo geológico “preto” (Figura 7), a curva está relativamente próxima de atingir sua assíntota, estimando até o presente momento cerca de 50 espécies. Esta afirmativa pode ser confirmada observando o comportamento da curva de inclinação da rarefação (Figura 8), onde a inclinação da rarefação alcança próximo a 0.1 quando o esforço amostral atinge 250 espécimes coletados até o presente momento. O resultado afirma a área está bem amostrada e que é preciso que a área geológica necessite de um esforço amostral acima 250 espécimes para que a curva de rarefação tenda a permanecer constante. A curva estimou que o grupo geológico preto possui aproximadamente 80% da riqueza total de espécies de musgos encontradas para a baía.

O resultado da rarefação foi semelhante para o grupo geológico azul, onde a curva está próxima de atingir sua assíntota, estimando até o momento cerca de 60 espécies para a área geológica (Figura 11). Observando o comportamento da curva de inclinação da rarefação (Figura 12), a curva alcança próximo a 0.1 quando o esforço amostral atinge 300 espécimes coletados até o presente momento. O resultado afirma que a área está bem amostrada e que é preciso que a área geológica necessite de um esforço amostral acima 300 espécimes para que a curva de rarefação tenda a permanecer constante.

Além disso, o grupo geológico “azul” está localizado em uma ASPA - *Antarctic Specially Protected Area* N° 128, que é considerado por possuir tamanho suficiente para proteger os valores para os quais é necessária a proteção especial, incluindo numerosos exemplos das características representadas (por exemplo, comunidades de plantas e animais), que devem garantir que a área seja capaz de suportar mudanças que possam surgir de pressões locais ou regionais (ASPA N° 128 2014). A curva de rarefação estimou que o grupo geológico azul possui aproximadamente 95% da riqueza total de espécies de musgos encontradas para a baía. Este resultado corroborou com o último plano de manejo realizado para a região (ASPA N° 128 2014), que reportaram que a área possui uma fauna aviária e de mamíferos diversificada e vegetação localmente rica, representativa do ecossistema terrestre da Antártica. Além disso, no interior da ASPA N° 128 estão localizadas as colônias de reprodução de Pinguins Adélie (*Pygoscelis adeliae*), pinguim-gentoo (*Pygoscelis papua*) e pinguim Chinstrap - Pinguim-de-barbicha (*Pygoscelis*

*antarctica*) estão entre as maiores da ilha Rei George. A área é uma das poucas áreas protegidas em que os três pingüins pygoscelid são encontrados reproduzindo juntos no mesmo local, onde nidificam nos tapetes de musgos (ASPA Nº 128 2014).

A respeito do grupo geológico “vermelho” (Figura 9), a rarefação evidencia que a curva possuiu um comportamento crescente, estimando até o presente momento cerca de 30 espécies. Esta afirmativa pode ser confirmada observando o comportamento da curva de inclinação da rarefação (Figura 10), onde a curva alcança 0.2 quando o esforço amostral atinge 70 espécimes coletados até o presente momento. O resultado afirma que a área está bem amostrada e que é preciso que a área geológica necessite de um esforço amostral acima 70 espécimes até que a curva de rarefação tenda a permanecer constante. A curva de rarefação estimou que o grupo geológico vermelho possui aproximadamente 48% da riqueza total de espécies de musgos encontradas para a baía.

O comportamento crescente para a curva de rarefação foi evidenciado para o grupo geológico “verde” (Figura 13), estimando até o presente momento cerca de 20 espécies. A (Figura 14) indica que a inclinação da curva de rarefação chega a 0.4 com aproximadamente 25 espécimes coletados. O resultado afirma que curva ainda não atingiu a sua assíntota e que é preciso que a área geológica necessite de um esforço amostral acima 25 espécimes até que a curva de rarefação tenda a permanecer constante.

Apesar da curva de rarefação apresentar um comportamento ainda crescente, sugerindo uma reamostragem para o local, toda área da baía foi visitada durante os anos de 2013 a 2019 e sendo reconhecido em campo que em algumas áreas livres de gelo ao longo da costa eram desprovidos de vegetação. A especificidade de habitat em que as comunidades de musgos apresentam e que é citada por Rebelatto et al. (2010), corrobora com o que foi visto em campo, onde estas, desenvolvem-se principalmente em rochas ou solo úmidos, podendo haver uma preferência por um tipo de substrato, constituindo diferentes tipos de habitats preferencialmente abrigados de vento.

O grupo geológico verde, localizado na entrada da baía - lado direito do mapa (fig. 2), é caracterizado por possuir uma alta declividade e estar sob forte regência da ação de ventos, provindos do estreito de Brainsfield. Dada a declividade do terreno e o forte intemperismo físico atuando sobre a área, o substrato é facilmente deslocado, seja pela ação da água de degelo ou pelo regime dos ventos (Longton 1988), impedindo o estabelecimento da vegetação. Assim, uma menor riqueza de espécies já era esperada para a região.



#### 4.4 Análise de similaridade

Para a análise de similaridade com base na presença e ausência de pinguins, foram definidas duas áreas, denominadas de área 1 (A1) e área 2 (A2). A área 1 foi caracterizada pela presença de pinguins (pinguineira) e a área 2, pela ausência de pinguins. O resultado a seguir fornece a composição RGB (infravermelho) 5 4 3 a partir da imagem de satélite Landsat 8/OLI/2014 (Operational Terra Imager) utilizada para caracterizar as áreas 1 e 2, sendo elucidado na figura 15:

