

Paola Franzan Sanches

**ASPECTOS BIOGEOGRÁFICOS E MACROECOLÓGICOS DAS  
MACROALGAS ANTÁRTICAS E SUBANTÁRTICAS:  
O PAPEL DA CORRENTE CIRCUMPOLAR ANTÁRTICA**

Dissertação submetida ao Programa de  
Pós Graduação em Ecologia da  
Universidade Federal de Santa  
Catarina para a obtenção do Grau de  
mestre em Ecologia

Orientador: Prof. Dr. Paulo Antunes  
Horta

Florianópolis  
2013

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Sanches, Paola Franzan

Aspectos biogeográficos e macroecológicos das macroalgas antárticas e subantárticas: O papel da Corrente Circumpolar Antártica / Paola Franzan Sanches ; orientador, Paulo Antunes Horta - Florianópolis, SC, 2013. 66 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Ecologia.

Inclui referências

1. Ecologia. 2. Macroalgas. 3. Antártica. 4. Biogeografia. 5. Macroalgas. I. Horta, Paulo Antunes. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ecologia. III. Título.

**ATA DE DEFESA ASSINADA PELA BANCA**



Este trabalho é dedicado aos meus amados pais, com amor e carinho, meus maiores exemplos.



## AGRADECIMENTOS

Sonhava em aprender sobre os mistérios da vida, entender seu valor e a relação de tudo que era vivo. Decidiu que a Biologia lhe ensinaria. Quando se formou, percebeu que faltava saber um pouco mais e continuou os estudos. E terminou o mestrado, querendo saber mais um tanto! Mas não era o saber dos livros e o saber dos artigos. Era o saber da vida. Queria aprender sobre os mistérios da vida, entender seu valor e a relação de tudo que era vivo. Isso a Biologia não lhe deu e o mestrado não complementou. O que eles fizeram foi mostrar que tudo é muito maior do que cabe em uma porção de papéis.

Finalizo com esse trabalho uma etapa importante da minha vida. Dois sonhos realizados, muito suor e esforço e algumas frustrações. Muitos encantos, amores e algumas decepções. Sem dúvida muito aprendizado e crescimento. Estou feliz.

Agradeço, antes de tudo, a Deus, que me permitiu ver as belezas da natureza, me apaixonar por elas e querer entender a explosão de cores, sons e reações químicas que compunham as formas da vida.

Agradeço a quem sempre esteve ao meu lado, incentivando, à sua própria maneira, que eu trilhasse o meu caminho: Meus pais e meu irmão, meus amores maiores, torcedores fiéis, que com bandeiras, cornetas e aplausos me fizeram querer ser sempre melhor, sempre mais justa, ética e correta. Melhores educadores, melhores tutores, melhores companheiros, não haveria para mim. Agradeço a Deus por ter me dado vocês.

Aos meus amigos queridos, que têm seus status de família: Elis e André (Moluscolândia), Kika e Mitie (pelo companheirismo, da seleção à apresentação), Alê (por todo amor que eu aprendi a ver no mundo), Fer, Tici, Rubana, Gabi, Jaú, Caio, Goiás (por todas as dicas e orientações), Lélis (por estarmos no mesmo lugar, mesmo não estando), Gustavo e Ingrid (pela Antártica ter ficado mais Brasil com vocês), aos meus amigos de INTER (em especial Marcelo, por ter me ouvido desabafar tantas vezes), companheiros de gerência do Bar e Drika e Rebecca.

Ao LAFIC pelo aconchego das noites em claro experimentando e aos lafricanos, em especial à Manu, Noele, Jana, Dudu, Marcelo, Pablo, Alan, Zé e Rafa por todas as risadas, discussões, cervejas e os cachorros-quentes nunca pagos. Pela cumplicidade, companheirismo, discórdias e parcerias. Pelos projetos, mergulhos, campos, triagens,

elucidações e chacoalhões. Meu crescimento eu devo muito a vocês. Rafa, obrigada em especial por ter digitalizado todas aquelas bibliografias. Não seria possível sem você e Manu, obrigada pela ajuda com os nomes das espécies e as referências que me passou.

Ao Professor Paulo Horta, meu orientador há tantos anos. Obrigada por confiar em mim, por me permitir essa experiência tão grandiosa, por ter me dado de presente a chance de ir realizar um sonho lá na Antártica e por me fazer querer ser sempre mais que 9,5. Obrigada por discordar de mim, por me puxar pra terra e ao mesmo tempo me deixar solta pra voar por conta própria. Obrigada!

Ao Professor Pio Colepicolo pela oportunidade e a professora Mutue Fujii pelo acolhimento, pela atenção e pela paciência.

Aos companheiros de Antártica, obrigada pela convivência, pelo aprendizado científico, mas principalmente pelo amadurecimento pessoal. Ao pessoal da Marinha, obrigada pela ajuda e carinho.

Ao programa de pós-graduação, obrigada pela formação que eu tive, mas principalmente aos professores, obrigada por tudo que pude aprender com vocês. Da sala de aula à sala de reuniões do colegiado, guardarei todos com muito carinho.

Agradeço à UFSC e CAPES pelas bolsas e à banca pela atenção.

A quem torceu, quem empurrou pra cima, puxou pela mão, e nunca perdeu a fé em mim: MUITO OBRIGADA!

## RESUMO

Um dos principais assuntos trabalhados em Ecologia é a compreensão dos padrões de distribuição de espécies. A biogeografia surge, assim, como uma ciência voltada para o estudo de processos que ocorrem em macro-escala espaço/temporal, na qual passos evolutivos são essenciais para a explicação dos padrões. Na mesma direção, a macroecologia considera variáveis ecológicas (tamanho de corpo e densidade populacional), em questões adaptativas para entender a distribuição geográfica. As barreiras biogeográficas são essenciais para a definição desses processos e um exemplo podem ser as correntes oceânicas. Porém, muitas vezes elas facilitam a dispersão de organismos, como macroalgas. Embora muitos trabalhos tenham sido feitos com o grupo, aspectos biogeográficos referentes à região Antártica ainda são escassos, nenhum, tratando explicitamente da importância e da influência da Corrente Circumpolar Antártica (CCA). Ela é importante na circulação global e suas características dividem-na em frentes diferentes (Frente Polar, Divergência Antártica) que, por consequência, são barreiras de fluxos de água, e assim, de interações biogeográficas. Dessa forma, isola o continente Antártico dos arquipélagos e continentes do sul da Antártica por mais de 25 milhões de anos. E essas frentes seriam uma barreira para a dispersão de macroalgas? E ainda, selecionariam um morfotipo funcional específico? O presente trabalho segue com dois objetivos: entender padrões de distribuição de macroalgas nas porções subantártica e antártica do globo, e tentar relacioná-los aos morfotipos predominantes das maiores latitudes, tendo como base *checklists* de algas das áreas geográficas das zonas: Sub-Tropical (Sub-Trop), Sub-Antártica (Sub-Ant), Frente Polar (FP) e Divergência Antártica (Div Ant) e dos giros do Mar de Weddell e de Ross. Para tal, foi formado um banco de dados a partir do material fornecido no site Algae Base e de artigos e trabalhos científicos de listagens de espécies para as localidades presentes nas zonas definidas. Foi gerada uma matriz de presença e ausência e as algas foram classificadas de acordo com o morfotipo funcional determinado por Littler e Littler (1984). A similaridade de Bray-Curtis foi analisada, para o fator “zona”, “setor” e “frequência de espécies por morfotipos”, com a apresentação gráfica de nMDS. Os resultados mostram que há diferenças significativas de composição de espécies entre as zonas e os setores. O número de espécies foi inversamente proporcional à latitude.

O mesmo padrão se manteve para os demais níveis taxonômicos. Com relação às similaridades médias internas, a maior ocorreu na zona da Frente Polar, para espécies e gêneros, porém para famílias e ordens, foi na Zona Sub-Tropical. Para os setores, as diferenças significativas se mantiveram entre 1 e 3 e 2 e 3. Não há evidências de que haja essa importância para os morfotipos funcionais, embora haja frequência maior dos morfotipos mais resistentes (coriáceo e ramificado) na região dentro da corrente. Devido ao tempo de formação das localidades, espera-se que os fluxos dispersivos entre as províncias neste trabalho consideradas, cessaram em um dado momento, provavelmente, quando a CCA tornou-se forte e persistente o suficiente para bloquear movimentos através dela a cerca de 15 milhões de anos. Mas, analisando as características ambientais e os aspectos fisiológicos das espécies mais importantes para explicar as relações, há uma possível seleção adaptativa. Portanto, podemos inferir que as características intrínsecas de cada espécie foram importantes para a seleção das espécies dentro das frentes da corrente e a definição dos padrões que encontramos.

Palavras-chave: Antártica, biogeografia, morfotipos funcionais, macroalgas

## ABSTRACT

One of the most important subjects in Ecology is the understanding of the structure patterns of the ecological assemblages. Biogeography arises as a science focused on the study of processes, which occurs in a space/time macroscale, in which evolutive steps are essential to explain patterns. In the same direction, macroecology considers ecological variables, as body sizes, in adaptative questions to understand geographical distribution. Biogeographic barriers are a key to define these processes and one example is marine currents. However, they also favor the dispersion of many organisms, as seaweeds. Although many works have been done with this group, biogeographic aspects of Antarctic region are few, none about the influence of the Antarctic Circumpolar Current (ACC). It is important in the global circulation and their characteristics divide it in different fronts (Polar Front and Antarctic Divergence), which, by consequence, are water flow barriers, and thus, biogeographic interaction. Therefore, it isolates the Antarctic mainland from the archipelagos and lands from the south for over 25 million years. So, would these fronts be a barrier for the dispersion of seaweeds? Moreover, would they select a specific morphotype? The present work has two goals: to understand distribution patterns of seaweeds in subantarctic and antarctic regions; to try to relate them to the predominant morphotypes of the major South latitudes, based on macroalgae checklists of the zones: Sub-Tropical (Sub-Trop), Sub-Antarctica (Sub-Ant), Polar Front (PF) e Antarctic Divergence (Div Ant). To this, a dataset was framed from the Algaebase, papers and lists of species, from the localities inside those areas. Then it as generated a binary matrix of presence and absence. The residual species were classified in functional morphotypes according to Littler e Littler (1984) methodology. Bray-Curtis similarity was analyzed to the factors: “zones”, “sections”: presence and absence of species, genera, families and orders and morphotypes relative frequency, presenting for both nMDS. Results show that there are significative differences in species and genera composition among zones and among sections. The number of species was inverse to latitude. The same pattern was observed for the other taxonomic levels. The similarity average, highest occurred in the PF zone, for species and genders, but for families and orders, it was in Sub-Trop zone. For sections, significative differences were between 1-3 and 2-3. There are no statistical evidences for the morphotypes. Nevertheless, there is more

resistent morphotypes (leather and branched) inside the current. Analyzing formation time of the localities and the currents in each area, we expect that the dispersive flows among the provinces in this paper, stopped in a given time, probably, when ACC became stronger and persistent enough to block movements across it, about 15 milion years ago. But, analyzing environmental aspects and physiological features of the most important species, which explain the relations, there is an adaptative selection. Therefore, we can infer that intrinsic characteristics of each species were important to select those who are inside the ACC fronts and the definition of found patterns.

Keywords: Antarctic, biogeography, functional morphotypes, seaweeds

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Mapa de médias de temperatura superficiais no inverno e no verão, adaptado de Knox 1960.....29
- Figura 2: Mapa com as localidades Sub-Tropicais, Sub-Antárticas, da Frete Polar e da Divergência Antártica, relacionadas na .....33
- Figura 3: Ordenação resultante da análise de escalonamento multidimensional não-métrica (nMDS) sobre a similaridade de composição de espécies (A), de gêneros (B), de famílias (C) e de ordens (D) entre as localidades em cada zona considerada: Frente Polar (FP), Divergência Antártica (Div Ant), Sub-Tropical (Sub-Trop) e Sub-Antártica (Sub-Ant).....44
- Figura 4: Ordenação resultante da análise de escalonamento multidimensional não-métrica (nMDS) sobre a similaridade de frequências de algas nos morfotipos funcionais entre as localidades em cada zona (A) e setores (B): Frente Polar (FP), Divergência Antártica (Div Ant), Sub-Tropical (Sub-Trop) e Sub-Antártica (Sub-Ant); 1, 2 e 3.....49



## **LISTA de QUADROS**

Quadro 1: Critérios utilizados para a classificação das espécies de macroalgas em morfotipos funcionais, baseados em Littler & Littler (1984).....	37
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----



## LISTA de TABELAS

Tabela 1: Localidades Sub-Tropicais (Sub-Trop), Sub-Antárticas (Sub-Ant), da Frete Polar (FP) e da Divergência Antártica (Div Ant), com abreviações, coordenadas geográficas, zonas e setores e os números referentes ao mapa da figura 1.....	33
Tabela 2: Número total de espécies, gêneros, famílias e ordens e similaridade média para as zonas: Divergências Antártica (Div Ant), Frente Polar (FP), Sub-Antártica (Sub-Ant) e Sub-Tropical (Sub-Trop).....	39
Tabela 3: Dissimilaridade (Dissim), Nível de Significância (Sign Level), espécies exclusivas (Nº Exc 1 e 2) entre as zonas Divergências Antártica (Div Ant), Frente Polar (FP), Sub-Antártica (Sub-Ant) e Sub-Tropical (Sub-Trop), para os níveis taxonômicos: espécies, gêneros, famílias e ordens.....	42
Tabela 4: Número total de espécies, gêneros, famílias e ordens e similaridade média para as zonas: Divergências Antártica (Div Ant), Frente Polar (FP), Sub-Antártica (Sub-Ant) e Sub-Tropical (Sub-Trop).....	45
Tabela 5: Dissimilaridade (Dissim), Nível de Significância (Sign Level), espécies exclusivas (Nº Exc 1 e 2) entre os setores 1, 2 e 3, para os níveis taxonômicos: espécies, gêneros, famílias e ordens.....	46
Tabela 6: Valores do SIMPER, de Similaridade Interna (Sim), para as zonas: Divergências Antártica (Div Ant), Frente Polar (FP), Sub-Antártica (Sub-Ant) e Sub-Tropical (Sub-Trop). e os morfotipos funcionais responsáveis pelos valores, com Média de Abundância (Av. Abund), Média de Similaridade (Av.Sim) e porcentagem de contribuição (Contrib%).....	48
Tabela 7: Valores do SIMPER, de Similaridade Interna (Sim), para os setores 1, 2 e 3 e os morfotipos funcionais responsáveis pelos valores, com Média de Abundância (Av. Abund), Média de Similaridade (Av.Sim) e porcentagem de contribuição (Contrib%).....	49



