

# Ciência Brasileira no IV Ano Polar Internacional



# Ciência Brasileira no IV Ano Polar Internacional

**PRESIDENTE DA REPÚBLICA**

Luís Inácio Lula da Silva

**VICE-PRESIDENTE**

José Alencar Gomes da Silva

**MINISTRO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA**

Sergio Machado Rezende

**MINISTRO DA DEFESA**

Nelson Jobim

**MINISTRO DAS RELAÇÕES EXTERIORES**

Celso Luiz Nunes Amorim

**MINISTRO DO MEIO AMBIENTE**

Carlos Minc Baumfeld

**MINISTRO DAS MINAS E ENERGIA**

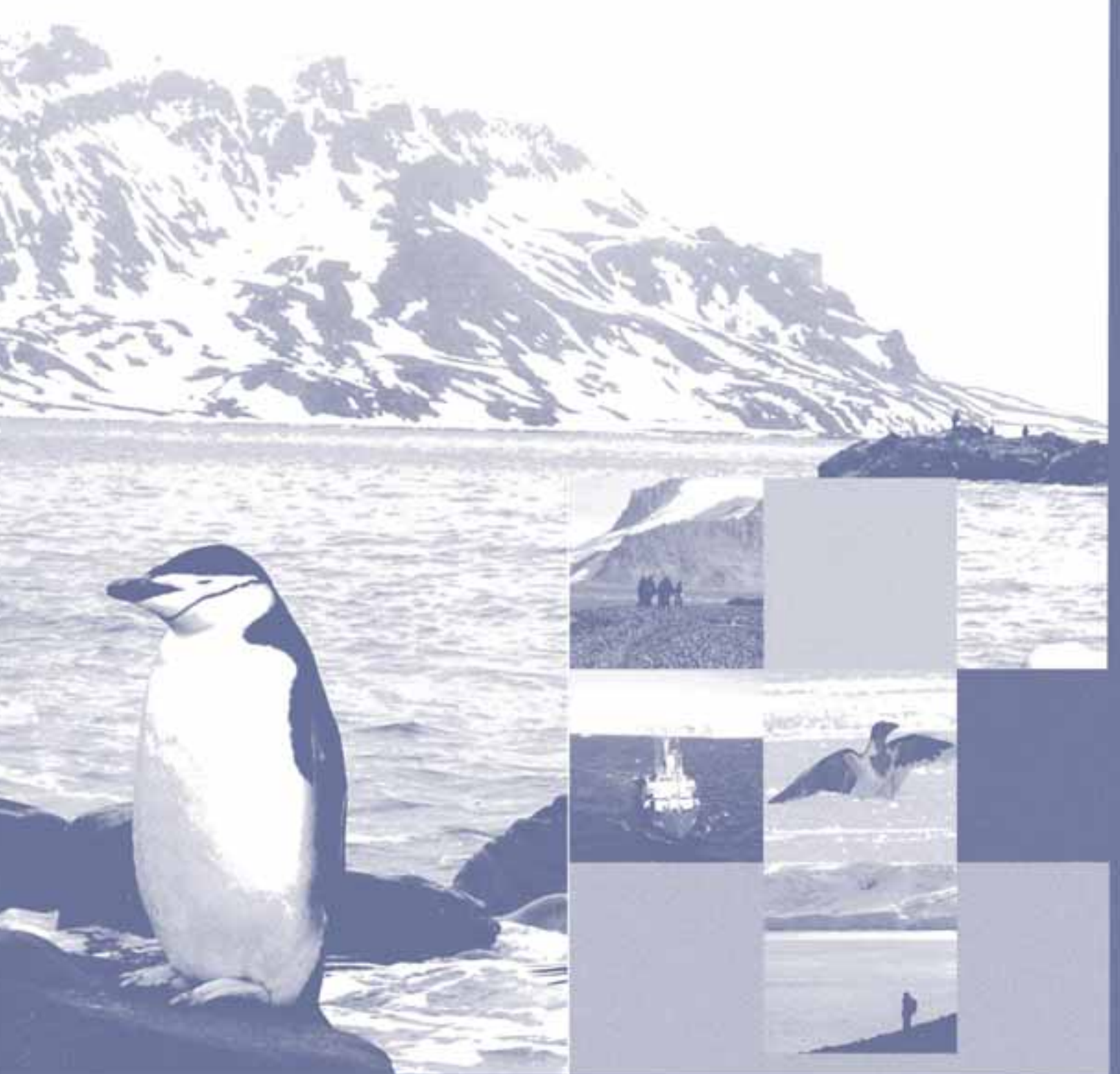
Edison Lobão

**MINISTRO DA EDUCAÇÃO**

Fernando Haddad

**MINISTRO DO TURISMO**

Luiz Eduardo Pereira Barretto Filho



**SECRETÁRIO EXECUTIVO – MCT**

Luiz Antonio Rodrigues Elias

**SECRETÁRIO DE POLÍTICAS E PROGRAMAS  
DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO**

Luiz Antonio Barreto de Castro

**COORDENADORA PARA MAR E ANTÁRTICA**

Maria Cordélia Soares Machado

**PRESIDENTE DO CONSELHO NACIONAL  
DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E  
TECNOLÓGICO (CNPq)**

Marco Antonio Zago

**COMANDANTE DA MARINHA DO BRASIL**

Julio Soares de Moura Neto

**SECRETÁRIO DA COMISSÃO  
INTERMINISTERIAL PARA RECURSOS DO MAR**

Francisco Carlos Ortiz de Holanda Chávez