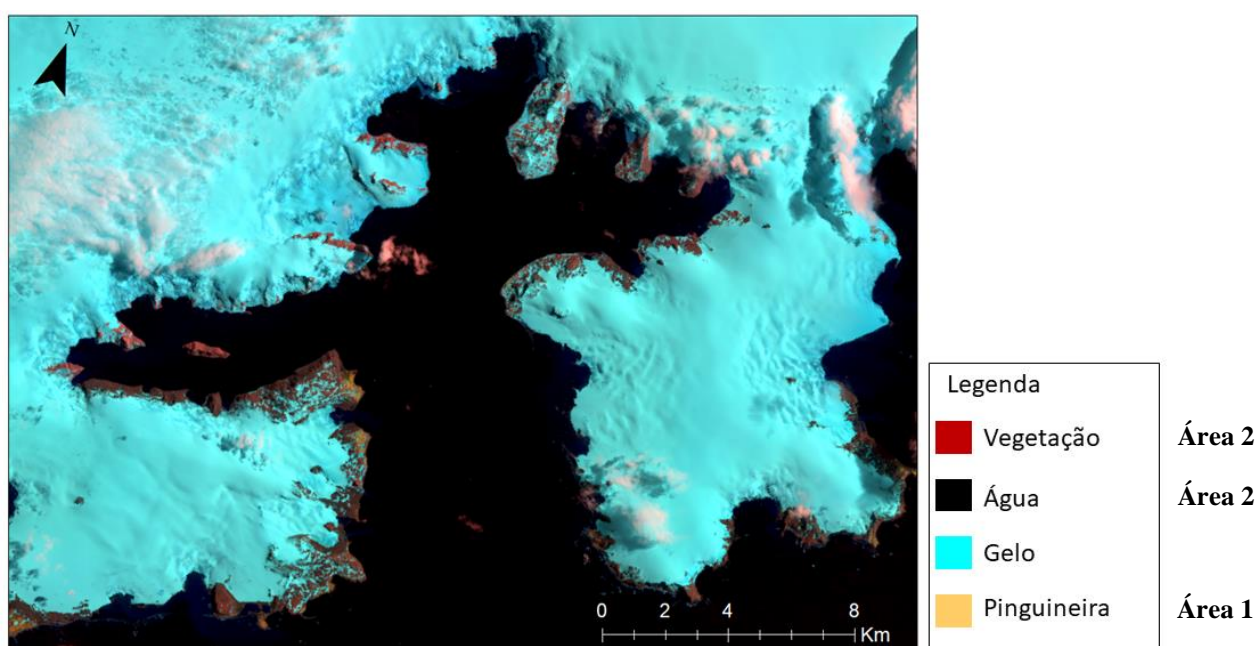


Figura 15. Composição RGB infravermelho 5 4 3 para a baía do Almirantado – Landsat 8/OLI/2014.

A utilização de composições coloridas com as bandas 5, 4 e 3 (infravermelho), independentemente da ordem, é bastante aplicada em análises relacionadas à vegetação e cobertura do solo (Ponzoni e Shimabukuro 2010). No resultado apresentado com base na caracterização das áreas (Fig. 15), a coloração avermelhada nas áreas livres de gelo indicou a ação de atividade fotossintética em toda baía, ou seja, a região do infravermelho próximo (720-1100nm) promoveu uma refletância que é atribuída à estrutura do mesófilo da planta, indicando a presença de vegetação (Ponzoni e Shimabukuro 2010).

A água é facilmente interpretada, já que ela absorve grande quantidade do infravermelho e do visível, por isso a sua cor é preta. O gelo limpo e compactado possui

menor reflectância na faixa do verde e do vermelho, adquirindo em função disso sua tonalidade azul (Kääb et al. 2003), validando com o resultado encontrado nesta análise.

A área de pinguineira foi facilmente observada na região, onde além do local ter sido reconhecido em campo, o resultado evidenciou que o solo da pinguineira apresentou uma coloração amarelo/alaranjado, devido ao grande acúmulo de guano na superfície (Simas 2006). A partir das características apresentadas nesta análise, a composição RGB 543 auxiliou na separação da área de pinguineira (A1) e da área sem pinguineira (A2). As áreas que apresentaram coloração amarelo/alaranjado foram separadas no grupo (A1) – solo ornitogênico e as outras demais áreas livres de gelo que apresentaram a coloração avermelhada foram categorizadas como área 2 (A2).

A partir da análise de similaridade entre as áreas amostrais baseado na composição de espécies de musgos, o dendrograma apresentou um coeficiente de correlação cofenética de (0.744), tanto para análise de similaridade com base no solo da pinguineira (Fig. 16) quanto para áreas geológicas (Fig. 17), mostrando um médio grau de deformação do dendrograma, confirmando que análise ainda precisa ser ajustada para que a coesão aumente (Palmer 1993). Dentre as 116 quadrículas preenchidas com pelo menos uma espécie, 24 quadrículas são correspondentes a área (A1) e 92 quadrículas a área 2 (A2). A similaridade entre as unidades amostrais de musgos apresentou um baixo índice de Sørensen ( $<0,6$ ) entre os dois grupos, ou seja, a maior parte dos grupos compartilham menos de 60% das espécies apresentadas neste estudo, apresentando uma heterogeneidade nas áreas definidas (Figura 16):

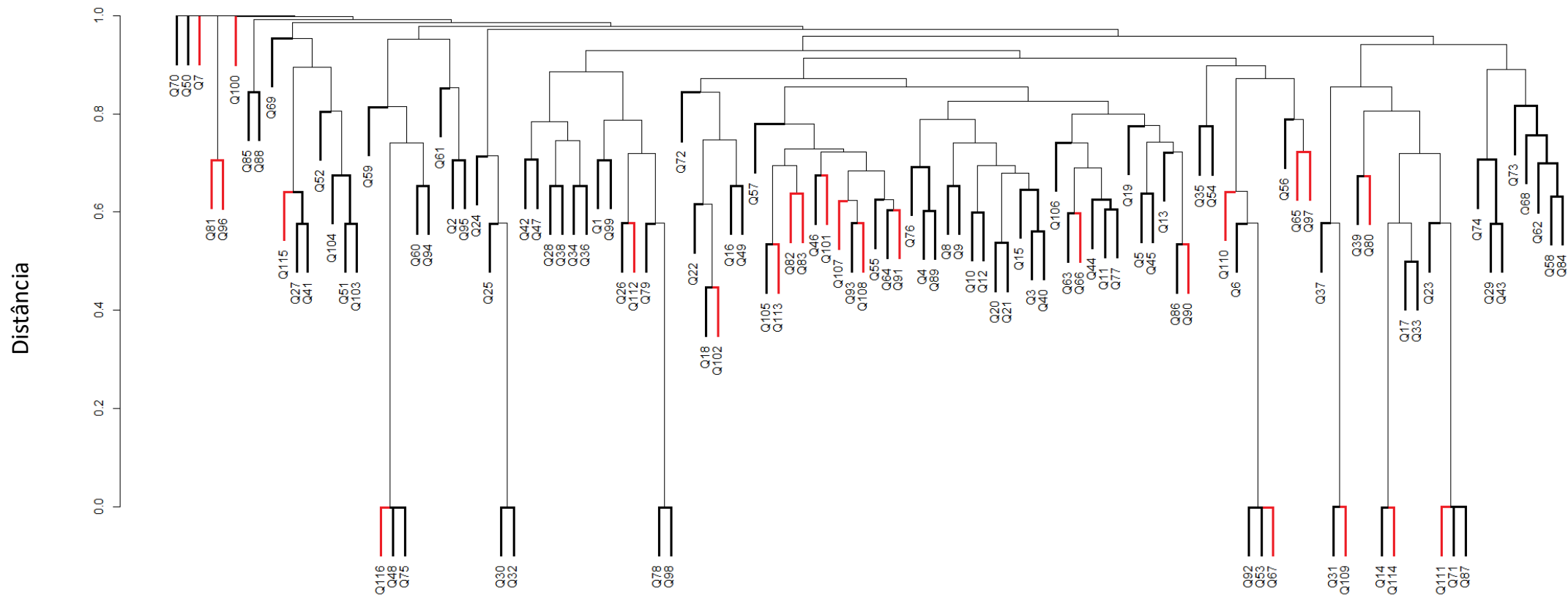


Figura 16. Dendrograma de similaridade entre as áreas (A1 e A2), de acordo com a composição de espécies por unidade amostral, utilizando o coeficiente de Sørensen e o método do grupo de pares usando médias aritméticas ponderadas (WPGMA). O eixo x representa as quadrículas, variando de Q1-Q116. O eixo y representa a similaridade (distância) entre os grupos 1 e 2, variando de 0 (menos distante) a 1 (mais distante). Coeficiente de correlação cofenética: (0.744). A1: solo ornitogênico (colorido em vermelho). A 2: solo não ornitogênico (colorido em preto).