## LISTA DE ABREVIACÕES

Elep	Elephant Island
King	King George Island
Nels	Nelson Island
Robert	Robert Island
Green	Greenwich Island
Liv	Livingston Island
Snow	Snow Island
Decep	Deception Island
Sh	Shetland Archipelago
Grah	Graham Land
End	End of Peninsula
Trini	Trinidad Island
Astro	Astrolabio Island
Brain	Brainsfield Island
Moss	Moss Island
DeLa	DeLaca Island
Anvers	Anvers Island
Jou	Joubin Island
Pl	Palmer Archipelago
Wi	Wilhelm Archipelago
Mel	Melchior Islands
Arg	Argentine Islands
Ma	Marguerite
Ade Is	Adelaida Island
He	Henkes Island
Join	Joinville Archipelago
Jm	James Ross Island
Cock	Cockburn Island
Pe	Peninsula
Ender	Enderby Land
Mc	Mac Robertson Land

In	Ingrid Coast
Queen	Queen Mary Land
Wl	Wilkes Land
Denis	Cape Denison
Adelie	Adelie Coast
Geor	George V Coast
Vi	Victoria's Land
MMur	McMurdo Sound
Ross	Ross Island
Ro	Ross Sea
Ba	Balany
Ta	Tasmany
NZ	New Zealand
Ch	Chatham
At	Antipodes Island
Au	Auckland Island
Ca	Campbell Island
Mq	MacQuarie Island
Or	South Orkneys Islands
Fa	Falklands Islands
SG	South Georgea Islands
Hd	Heard Island
Ke	Kerguelen Island
Cr	Crozet Archipelago
PrE	Prince Eduard e Marion slands
Pa	Patagonia
CS	South Chile

## **LISTA DE ANEXOS**

Todos os anexos estão presentes em CD

ANEXO I – lista filos/classe, ordens, famílias, gêneros, espécies e morfotipos funcionais, com a presença e ausência por localidade.

ANEXO II – resultados das análises estatísticas para o fator zonas

ANEXO III – resultados das análises estatísticas para o fator setores



## **SUMÁRIO**

Introdução.....	25
1. Objetivos 1.1.Geral.....	31
1.2. Específicos.....	31
2. Metodologia .....	32
3. Resultados.....	39
Discussão e Conclusão.....	50
Referências.....	58
ANEXOS.....	em CD



## INTRODUÇÃO GERAL

Os padrões de distribuição de espécies há muito orientam cientistas quanto à interpretação da história, das mudanças climáticas e geológicas que o planeta passou. Muito antes do advento das técnicas de comparação geomagnética, Wegener (1915) já sugeria, a partir da observação desses padrões, que os continentes movimentariam-se (BEGON *et al.* 2006). A biogeografia surge, então, como uma ciência voltada para o estudo de processos que ocorrem em macro-escala espaço/temporal, na qual a DISPERSÃO, área de DISTRIBUIÇÃO, ESPECIAÇÃO e EXTINÇÃO das espécies são essenciais para a explicação dos padrões observados (POSADAS *et al.* 2006, MONGENÁJERA 2008).

Com o aprimoramento das técnicas analíticas estudos cada vez mais abrangentes começam a ser desenvolvidos, pela compreensão dos processos biogeográficos. As principais ideias defendidas sustentam-se em um dos seguintes pilares: sistemática filogenética, tectônica de placas e sistemática molecular; baseando-se nas abordagens: de centro de origem e dispersão, biogeografia filogenética áreas ancestrais panbiogeografia, biogeografia cladística e análise parcimoniosa de endemismo (POSADAS *et al.* 2006). A importância das barreiras biogeográficas para a definição de tais processos evolutivos é essencial. De fato, elas são tão importantes, que Mayers (1997) sugere que em ambientes marinhos, interferem na biodiversidade e nos processos ecológicos das assembleias. Isso porque agem como limitantes à dispersão e podem ser físicas, como um rio que impede animais terrestres de atravessarem de uma margem à outra, e ainda podem ser os chamados “filtros ecológicos” (temperatura, pressão, pH, salinidade, etc), atuando nos aspectos fisiológicos dos organismos que tentam cruzá-las. Um bom exemplo estaria relacionado à dispersão de organismos que não controlam sua temperatura, assim como insetos específicos de regiões tropicais que não migram para regiões temperadas por conta de valores limitantes para sua sobrevivência desse fator específico. Existem também, barreiras que englobam as duas classificações, como as correntes oceânicas.

Correntes são massas de água salgada, que se distribuem de forma diferente das massas adjacentes. Elas podem ser superficiais (geralmente são mais quentes) e profundas (frias). De maneira geral são geradas por uma diferença de temperatura, pelos ventos, e por

diferenças de salinidade. Em regiões polares, essas correntes perdem calor para a atmosfera, gerando grandes massas de ar polares, ou as “frentes frias”, ficando extremamente frias e densas. Quando o oceano congela, o sal é aderido à massa mais densa e fria de água, e esse novo conjunto migra para o fundo levando consigo nutrientes e dióxido de carbono. A água que está imediatamente abaixo sobe, e se inicia um ciclo, que gera a principal via de transporte e redistribuição de energia global, que leva mil anos para circundar o globo. Esse processo é crucial para o sistema climático terrestre, assim como para carreamento de nutrientes (fenômenos de ressurgência) e balanço de CO<sub>2</sub> ([http://www.education.noaa.gov/Ocean\\_and\\_Coasts/Ocean\\_Currents.html](http://www.education.noaa.gov/Ocean_and_Coasts/Ocean_Currents.html), 6/12/2012).

Porém, ao mesmo tempo em que correntes são barreiras biogeográficas, muitas vezes elas acabam facilitando a dispersão de alguns organismos. O ambiente marinho pode ser muito inóspito e atravessar grandes distâncias, como um oceano inteiro, é impossível para animais e plantas que não são/estão adaptados. Assim, muitas vezes, as correntes superficiais são responsáveis por conectar geneticamente populações há muito isoladas, pelo transporte de sementes, larvas, esporos e propágulos dos mais diferentes grupos de organismos (BARBER *et al.* 2000).

Dentre eles estão as macroalgas que tiveram seus padrões de distribuição avaliados considerando-se diferentes métodos e regiões. O começo dos estudos biogeográficos com elas se deu com Lamouroux em 1826, que listou a problemática de se trabalhar com essa temática, considerando aspectos de diversidade, mudanças latitudinais de composição de espécies (GARBARY 1987). As técnicas primárias baseavam-se em taxonomia descritiva e listagem de espécies (CAMUS 2001), com comparações de similaridades entre as áreas. Com o desenvolvimento da experimentação teórica, passou-se a testar os fatores limitantes a distribuição, como a tolerância fisiológica (GARBARY 1987), como os de Zacher *et al.* (2007) e Wiencke & Dieck (1990) e a ciência biomolecular permitiu que as relações filogeográficas fossem estabelecidas (MACAYA & ZUCCARELLO 2010, TESKE *et al.* 2011).

Os principais trabalhos que buscaram responder a maioria das questões biogeográficas desse grupo foram os de Knox (1960), que trabalhou aspectos biogeográficos relacionados às correntes marinhas do hemisfério sul, van den Hoek & Donze (1967), van den Hoek (1975, 1984, 1987), com aspectos das províncias fitogeográficas do Atlântico Norte e efeitos latitudinais e longitudinais na distribuição de

macroalgas, Santelices (1980), caracterizando a fitogeografia do Pacífico temperado da América do Sul, Womersley (1981 b), com a caracterização dos padrões australianos, Bolton & Stengenga (1987, 1990), com os limites e transições das regiões temperadas-quente e fitogeografia da África do Sul, Bolton & Anderson (1990), entendendo a relação entre temperatura da água e composição de comunidades, Stengenga *et al.* (1997), contribuindo para os conhecimentos da flora oeste africana, Bolton *et al.* (2004), testando o limite tropical oeste para a flora do Oceano Índico e Kerswell (2006), revolucionando a metodologia de se estudar biogeografia, tendo como modelo macroalgas, testando e provando padrões latitudinais e longitudinais globais.

Porém, embora se conheça muito sobre o norte do globo, Austrália e Atlântico, algumas lacunas se mantêm, por exemplo com relação aos processos que ocorrem na porção antártica do globo.

Essa região possui entre 120 e 130 espécies de macroalgas (WIENCKE & CLAYTON 2002), com mais de 75 espécies de rodófitas, 25 de pardas e 15 de clorófitas (SKOTSBERG 1960). Há alto grau de endemismo (CLAYTON 1994), em aproximadamente 90% das feofíceas, 70% das rodófitas e 40% das clorófitas (RAKUSA-SUSZCZEWSKI & ZIELINSKI 1993), em uma ordem é monoespecífica (*Ascosseirales*, *Ascosseira mirabilis*) e alguns gêneros como *Gainia*, *Antarcticothamnion*, *Notophycus*, *Himantothalus*, *Cystophaera*, *Phaeurus*, *Lambia* e *Lola*, sendo que a ordem com maior número de espécies endêmicas é a Ceramiales macroalgas (WIENCKE & CLAYTON 2002).

A diversidade de macroalgas antárticas foi subestimada durante todos esses anos, devido às dificuldades encontradas para as coletas (OLIVEIRA *et al.* 2009), bem como desafios taxonômicos (CLAYTON 1994). Isso porque a maioria das algas da região não possui chaves específicas e algumas espécies ainda são classificadas erroneamente. Embora exista abundância de trabalhos que listem a biodiversidade da região (LAMB & ZIMMERMAN 1977, NEUSHUL 1964, ZIELINSKI 1960, 1981, RAMIREZ & VILLOUTA 1984, CORMACI *et al.* 1992, PAPPENFUSS 1964, PEDRINI 1992, WESTERMEIER *et al.* 1992, CHUNG *et al.* 2000, WIENCKE & CLAYTON 2002, OLIVEIRA *et al.* 2009, QUARTINO *et al.* 2005), a fisiologia (WIENCKE 1988, GÓMEZ 2001) e química (AMSLER *et al.* 2005), os trabalhos que abordem aspectos biogeográficos são escassos (HOMMERSAND *et al.* 2009),

nenhum, inclusive, tratando explicitamente da importância e da influência da Corrente Circumpolar Antártica (CCA).

Na realidade, o Oceano Sul, interliga três grandes oceanos: Pacífico, Atlântico e Índico, o que garante contínua troca de massas d'água, calor, água doce, carbono, matérias vivas e outras propriedades. Ele é formado pela Frente Sub-Tropical, pelas frentes que compõem a CCA: Frente Sub-Antártica, Frente Polar e a Divergência Antártica e pelos giros de Ross e o de Weddell (KLINCK & NOWLIN 2001).

Mais precisamente, a Corrente Circumpolar, formou-se no Cenozóico, a partir da separação da Península Antártica e da América do Sul, com a abertura do Canal de Drake, e do corredor profundo entre o leste antártico e Austrália e Tasmânia (KENNETT 1977). Com relação ao Drake, um estudo numérico mostra que quanto maior a profundidade da passagem, menor é a exportação de águas antárticas e maior é a velocidade da corrente (KLINCK & NOWLIN 2001).

Na Frente Sub-Tropical as águas superficiais alteram de quentes e salinas (12°C, 35,0 – características de baixas latitudes) para frias e doce (10°C, 34,6 – características de latitudes polares). A Frente Sub-Antártica ocorre onde a água doce fria da superfície é mais densa que a do norte, com menores salinidades e temperaturas em torno de 4°C. A Frente Polar, por sua vez é caracterizada por quando as águas frias próximas à superfície vão em direção ao norte, afunda abaixo das porções de menos densas. A menor temperatura a 200m chega a menos de 2°C. Por fim a Convergência Antártica é a zona onde, nas maiores latitudes a temperatura da água fica próxima a 1,8°C. Assim, essas divisões são estabelecidas por gradiente Termo-hialino. Por fim, os giros de Weddell e Ross são controlados por forças ciclônicas a partir da diferença de pressão das águas do fundo. (KLINCK & NOWLIN 2001).

Essa diferença de temperatura já foi proposta por Knox (1960), onde ele mostra que as médias para o verão e o inverno são inversamente proporcionais à latitude (figura 1).

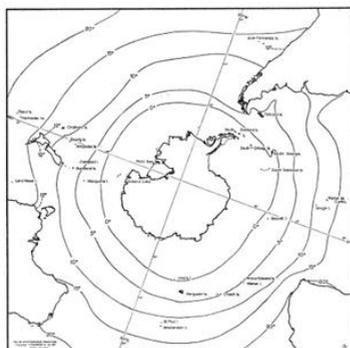


FIGURE 58. Mean winter sea surface isotherms for the southern oceans (5 °C intervals). Data from Schott (1926, 1935) and Sverdrup, Johnson & Fleming (1942)

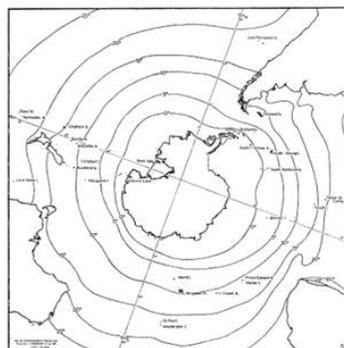


FIGURE 59. Mean summer sea surface isotherms for the southern oceans. Data as for figure 58.

Figura 1: Mapa de médias de temperatura superficiais no inverno e no verão, adaptado de Knox 1960.

A circulação dessas frentes se faz no sentido horário, circundando e isolando o continente Antártico (NOWLIN *et al.* 1986). Sua força varia de acordo com a época do ano, e ela é influenciada pelos ventos oeste (WEST W IND DRIFT) (KAMPEL 1998, BARNES *et al.* 2006), e por convenção, é toda a massa de água que corra do canal de Drake e além disso, ela transporta mais água que qualquer outra corrente (KLINCK & NOWLIN 2001).