**COORDENAÇÃO DA PUBLICAÇÃO**

Assessoria de Comunicação Social - MCT

**DESIGN GRÁFICO**

DeBRITO Propaganda

**FOTO CAPA**

Willian Melo Nunes, em 2005  
em visita a EACF.

Ficha Catalográfica elaborada pela  
Biblioteca de Política em C&T do Ministério da Ciência e Tecnologia

Brasil, Ministério da Ciência e Tecnologia.

Ciência brasileira no IV ano polar / Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e  
Desenvolvimento. Coordenação para Mar e Antártica. – Brasília : Ministério da Ciência e  
Tecnologia, 2009.

140 p. : il. ; 22,5x22,5 cm

1. Antártica. 2. Biodiversidade. 3. Mudanças Climáticas. 4. Oceanografia. 5. Ciência  
Atmosférica. 6. Glaciologia. 7. Geociência. II. 4. Ano Polar Antártico. III. Título

CDU: 551.46:574.1

Tiragem 1 mil exemplares

**MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
SECRETARIA DE POLÍTICAS E PROGRAMAS DE  
PESQUISA E DESENVOLVIMENTO**

Esplanada dos Ministérios, Bloco E, 2º andar  
CEP: 70.067-900 Brasília-DF  
Tel.: (61) 3317-8015  
<http://www.mct.gov.br>

**CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO  
CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO – CNPq**

SEPN 507, Bloco “B”, Ed. Sede CNPq  
CEP: 70740-901 Brasília-DF  
Tel.: (61) 2108-9000  
<http://www.cnpq.br>