Espécies que estão sob a mesma influência dos fatores ambientais tendem a agrupar-se, ou seja, era esperado que as características intrínsecas que atuam sob os diferentes tipos de solo (ornitogênico (A1) e não ornitogênico (A2) agrupassem a comunidade de briófitas, atuando como um filtro ambiental responsável por moldar a assembléia de comunidades em escala local.

Com base na (A1), o solo ornitogênico é relevante quanto a diferenciação do solo, onde os pinguins e as aves marinhas depositam grandes quantidades de guano, provenientes de suas fezes e através do processo de fosfatização, um conjunto de minerais de fostato é precipitado, formando os solos ornitogênicos conhecidos para a região. Devido ao acúmulo de guano, estes solos são caracterizados por serem ricos em material orgânico de fácil decomposição, misturado a uma matriz mineral rica em fosfato e seixos sobre manto rochoso (Michel et al. 2012). Possuem um pH que varia de 3.8 - 5.8, possuindo também níveis elevados de nitrogênio e fósforo (Michel et al. 2012).

Tais áreas, contudo, podem propiciar o crescimento de espécies tolerantes ao aporte concentrado de guano, denominadas espécies ornitocóprófilas, como a *Prasiola crispa* (Lightfoot) Menegh. (alga Chlorophyta) (Longton 1988; Simas 2006). 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 crispa*, atingindo cobertura densa e diversificada cobrindo quase totalmente a superfície do solo após muitos anos (Rakusa Suszczewski et al. 1998; Tatur 1989).

Presume-se que as espécies de briófitas que habitam a baía foram selecionadas por filtros ambientais e que a assembleia de briófitas hoje existente possua características similares que as permitem sobreviver e reproduzir efetivamente neste ambiente (Funk et al. 2008), filtradas pelas restrições de dispersão, as restrições ambientais e as interações bióticas (Belyea e Lancaster 1999). Por mais que em escalas espaciais menores os habitats tendem a ser mais homogêneos (Webb et al. 2002; Sobral e Cianciaruso 2012), o resultado apresentado afirmou o contrário, onde as espécies sob os filtros selecionados (solos ornitogênicos e solos não ornitogênicos) não estão sob o mesmo agrupamento, ou seja, os filtros não atuam como modeladores das assembleias de comunidades na baía, sendo evidenciado no dendrograma (Fig.16).

Por outro lado, a teoria de nicho ecológico assume que a co-ocorrência de espécies que utilizam recursos de maneira similar não deve coexistir (Funk et al. 2008), somente

é possível se elas possuírem características distintas entre si, ou seja, baixa sobreposição de nicho. Porém, de acordo com (Buck e Goffinet 2000), as briófitas necessitam de poucos recursos para colonizar um dado ambiente, ou seja, necessitam da presença de água e pequenas quantidades de nutrientes para o seu estabelecimento e sua sobrevivência em uma comunidade. Dada essas condições, presume-se que a competição entre as espécies (Grace e Tilman 1990) dentro da baía é baixa, ou seja, que a exclusão competitiva entre os grupos é baixa, podendo explicar a heterogeneidade entre as áreas.

Em escala continental as briófitas apresentam grande similaridade, isso indica que as distribuições de briófitas podem ser menos limitadas por fatores climáticos, considerando sua tolerância a dessecação e geada (Heinrichs et al. 2009).

O resultado a seguir elucidado o dendrograma de similaridade entre as áreas amostrais baseado na composição de espécies de musgos em função das quatro áreas geológicas. A área 1 foi caracterizada pelo grupo geológico “preto” - Rochas Vulcânicas Jurássicas, a área 2 pelo grupo “vermelho” - lavas cenozóicas (andesitos), a área 3 para o grupo “azul” - lavas cenozóicas (andesitos) e a área 4 para o grupo “verde” - rochas do tipo olivina-basalto (Fig 17):