Ademais, sua extensão varia em até 20° de latitude (KLINCK & NOWLIN 2001) e de 3000 a 3500 metros (BARNES *et al.* 2006) e é a única corrente do globo que se sustenta desde a superfície até o fundo oceânico (HASSOLD *et al.* 2009). Além disso, atua também como uma modificadora climática e impede fluxo entre as águas do Norte para o Sul.

Essa flutuação de parâmetros físico-químicos torna a FP e a Divergência Antártica, por consequência, uma importante barreira de fluxos de água, e assim, de interações biogeográficas. Dessa forma, pôde isolar o continente Antártico dos arquipélagos e continentes do sul térmico, geográfico, climatológico e oceanográfico da Antártica por mais de 25 milhões de anos (BARNES *et al.* 2006).

Embora não haja evidências para o trânsito de espécies dentro e fora dessa área, as influências ecológicas da corrente foram

demonstradas para invertebrados marinhos. BARNES *et al.* (2006) mostram que a frente polar é responsável por garantir endemismo e o não estabelecimento de espécies exóticas, TYNAN (1998) mostra que a ACC garante o agrupamento de grandes quantidades de krill, que por sua vez, representam a grande produtividade dessa parte do globo, mas PIERRAT *et al.* (2013) mostram que para bivalves e gastrópodes, essa barreira não é muito enfática.

Mas e quanto às macroalgas? A formação de geleiras, blocos de gelo e icebergs forçou a evolução de uma biota distinta e adaptada às condições impostas pela corrente (BARNES *et al.* 2006). Podemos supor que as características morfológicas ou os tipos morfológicos predominantes dentro dos limites da CCA devem então, resistir aos distúrbios gerados pelas condições climáticas extremas próprias da região, sendo resistentes, como os coriáceos. Por outro lado, eles podem ser foliáceos ou filamentosos, tendo ciclos de vida rápidos, para que possam aproveitar das características sazonais locais (LITTLER & LITTLER 1984).

Assim, aspectos morfológicos, reprodutivos e fisiológicos determinam as tolerâncias das espécies e são, por sua vez, suscetíveis as pressões evolutivas (VERBRUGEN *et al.* 2009) refletindo nas relações filogenéticas entre elas. E em táxons marinhos que possuam mobilidade em alguma das fases (no caso das macroalgas, esporófitica), há evidências de que mecanismos ALÉM dos vicariantes conduzem a diversificação (BOEHM *et al.* 2013), e são afetados pela permeabilidade das divisões marinhas, servindo mais como filtro do que como barreiras propriamente ditas. Dessa forma a relação entre correntes oceânicas, barreiras oceânicas, potencial dispersivo e tolerâncias ao ambiente contribuem conjuntamente para os padrões de diversificação nos oceanos (FLOETER *et al.* 2008).

A macroecologia vem ao encontro dessa proposição, levando em conta variáveis ecológicas (tamanho de corpo e densidade populacional), e considerando questões adaptativas para entender a distribuição geográfica, diferente da biogeografia, que se preocupa com processos em macro-escala espacial, no qual a dispersão, área de distribuição, especiação e extinção das espécies são essenciais em detrimento das características adaptativas na tentativa de explicar padrões. Nesse contexto, Verbrugen *et al.* (2009) questionam: “a distribuição de espécies é restrita a um oceano por limitantes ambientais de um local, ou por um limite de distribuição intrínseco da espécie?” Sabe-se que dentro dessa questão, gradientes latitudinais determinam a riqueza, em ambientes terrestres e marinhos. Porém, de acordo com

Kerswell (2006), macroalgas nem sempre respondem a esse padrão e os organismos de regiões polares são mais adaptados a condições ambientais adversas, embora a plasticidade frente a mudanças seja menor Peck (2005).

Assim, considerando o ambiente antártico pristino, seria a Corrente Circumpolar Antártica (ACC) uma barreira para a dispersão de macroalgas e ela selecionaria morfotipos específicos, capazes de se estabelecer nesse ambiente? Haveria diferenças entre as espécies que se estabelecem nas localidades ao longo das zonas das frentes da CCA, e existiria um morfotipo mais adaptado às condições dessas zonas?

## **1. OBJETIVO GERAL:**

Revisar o conhecimento disponível sobre a flora de macroalgas marinhas da Região Antártica, precisamente nas zonas influenciadas pelas frentes da Corrente Cicumpolar Antártica, contribuindo para o conhecimento de biodiversidade e conservação dos ecossistemas marinhos dessa região.

### **1.1. Objetivos específicos:**

1.1.1. A fim de verificar a influência das frentes da Corrente Circumpolar Antártica, serão calculadas as similaridades da composição de espécies, gêneros, famílias e ordens de macroalgas entre as localidades das zonas: Sub-Tropical (Sub-Trop), Sub-Antártica (Sub-Ant), Frente Polar (FP) e Divergência Antártica (Div Ant).

1.1.2. A fim de verificar a influência dos giros do Mar de Weddell e de Ross serão calculadas as similaridades das composição de espécies, gêneros, famílias e ordens de macroalgas entre as localidades dos setores: 1 – porção oeste da Península Antártica, com localidades que sofram influência do Giro do Mar de Ross; 2: porção leste da Península Antártica, com localidades que sofram influência do Giro do Mar de Wedell e 3: localidades da porção leste da Antártica, frente à África.

1.1.3. A fim de verificar a influência das frentes da Corrente Circumpolar Antártica na seleção de morfotipos funcionais, será calculada a similaridade de frequências de morfotipos entre as localidades das zonas: Sub-Tropical (Sub-Trop), Sub-Antártica (Sub-Ant), Frente Polar (FP) e Divergência Antártica (Div Ant).

1.1.4. A fim de verificar a influência dos giros do Mar de Weddell e de Ross na seleção de morfotipos funcionais, será calculada a similaridade de frequências de morfotipos entre as localidades dos setores: 1 – porção oeste da Península Antártica, com localidades que sofram influência do Giro do Mar de Ross; 2: porção leste da Península Antártica, com localidades que sofram influência do Giro do Mar de Wedell e 3: localidades da porção leste da Antártica, frente à África.

## **2. METODOLOGIA**

### **2.1. Das localidades:**

Para responder aos objetivos foram escolhidas localidades em zonas que sofram influência direta e indireta das frentes da Corrente Circumpolar Antártica (ACC). Essas zonas foram Sub-Tropical (Sub-Trop), Sub-Antártica (Sub-Ant), Frente Polar (FP) e Divergência Antártica (Div Ant), definidas a partir das latitudes médias que limitam essas zonas: de 40° - 45°S para a zona Sub-Tropical, de 46°S - 55°S para a Sub-Antártica, de 56°S - 63°S para a Frente Polar e a partir de 64° S - 77°S para a Divergência Antártica. Ainda, as localidades foram divididas em 3 setores (1, 2 e 3), a partir das influências dos giros do mar de Ross, do mar de Weddell e da porção leste da Antártica. As localidades com suas abreviações, zonas e setores e coordenadas geográficas estão apresentadas na figura 2 e tabela 1.

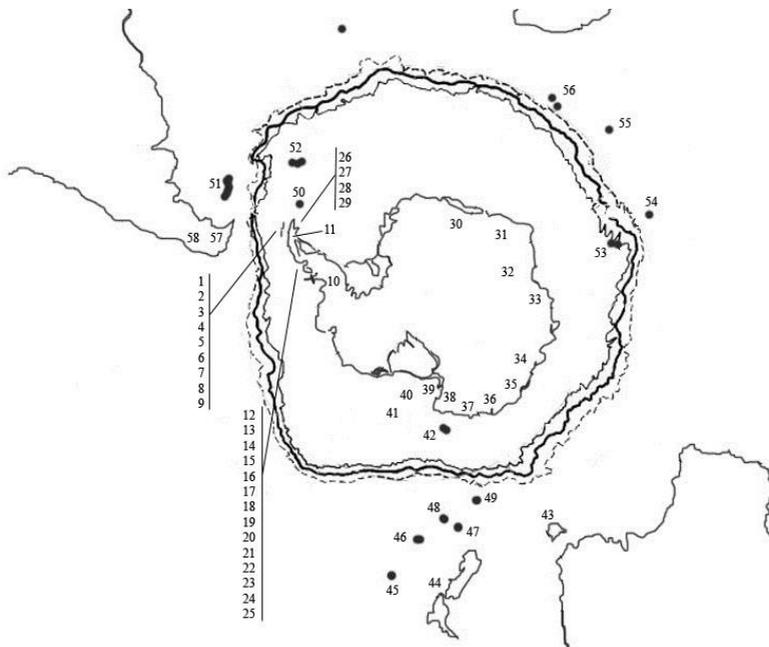


Figura 2: Mapa com as localidades Sub-Tropicais, Sub-Antárticas, da Frete Polar e da Divergência Antártica, relacionadas na tabela 1.

Tabela 1: Localidades Sub-Tropicais (Sub-Trop), Sub-Antárticas (Sub-Ant), da Frete Polar (FP) e da Divergência Antártica (Div Ant), com abreviações, coordenadas geográficas, zonas e setores e os números referentes ao mapa da figura 1.

n°	abreviações	Coordenadas	Zona	Setor
1	Elep	61° 8' 0" S, 55° 7' 0" W	FP	1
2	King	62° 2' 0" S, 58° 21' 0" W	FP	1
3	Nels	62°18'S, 59°03'W	FP	1
4	Robert	62°24'S, 59°30'W	FP	1
5	Green	62° 31' 0" S, 59° 47' 0" W	FP	1
6	Liv	62° 36' 0" S, 60° 30' 0" W	FP	1

7	Snow	62°47'S, 61°23'W	FP	1
8	Decep	62° 58' 37" S, 60° 39' 0" W	FP	1
9	Sh	62°16 41'S, 60° 05' 20" W	FP	1
10	Grah	68°25'03"S, 68° 24' 39"W	Div Ant	1
11	End	63°15'32"S, 56° 55' 32" W	FP	2
12	Trini	63° 48' 56.5"S, 60° 44' 0.8" W	FP	2
13	Astro	63°17'S, 58°40'W	FP	1
14	Brain	63° 11' 0" S, 56° 36' 0" W	FP	1
15	Moss	64° 9' 0 " S, 61° 2' 60" W	Div Ant	1
16	DeLa	64° 47' 0" S, 64° 7' 0" W	Div Ant	1
17	Anvers	64.77°S, 64.05°W	Div Ant	1
18	Jou	64° 47' 0" S, 64° 27' 0" W	Div Ant	1
19	Pl	64° 46' 27"S, 64° 3' 11" W	Div Ant	1
20	Wi	65° 8' 0" S, 64° 20' 0" W	Div Ant	1
21	Mel	64° 19' 0" S, 62° 57' 0" W	Div Ant	1
22	Arg	65° 15' 0" S, 64° 16' 0" W	Div Ant	1
23	Ma	68° 30' 0" S, 68° 30' 0" W	Div Ant	1
24	Ade Is	67° 15' 0" S, 68° 30' 0" W	Div Ant	1
25	He	67°54'14"S, 69°32'59"W	Div Ant	1
26	Join	63° 15' 0" S, 55° 45' 0" W	FP	2
27	Jm	64° 10' 0" S, 57° 45' 0" W	Div Ant	2
28	Cock	64° 12' 0" S, 56° 51' 0" W	Div Ant	2
29	Pe	64° 14' 02"S, 61° 13' 38"W	FP	1
30	Ender	67° 30' 0" S, 53° 0' 0" E	Div Ant	2
31	Mc	69°20"S, 75°41'E	Div Ant	2
32	In	69° 30' 0" S, 77° 0' 0" E	Div Ant	2
33	Queen	66° 45' 0" S, 96° 0' 0" E	Div Ant	2
34	Wl	69° 0' 0" S, 120° 0' 0" E	Div Ant	1
35	Denis	67° 0' 0" S, 142° 40' 0" E	Div Ant	3
36	Adelie	66°12'S 136°11'E - 66°48'S 142°02'E	Div Ant	3
37	Geor	68°30'S, 148°0'E	Div Ant	3

38	Vi	71° 15' 0"S, 163° 0' 0" E	Div Ant	3
39	MMur	77° 30' 0" S, 165° 0' 0" E	Div Ant	3
40	Ross	77° 30' 0" S, 168° 0' 0" E	Div Ant	3
41	Ro	75°03'22" S, 172°42'09"W	Div Ant	3
42	Ba	66° 55' 0" S, 163° 45' 0" E	Div Ant	3
43	Ta	42° 0' 0" S, 147° 0' 0" E	Sub-Trop	3
44	NZ	42° 0' 0" S, 174° 0' 0" E	Sub-Trop	3
45	Ch	43° 53' 54" S, 176° 31' 44" W	Sub-Trop	3
46	At	49.67° S, 178.77° E	Sub- Ant	3
47	Au	50° 42' 0" S, 166° 5' 0" E	Sub- Ant	3
48	Ca	52° 36' 06"S, 169°03'14" E	Sub- Ant	3
49	Mq	54° 37' 0.12" S, 158° 51' 0" E	Sub- Ant	3
50	Or	60°44'31"S, 45°24'14" W	FP	2
51	Fa	52°05'05" S, 60° 01'01"W	Sub- Ant	1
52	SG	54°20'47"S, 37°10'02"W	Sub- Ant	2
53	Hd	53°13'20"S, 73°28'26" E	Sub- Ant	2
54	Ke	49°41'15"S, 69°16'18"E	Sub- Ant	2
55	Cr	46°31'19"S, 51°40'34" E	Sub- Ant	2
56	PrE	46° 45'30" S, 37°53' 02" W	Sub- Ant	2
57	Pa	55°07'52"S, 66°05'59"W	Sub- Ant	1
58	CS	41° 28' 18"S, 72° 56' 12" W	Sub-Trop	1

## 2.2. Banco de dados:

Após a escolha das zonas, foi formado um banco de dados, a partir da tabulação de listas de espécies de macroalgas, apresentadas em livros, artigos, teses e catálogos. A busca pelas referências se deu através do acervo bibliográfico presente no Jardim Botânico de São Paulo, bem como no laboratório de Ficologia da Universidade Federal de Santa Catarina e também de consultas na web (Science Direct, Web of Science: Web of Knowledge e Google acadêmico), priorizando as áreas de conhecimento: “DIVERSIDADE”, “BIOGEOGRAFIA” e “ECOLOGIA DESCRITIVA”; e também os termos: “list of species \*

macroalgae\* seaweeds\* distribution\*”, para todos os locais determinados. Foram desconsiderados, todavia, artigos que tratassem apenas da distribuição de espécies com importância econômica, eliminando, assim, o viés. Os trabalhos selecionados contêm informações sobre mais de uma área geográfica, então, a lista geral de trabalhos utilizados foi: Neushul (1964), Papenfuss (1964), Lamb & Zimmerman (1977), Zielinsk (1981), Etcheverry (1983), Womersley (1984, 1994, 1996, 1998), Pedrini (1992), Browe *et al.* (1995), Weykam *et al.* (1996), Quartino *et al.* (1997), Stegenga *et al.* (1997), Wiencke (1998), Chung *et al.* (2000), Korb & Gerard (2000), Gómez (2001), Westermeier *et al.* (2002), Wiencke & Clayton (2002), Zaixo (2004), Borasso *et al.* (2004), Amsler *et al.* (2005), Peters *et al.* (2005), Quartino *et al.* (2005), Navarrete *et al.* (2008), Hommersand *et al.* (2009), Oliveira *et al.* (2009), Boraso & Zaixo (2011). Ainda, foi incluído o banco de dados do site ALGAEBASE (<http://www.algaebase.org>).