**Ministério da Ciência e Tecnologia**

**Ciência Brasileira no IV Ano  
Polar Internacional**

**Brasília  
2009**

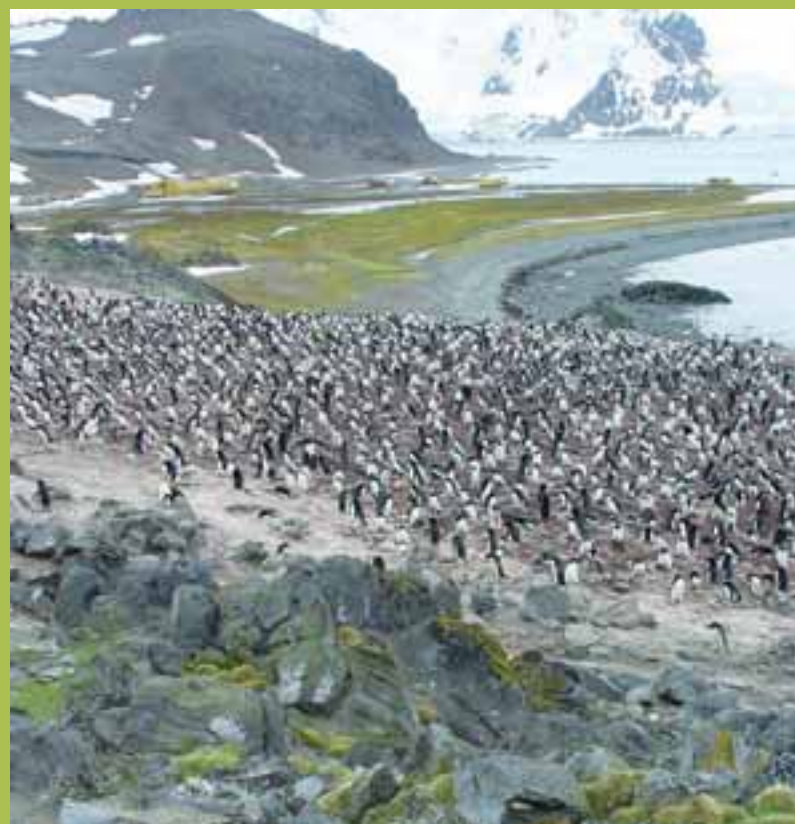


# Apresentação

A Antártica é um continente dedicado à paz e à ciência. O Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR) garante a presença da comunidade científica na Antártica desde o verão de 1982/83. O Brasil é membro pleno do Tratado da Antártica, que neste ano de 2009 comemora os 50 anos de sua assinatura.

O Ministério da Ciência e Tecnologia, por meio da Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento e da Coordenação para Mar e Antártica (MCT/SEPED/CMA), visa, com este livro sobre os projetos científicos do IV Ano Polar Internacional (IV API), ampliar a conscientização pública sobre a relevância da Antártica no planeta, na América do Sul e no cotidiano do brasileiro. Duas são as expectativas: divulgar o salto qualitativo no conhecimento e estimular, no jovem brasileiro, a paixão pela pesquisa científica antártica.

O IV Ano Polar Internacional 2007-2009, coordenado pelo Conselho Internacional para a Ciência (ICSU) e a Organização Meteorológica Mundial (WMO), foi um esforço conjunto, de mais de sessenta nações, para a realização de pesquisas em cooperação nos pólos da Terra. As linhas base do API, bem como a coordenação do comitê especial que analisou e julgou as propostas internacionais de pesquisa polar, foram definidas pelo Comitê Científico de Pesquisa Antártica - SCAR - Scientific Committee on Antarctic Research. No Brasil o apoio às pesquisas deu-se por deliberação do Comitê Nacional de Pesquisas Antárticas (CONAPA) e foi gerenciado pelo CNPq, com investimentos dos Fundos Setoriais do MCT.



No dia 1º de março de 2007, uma cerimônia de lançamento no MCT marcou o início da participação brasileira no IV API. As perspectivas são de que as atividades de análise e investigações laboratoriais, publicações e palestras, irão reunir pesquisadores de diversos países para a finalização dos estudos multidisciplinares nas regiões do Ártico e da Antártica até 2011.

Neste livro cada capítulo trata, de forma independente, com questões essenciais para a ampliação do conhecimento científico e seus impactos na sociedade.

Nas ciências da vida, investigam-se as relações da biodiversidade marinha com as características do ambiente, usando novas tecnologias, como a produção brasileira de um veículo de operação remota para obtenção de imagens do fundo marinho da Baía do Almirantado. São estudadas a adaptabilidade dos peixes às alterações climáticas no metabolismo e nos sistemas enzimáticos, com reflexos no comportamento, morfologia e fisiologia destes peixes. A biodiversidade molecular e a integração do conhecimento de ecologia microbiana e sua biocomplexidade no ambiente antártico são discutidas no capítulo terceiro. O capítulo seguinte apresenta o monitoramento ambiental de Pólo a Pólo, utilizando focas e leões marinhos como condutores de aparelhos especiais que registram dados de salinidade, temperatura, profundidade e posição.