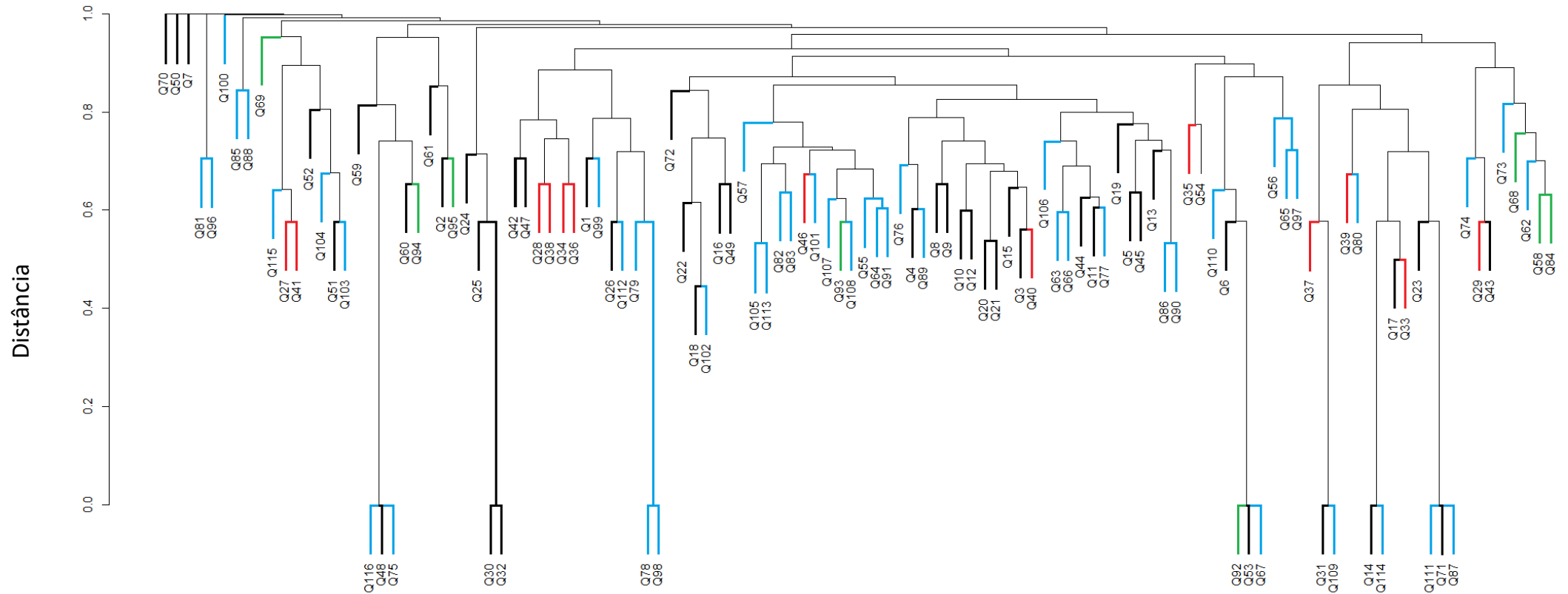


Figura 17. Dendrograma de similaridade entre as áreas A1: “preto”, A2: “vermelho”, A3: “azul” e A4: “verde” de acordo com a composição de espécies por unidade amostral, utilizando o coeficiente de Sørensen e o método do grupo de pares usando médias aritméticas ponderadas (WPGMA). O eixo x representa as quadrículas, variando de Q1-Q116. O eixo y representa a similaridade (distância) entre os grupos 1 e 2, variando de 0 (menos distante) a 1 (mais distante). (Coeficiente de correlação cofenética: 0.744).

Dentre as 116 quadrículas preenchidas com pelo menos uma espécie, 46 quadrículas são correspondentes a área (A1) – grupo “preto”, 13 quadrículas para (A2) – grupo “vermelho”, 8 quadrículas para (A3) – grupo “verde” e 49 para (A4) – grupo “azul”. A similaridade entre as unidades amostrais de musgos apresentou um baixo índice de Sørensen ( $<0,6$ ) entre os quatro grupos, apresentando uma heterogeneidade nas áreas definidas, onde as espécies sob os filtros selecionados (quatro diferentes tipos geológicos) não estão sob o mesmo agrupamento, possuindo assim, as mesmas premissas para o resultado encontrado com base nos solos ornitogênicos (Fig. 16).

Assim, presume-se que outros fatores ambientais podem atuar como filtros que restringem consideravelmente a 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).

Um fator abiótico importante que explique a heterogeneidade das áreas estudadas é a disponibilidade hídrica, que é citada na literatura como o fator ambiental mais importante relacionado à diferenciação da estrutura da comunidade, afetando a vegetação em combinação com outros fatores, como exposição ao vento, graus de acúmulo de neve (Rudolph 1971). Aliado a isso, um estudo realizado por Simas (2006) quanto a mineralogia, gênese, classificação e biogeoquímica sobre os solos da baía do Almirantado cita que o local possui quatro diferentes tipos de solos, caracterizados como solos basálticos/andesíticos, solos ácidos sulfáticos, fracamente ornitogênicos e ornitogênicos. Estes, são encontrados em diferentes pontos da Baía do Almirantado, podendo explicar a heterogeneidade encontrada nesta análise, com base no fator abiótico – tipo de solo.

As briófitas, por sua complexidade reprodutiva e morfológica, não produzem mitósporos, como fazem as algas e certos fungos e, dessa maneira, a fragmentação do gametófito e a produção de propágulos exercem a mesma função, ou seja, dispersão por propagação vegetativa (Bastos 2008). Isso lhes facultou ocupar habitats relativamente áridos, ou aqueles em que a disponibilidade de água seja irregular, como é o visto ambiente Antártico, uma vez que o processo de fecundação necessita de água para ocorrer (Bastos 2008). Por mais que a propagação vegetativa tenda a promover habitats homogêneos, a vegetação antártica é regida por diversos fatores ambientais bióticos e abióticos descritos neste estudo que atuam como filtros promovendo a heterogeneidade da vegetação na baía.

## 5. Considerações finais

A Baía do Almirantado é uma região de grande valor ambiental, histórico, científico e estético. A ocupação humana aumentou nos últimos anos, Hofman (2000) alerta para o fato de que o crescente número de turistas provenientes dos “navios de cruzeiro”, somado as demais atividades científicas já desenvolvidas no local, podem causar impactos negativos perante a vegetação. Usualmente, a criação de um plano de gestão para uma ASPA - Área Antártica Especialmente Protegida possui razões voltadas para a conservação da fauna ou por estarem localizadas em áreas que possuam sítios arqueológicos de relevância histórica ou científica. Este trabalho ressalva a importância da criação de áreas Antárticas especialmente protegidas com um enfoque na vegetação, visto que este estudo reportou cerca de 95% da riqueza de espécies de musgos ocorrentes na Antártica no interior da ASPA N°128.

Embora alguns autores sugiram que a brioflora antártica seja bem conhecida (Putzke e Pereira 2001, Ochyra et al. 2008) e que o levantamento da brioflora da Baía do Almirantado já tenha sido realizado (Putzke & Pereira 1990; Ochyra 1998), existe uma deficiência de trabalhos envolvendo a riqueza e diversidade de espécies na Baía do Almirantado. Conhecendo a riqueza e diversidade local, é possível sugerir planos de conservação com enfoque na vegetação, a fim de que ocorra o mínimo de perturbações ao ecossistema local.

Desta maneira, foi possível observar como a análise de riqueza e as curvas rarefação são importantes ferramentas para adequação do esforço amostral, estas análises fornecem contribuições para fundamentar tomadas de decisões baseadas na riqueza taxonômica e no estabelecimento de estratégias para conservação da biodiversidade.

A partir da hipótese citada para este estudo, os resultados encontrados mostraram que as espécies sob os filtros selecionados (solos ornitogênicos, solos não ornitogênicos e diferentes extratos geológicos) não estão sob o mesmo agrupamento, ou seja, os filtros não atuam como modeladores das assembleias de comunidades na baía, concluindo que outros fatores ambientais são responsáveis por moldar a estrutura da comunidade na baía do Almirantado. Sugere-se que o principal fator responsável pela montagem da comunidade de musgos existente na baía seja a disponibilidade hídrica, visto que a extensão das comunidades de musgos depende diretamente da presença de água para atingir o sucesso reprodutivo, sendo citada como o fator mais importante quanto a diferenciação da comunidade de musgos.



Com o levantamento das espécies de musgos deste estudo, conclui-se que 54% de toda a diversidade de musgos ocorrentes na Antártica está presente na ASMA N° 1, criando assim, uma necessidade de monitoramento ambiental para a preservação da vegetação na baía.

O plano de manejo para a Baía do Almirantado realizado em 1996 foi revisto no ano de 2019. Por conseguinte, com apoio do Ministério do Meio Ambiente, este trabalho serviu como subsídio para a atualização da lista de espécies de musgos encontrados na baía para a elaboração do novo plano de manejo.