As referências foram tabeladas, plotando as espécies por localidades em que apareciam, dentro de cada uma das zonas. Os nomes das espécies então listadas foram conferidos no banco de dados do ALGAEBASE, para que fossem eliminadas sinonímias. Da lista final foi gerada uma matriz binária de presença e ausência, conforme ANEXO I.

### 2.3. Classificação dos morfotipos funcionais:

As espécies foram classificadas com base na metodologia proposta por Littler & Littler (1984), seguindo os critérios listados no quadro 1. Apesar dos autores terem considerado espécies características de ambiente sub-tropical, os critérios são aplicáveis para algas de clima temperado quente e frio. Para tal, consultou-se a descrição das características morfológicas, anatômicas e ecológicas das espécies, nas referências utilizadas para gerar o banco de dados. A textura das algas foi verificada em materiais herborizados, referências supracitadas e no material em campo e em laboratório, na expedição à Antártica realizada durante o verão de novembro de 2011 e janeiro de 2012.

Quadro 1: Critérios utilizados para a classificação das espécies de macroalgas em morfotipos funcionais, baseados em Littler & Littler (1984).

Grupo morfo-funcional	Morfologia externa	Anatomia Interna	Textura	Implicações Ecológicas
filamentosa	aspecto delicado ou delicadamente ramificada	filamentos unisseriados ou levemente corticados	delicada	Muito susceptível a herbivoria, ciclos rápidos de vida
foliácea	aspecto de folha	Uniestratificado ou com uma única camada de células, multiestratificado e/ou corticadas	macia	Muito susceptível a herbivoria, altas taxas fotossintéticas
ramificada	talos grosseiramente ramificados, com um ou mais ápices, em forma de fita ou cilíndricos	corticado	suculenta a rígida	Susceptíveis a herbivoria
coriácea	lâminas espessas, ramificadas na base ou ao longo do talo, talos de aspecto robusto	Parenquimatoso	muito rígida, couro	Susceptíveis a herbivoria, altas taxas de crescimento, formadoras das florestas de kelps
crostosa	prostrada, incrustante	crostas parcial ou totalmente aderidas ao substrato,	consistente a dura como rocha	Formadoras, revestidoras de substrato, geralmente

		calcificadas ou não calcificadas		acumuladoras de $\text{CaCO}_3$ , menor taxa de herbivoria
calcária articulada	articulada, calcária	calcificada, geniculada, flexível, intergeniculada	dura como rocha	acumuladoras de $\text{CaCO}_3$

#### 2.4. Análise de dados:

Para comparar as zonas e os setores quanto à composição de espécies, de gêneros, famílias e ordens e, foi feita análise de similaridade, através do índice de Bray-Curtis. Esse índice foi escolhido por não priorizar as ausências em sua fórmula. Isso se faz necessário, já que para o ambiente considerado, ausências não são necessariamente ausências, já que algas podem ter sido identificadas erradamente, ou podem não ter sido observadas em campo, para coleta, porém uma presença tem peso de presença, já que o erro da identificação, neste caso, se dilui entre todas as espécies. .

O mesmo índice foi utilizado para a comparação das frequências dos morfotipos funcionais por localidades, para os mesmo fatores considerados: zonas e setores. As análises de similaridade foram realizadas pelo programa PRIMER 6 *Beta*, a partir do pré-tratamento dos dados de espécies, gêneros, famílias e ordens no critério “presença e ausência” e os dados de frequência de espécies por morfotipos funcionais não recebeu tratamento prévio. Foi gerada a SIMPER (Porcentagem de Similaridade) e a matriz de similaridade e a partir dela a ANOSIM (Análise de Similaridade). Os dados foram ordenados e apresentados pela forma de escalonamento multidimensional não-métrica (nMDS).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Testes de similaridade

São apresentados um total de 860 espécies, em 377 gêneros, 105 famílias e 45 ordens (ANEXO I). O número de espécies foi inversamente proporcional à latitude, sendo a zona com maior número a Sub-Tropical (666) e a com menor, da Divergência Antártica (129). O mesmo padrão se manteve para os demais níveis taxonômicos. Com relação às similaridades médias internas, a maior ocorreu na zona da Frente Polar, no nível de espécies (26,93%) e gêneros (31,97%), porém para famílias e ordens, a maior similaridade interna se deu para a Zona Sub-Tropical (42,85%). As menores, por sua vez, ocorreram na Zona da Divergência Antártica (11,59% para espécies, 14,04% para gêneros, 22,69% para famílias e 34,01% para ordens (tabela 2).

Tabela 2: Número total de espécies, gêneros, famílias e ordens e similaridade média para as zonas: Divergências Antártica (Div Ant), Frente Polar (FP), Sub-Antártica (Sub-Ant) e Sub-Tropical (Sub-Trop).

Nível taxonômico	Zona	Número total	Similaridade Média
Espécies	Div Ant	129	11.59
	FP	145	26.93
	Sub- Ant	339	17.77
	Sub-Trop	666	13.81
Gêneros	Div Ant	95	14.04
	FP	101	31.97
	Sub- Ant	189	26.34
	Sub-Trop	307	27.49
Famílias	Div Ant	48	22.69
	FP	55	37.33
	Sub- Ant	61	40.28
	Sub-Trop	99	42.85
Ordens	Div Ant	29	34.01
	FP	29	50.26
	Sub- Ant	39	49.18
	Sub-Trop	40	59.22

Com relação às dissimilaridades entre as zonas, para o nível taxonômico de espécies, a menor se deu entre as zonas totalmente

dentro da área de influência das frentes da CCA: FP e Div Ant (82,75%). Embora essa relação seja aleatória (significância maior que 0,05), 30 espécies são exclusivas de FP e 14 de Div Ant (tabela 3). Dentre elas estão *Lithothamnion antarcticum* (J.D. Hooker & Harvey) Foslie (crostosa), *Ulva lactuca* Linnaeus, *U. rigida* C. Agardh (foleácea), *Acanthococcus antarcticus* J.D.Hooker & Harvey (ramificada), *Chaetomorpha dubyana* Kützinger (filamentosa) e *Schizoseris condensata* (Reinsch) R.W.Ricker (filamentosa) para o primeiro conjunto de localidades e *Iridaea mawsonii* A.H.S.Lucas (coriácea), *Sarcothalia circumcineta* (J.Agardh) Hommersand (coriácea), *Pterothamnion simile* (J.D.Hooker & Harvey) Nägeli (ramificada) e *Chaetomorpha mawsonii* AHS Lucas (filamentosa) para o segundo (ANEXO II).

A maior dissimilaridade se deu entre as duas zonas mais distantes: Sub-Trop e Div Ant (97,64%), com 614 espécies exclusivas da zona Sub-Tropical e 77 da Antártica (tabela 3), das quais as principais *Desmarestia menziesii* J Agardh (coriácea), *Palmaria decipiens* (Reinsch) R.W.Ricker (foleácea), *Himantothallus grandifolius* (A and E Gepp) Zinova (coriácea), *Phycodrys antarctica* (Skottsberg) Skottsberg (foleácea), *Georgiella confluens* (Reinsch) Kylin (ramificada), *Monostroma hariotii* Gain (foleácea) e *Ascoseira mirabilis* Skottsberg (coriácea). Já a relação entre Div Ant e Sub-Ant (com dissimilaridade de 92,38% - tabela 3), as principais espécies exclusivas da Divergência foram: *Phycodrys antarctica* (Skottsberg) Skottsberg (foleáceo), *Ascoseira mirabilis* Skottsberg (coriáceo), *Myriogramme mangini* (Gain) Skottsberg (foleáceo), *Notophycus fimbriatus* R.L.Moe (foleáceo), *Antarcticothamnion polysporum* Moe et Silva (ramificada) e *Gainia mollis* R.L.Moe (crostosa) (ANEXO II).

Já com relação à outra zona diretamente influenciada pelas frentes da CCA, a FP, da relação desta com a Sub Ant, a dissimilaridade foi de 87,19 %, com 29 espécies exclusivas de FP (tabela 3), dentre elas, as mais importantes: *Ascoseira mirabilis* Skottsberg (coriácea), *Myriogramme mangini* (Gain) Skottsberg (foleácea), *Phycodrys antarctica* (Skottsberg) Skottsberg (foleácea), *Phaeurus antarcticus* Skottsberg (ramificada), *Phyllophora abyssalis* Skottsberg (foleácea), *Antarcticothamnion polysporum* Moe et Silvam (ramificada), *Pterothamnion antarcticum* (Kylin) Moe et Silva (ramificada) e *Gainia mollis* R.L.Moe (crostosa) (ANEXO II) e entre FP e Sub-Trop a dissimilaridade foi de 94,91%, sendo que das 81 espécies que são exclusivas para a primeira zona (tabela 3), as principais foram *Palmaria decipiens* (Reinsch) R.W.Ricker (foleácea), *Desmarestia menziesii* J

Agardh (coriácea), *Desmarestia anceps* Montagne (coriácea), *Himantothallus grandifolius* (A and E Gepp) Zinova (coriácea), *Ascoseira mirabilis* Skottsberg (coriácea), *Myriogramme mangini* (Gain) Skottsberg (foleácea), *Gymnogongrus turquetii* Hariot (ramificada), *Phycodrys antarctica* (Skottsberg) Skottsberg (foleácea), *Picconiella plumosa* (Kylin) J.De Toni (ramificada), *Georgiella confluens* (Reinsch) Kylin (ramificada), *Phycodrys austrogeorgica* Skottsberg (foleácea), *Phaeurus antarcticus* Skottsberg (ramificada), *Monostroma hariotii* Gain (foleácea), *Cystosphaera jacquinotii* (Montagne) Skottsberg (coriácea), *Pantoneura plocamioides* Kylin (foleácea) e *Nereoginkgo adiantifolia* Kylin (foleácea) (ANEXO II).

Tabela 3: Dissimilaridade (Dissim), Nível de Significância (Sign Level), espécies exclusivas (Nº Exc 1 e 2) entre as zonas Divergências Antártica (Div Ant), Frente Polar (FP), Sub-Antártica (Sub-Ant) e Sub-Tropical (Sub-Trop), para os níveis taxonômicos: espécies, gêneros, famílias e ordens.

Nível taxonômico	Relações	Dissim	Sign Level	Nº Exc 1	Nº Exc 2
Espécies	Sub Trop x Sub - Ant	89.97	0.033	492	165
	Sub Trop x FP	94.91	0.001	602	81
	Sub Trop x Div Ant	97.64	0.051	614	77
	Sub Ant x FP	87.19	0.001	223	29
	Sub - Ant x Div Ant	92.38	0.058	240	30
	FP x Div Ant	82.75	0.983	30	14
Gêneros	Sub Trop x Sub - Ant	79.78	0.137	172	54
	Sub Trop x FP	87.97	0.001	247	41
	Sub Trop x Div Ant	93.63	0.084	252	40
	Sub Ant x FP	79.13	0.001	114	16
	Sub - Ant x Div Ant	87.31	0.257	110	16
	FP x Div Ant	78.73	0.996	13	07
Famílias	Sub Trop x Sub - Ant	65.69	0.151	42	04
	Sub Trop x FP	70.12	0.127	49	05
	Sub Trop x Div Ant	80.42	0.252	56	05
	Sub Ant x FP	64.17	0.146	13	07
	Sub - Ant x Div Ant	73.48	0.739	18	05
	FP x Div Ant	69.98	0.992	09	02
Ordens	Sub Trop x Sub - Ant	51.16	0.361	05	04
	Sub Trop x FP	59.69	0.079	14	03
	Sub Trop x Div Ant	71.32	0.146	14	03
	Sub Ant x FP	53.45	0.072	11	01
	Sub - Ant x Div Ant	63.43	0.52	11	01
	FP x Div Ant	59.94	0.841	02	02

Em nível genérico o padrão de dissimilaridades internas se manteve igual ao do nível específico, sendo que a menor dissimilaridade foi entre FP x Div Ant (78,73%) e a primeira zona teve 13 gêneros exclusivos, enquanto que a segunda teve 7 (tabela 2, dos quais os mais importantes estatisticamente foram *Acanthococcus* para a primeira e *Sarcothalia* para a segunda (ANEXO II). Dos 41 gêneros exclusivos de FP da relação FP e Sub-Trop (tabela 2), os principais foram *Palmaria*,

*Himantothallus*, *Ascoseira*, *Picconiella*, *Georgiella*, *Phyllophora*, *Phaeurus*, *Monostroma*, *Cystosphaera*, *Nereoginkgo*, *Pantoneura* e *Clathromorphum* (ANEXO II) e para a relação de FP com Sub Ant, os principais gêneros exclusivos, dos 16 de FP (tabela 2) foram *Ascoseira*, *Phaeurus*, *Antarcticothamnion* e *Gainia* (ANEXO II). Por fim as duas últimas relações de áreas separadas pelas frentes: Div Ant e Sub Ant e Div Ant e Sub Trop mostram exclusividade para Div Ant de 16 e 40 gêneros, respectivamente (tabela 2), dos quais: *Ascoseira*, *Antarcticothamnion*, *Notophycus*, *Gainia* e *Leniea* para a primeira relação e *Palmaria*, *Himantothallus*, *Georgiella*, *Monostroma*, *Ascoseira* e *Phyllophora* para a segunda (ANEXO II).