Nas ciências físicas, com o objetivo de se correlacionar os efeitos do clima espacial na atmosfera terrestre e o grau de seus impactos nas variações climáticas atuais (cobertura de nuvens e precipitação de chuvas/neve), são estudados os efeitos do clima espacial na alta atmosfera terrestre nas regiões polares através de várias técnicas de sondagens rádio da ionosfera. Os mecanismos de transporte da massa de ar entre as regiões com mais e com menos concentração de ozônio são importantes, principalmente quando o “Buraco de Ozônio” atinge a América do Sul. O sexto capítulo mostra como a diminuição da concentração de ozônio na Estratosfera tem alterado a temperatura nesta altitude e a incidência da radiação ultravioleta que chega ao solo, o que pode provocar mudanças químicas e físicas e alterar a dinâmica da atmosfera nas regiões acima (Mesosfera) e abaixo (Troposfera) da Camada de Ozônio. O estudo da formação, variabilidade e circulação das águas densas de fundo ao redor da Península Antártica amplia a compreensão do papel desempenhado pelo Oceano Austral no ciclo global do carbono. A variação do gelo marinho ao redor da Antártica, sua influencia na camada

superficial do mar e no ecossistema marinho e seus impactos na circulação do Oceano Atlântico, são investigados, inclusive com a fixação de instrumentos que irão transmitir diariamente, via satélite, a posição de três icebergs tabulares por um período de até dois anos.

Nas geociências, para investigar respostas do gelo antártico às mudanças climáticas globais foram realizadas as primeiras expedições nacionais ao interior do manto de gelo antártico, com perfurações rasas do gelo para estudos do passado climático do planeta, levantamentos geofísicos e amostragem atmosférica. Duas missões foram realizadas durante o API, no verão de 2007/08, uma expedição conjunta Brasil-Chile-EUA foi executada no Platô Detroit (64°05'S) e no verão de 2008/09, a partir de um acampamento base em Patriot Hills (80°18'S) até um acampamento avançado, no Monte Johns (79°55'S, 94°23'W; 2125 m de altitude). O nono capítulo estuda as implicações geológicas e biológicas da separação entre a Antártica e a América do Sul, contribuindo para o conhecimento da história da Terra e a geração de informações relevantes que poderão ser aplicadas em modelos para prever as mudanças futuras do meio ambiente. São também estudados os efeitos de mudanças climáticas na dinâmica do permafrost (camada subterrânea de terreno sempre gelado) e no funcionamento dos ecossistemas terrestres da região do arquipélago das Shetlands do Sul e nas áreas livres de gelo na porção norte da Península Antártica, ao longo de um gradiente pedoclimático, isto é, que considera aspectos de clima e solo.

#### **Dedicatória**

Este Livro é dedicado à eminente cientista brasileira, Dra. Edith Fanta, que participou de todas as etapas de planejamento do IV API, tanto internacional quanto nacionalmente, prematuramente falecida.

**Ministério da Ciência e Tecnologia**



## Sumário

### **Vida Marinha Antártica:**

Biodiversidade em Relação à Heterogeneidade Ambiental  
na Baía do Almirantado, Ilha Rei George, e Áreas Adjacentes ..... 9