Conclui-se que os estudos ecológicos são importantes para conhecer a estrutura das comunidades de briófitas na região, entendendo sua distribuição, podendo assim, estabelecer diretrizes para áreas mais sensíveis a perturbações.

## **6. Plano de Publicação**

Espera-se publicar um artigo científico na revista Polar Biology, onde a mesma publica artigos originais, resenhas e notas curtas, onde é o foco de pesquisadores que trabalham nas regiões polares. Também é de interesse para cientistas que trabalham em biologia em geral, ecologia e fisiologia, bem como em oceanografia e climatologia relacionadas à vida polar. A Polar Biology apresenta resultados de estudos em plantas, animais e microrganismos de habitats marinhos, límnicos e terrestres nas regiões polares e subpolares de ambos os hemisférios.

O título ainda está sendo estudado e poderá sofrer modificações ao decorrer das análises, sendo proposto como: **Richness and bryofloristic heterogeneity in Admiralty Bay, Antarctic.**

## 7. Bibliografia

- Allison JS, Lewis-Smith RI (1973) The vegetation of Elephant Island, South Shetland Islands. *British Antarctic Survey Bulletin*, 33-34: 185-212
- Anderson LE (1954) Hoyer's solution as a rapid permanent mounting medium for bryologists. *The Bryologist*, 57:242-244
- Ando H (1979) Ecology of terrestrial plants in the Antarctic with particular reference to Bryophytes. *Mem. Nat. Inst. Polar Res.*, spec. issue 11:81-103
- Arigony Neto J (2006) Monitoring glacier parameters on the Antarctica Peninsula. Tese de Doutorado, Universidade de Freiburg, Faculty of Florest and Enviromental Science, pp. 136
- Bardat J, Aubert M (2007) Impact of forest management on the diversity of corticolous bryophyte assemblages in temperate forests. *Biological Conservation* 139:47-66
- Barton CM (1965) The geology of south Shetland Islands. III. The stratigraphy of King George Island. *British Antarctic Survey Report* 44:1-33
- Bastos CJP (2008) Padrões de reprodução vegetativa em espécies de Lejeuneaceae (Marchantiophyta) e seu significado taxonômico e ecológico. *Brazilian Journal of Botany*, 31(2):309-315
- Bednarek-Ochyra H, Ochyra R, Lewis Smith RI (2000) The liverwort flora of Antarctica. *Polish Academy of Sciences, Krakow*, pp. 238
- Belyea LR, Lancaster J (1999) Assembly Rules Within a Contingent Ecology. *Oikos*, September, pp. 402-416
- Beyer L, Bölter M (2002) Geocology of Antarctic Ice-Free Coastal Landscapes. *Ecological Studies. Germany*, 154:227

- Bintanja R (1995) The local surface energy balance of the Ecology Glacier, King George Island, Antarctica: measurements and modelling. In: BINTANJA, R. (ed.) The Antarctic ice sheet and climate. Amsterdam, Utrecht University, pp. 41-59
- Birkenmajer K (1980b) Report on geological investigations of King George Island, South Shetlands Islands (west Antarctica) in 1978/79. *Studia Geologica Polonica*, 66:89-105
- Birkenmajer K, Zastawniak E (1989) Late Cretaceous-Early Neogene vegetation history of the Antarctic Peninsula sector, Gondwana break-up and Tertiary glaciations. *Bulletin of Polish Academy: Earth Sciences*, 37(1-2):63-88
- Booth BD, Swanton CJ (2002) Assembly theory applied to weed communities. 50th Anniversary. Invited Article. *Weed Science*, 50:2–13
- Buck WR, Goffinet B (2000) Morphology and classification of mosses. *Bryophyte Biology*. England, pp. 71-123
- Câmara PEAS, Valente DV, de Amorim ET, (2019) Integrated analysis of intraspecific diversity in the bipolar moss *Roaldia revoluta* (Mitt.) P.E.A.S. Câmara & M. Carvalho-Silva (Bryophyta) in Antarctica. *Polar Biol.* 42:485–496
- Cañadas ES (2001) Espacios protegidos y política territorial en la isla Shetland del Sur, (Antártida). *Boletín de la A.G.E.*, (1):5-21
- Chiarucci A, Bacaro G., Rocchini D, Fattorini L. (2008) Discovering and rediscovering the sample-based rarefaction formula in the ecological literature. *Commun. Ecol.* 9:121-123
- Convey P (2001) Antarctic Ecosystems. *Encyclopedia of Biodiversity*. ed. by S. Levin. San Diego: Academic Press, 1:171-184

- Convey P, Smith RIL (2006) Responses of terrestrial Antarctic ecosystems to climate change. *Plant Ecology*, 182:1–10
- Corner RWM, Smith RIL (1973) Botanical evidence of ice recession in the Argentine Islands. *British Antarctic Survey Bulletin*, 35:83–86
- Croxall JP (1984) Seabirds. In: *Antarctic ecology*, editado por LAWNS, R.M. London: Academic Press, pp. 371
- De Biet, De Meester L, Brendonck L, Martens K, Goddeeris B (2012) Body size and dispersal mode as key traits determining metacommunity structure of aquatic organisms. *Ecol Lett*, 15:740–747
- De Vries A, Ripley BD (2015) *ggdendro*: create dendrograms and tree diagrams using ‘ggplot2’. R package version 0(1):17
- Diamond JM (1975) Assembly of Species Communities. In M. L. Cody, & J. M. Diamond, *Ecology and Evolution of Communities* (pp. 342-444). Cambridge, Massachusetts, US: Harvard University Press, pp. 545
- Dray S, Dufour AB (2007) The *ade4* package: implementing the duality diagram for ecologists. *Journal of Statistical Software*, 22 (4):1-20
- During HJ, Lloret F (2001) The species-pool hypothesis from a bryological perspective. *Folia Geobotanica*, 36:63–70
- Dutra TL (2001) Paleofloras da ilha 25 de Mayo, Península Antártica: contribuição à paleogeografia, paleoclima e para a evolução de Nothofagus. *Asociación Paleontológica Argentina, Publicación Especial* 8:29-37