Ao analisarmos as relações para famílias e ordens, os padrões se alteram novamente, sendo que a menor dissimilaridade não se dá mais entre Div Ant e Sub-Trop (69,98%), mas entre Sub-Trop e Sub-Ant (65,69%) (tabela 2). Entre Divergência Antártica e Frente Polar, 9 famílias ocorrem em FP, mas não em Div Ant (Ahnfeltiaceae, Asteronemataceae, Chaetophoraceae, Cladostephaceae, Cutleriaceae, Dictyotaceae, Ectocarpaceae, Erythrotrichiaceae e Scinaiaceae – ANEXO II) e duas estão em Div Ant, mas não em FP: Peyssonneliaceae e Phaeosaccionaceae (ANEXO II). Das famílias que são exclusivas destas duas zonas, Gainiaceae, Halymeniaceae, Kornmanniaceae e Meiodiscaceae estão nas duas, Peyssonneliaceae apenas na Div Ant e Asteronemataceae, Cutleriaceae, Erythrotrichiaceae apenas em FP, quando em comparação com Sub-Ant e as famílias Ascoseiraceae, Fryellaceae, Gainiaceae e Meiodiscaceae estão em ambas zonas, mas Phaeosaccionaceae está só em Div Ant e Chaetophoraceae em FP, nas comparações com Sub-Trop (ANEXO II).

Por fim, apesar de Div Ant e FP terem o mesmo número de ordens (29), cada um possui 2 exclusivas de suas zonas (tabela 2): Laminariales e Peyssonneliales para a primeira e Erythropeltidales e Menaliales para a segunda (ANEXO II). As ordens presentes exclusivamente nestas duas zonas, e que não estão na Sub-Ant e Sub-Trop são Ascoseirales com relação à Sub-Ant e Ascoseirales, Ahnfeltiales e Phaeothamniales com relação à Sub-Trop (ANEXO II).

Resumindo os resultados, os nMDS de espécies e gêneros mostram que as zonas FP e Div Ant tendem a ficar agrupadas, enquanto que Sub-Ant e Sub-Trop também o fazem. Isso mostra que há uma visível diferença na composição de espécies das zonas externas e internas às frentes da CCA. Porém isso não fica muito evidente para famílias e ordens (figura 3).

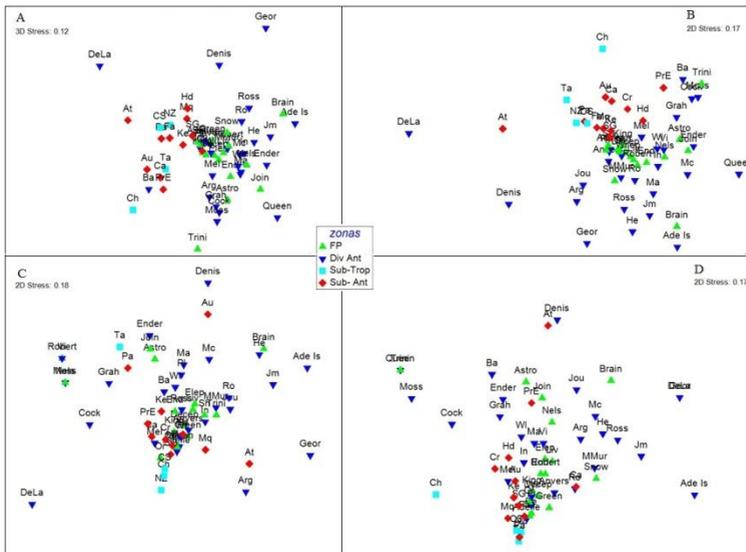


Figura 3: Ordenação resultante da análise de escalonamento multidimensional não-métrica (nMDS) sobre a similaridade de composição de espécies (A), de gêneros (B), de famílias (C) e de ordens (D) entre as localidades em cada zona considerada: Frente Polar (FP), Divergência Antártica (Div Ant), Sub-Tropical (Sub-Trop) e Sub-Antártica (Sub-Ant).

### 3.2. Análise para os setores

Da análise a partir do fator “setores”, o setor com maior número de espécies foi o 3º, com 658, porém com menor similaridade média interna (7,37%). O 1º setor mostrou o segundo maior número, com 388 e maior similaridade média (19,82%) e o segundo setor, menor número de espécies (156) e similaridade intermediária (11,28%). Mesmo padrão foi mantido com relação aos gêneros e às ordens. Quando o nível taxonômico foi de família o número total manteve os padrões dos níveis anteriores, porém a similaridade interna maior foi para o segundo setor (35,02%) (tabela 4).

Tabela 4: Número total de espécies, gêneros, famílias e ordens e similaridade média para as zonas: Divergências Antártica (Div Ant), Frente Polar (FP), Sub-Antártica (Sub-Ant) e Sub-Tropical (Sub-Trop).

Nível taxonômico	Setor	Número total	Similaridade Média
Espécies	1	388	19,82
	2	156	11,28
	3	658	7,37
Gêneros	1	206	23,9
	2	109	17,12
	3	324	11,52
Famílias	1	70	29,69
	2	62	35,02
	3	100	21,77
Ordens	1	40	44,37
	2	29	38,8
	3	43	33,81

Com relação aos valores de dissimilaridade entre os setores, para espécies, a dissimilaridade maior foi entre 2 e 3 (91,63%), sendo que 38 foram exclusivas para o 2 e 540 para o 3 (tabela 5), sendo as principais espécies responsáveis por esse valor, *Ceramium involutum* Kützing (ramificada) para o 2 e *Synarthrophyton patena* (J.D.Hooker & Harvey) R.A.Townsend (crostosa) para o 3 (ANEXO III). A menor dissimilaridade se deu entre 1 e 2 (86,20%) (tabela 5), sendo 245 exclusivas para a primeira, sendo a principal *Leniea lubrica* R.L.Moe (foleáceo) e 13 para a segunda, com a principal *Sarcothalia circumcincta* (J.Agardh) Hommersand (coriácea) (ANEXO III). Entre 1 e 3, a dissimilaridade de 89,95% (tabela 4) foi garantida pela exclusividade de *Hymenocladopsis prolifera* (Reinsch) M.J.Wynne (ramificada), *Gymnogongrus turquetii* Hariot (ramificada), *Ulothrix australis* Gain (filamentosa), *Falklandiella harveyi* (J.D.Hooker) Kylin (ramificada), *Ulothrix flacca* (Dillwyn) Thuret (filamentosa), *Cystoclonium obtusangulum* Kützing (ramificada) e *Rhodokrambe laingioides* R.L.Moe (foleácea) para 1 e *Sarcothalia circumcincta* (J.Agardh) Hommersand (coriácea), *Chaetomorpha mawsonii* AHS

Lucas filamentosa), *Marginariella parsonsii* W.A.Nelson (coriácea), *Phymatolithon masonianum* Wilks & Woelkerling (crostosa), *Mesophyllum incisum* (Foslie) W.H.Adey (crostosa), *Gymnothamnion elegans* (Schousboe ex C.Agardh) J.Agardh (ramificada), *Anotrichium crinitum* (Kützing) Baldock (ramificada) e *Bryopsis vestita* J.Agardh ramificada) para 3 (ANEXO III). O mesmo padrão de dissimilaridade foi observado para gêneros, onde 227 deles foram exclusivos para o 3º setor (tabela 5), sendo os principais *Synarthrophyton*, *Rhodochorton*, *Bryopsis*, *Chondria*, *Antarctocolax* (ANEXO III) e 12 para o segundo (tabela 4), dos quais *Laminaria* e *Mazzaella* (ANEXO III).

Tabela 5: Dissimilaridade (Dissim), Nível de Significância (Sign Level), espécies exclusivas (Nº Exc 1 e 2) entre os setores 1, 2 e 3, para os níveis taxonômicos: espécies, gêneros, famílias e ordens.

Nível taxonômico	Relações	Dissim	Sign Level	Nº Exc 1	Nº Exc 2
Espécies	1x2	86.20	0,004	245	13
	1x3	89.95	0,031	198	468
	2x3	91.63	0,065	38	540
Gêneros	1x2	81.30	0,005	105	08
	1x3	84.82	0,059	170	52
	2x3	86.29	0,121	12	227
Famílias	1x2	68.14	0,144	12	04
	1x3	74.47	0,715	04	34
	2x3	71.94	0,302	03	41
Ordens	1x2	59.77	0,087	11	00
	1x3	61.22	0,123	02	05
	2x3	66.07	0,111	00	14

Para famílias, o padrão se alterou, mostrando maior dissimilaridade para a relação 1 e 3 (74,47%), com 4 famílias exclusivas para o primeiro setor e 34 para o segundo. Destas famílias, as principais para cada um deles, foram: Fryeellaceae e Liagoraceae, respectivamente (ANEXO III), ambas presentes nas zonas diretamente afetadas pelas frentes da CCA (ANEXO II). Entre 2 e 3, a dissimilaridade foi de 71,94%, sendo 3 exclusivas de 2 e 41 de 3 (tabela 5), das quais Ahnfeltiaceae, Chaetophoraceae e Fryeellaceae de 2 e Liagoraceae, mais uma vez mais

importante para o 3º setor (ANEXO III). Por fim, para ordens, embora não tenha havido significância, o padrão foi similar ao de espécies e gêneros, sendo a maior dissimilaridade entre 2 e 3 (66,07%), sendo que nenhum deles foi exclusivo para o 2º setor e 14 para o 3º. Nenhuma ordem foi exclusiva de 2, também, quando em comparação com 1, embora tenha havido dissimilaridade de 59,11%. E entre 1 e 3, 2 foram exclusivos de 1 e 5 de 3 (tabela 5). Para nenhuma das relações houve uma ordem mais importante para o estabelecimento das relações supracitadas (ANEXO III). O nMDS não mostrou nenhum agrupamento para esse fator.

### 3.3 Análise por Morfotipos

A maior contribuição para o valor de similaridade dentro de cada zona foi dos morfotipos funcionais: coriácea, com 38,67% na FP, 45,94% na Div Ant e ramificada, com 40,01% de contribuição na Sub-Trop e 39,74 na Sub-Ant% (tabela 6). As similaridades internas não foram muito altas (tabela 6).

Tabela 6: Valores do SIMPER, de Similaridade Interna (Sim), para as zonas: Divergências Antártica (Div Ant), Frente Polar (FP), Sub-Antártica (Sub-Ant) e Sub-Tropical (Sub-Trop). e os morfotipos funcionais responsáveis pelos valores, com Média de Abundância (Av. Abund), Média de Similaridade (Av.Sim) e porcentagem de contribuição (Contrib%).

Zonas	Sim	Morfotypes	Av. Abund	Av. Sim	Contrib%
FP	37.7	coriácea	7.44	14.58	38.67
		ramificada	9.19	11.16	29.6
		foleáceo	6.31	8.71	23.11
Div Ant	36.99	coriácea	3.96	17	45.94
		ramificada	5.15	11.52	31.13
		foleáceo	3.59	4.65	12.57
		filamentosa	2.52	2.73	7.39
Sub-Trop	37.65	ramificada	105	15.07	40.01
		filamentosa	39.25	8.04	21.36
		coriácea	28.75	6.37	16.92
		foleáceo	18.5	4.67	12.41
Sub-Ant	42.24	ramificada	23.09	16.78	39.74
		coriácea	11.36	9.13	21.62
		filamentosa	17.55	8.55	20.23
		foleáceo	9	5.79	13.71

Para os setores, coriáceo foi o morfotipo mais importante para o 2º e 3º, com contribuição de 53,85% e 33,64%, respectivamente e ramificado foi o mais importante para o 1º setor 32,82% (tabela 7).

Tabela 7: Valores do SIMPER, de Similaridade Interna (Sim), para os setores 1, 2 e 3 e os morfotipos funcionais responsáveis pelos valores, com Média de Abundância (Av. Abund), Média de Similaridade (Av.Sim) e porcentagem de contribuição (Contrib%).

Setores	Sim	Morfotipes	Av. Abund	Av. Sim	Contrib%
1	36.33	ramificada	14.43	11.92	32.82
		coriácea	8.32	10.88	29.95
		foleáceo	8	9.21	25.34
		filamentosa	9.79	3.16	8.7
2	37.95	coriácea	5.6	20.44	53.85
		ramificada	7.67	11.03	29.05
		foleáceo	3.53	3	7.91
		ramificada	29.4	10.46	34.12
3	30.65	coriácea	9.93	10.31	33.64
		filamentosa	11.47	4.28	13.96
		foleáceo	6.27	3.45	11.26

E finalizando, o nMDS não mostrou nenhum agrupamento de morfotipos, nem para as zonas, nem para os setores (figura 4).

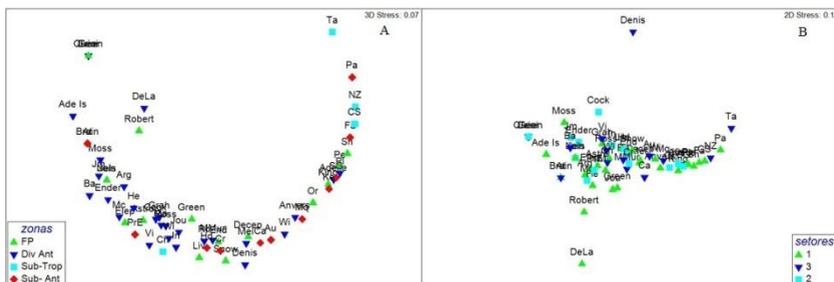


Figura 4: Ordenação resultante da análise de escalonamento multidimensional não-métrica (nMDS) sobre a similaridade de frequências de algas nos morfotipos funcionais entre as localidades em cada zona (A) e setores (B): Frente Polar (FP), Divergência Antártica (Div Ant), Sub-Tropical (Sub-Trop) e Sub-Antártica (Sub-Ant); 1, 2 e 3.