### **Evolução e Biodiversidade na Antártica:**

Uma Resposta da Vida às Mudanças ..... 27

### **Integração do Conhecimento de Ecologia Microbiana e**

**sua Biocomplexidade no Ambiente Antártico ..... 41**

**Mamíferos Marinhos Explorando os Oceanos de Pólo a Pólo ..... 63**

### **Impacto do Clima Espacial na Atmosfera da Região Polar e sobre o**

**Território Brasileiro Geoespaço ..... 75**

**A Atmosfera Antártica e suas Conexões com a América do Sul ..... 83**

**Estudos no Oceano Austral para a Compreensão do Clima Global..... 97**

### **Expedições Multidisciplinares ao Manto de Gelo Antártico:**

As Primeiras Investigações Brasileiras no Interior do Continente ..... 111

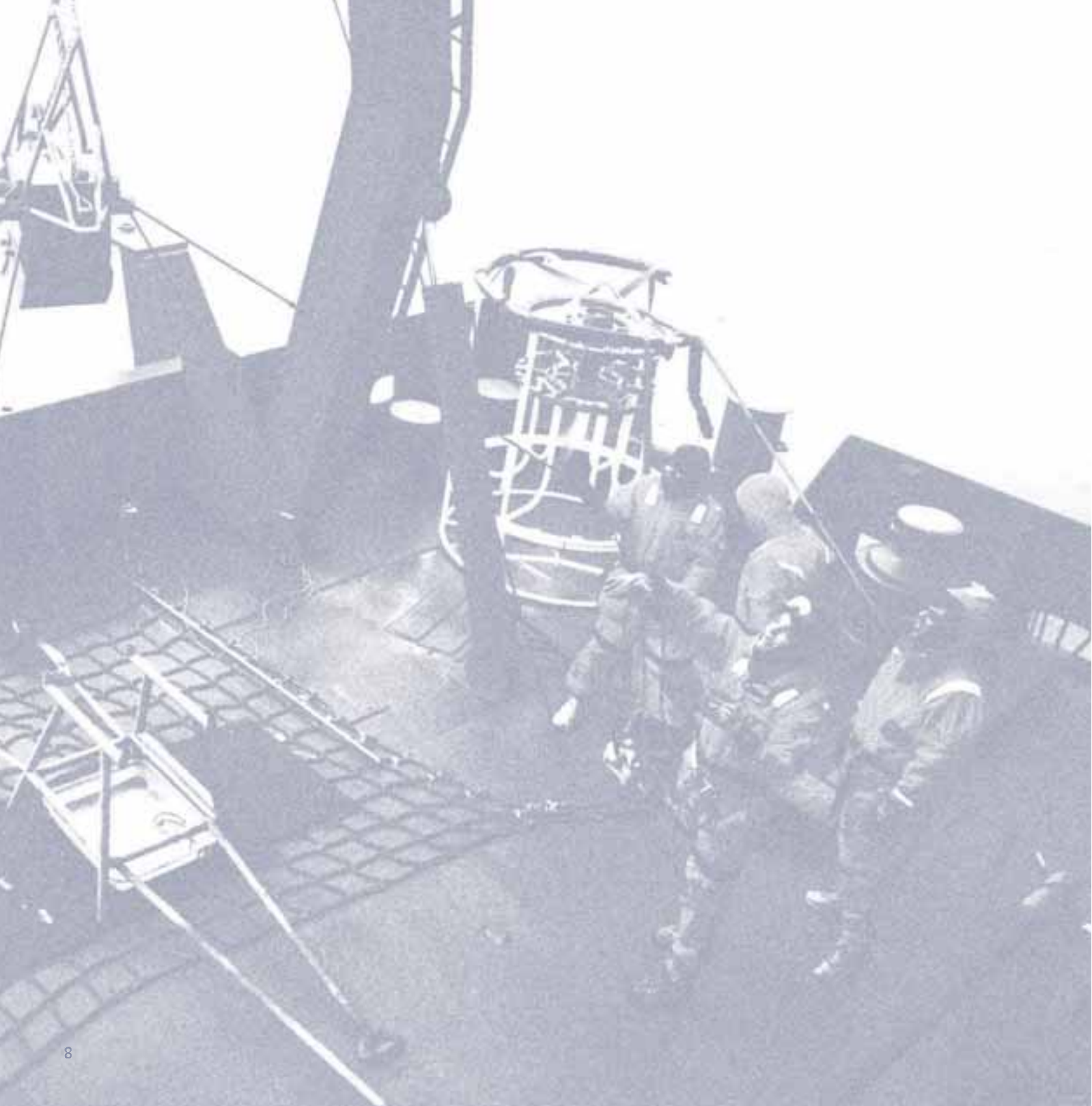
### **Projeto Seasoam Estudos da Separação entre a Antártica**