- Ellis LT, Asthana AK, Gupta R, Nath V, Sahu V, Bednareck-Ochyra H, Ochyra R, Cykowska B, Calvo Aranda S, Fischer E, Gabriel R, Gosrski P, Gremmen N, Hespanhol H, Kurbatova LE, Lewsis-Smith RI, Long DG, Bell D, Mogro F, Sergio C, Garcia CA, Stow S, Martins A, Smith VR, Vana J, Vanderpoorten A (2013) New national and regional bryophyte records, 34. *J Bryol* 35:62-70
- Ellis LT, Bednarek-Ochyra H, Ochyra R, Benjumea MJ, Saïs LV, Caparrós R, Lara Mazimpaka V, Dulin MV, Garilletei R, Gremmen N, Grundling P-L, Heras P, Infante M, Huttunen S, Ignatov MS, Korvenpää T, Lebouvier, Lewis Smith MRI, Lin JD Yang, Linström A, Novotný I, Plášek V, Rosselló JA, Sawicki J, Van Rooy J, Smith VR (2013a) New national and regional bryophyte records, 35. *Journal of bryology* 345:129–139
- Elton, C. 1927. *Animal ecology*. Sidwick & Jackson, London.
- Farrar JF (1976) Ecological physiology of the lichen *Hypogymnia physodes*. II. Effects of wetting and drying cycles and the concept of physiological buffering. *New Phytologist* 77:105-11
- Farrar JF (1978) Ecological physiology of the lichen *Hypogymnia physodes*. IV. Carbon allocation at low temperatures. *New Phytologist* 81:65-69
- Feio MJ, Dolédec S (2012) Integration of invertebrate traits into predictive models for indirect assessment of stream functional integrity: a case study in Portugal. *Ecological Indicators* 15(1):236–247
- Fernández EG, Serrano AMV (2009) Atividade biológica das Briófitas. *Âmbito Cultural* pp. 190
- Fox BJ, Brown JH (1993) Assembly Rules for Functional Groups in North American Desert Rodent Communities. *Oikos*, 67, pp. 358-370
- Frego KA (2007) Bryophytes as potential indicators of forest integrity. *Forest Ecology and Management* 242:65-75

- Funk JL, Cleland EE, Suding KN, Zavaleta ES (2008) Restoration through reassembly: Plant traits and invasion resistance. *Trends in Ecology and Evolution*, Cambridge, 23(12):695-703
- Glime JM (2017) Physiological ecology. In: Glime JM, ed. *Bryophyte ecology*. Ebook sponsored by Michigan Technological University and the International Association of Bryologists
- Goffinet B, Buck WR, Shaw, AJ (2009) Morphology and Classification of the Bryophyta. In: Goffinet, B. & Shaw, A.J. (eds.). *Bryophyte Biology*. New York: Cambridge University Press, pp. 55-138
- Grace JB, Tilman D (1990) *Perspectives on Plant Competition*. San Diego: Academic Press, pp. 504
- Gradstein SR (2001) The Liverwort Flora of Antarctica. Book review. *Antarctic Science* 13: pp 222
- Gradstein SR, Churchill SP, Salazar-Allen N (2001) Guide to the Bryophytes of Tropical America. *Memoirs of the New York Botanical Garden* 87:1-301
- Gray J (1985) The microfossil record of early land plants: Advances in understanding of early terrestrialization, 1970- 1984. *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond. B* 309:167-195
- Heino J, Mykrä H, Muotka T (2007) Ecological filters and variability in stream macroinvertebrate communities: do taxonomic and functional structure follow the same path? *Ecography* 30(2):217-230
- Hespanhol H, Vieira CC, Séneca A (2008) *Briófitas*. Porto: Vertigem pp. 36
- Hijmans RJ, Guarino L, Mathur P (2012) DIVA-GIS version 7.5, Manual available at <[www.diva-gis.org](http://www.diva-gis.org)>

- Hildrew AG, Giller PS (1994) Patchiness, species interactions and disturbance in the stream benthos. *Aquatic Ecology: scale, pattern and process* (eds P.S. Giller, A.G. Hildrew & D.G. Raffaelli), Blackwell Science, Oxford. pp. 21–62
- Heinrichs J, Hentschel J, Feldberg K, Bombosch A, Schneider H. (2009) Phylogenetic biogeography and taxonomy of disjunct distributed bryophytes. *Journal of Systematics and Evolution*, 47:497–508
- Hofman RJ (2000) Assessment of the possible cumulative environmental impacts of commercial ship-based tourism in the Antarctic Peninsula area. In: *Workshop Held, la Jolla, California*, pp. 23
- Hulbert AJ (2003) Life, death and membrane bilayers. *The Journal of Experimental Biology* 206:2303-2311
- Kääb A, Paul F, Huggel C, Kieffer H, Kargel J, Wessels R (2003) Glacier monitoring from ASTER imagery: Accuracy and applications. *EARSeL workshop on remote sensing of land ice and snow*, Berne, 2:43-53
- Kanda H (1986) Moss communities in some ice-free areas along Soya Coast, East Antarctica. *Proceedings of NIPR Symposium on Polar Biology*, 4:114-122
- Lawver LA, Dalziel IWD, Norton IO, Gahagan LM (2009) *The PLATES 2009 Atlas of Plate Reconstructions (750 Ma to Present Day)*, PLATES Progress Report No. 325-0509. University of Texas, pp. 157
- Kanda H, Ohtani S (1991) Morphology of the aquatic mosses collected in lake Yukidori, Langhovde, Antarctica. *Proceedings of NIPR Symposium on Polar Biology*, 4: 114-122
- Karunen P, Salin M (1982) Seasonal changes in lipids of photosynthetically active and senescent parts of *Sphagnum fuscum*. *Lindbergia* 8: 35-44

- Keddy PA (1992) Assembly and response rules: Two goals for predictive community ecology. *Journal of Vegetation Science*, Uppsala, 3(2):57-164
- Kennedy AD (1993) Water as a limiting factor in the Antarctic terrestrial environment: A biogeographical synthesis. *Arct. Alp. Res.* 125: 308-315
- Kobayashi K (1974) Purinsu Orafu engan chiiki ni okeru shokusei (A preliminary report on the vegetation of the Prince Olav Coast, Antarctica). *Nankyoku Shiryo* (Antarct. Rec.), 51(1):8-28
- Levitt J (1980) Responses of Plants to Environmental Stresses. I. Chilling, Freezing, and High Temperature Stresses. New York
- Lewis-Smith RI (1972) Vegetation of the South Orkney Island, with particular references to Singy Island. *British Antarctic Survey Bulletin*, 33-34:89-122
- Lisboa RCL, Ilkiu-Borges AL (1995) Diversidade das briófitas de Belém - PA e seu potencial como indicadoras de poluição. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, série Botânica* 11(2):131-293
- Longton RE (1988) *The Biology of Polar Bryophytes and Lichens*. Cambridge, Cambridge Univ. Press, 1:391
- Magurran AE (2011) *Medindo a diversidade biológica*. Curitiba: Editora da UFPR
- Management Plan for Antarctic Specially Protected Area - ASPA N° 128 (2014) Western shore of Admiralty Bay, King George Island, South Shetland Islands. Disponível em:<[https://www.env.go.jp/nature/nankyoku/kankyohogo/database/jyouyaku/aspa/aspa\\_pdf\\_en/128.pdf](https://www.env.go.jp/nature/nankyoku/kankyohogo/database/jyouyaku/aspa/aspa_pdf_en/128.pdf)> Acesso em: 15/06/2018
- Marsz A, Rakusa-suszczewski S (1987) Charakterystyka ekologiczna rejonu Zatoki Admiralicji. I. Klimat i obszary wolne od lodu. *Kosmos.*, 36(1):103-127