## DISCUSSÃO e CONCLUSÃO

Para entender as relações de similaridade entre as zonas e se há diferenças entre elas, bem como se as frentes da corrente conferem uma barreira biogeográfica para a dispersão de macroalgas, precisamos entender como são as relações físicas entre esses ambientes. Primeiramente, devemos considerar que as configurações atuais dos sistemas de correntes oceânicas e atmosféricas, a posição em que as ilhas e continentes estão, as relações de distância entre eles e as zonações climáticas são consequências dos eventos tectônicos pretéritos. Esses eventos impactam os padrões de distribuição de organismos marinhos (bentônicos e pelágicos) e terrestres, conferindo a formação de barreiras biogeográficas para a dispersão, bem como a formação de novos ambientes ainda não explorados (MAISEY 2000).

A idade de formação das zonas analisadas é diferente, gradual, e assim, as características regionais e locais também são diferentes, isto é: há diferenças de substrato (definidas pela origem da rocha e o tipo de erosão que ela sofre), temperatura da água do mar, disponibilidade de nutrientes, irradiância, pluviosidade (que podem ser consequência de características atmosféricas, latitudinais e de correntes oceânicas) e interações com outros organismos (competição, facilitação e predação). De acordo com Smale *et al.* (2011), os padrões de diversidade e riqueza são determinados em uma escala local. Isso é verificado na alta dissimilaridade de espécies entre as zonas, principalmente nas que estão mais distantes, e que possuem características mais diferenciadas, como Su-Trop e Div Ant (Dissimilaridade de 97,64% - tabela 3).

Após a abertura do canal do Drake, o continente antártico foi isolado, fato que intensificou as relações e as respostas a distúrbios internos, que por sua vez podem ocorrer em escala regional (toda a área) e local (porções individuais de costão rochoso, conferindo várias interações dentro da grande área). De acordo com Smale *et al.* (2011), na Austrália, a interação entre as florestas de kelps (dominadas por *Ecklonia radiata*) e as de sub-bosque, determina, por exclusão competitiva, padrões de diversidade em escalas espaciais pequenas. Isso pode explicar o porquê de haver baixa similaridade interna entre todas as zonas (tabela 2). Porém, esses valores também podem ser explicados pelas distâncias entre as localidades dentro de cada zona, ou seja, alta variabilidade ambiental dentro de cada uma das zonas.

Se pensarmos nas localidades próximas, Tasmânia, Nova Zelândia e as Ilhas Chatham e as Ilhas Antípodas possuem os sistemas de correntes que as envolvem e formam três zonas de convergência

subtropical, onde há o encontro de águas frias, vindas das porções subantárticas e antárticas (KNOX 1960). Nelas estão representadas quatro províncias biogeográficas: Southeast Australian Shelf, Southwest Australian Shelf, Southern New Zealand e Subantarctic New Zealand (SPALDING *et al.* 2007).

A diferença entre essas áreas pode ser devido à origem de uma grande porcentagem de macroalgas vermelhas ter sido na Nova Zelândia, Tasmânia e Sul da Austrália. Essa flora dispersou depois, através da porção oeste da Antártica para o sul da África, por correntes oceânicas das latitudes maiores, no Mioceno e Oloceno (HOMMERSAND & FREDERICQ 2002).

Em continuação, no sul da América do Sul, o sistema de correntes também separa as duas partes que compõem essa área geográfica: o Oceano Atlântico e o Oceano Pacífico. Derivada do West Wind Drift, a Corrente do Cabo Horn corta a Passagem de Drake, entre a Península Antártica e a Patagônia. Ela une águas do Pacífico com o Atlântico, passando entre as Ilhas Falklands e as Georges do Sul. Além dela, na porção Atlântica, se origina acima das Falklands, a corrente de mesmo nome, sobe costeira, garantindo à região da Patagônia, característica subantártica (KNOX 1960).

Por fim, a corrente do Peru sobe, no Oceano Pacífico, por toda a costa do Chile. Ela é rica em nutrientes e por ser fria, varia a temperatura da superfície em até 10°C (KNOX 1960). Tem-se assim, três províncias biogeográficas: Warm Temperate Southeastern Pacific, Warm Temperate Southwestern Atlantic e Magellanic (SPALDING *et al.* 2007).

Finalmente, quando a Antártica se separou da América, há 30 milhões de anos, direcionou a evolução de uma flora marinha própria, adaptada às águas frias (RAMIREZ 2010). Hommersand *et al.* (2009) defendem que os padrões de distribuição das algas vermelhas na Antártica são devido tanto a eventos vicariantes, como a eventos dispersivos. Isto é, algumas espécies se originaram na região após a separação do continente e a formação da Corrente Circumpolar Antártica, e algumas utilizam as correntes que se formam a partir dela como forma de dispersão. As ilhas Sub-antárticas seriam assim, um ponto de conexão entre os continentes e demais áreas geográficas e a Antártica.

Porém, de acordo com Silberfeld *et al.* (2010), *Ascoseira mirabilis*, uma das espécies que se encontram unicamente dentro da CCA, teve sua diferenciação aproximadamente entre 100 e 120 milhões

de anos atrás, no Período Cretáceo, antes da corrente ser considerada uma barreira, e *Himantothallus grandifolius* diferenciou-se de *Desmarestia menziesii* há aproximadamente 30 milhões de anos, mesma época da abertura do canal do Drake. Peters (*et al.* 2000), por sua vez, mostram que *Phaeurus antarcticus* tem sua diferenciação muito anterior a *H. grandifolius*. Essas datas encontradas não permitem a afirmação de evento de vicariância.

Dessa forma, segundo van den Hoek (1987), muitas floras são capazes de se dispersar a favor das correntes fortes geradas pela West Wind Drift, permitindo que ilhas oceânicas sejam colonizadas por dispersão a longas distâncias, em curtos períodos de tempo. Um exemplo disso é a Flora de Tristão da Cunha ter recebido a flora da África do Sul há cerca de 1 milhão de anos, estando no sentido contrário da corrente.

Porém, embora a dispersão de fases planctônicas de animais tenha sido comprovada (BARNES *et al.* 2006, BRANDT *et al.* 2007, WATSON *et al.* 2011, TESKE *et al.* 2011) não há evidências fortes para garantir que haja dispersão nas fases microscópicas de esporos de macroalgas. Em contrapartida, elas existem para as formas de dispersão por deriva ou flutuação (algas que boiam como *Sargassum* sp.), ou fixadas a superfícies como cascos de embarcações, água de lastro, plásticos etc (VAN DEN HOEK 1987).

Então, espera-se que os fluxos dispersivos entre as províncias neste trabalho consideradas, cessaram em um dado momento, provavelmente, quando a Corrente Circumpolar Antártica tornou-se forte e persistente o suficiente para bloquear movimentos através dela a cerca de 15 milhões de anos. Mas isso não se dá para as ilhas sub-antárticas, pois foi ela a responsável por distribuir algumas espécies da América do Sul e Falklands até Crozet, Kerguelen, Macquarie, Aucklands e Campbell (HOMMERSAND *et al.* 2009).

Então, o que os definiria os padrões encontrados? Sabe-se que o ambiente antártico possui apenas pequenas possibilidades de assentamento das macroalgas, pois há descontinuidade e baixa estabilidade do substrato e condições extremas de temperatura (RAMIREZ 2011). Isso porque é composta por um conjunto de ilhas vulcânicas e uma extensa porção continental. Ainda, diferente das demais áreas, há gelo e icebergs por todas as partes (GUTT 2001). Além disso, sofre de regimes de variação de temperatura do ar e da água e congelamento superficial da água durante o inverno (WIENCKE *et al.* 2007).

Ainda, há variação anual de luz diária de 5 horas durante o inverno e 20 horas durante o verão (WIENCKE 1990), que influencia fortemente na produção primária das macroalgas e em seu desenvolvimento sazonal. De acordo com Wiencke *et al.* (2007), a formação de gelo e o depósito de neve sobre ele aumentam ainda mais os períodos de escuridão, diminuindo a irradiância a menos de 2% do valor da superfície. O mesmo ocorre sob os grandes “doceis” das algas pardas, formadoras de bancos de kelps (*Laminaria* na Austrália, *Macrocystis* nas ilhas subantárticas e *Desmarestia* e *Himantothalus* na Antártica – RICHARDSON 1979).

Essas grandes algas sombreiam umas as outras e dessa forma, a luz é um fator determinante no polo sul, por dois fatores contrastantes: 1) a falta de luz no inverno e nas regiões sombreadas diminui a eficiência fotossintética; 2) o excesso de luz no verão faz com que algas atinjam o ponto de compensação fótico mais cedo, o que pode induzir a fotoinibição. Além disso, há maior incidência de radiação UV, o que pode causar danos celulares em diferentes níveis (BISCHOF *et al.* 2006).

Deve haver assim, estratégias adaptativas do metabolismo para se estabelecer nesse ambiente; fotossíntese e crescimento devem se equilibrar para um melhor aproveitamento dos recursos e garantir também vantagem competitiva (WULLF *et al.* 2009). No estudo realizado por Gómez (1997), ele verificou que o desenvolvimento do gametângio se dá nos períodos mais escuros (inverno), quando também ocorre a fecundação dos gametas e desenvolvimento primário do esporófito nas espécies de *A. mirabilis*, *Desmarestia*, *H. grandifolius*, *P. antarcticus*. Na primavera há um crescimento exponencial do tamanho do talo e da quantidade de tecido longitudinalmente. A fotossíntese aumenta e as plantas continuam a crescer, agora lateralmente. Para *D. menziesii* todo o desenvolvimento dos gametas, até o crescimento do esporófito se dá com períodos de luz inferiores a 9 horas por dia e todas essas espécies têm a irradiância máxima para a gametogênese a  $13 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (WIENCKE *et al.* 1995). Isso mostra que essas algas estão adaptadas aos longos períodos de escuridão do inverno polar.

Dessa forma, algas foleáceas e filamentosas possuem produto final de fotossíntese maior que os demais morfotipos funcionais. Isso foi verificado por Littler e Littler (1984), e ambiente tropical (Caribe). Porém, as estratégias das algas antárticas indicam que algas coriáceas possuem melhores taxas fotossintéticas, pois essas espécies possuem

camadas externas não fotossintetizantes, que protegem as camadas fotoativas (GÓMEZ 1997).

Assim, quanto mais grosso for o talo, maior é sua proteção contra a radiação e stress fótico, além de a longevidade das algas e a altura dos talos aumentarem conforme sua complexidade (STENECK 1994). Dessa forma, algas se estabelecem em profundidades onde os distúrbios não são tão fortes e ainda alcancem a luz.

Além da luz, a temperatura também é um fator limitante nesse ambiente. Segundo Brown *et al.* (2004) reações biológicas, taxas metabólicas e outros índices de taxas de atividades biológicas aumentam exponencialmente com esse fator, mas claramente as respostas variam de acordo com a filogenia e tolerância dos organismos. Isso é evidenciado em algas como *Desmarestia anceps*, *Himantothalus grandifolius*, *Phaeurus antarcticus* e *Ascoseira mirabilis* que têm crescimento ótimo entre 0° e 10°C e esse valor é significativamente menor que as espécies do sul do Chile e as *Laminaria* das zonas temperadas do norte (WIENCKE & DIECK 1990).

Na Antártica, a variação de temperatura se iniciou na separação da península do continente americano, com a abertura do canal de Drake e o começo da circulação da CCA, que isolou a região do influxo de calor vindo dos trópicos. Essas variações promoveram a evolução de espécies das regiões temperadas quentes adaptadas às condições da temperada fria. O registro fóssil de algumas algas, em diferentes períodos geológicos, enfatiza essa proposta e mostra, em conjunto com os registros de temperatura pretéritos, que os gêneros de distribuição restrita ao polo têm idade mais recente (VAN DEN HOEK 1984).

Com isso em mente, os mapas propostos por Knox (1960 – Figuras XIX) mostram que todas as áreas possuem as mesmas temperaturas da água do mar, com pequenas variações, mas somente Antártica se mantém na menor temperatura (tanto no verão, quanto no inverno).

Assim, segundo o observado por van den Hoek (1984), as floras vermelhas de regiões temperadas quentes da América do Sul (Chile e Argentina) e das ilhas sub-antárticas apresentam similaridade de 35%, assim como Sul da África e Austrália e Nova Zelândia (que no nosso trabalho representaria a área Australiana). Com o clima polar mais severo, os gêneros nos limites de temperatura, recuaram para o sul da América e ilhas Sub-Antárticas, deixando na Antártica apenas os organismos que se adaptaram. E isso é comprovado pelo parentesco e similaridades encontrados por ele.

Portanto, podemos inferir que essas adaptações, então, foram mais importantes para a seleção das algas dentro da corrente e a definição dos padrões que encontramos, do que os eventos vicariantes.

Embora o nMDS dos morfotipos funcionais (figura 3) não tenha apresentado agrupamentos distintos das zonas e dos setores, fica claro que há uma separação conforme o critério da posição das localidades e as frequências nas áreas externas à corrente (Sub-Trop e Sub-Ant) e internas à ela (Div Ant e FP). A maioria das algas presentes internamente foram classificadas em ramificadas e coriáceas. Isso pode ser explicado devido às características climáticas locais. Mesmo as algas ramificadas possuem talos rígidos que suportam as colisões dos blocos de gelo e das ondas formadas durante as constantes tempestades que ali ocorrem.