**e América do Sul: Implicações Geológicas e Biológicas..... 121**

### **Dinâmica do Permafrost, Caracterização e Mapeamento de**

**Criossolos da Antártica Marítima e Peninsular no Cenário**

**de Mudanças Climáticas Globais ..... 131**



A photograph showing the deck of a research vessel. The deck is green and has various pieces of equipment, including a large red structure on the left and a white metal cage in the center. Four crew members wearing bright orange protective suits and hoods are visible. They appear to be working together, possibly handling equipment or samples. The background shows the blue ocean.

# Vida Marinha Antártica: Biodiversidade em Relação à Heterogeneidade Ambiental na Baía do Almirantado, Ilha Rei George, e Áreas Adjacentes



# Conhecendo a Vida Marinha Antártica

## Introdução

O MABIREH é um projeto brasileiro, inserido no contexto das atividades números 53 e 83 do IV Ano Polar Internacional (API), ou seja, no Censo de Vida Marinha Antártica e no Sistema de Informação da Biodiversidade Marinha Antártica. Estes compõem a malha de projetos da área de Ciências da Vida do Comitê Internacional de Pesquisas Antárticas (SCAR, sigla em inglês). O MABIREH responde a compromissos internacionais assumidos em função de proposta e logística aprovadas pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), Ministério do Meio Ambiente (MMA), Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq), e Secretaria Interministerial para os Recursos do Mar (SECIRM). O projeto envolve 12 sub-projetos, 12 instituições nacionais (incluindo 23 doutores, seus orientandos e técnicos), tendo apoio e integrando os trabalhos de várias instituições internacionais.

As relações entre o ambiente físico e a biodiversidade são chave para a compreensão do funcionamento de ecossistemas marinhos, para se compreender como as comunidades biológicas são estruturadas e, de certa forma, como estas podem ser afetadas pela circulação, concentração de nutrientes, química dos sedimentos, radiação solar, entre outros fatores ambientais. Os padrões de circulação superficial, por exemplo, são altamente influenciados por processos atmosféricos, como a força e direção do vento, mas a topografia de fundo pode amplificar ou minimizar estes efeitos e, dependendo do tipo de fundo causar a suspensão de partículas e elementos orgânicos, muitas vezes importantes para a alimen-

tação dos organismos marinhos. Em verdade, diversos fatores atuam concomitantemente e determinam que organismos podem, ou não, estar presentes em cada localidade dependendo também de como estes interagem entre si e de suas próprias adaptações morfo-fisiológicas. A Baía do Almirantado, principal área de trabalho, foi considerada como estudo de caso no contexto do Censo de Vida Marinha Antártica por seus valores históricos, atividade humana, existência de dados temporais de longa duração do ponto de vista meteorológico, aves marinhas e organismos associados aos fundos marinhos (bentos), no sentido de se tentar melhor compreender o efeito das mudanças ambientais globais, como questões relacionadas ao recuo das geleiras, especialmente na região da Península Antártica, na diversidade marinha.

Por um lado, os modelos de circulação existentes mostram que as porções no fundo das enseadas possuem uma circulação bem baixa, por outro, a posição de blocos de gelo que chegam à praia pode mudar em questão de horas de um lado a outro das enseadas da baía dependendo do período do ano. A porção profunda da baía também foi pouco estudada ao longo dos anos até mesmo por uma limitação logística. A concentração de metais nos sedimentos é relativamente alta, mas ainda não está bem estabelecido quanto disto é realmente absorvido pelos organismos e que adaptações possuem para lidar com estes metais.