- Matsuda T (1963) Nankyoku Higashi Onguru-to no sen-rui bunpu ni tsuite (The distribution of mosses on East Ongul Island, Antarctica). *Hikobia*, 3:254-265
- Matsuda T (1968) Ecological study of the moss community and microorganisms in the vicinity of Syowa Station, Antarctica. *JARE Sci. Rep., Ser. E (Biol.)*, 29:58
- McQuitty LL (1964) Capabilities and improvements of linkage analysis as a clustering method. *Educational and Psychological Measurement*, 24(3):441–456
- Melick DR, Seppelt RD (1994) The effect of hydration on carbohydrate levels, pigment content and freezing point of *Umbilicaria decussata* at a continental Antarctic locality. *Cryptogamic Botany* 4:212-217
- Mendonça ES, La Scala N, Panosso AR, Simas FNB, Schaefer CEGR (2010) Spatial variability models of CO<sub>2</sub> emissions from soils colonized by grass (*Deschampsia antarctica*) and moss (*Sanionia uncinata*) in Admiralty Bay, King George Island. *Antarc. Sci.*, 23:27-33
- Menge BA, Olson AM (1990) Role of scale and environmental factors in regulation of community structure. *Trends in Ecology and Evolution*, 5:52–57
- Michel RFM, Schaefer CEGR, Poelking EL, Simas FNB, Fernandes Filho EI, Bockheim JG (2012) Active layer temperature in two Cryosols from King George Island, Maritime Antarctica. *Geomorphology* 155-156
- Moll A, Braun M, Luberas A (2005) Determination of glacier velocities on King George Island (Antarctic Peninsula) by DIFSAR. In: *FRINGE ATSR WORKSHOP*, Frascati, Italy. Proceedings, European Space Agency, pp. 469
- Montiel PO (2000) Soluble carbohydrates (trehalose in particular) and cryoprotection in polar biota. *CryoLetters* 21:83-90
- Muñoz J 2004 Wind as a Long-Distance Dispersal Vehicle in the Southern Hemisphere. *Science*, 304(5674), 1144–1147

- Nakanishi S (1977) Ecological studies of the moss and lichen communities in the ice-free areas near Syowa Station, Antarctica. *Nankyoku Shiryo (Antarct. Rec.)*, 59:68-96
- Nakatsubo T, Ohtani S (1992) Note on the structure of moss colonies composed of two species on King George Island, the South Shetland Islands. *Nankyoku Shiryo (Antarct. Rec.)*, 36:285-293
- Ochyra R, Lewis Smith RI, Bednarek-Ochyra H (2008) *The illustrated moss flora of Antarctica*. Cambridge: Cambridge University Press
- Ochyra R (1998) *Moss flora of King George Island*. Polish Academy of Sciences
- Oksanen J, Blanchet FG, Friendly M, Kindt R, Legendre P, Mcglinn D, Minchin PR, O'hara RB, Simpson GL, Solymos P, Stevens MHH, Szoecs E, Wagner H (2017) *Vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.4-0. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan> [Accessado em 05/02/2020]
- Olf H, Brown VK, Dent RH (1999) *Herbivores: Between Plants and Predators*. Oxford: Blackwell
- Olech M (1993) In: RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S. *The Maritime Antarctic Coastal ecosystem of Admiralty Bay*. Warsaw: Polish Academy of Sciences. pp.181-189
- Palmer MW (1993) Putting things in even better order: The advantages of canonical correspondence analysis. *Ecology* 74(8):2215–2230
- Paradis E, Claude J, Strimmer K (2004) APE: Analyses of Phylogenetics and Evolution in R language. *Bioinformatics*, 20(2):289–290

- Passioura JB (2001) Plant–water relations. In: Encyclopedia of Life Sciences (ELS).  
Chichester: John Wiley & Sons, Ltd
- Pereira AB, Spielmann AA, Martins MFN, Francelino MR (2007) Plant communities  
from icefree areas of Keller Peninsula, King George Island. *Antarctic Oecol Brasil*  
11(1):14–22
- Ponzoni, FJ, Shimabukuro, YE (2010) Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação.  
São José dos Campos: Editora Parêntese, 1:140
- Proctor MCF, Oliver MJ, Wood AJ, Alpert P, Stark LR, Cleavitt NL, Mishler BD (2007)  
Desiccation-tolerance in bryophytes: a review. *The Bryologist*, 110(4):595–621
- Putzke J, Pereira AB (1990) Mosses of King George Island, Antarctica. *Pesquisa  
Antártica Brasileira*, 2(1):17-71
- Putzke J, Pereira AB (2001) The Antarctic mosses, with special reference to the South  
Shetland Islands. Canoas/RS: ULBRA (Universidade Luterana do Brasil), pp.196
- R Core Team (2013) R: a language and environment for statistical computing. Vienna: R  
Foundation for Statistical Computing
- Rakusa-Suszczewski S (1980a) The role of near-shore research in gaining and  
understanding of the functioning of the Antarctic ecosystem. *Polskie Archiwum  
Hydrobiologii*, 27:229-233
- Rakusa-Suszczewski S (1980b) Environmental conditions and the functioning of  
Admiralty Bay (South Shetland Islands) as part of the near shore Antarctic  
ecosystem. *Polish Polar Research*, 1:11-27

- Rakusa-Suszczewski S (1987) The matter transport in the near shore ecosystem of the Admiralty Bay (King George Island, South Shetlands). Colloque sur ecologie Marine des îles Subantarctiques et Antarctiques (Paris 25 juin 1985). CNFRA, 57:7-15
- Rakusa-Suszczewski S, Mietus M, Piasecki J (1993) Weather and climate. In: Rakusa-Suszczewski, S. (ed.) The maritime antarctic coastal ecosystem of Admiralty Bay. Polish Academy of Sciences, pp. 19-25
- Rakusa-Suszczewski S, Jażdżewski K, Myrcha A, Olech M (1998) Biological and ecological studies carried out at the Polish Antarctic Station Henryk Arctowski, 1977–1997. Polish Polar Research, 19:37–60
- Rebelatto E, Pereira CK, Albuquerque MP, Victoria FC, Pereira AB (2010) Musgos Da Antártica E Sua Relação Com Habitats De Ocorrência. Unipampa, 2:(1)
- Ricklefs RE, Schluter D (1993) Species diversity: regional and historical influences. Species Diversity in Ecological Communities. Historical and Geographical Perspectives (eds R.E. Ricklefs & D. Schluter), University of Chicago Press, Chicago, pp. 350–363
- Robinson SA, Wasley J, Popp M, Lovelock CE (2000) Desiccation tolerance of three moss species from continental Antarctica. Australian Journal of Plant Physiology 27:379-388
- Roser DJ, Melick DR, Ling HU, Seppelt RD (1992) Polyol and sugar content of terrestrial plants from continental Antarctica. Antarctic Science 4:413-420
- Rudolph ED (1971) Ecology of land plants in Antarctica. Research in the Antarctic, ed . by L. O. QUAM. Washington, Am. Ass. Adv. Sci., 1:191-21
- Sack L, Ball MC, Brodersen C, Davis SD, Des Marais DL, Donovan LA, Givnish TJ, Hacke UG, Huxman T, Jansen S, Jacobsen AL, Johnson DM, Koch GW, Maurel