Como a análise foi feita por presença e ausência e não por abundância, nossos resultados não expressam as relações de dominância entre os morfotipos funcionais ao longo do costão. Alguns trabalhos, porém, evidenciam-na e apresentam o padrão de zonação existente nas ilhas da Península Antártica, McMurdo e no mar de Ross (DELACA AND LIPPS 1976, WESTERMEIER *et al.* 1992, CHUNG *et al.* 1994, AMSLER *et al.* 1995, BROUWER 1996, CHUNG *et al.* 2000, QUARTINO *et al.* 2001, 2005, WIENCKE & CLAYTON 2002, AMSLER *et al.* 2005, WIENCKE *et al.* 2007, WULFF *et al.* 2009) e mostram que algas como *Pyropia endiviifolia* (no trabalho como *Porphyra*, foleácea), *Prasiola crista* (filamentosa), *Urospora penicilliformis* (filamentosa), *Ulothrix* spp. (filamentosa), *Enteromorpha bulbosa* (foléácea) e *Acrosiphonia arcta* (filamentosa) encontram-se sempre em locais protegidos como poças de marés e fendas sombreadas em rochas, nas partes mais altas do costão. Na franja entre supra litoral e mesolitoral, existem geralmente calcárias incrustantes (crostosas) que aguentam a abrasão do gelo, e abaixo delas, *Palmaria decipiens* (foleácea), *Phaeurus antarcticus* (ramificada), *Adencystis utricularis* (coriácea), *Iridaea cordata* (coriácea), *Curdiea racovitza* (coriácea) e *Myriogramme manginni* (foleácea). Todas elas costumam se apresentar em grandes quantidades e os talos misturam-se uns aos outros, além de possuírem o talo mais resistente do que algas filamentosas ou foleáceas finas.

Ademais, as comunidades do infralitoral são dominadas por grandes algas pardas da ordem Desmarestiales (mais abundantes a 10 metros) e as espécies *C. jacquinotii*, *A. mirabilis* e *H. grandifolius* (abundantes de 10 a 40 metros), que ecologicamente substituem as

Laminariales das zonas temperadas e do Ártico. Além das mais dominantes existe a presença de *Gigartina skottsbergii* (coriácea), *Trematocarpus antarcticus* (ramificada), *Gymnogongrus turquetii* (ramificada), *Plocamium cartilagineum* (ramificada), *Pantoneura plocamioides* (foleácea), *Georgiella confluens* (ramificada). Destas, mesmo as ramificadas e as foleáceas possuem o talo rígido e resistente. Fica evidente assim que há uma seleção maior pelo morfotipo coriáceo.

A diferença da composição de espécies se dá basicamente devido ao substrato disponível e exposição, que deve ser geralmente rígido e bem consolidado (com exceção das algas que conseguem se fixar em substrato não consolidado através de rizoides) (WULFF *et al.* 2009). E a grande diversidade a maiores profundidades se dá devido aos processos sucessionais causados basicamente por perturbações físicas, como o impacto e arrasto de icebergs (QUARTINO *et al.* 2005).

Considerando que na Antártica e ilhas adjacentes a presença de distúrbios é constante, as algas dominantes na comunidade são aquelas que conseguem se estabelecer (fixar-se ao substrato, crescer e alcançar a luz para fazer fotossíntese) e assim, precisam possuir estrutura morfológica mais densa (com mais camadas de células), para suportar os distúrbios. Gómez (1997) mostra que a *A. mirabilis* cresce muito rápido em tamanho. Isso pode evidenciar que essas algas coriáceas suportam essas condições e ainda investem na velocidade do crescimento, para ocuparem o espaço e permanecer. Esses distúrbios afetam mais as algas filamentosas e foleáceas delicadas, do que as ramificadas, coriáceas, calcárias e crostosas (STENECK 1994). Além disso, os dois primeiros morfotipos funcionais ainda são mais susceptíveis à predação. Littler e Littler (1984) mostram que a resistência à penetração é maior, quanto maior for a grossura do talo.

Por conta de todas as diferentes dominâncias, interações, bem como as qualidades ambientais locais garantem à Divergência Antártica um menor valor de similaridade interna com relação à composição de espécies (11,59%).

Comparando os valores de similaridade interna das zonas, com relação aos morfotipos funcionais, notamos que para as zonas internas à CCA (FP e Div Ant), o valor mostrado (38,67% e 45,94%, respectivamente) tem maior contribuição das algas coriáceas e para as outras zonas, o morfotipo que mais contribuiu foi o de algas ramificadas. Isso é esperado, pois comunidades que se estabeleçam sob as mesmas características ambientais, mas que possuam processos evolutivos independentes, devem mostrar atributos funcionais, como tamanho de corpo e arquitetura adaptativa similares e isso seria

entendido como “convergência em nível de comunidade” (VERMEIJ *et al.* 2008).

Então, além de exercer uma pressão de isolamento térmico, a formação da Corrente Circumpolar Antártica gerou uma barreira de isolamento batimétrico, oceanográfico e geográfico para a dispersão e migração de organismos (DAMERAU *et al.* 2012). Considerando ainda que dela se originam outras correntes no sentido contrário ao do Continente Antártico, e que a composição de flora dentro da corrente, bem como as adaptações das algas às condições que ela intensifica me fazem concluir que há sim diferenças entre as composições taxonômicas entre as zonas que compõe a CCA e as que não fazem parte dela, e as características ambientais configuradas pela forçantes da corrente são responsáveis por selecionar organismos adaptados às condições tão extremas. Essas adaptações podem estar relacionadas à constituição morfológica das algas e conforme os resultados mostram, morfotipos coriáceos e ramificados estariam mais evidentes nesse ambiente.

## REFERÊNCIAS

- Amsler, C.D., Rowley, R.J., Laur, D.R., Quentin L.B. & Ross, R.M. 1995. Vertical distribution of Antarctic peninsular macroalgae: cover, biomass and species composition. *Phycologia*. 34: 424–430.
- Amsler C.D., Iken K., McClintock, J.B., Amsler, M.O., Peters, K.J., Hubbard, J.M., Furrow, F.B. & Baker, B.J. 2005. Comprehensive evaluation of the palatability and chemical defenses of subtidal macroalgae from the Antarctic Peninsula. *Marine Ecology Progress Series*. 294: 141–159.
- Amsler, C.D. Okokbue, I.N., Landry, D.M., Amsler, M.O., McClintock, B. & Baker, B.J. 2005. Potential chemical defenses against diatom fouling in Antarctic macroalgae. *Botanica Marina*. 48: 318-322.
- Barker, P.F., Filippelli, G.M., Florindo, F., Martin, E.E. & Scher, H.D. 2007. Onset and role of the Antarctic Circumpolar Current. *Deep-sea Research II*. 54: 2388-2398.
- Barnes, D.K.A., Hodgson, D.A., Convey, P., Allen, C.S. & Clarke, A. 2006. Incursion and excursion of Antarctic biota: past, present and future *Global Ecology and Biogeography*. 15:121–142.
- Begon, M., Townsend, C.R. & Harper, J.L. 2006. *Ecology: from individuals to Ecosystems*. 4th ed. Blackwell Publishing Ltd. 13pp.
- Bischof, K., Gómez, I., Molis, M., Hanelt, D., Karsten, U., Lüder, U. Roleda, M.Y., Zacher, K. & Wiencke, C. 2006. Ultraviolet radiation shapes seaweed communities. Review in *Environmental Science and Biotechnology*. 5: 141–166.
- Bolton, J.J. & Stegenga, H. 1987. The marine algae of Huleka (Trankei) and the warm temperate/ sub-tropical transition on the east coast of Southern Africa. *Helgolander Meeresuntersuchungen*. 41: 165-183.
- Bolton, J.J. & Stegenga, H. 1990. The seaweed of the De Hoop Nature Reserve and their phylogeographical significance. *South African Journal of Botany*. 56: 233-238.
- Bolton, J. J. & Anderson, R.J. 1990. Correlation between intertidal seaweed community composition and sea water temperature patterns on a geographical scale. *Botanica Marina*. 33: 447-457.
- Bolton J. J., Leliaert, E.F., de Clerck, E.O., Anderson, R.J., Stegenga, E.H., Engledow, E.H.E. & Coppejans, E. 2004. Where is the western limit of the tropical Indian Ocean seaweed flora? An analysis of intertidal seaweed biogeography on the east coast of South Africa. *Marine Biology*. 144: 51–59.

- Boehm, T., Woodall, L., Teske, P.R., Lourie, S.A., Baldwin, C., Waldman, J., & Hickerson, M. 2013. Marine dispersal and barriers drive Atlantic seahorse diversification. *Journal of Biogeography*. 1-11.
- Boraso, A.L., Rico, A.E., Perales, S., Pérez, L. & Zalazar, H. 2004. *Algas Marinas de la Patagônia. Una guía ilustrada*. Asociación de Cs. Naturales Félix de Azara, Buenos Aires.
- Boraso, A & Zaixso, J.M. 2011. Atlas de Sensibilidad Ambiental de la Costa y el Mar Argentino. *Algas Marinas Bentónicas*. 28 pp.
- Brandt, A., Gooday, A.J., Brandão, S.N., Brix, S., Brökeland, W., Cedhagen, M., Choudhury, T., Cornelius, N., Danis, B., de Mesel, I., Diaz, R.J., Gillan, D.C., Ebbe, B., Howe, J.A., Janussen, D., Kaiser, S., Linse, K., Malyutina, M., Pawlowski, J., Raupach, M. & Vanreusel, A. 2007. First insights into the biodiversity and biogeography of the Southern Ocean deep sea. *Nature*. 447: 307-311.
- Brigs, J.C. 2007. Panbiogeography: Its Origin, Metamorphosis and Decline *Russian Journal of Marine Biology*. 33(5): 273-277.
- Brouwer, P.E.M., Geilen E.F.M, Gremmen, N.J.M. & van Lent, F. 1995. Biomass, Cover and Zonation Pattern of Sublittoral Macroalgae at Signy Islan, South Orkney Islands, Antarctica. *Botanica Marina*. 38: 259-270.
- Brouwer, P.E.M. 1996. Decomposition in situ of the sublittoral Antarctic macroalga *Desmarestia anceps* Montagne. *Polar Biology*. 16: 129-137.
- Brown, J. H., Gillooly, J.F., Allen, A.P., Savage, V.M., & West, G.B. 2004. Toward a metabolic theory of Ecology. *Ecology*. 85(7): 1771-1789.
- Camus, P.A. 2001. Marine biogeography of continental Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*. 74:587-617.
- Chung, H., Y.S. Oh, I.K. Lee and D-Y. Kim. 1994. Macroalgal vegetation of Maxwell Bay in King George Island, Antarctica. *Korean Journal of Phycology*. 9: 47-58.
- Chung, H., Oh, Y.S., Kim, J.H., Kang, Y-C., Kang, S-H & Lee, S.H. 2000. Species Composition and Biomass Distribution of Benthic Macroalgae in Maxwell Bay, King George Island, Antarctica. *Korean Journal of Polar Research*. 11(1): 1-12.
- Clayton, M.N. 1994. Evolution of the Antarctic benthic algal flora. *Journal of Phycology*. 30: 897-904.
- Cormaci, M., Furnari, G. & Scammacca, B. 1992. The Benthic algal Flora of Terra Nova Bay (Ross Sea, Antarctica). *Botanica Marina*. 35: 541-552.

- Crisci, J.V. 2001. The voice of historical biogeography. *Journal of Biogeography*. 28: 157–168.
- Crisci, J.V., Sala, O.E., Katinas, L., Posadas, P. 2006. Bridging historical and ecological approaches in biogeography. *Australian Systematic Botany*. 19: 1–10.
- Crisp, M.D., Trewick, S.A. and Cook, L.G. 2011. Hypothesis testing in biogeography. *Trends in Ecology and Evolution*. 26: 66-72.
- Damerau, M., Matschiner, M., Salzburger, W. & Hanel, R. 2012. Comparative population genetics of seven notothenioid fish species reveals high levels of gene flow along ocean currents in the southern Scotia Arc, Antarctica. *Polar Biology*. 35:1073–1086.
- DeLaca, T.E. & Lipps, J.H.. 1976. Shallow-water marine associations, Antarctic Peninsula. *Antarctic Journal*. 11: 12–20.
- Etcheverry, H. 1983. Algas Bentónicas de la Antártica Chilena. *Boletín Instituto Antártico Chileno INACH, ser. Cient.* 30: 97-124.
- Floeter, S.R., Rocha, L.A., Robertson, D.R., Joyeux, J.C., Smith-Vaniz, W.F., Wirtz, P., Edwards, A.J., Barreiros, J.P., Ferreira, C.E.L., Gasparini, J.L., Brito, A., Falcão, J.M.,
- Bowen, B.W. & Bernardi, G. 2008. Atlantic reef fish biogeography and evolution. *Journal of Biogeography*. 35: 22–47.
- Garbary, D. 1987. A critique of traditional approaches to seaweed distribution in light of the development of vicariance biogeography. *Helgolander Meeresuntersuchungen*. 41: 235-244.
- Gheerbrant, E. & Rage, J-C. 2006. Paleobiogeography of Africa: How distinct from Gondwana and Laurasia? *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 241: 224–246.
- Gomez, I.V. 1997. Life strategy and ecophysiology of Antarctic macroalgae. Dissertation, die dem Fachbereich Biologie/Chemie der Universität Bremen vorgelegt wurde. *Ber. Polarforsch.* 238. 114p.
- Gomez, I.V., Weykam, G., Kloser, H. & Wiencke, C. 1997. Photosynthetic light requirements, metabolic carbon balance and zonation of sublittoral macroalgae from King George Island (Antarctica). *Marine Ecology Progress Series*. 148: 281-293.
- Gómez, I. 2001. Ecophysiology of Antarctic macroalgae: effects of environmental light conditions on photosynthetic metabolites. *Revista Chilena de Historia Natural*. 74: 251-271.
- Gutt, J. 2001. On the direct impact of ice on marine benthic community, a review. *Polar Biology*. 24: 553-564.
- Hassold, N.J.C., Rea, D.K., van der Pluijm, B.A., Parés, J.M. 2009. A physical record of the Antarctic Circumpolar Current: Late Miocene to

- recent slowing of abyssal circulation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 275: 28–36.
- Hausdorf, B. & Hennig, C. 2003. Biotic Element Analysis in Biogeography. *Society of Systematic Biologists*. 52(5):717–723.
- Hommersand, M.H. & Fredericq, S. 2002. Biogeography of the marine red algae of the South African West Coast: a molecular approach. ms44.qxd. 1-11.
- Hommersand, M.H., Moe, R.L., Amsler, C.D. & Fredericq, S. 2009. Notes on the systematics and biogeographical relationships of Antarctic and sub-Antarctic Rhodophyta with descriptions of four new genera and five new species. *Botanica Marina* 52: 509–534.
- Kampel, M. 1998. Aspectos da circulação superficial e transporte de calor na frente polar antártica revelados por derivadores rastreados por satélites. *Anais IX Simpósio Brasileiro de Sensorimento Remoto*, Santos, Brasil 11-18, INPE. 817-827 p.
- Kennett, J.P. 1977. Cenozoic Evolution of Antarctic Glaciation, the Circum-Antarctic Ocean, and Their Impact on Global Paleooceanography. *Journal of Geophysical Research*. 82(27): 3843-3860.
- Kerswell, A.P. 2006. Global biodiversity patterns of benthic marine algae. *Ecology*. 87(10): 2479–2488.
- Klinck, J. M., & Nowland W. D. Jr. 2001: Antarctic Circumpolar Current. *Encyclopedia of Ocean Science*, Academic Press, 1st Edition, 151-59.
- Knox, G.A. 1960. Littoral ecology and biogeography of the Southern Oceans. *Proceedings of the Royal Society Britain* 152:577-624.
- Barber, P.H., Palumbi, S.R., Erdmann, M.V. & Moosa, M.K. 2000. Biogeography: A marine Wallace's line? *Nature*.406: 692-693.
- Korb, R.E & Gerard, V.A. 2000. Effects of concurrent low temperature and low nitrogen supply on polar and temperate seaweeds. *Marine Ecology Progress Series*. 198: 73-82.
- Lamb, I.M & Zimmerman, M.H. 1977. Benthic Marine Algae of the Antarctic Peninsula. *Biology of the Antarctic Seas V. Antarctic Research Series Volume 23*. American Geophysical Union. 106p.
- Littler, M.M. & Littler, D.S. 1984. Relationships between macroalgal functional form groups and substrata stability in a subtropical rocky-intertidal system. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 74: 13-34.