C, McCulloh KA, McDowell NG, McElrone A, Meinzer FC, Melcher PJ, North G, Pellegrini M, Pockman WT, Pratt RB, Sala A, Santiago LS, Savage JA, Scoffoni C, Sevanto S, Sperry J, Tyerman SD, Way D, Holbrook NM (2016) Plant hydraulics as a central hub integrating plant and ecosystem function: meeting report for 'emerging frontiers in plant hydraulics' (Washington, DC, May 2015). *Plant, Cell & Environment* 39:2085–2094

Santos RC, Lisboa R.L (2003) Musgos (Bryophyta) do Nordeste Paraense, Brasil. Zona Bragantina, Microrregião do Salgado e Município de Vicseu. *Acta Botânica* 33:(3) 415-422

Schlenog M, Schroeter B (2000) Poikilohydry in Antarctic cryptogams and its influence on photosynthetic performance in mesic and xeric habitats, in P. Broady (ed.), *Antarctic Ecosystems: models for wider ecological understanding*, New Zealand Natural Sciences, New Zealand, pp. 175- 182

Schliep KP (2010) phangorn: phylogenetic analysis in R. *Bioinformatics*, 27(4):592–593

Simas FNB (2006) Solos da Baía do Almirantado, Antártica Marítima: Mineralogia, Gênese, Classificação e Biogeoquímica. Tese de doutorado, Viçosa, UFV. Mineralogia, Gênese, Classificação e Biogeoquímica. Tese de doutorado, Viçosa, UFV

Smith RIL (1995) Colonization by lichens and the development of lichen dominated communities in the Maritime Antarctic. *Lichenologist* 27:473–483

Smith RIL (1972) Vegetation of the South Orkney Islands, with particular reference to Signy Island. *Sci. Rep., Br. Antarct. Survey*, 68:(1)1-24

- Shimizu H (1977) Nishi Onguru-to oyobi Teoya-to no shokusei bunpu to kankyo yoin (Vegetational distribution and habitats on West Ongul and Teoya Islands, Antarctica). *Nankyoku Shiryo (Antarct. Rec.)*, 59:97-107
- Simões JC, Bremer UF, Aquino FE, Ferron FE (1999) Morphology and variations of glacial drainage basins in the King George Island ice field Antarctica. *Ann Glaciol* 29:220–224
- Singh M, Rawat AKS, Govindarajan R (2007) Antimicrobial activity of some Indian mosses. *Fitoterapia* 78:156-158
- Sobral FL, Cianciaruso MV (2012) Estrutura filogenética e funcional de assembléias: (re)montando a ecologia de comunidades em diferentes escalas espaciais. *Bioscience Journal* 28:617–631
- Sollman P (2015) The genus *Bryoerythrophyllum* (Musci, Pottiaceae) in Antarctica. *Polish Bot J* 50(1):19-25
- Tatur A (1989) Ornithogenic soils of the maritime Antarctica. *Polish Polar Res.* 10:481–532
- Tonn WM (1990) Climate change and fish communities: a conceptual framework. *Transactions of the American Fisheries Society* 119:337-352
- Tonn WM, Magnuson JJ, Rask M, Toivonen J (1990) Intercontinental comparison of small-lake fish assemblages: the balance between local and regional processes. *American Naturalist* 136:345-375
- Tropicos (2020) Missouri Botanical Garden. <<http://www.tropicos.com.br>>. (acesso em 05 de novembro de 2019)

- Truswell EM (1990) Cretaceous and Tertiary Vegetation of Antarctica. A palynological perspective. In: T.N. Taylor, EL Taylor (eds.), Antarctic paleobiology, its role in the reconstruction of Gondwana, Springer-Verlag, pp. 71-88
- Tuba Z, Slack NG, Stark LR (2011) Bryophyte Ecology and Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge UK
- Turner J, Colwell SR, Marshall GJ, Lachlan-Cope TA, Carleton AM, Jones PD, Lagun V, Reid PA, Iagovkina S (2005) Antarctic climate change during the last 50 years. *International Journal of Climatology*, 3(25):279-294
- Valladares F, Sancho LG (1995) Lichen Colonization and Recolonization of Two Recently Deglaciated Zones in the Maritime Antarctic. *The Lichenologist*, 27(06):485
- Valentin J L (2012) *Ecologia Numérica: Uma Introdução à Análise Multivariada de Dados Ecológicos*. Editora Interciencia, Rio de Janeiro, pp. 154
- Walker, TR, Reid K, Arnould JPY, Croxall JP (1997) Marine debris surveys at Bird Island, South Georgia 1990-1995. *Mar. Pollut. Bull.*, 34(1):61-65
- Wasley J, Robinson SA, Lovelock CE, Popp M (2006b) Some like it wet – biological characteristics underpinning tolerance of extreme water stress events in Antarctic bryophytes. *Functional Plant Biology* 33:443
- Weiher E, Keddy PA (1995) The Assembly of Experimental Wetland Communities. *Oikos*, 73(3), Septiembre, pp. 323-335
- Wen J, Kang J, Xie Z, Han J, Lluberas A (1994) Climate, mass balance and glacial changes on small dome of Collins Ice Cap, King George Island, Antarctica. *Antarctic Research*, 5(1):52-61

Webb CO, Ackerly DD, McPeck MA, Donoghue MJ (2002) Phylogenies and Community Ecology. *Annual Review of Ecology and Systematics* 33:475–505

Wickham H (2016) *ggplot2. Elegant Graphics for Data Analysis*. Houston, Texas, USA

Withgott J (2000) Botanical Nursing. *Bioscience*, 50(6):478-484

Yamanaka M, Sato K (1977) Syowa Kiti fukin no rikujō shokubutsu gunraku no bunpu to suibun oyobi yobun tonō kankei (Distribution of terrestrial plant communities near Syowa Station in Antarctica, with special reference to water supply and soil property). *Nankyoku Shiryo (Antarct. Rec.)*, 59:54-67