- Macaya, E.C. & Zuccarello, G.C. 2010. Genetic structure of the giant kelp *Macrocystis pyrifera* along the southeastern Pacific. *Marine Ecology Progress Series*. 420: 103–112.
- Maisey, J.G. 2000. Continental break up and the distribution of fishes of Western Gondwana during the Early Cretaceous. *Cretaceous Research*. 21: 281–314.
- Monge-Nájera, J. 2008. Ecological biogeography: a review with emphasis on conservation and the neutral model. *Gayana*. 72(1): 102-112.
- Myers, A.A. 1997. Biogeographic Barriers and the Development of Marine Biodiversity. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 44: 241–248.
- Navarrete, A.H., Camus, P.A. & Opazo, L.F. 2008. Environmental variation and dietary patterns of the black urchin *Tetrapygus niger* in rocky intertidal shores of northern Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*. 81: 305-319.
- Neushul, M. 1964. Diving Observations of Sub- Tidal Antarctic Marine Vegetation. *Botanica Marina*. 8: 234-243.
- Nowlin, W.D. JR. & Klinck, J. M. 1986. The Physics of the Antarctic Circumpolar Current. *Reviews of Geophysics*. 24(3): 469-491.
- Oliveira, E. C., Absher, T.M., Pellizzari, F.M. & Oliveira, M.C. 2009. The seaweed flora of Admiralty Bay, King George Island, Antarctic. *Polar Biology*. 32(11): 1639-1647.
- Papenfuss, G.F. 1964. Catalogue and bibliography of Antarctic and Sub-Antarctic benthic marine algae. In: *Bibliography of the Antarctic Seas*. (Lee, M.O. Eds). Washington D.C.: American Geophysical Union. Vol.1, 1-76pp.
- Peck, L.S. 2005. Prospects for survival in the Southern ocean: extreme temperature sensitivity of benthic species. *Royal Society Specil Issue of Antarctic Science*. 17(4): 495-505.
- Pedrini, A.G. 1992. Catálogo de espécies, ocorrência geográfica e bibliografia das algas marinhas bentônicas das Ilhas Shetland do Sul, Antártica. *Arquivo do Jardim Botânico do Rio de Janeiro*. 31: 103-120.
- Peters, KJ., Amsler, C.D., Amsler, M.O., McClintock, J.B., Dunbar, R.B. & Baker, B.J. 2005. A comparative analysis of the nutritional and elemental composition of macroalgae from the western Antarctic Peninsula. *Phycologia*. 44(4): 453-463.
- Peters A.F., Ramirez, M.E. & Rülke, A. 2009. The phylogenetic position of the subantarctic marine macroalga *Desmarestia chordalis* (Phaeophyceae) inferred from nuclear ribosomal ITS sequences. *Polar Biology*. 23: 95-99.

- Pierrat, B., Saucède, T., Brayard A. & David, B. 2013. Comparative biogeography of echinoids, bivalves and gastropods from the Southern Ocean. *Journal of Biogeography*. 40(7): 1374-1385.
- Posadas, P., Crisci, J.V. & Katinas, L. 2006. Historical biogeography: A review of its basic concepts and critical issues. *Journal of Arid Environments*. 66: 389-403.
- Quartino, M.L., Vigna, M.S., Boraso. Flora marina bentónica de Caleta Potter, isla 25 de mayo, Shetland del Sur, Antártida. Material depositado no Museu Antártico Argentino. Para consulta eletrônica: [www.dna.gov.ar](http://www.dna.gov.ar) .
- Quartino, M.L., Zaixso, H.E. & Boraso de Zaixso, A.L. 2005. Biological and environmental characterization of marine macroalgal assemblages in Potter Cove, South Shetland Islands, Antarctica. *Botanica Marina*. 48: 187-197.
- Quartino, M.L., de Zaixso A.L.B. & Zaixso, H. 2005. Biological and environmental characterization of marine macroalgal assemblages in Potter Cove, South Shetland Islands, Antarctica. *Botanica Marina*. 48: 187-197.
- Quartino, M.L., Klöser, H., Schloss, I.R. & Wiencke, C. 2001. Biomass and associations of benthic marine macroalgae from the inner Potter Cove (King George Island, Antarctica) related to depth and substrate. *Polar Biology*. 24: 349-355.
- Ramirez, M. E. & Villouta, E. S. 1984. Distribución de algas intermareales em cabo Melville, islã Rey Jorge, Shetland del Sur, Territorio Antártico Chileno. *Series Cientificas*. 31:159- 166.
- Ramírez, M.E. 2010. Benthic marine flora from southern South America and Antarctica *Anales Instituto Patagônia (Chile)*. 38(1):57-71 57.
- Rakusa-Suszczewski, S. & Zieliński, K. 1993. Macrophytobenthos in the Maritime Antarctic Coastal Ekosystem of Admiralty Bay. *Polish Academy of Sciences*. 57-60.
- Richardson, M.G. 1979. The ecology and reproduction of the brooding Antarctica bivalve *Lissarca miliaris*. *British Antarctica Survey*. 49: 91-115.
- Santelices, B. 1980. Phytogeographic characterization of the temperate coast of Pacific South America. *Phycologia*. 19: 1-12.
- Silberfeld, T., Leigh, J.W., Verbruggen, H., Cruaud, C., de Reviers, B., Rousseau, F. 2010. A multi-locus time-calibrated phylogeny of the brown algae (Heterokonta, Ochrophyta, Phaeophyceae): Investigating

the evolutionary nature of the “brown algal crown radiation”. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 56: 659–674.

Smale, D.A., Kendrick, G.A. & Wernberg, T. 2011. Subtidal macroalgal richness, diversity and turnover, at multiple spatial scales, along the southwestern Australian coastline. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 91: 224-231.

Spalding, M.D., Fox, H.E., Allen, G.R., Davidson, N., Ferdaña, Z.A., Finlayson, M., Halpern, B.S., Jorge, M.A., Lombana, A., Lourie, S.A., Martin, K.D., Mcmanus, E., Molnar, J., Recchia, C.A. & Robertson, J. 2007. *Marine Ecoregions of the World: A Bioregionalization of Coastal and Shelf Areas*. *Bioscience*. 57(7): 573-583.

Stegenga, H., Bolton, J.J. & Anderson, R.J. 1997. *Seaweeds of the South African West Coast. Contributions from the Bolus Herbarium*. University of Cape Town. ISBN 0-7992-1793-X. Credo Press. 655p.

Steneck, R.S. 1986. The ecology of coralline algal crusts: convergent patterns and adaptive strategies. *Annuals Review Ecological Systems*. 17: 273-303.

Teske, P.R., von der Heyden, S., McQuaid, C.D. & Barker, N.P. 2011. A review of marine phylogeography in southern Africa. *South African Journal Science*. 43-53.

Tynan, C. T. 1998. Ecological importance of the Southern Boundary of the Antarctic Circumpolar Current. *Nature*. 392: 708-710.

van den Hoek, C. & Donze, M. 1967. Algal phytogeography of the European Atlantic Coast. *Blumea*. 15: 63-89.

van den Hoek, C. 1975. Phytogeography provinces along the coast of the northern Atlantic Ocean. *Phycologia*. 14: 317-330.

van den Hoek, C. 1984. World-wide latitudinal and longitudinal seaweed distribution patterns and their possible causes, as illustrated by the distribution of Rhodophytan genera. *Helgolander Meeresuntersuchungen*. 38: 227-257.

Verbruggen, H., Tyberghein, L., Pauly, K., Vlaeminck, C., Van Nieuwenhuyze, K., Kooistra, W.H.C.F., Lelièvre, F. & De Clerck, O. 2009. Macroecology meets macroevolution: evolutionary niche dynamics in the seaweed *Halimeda*. *Global Ecology and Biogeography*. 18: 393-405.

Vermeij, G.J., Dietl, G.P. & Reid, D.G. 2008. The trans-atlantic history of diversity and body size in ecological guilds. *Ecology*, 89(11): 39–52.

Watson, J.R., Hays, C.G. C.H., Raimondi, P.T., Mitarai, S., Dong, C., McWilliams, J.C., Blanchette, C.A., Caselle, J.A. & Siegel, D.A. 2011.

- Currents connecting communities: nearshore community similarity and ocean circulation. *Ecology*. 92(6):1193–1200.
- Westermeier, R., Gómez, I., Rivera, P.J. & Müller, D.G. 1992. Antarctic Marine Macroalgae: Distribution, Abundance and Necromass at King George Island, South Shetland, Antarctica. *Ser. Cient. INACH*. 42:21-34.
- Weykam, G., Gbmez, I., Wiencke, C., Iken, K. & Klöser, H. 1996. Photosynthetic characteristics and C:N ratios of macroalgae from King George Island (Antarctica) . *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 204: 1-22.
- Wiens, J.J., Donoghue, M.J. 2004. Historical biogeography, ecology and species richness. *Trends Ecology and Evolution*. 19(12): 639-644.
- Wincke, C. 1988. Notes on the Development of some Benthic Marine Macroalgae of King George Island, Antarctica. *Ser Cient. INACH*. 37:23-47.
- Wiencke, C & Dieck, T. 1990. Temperature requirements for growth and survival of macroalgae from Antarctica and southern Chile. *Marine Ecology Progress Series*. 59: 157-170.
- Wiencke, C., Clayton, M. N. & Schulz, D. 1995. Life history, reproductive morphology and development of the Antarctic brown alga *Desmarestia menziesii* J. Agardh. *Botanica Acta*. 108: 201-208.
- Wincke, C. & Clayton, M.N. 2002. Synopses of the Antarctic Benthos. Antarctic Seaweeds. Volume 9. A.R.G.Gantner Verlag KG Ruggell/Lichtenstein 1-130pp.
- Wiencke, C. & Clayton, M.N.. 2002. Antarctic seaweeds. In: (J.W. Waägele and J. Sieg, eds) Synopses of the Antarctic benthos 9. A.R.G. Gantner Verlag KG, Ruggell, Liechtenstein. 1–239.
- Wiencke, C., Clayton, M.N., Gómez, I., Iken, K., Lüder, U.H., Amsler C.D., Karsten, U., Hanelt, D., Bischof, K. & Dunton, K. 2007. Life strategy, ecophysiology and ecology of seaweeds in polar waters. *Review in Environmental Science and Biotechnology*. 6: 95–126.
- Womersley, H.B.S. 1984. The Marine Benthic Flora of Southern Australia Part I. D.J. Woolman, Government Printer, South Australia. ISBN 0 7243 4553 3. ISBN 0 7243 4584 1. 315 pp.
- Womersley, H.B.S. 1994. The Marine Benthic Flora of Southern Australia. Rhodophyta. Part IIIA. Graphic Print Group, Richmond, S. Australia. ISBN 0 642 19807 1. ISBN 0 642 19806 3 (Series). 443p.
- Womersley, H.B.S. 1996. The Marine Benthic Flora of Southern Australia. Rhodophyta. Part IIIB. Union Offset, Canberra ISBN 0 642 24849 4 ISBN 0 642 19806 3 (Series). 377p.

- Womersley, H.B.S. 1998. The Marine Benthic Flora of Southern Australia. Rhodophyta. Part IIIC. Graphic Print Group, Richmond, S. Australia. ISBN 0- 7308-6215-1. SBN 0- 642 19806 3 (Series). 523p.
- Wulff, A., Iken, K., Quartino, M.L., Al-Handal, A., Wiencke, C. & Clayton, M.N. 2009. Biodiversity, biogeography and zonation of marine benthic micro- and macroalgae in the Arctic and Antarctic. *Botanica Marina* 52: 491–507.
- Zaixso, A. B. 2004. Chlorophyta Marinas de la Argentina. *Historia Natural (Segunda Serie) - Vol. III (11)*: 95-119.
- Zacher, K., Roleda, M.Y., Hanelt, D. & Wiencke, C. 2007. UV effects on photosynthesis and DNA in propagules of three Antarctic seaweeds (*Adenocystis utricularis*, *Monostroma hariotii* and *Porphyra endiviifolium*). *Planta*. 225:1505–1516.
- Zielinski, K. 1981. Benthic macroalgae of Admiralty Bay (King George Island, South Shetland Island) and circulation of algal matter between the water and the shore. *Polish Polar Research*. 2:71-94.