Organismos presentes na zona costeira rasa e, especialmente aqueles da zona entre-marés estão sujeitos a variações mais dramáticas no que diz respeito à formação de gelo e degelo, salinidade, exposição à radiação UV. Que adaptações possuem para tolerar estas variações? Mamíferos, como os cetáceos, entram com frequência na baía durante o verão. Existem nas praias ossadas, resquícios do período

das caçadas. Será que existem ossadas também no fundo da baía? E se existirem, serviria de substrato para comunidades quimiossintéticas, como observado em outras regiões dos oceanos? E os cetáceos que hoje estão presentes na região pertenceriam aos mesmos grupos que eram caçados? Qual seria a distância genética destas populações?

Em cooperação com países da América do Sul, Austrália e Europa, o MABIREH visa um amplo estudo transdisciplinar, utilizando dados pretéritos e agregando novas informações sobre as relações da biodiversidade marinha (de micróbios a baleias) e características do ambiente.



**Foto1.** Amostragem Van Veen. Foto de Marcelo Monte Carlo Fonseca.

#### **São hipóteses das pesquisas do MABIREH:**

Estruturas de comunidades marinhas de água rasa indicam que os fundos das enseadas da

Baía do Almirantado possuem uma hidrodinâmica mais intensa que o que predizem os modelos existentes de circulação para a área;

A diversidade de organismos presentes na zona entre-marés é mais elevada do que a superficialmente observada, já que os organismos devem estar sob as rochas que compõe a praia;

A composição e estrutura dessas comunidades da zona entre-marés é fortemente influenciada pelo degelo, sendo a fauna e flora possivelmente adaptada a maiores amplitudes de variabilidade salina;

Ossos de baleias e possivelmente outros mamíferos estão também presentes nas porções profundas da baía, já que também são encontrados nas porções mais costeiras. Isto sendo verdade, organismos quimiossintéticos devem existir associados com os ossos submersos;

Deve existir perda de variabilidade genética entre as populações históricas dos cetáceos (do período das caçadas) e as recentes (o que pode ser testado através da arqueologia molecular, por exemplo, com as baleias jubarte e fin);

A espécie jubarte pode estar se recuperando desde sua moratória logo após intensa caça comercial que diminui seu tamanho populacional em somente 3% do que era originalmente;

Existe um gradiente de diversidade relacionado à batimetria, influenciado pela topografia de fundo, características do sedimento e processos de circulação;

Existe conexão entre os organismos presentes na região da Península Antártica e aqueles encontrados na margem continental profunda brasileira por onde flui a Água Intermediária Antártica (AIA), que ocorre entre 500 a 1200m

de profundidade. Tendo em vista que durante o Programa REVIZEE (Central) e também através de projetos científicos realizados com a PETROBRAS algumas coleções importantes possuem exemplares de organismos dessa faixa batimétrica coletados no Brasil, esta hipótese pode ser testada também com o auxílio de técnicas moleculares. Grupos bentônicos especialmente os equinodermos, poríferos, crustáceos e poliquetas serão utilizados para testar esta hipótese.

Para facilitar a caracterização ambiental, estudar as relações adaptativas dos organismos e estruturação das comunidades marinhas nas diferentes condições existentes na Baía do Almirantado e áreas adjacentes, o MABIREH definiu como objetivos específicos:

desenvolver um veículo de operação remota capaz de operar em águas frias, equipado com sensores e câmeras de alta resolução para que possa ser utilizado em estudos ambientais na Antártica e no Brasil (o robô LUMA);

adotar técnicas de acordo com os protocolos utilizados pelo Censo de Vida Marinha Antártica para a coleta de água, sedimento e registro da biodiversidade marinha, de microorganismos a predadores de topo (como os cetáceos), a fim de gerar dados que possam ser comparados com aqueles coletados por outras nações na região antártica durante este ano polar internacional;

coletar e registrar metadados ambientais relevantes tais como o registro de ventos e ondas para calibrar os modelos de circulação a fim de melhor compreender as interações entre os organismos marinhos vivos e seu ambiente, e;

desenvolver um estudo voltado para a educação e comunicação, por meio de um trabalho transdisciplinar, proporcionando também um retorno de informação ao público, de um modo geral,

apresentando os principais resultados do projeto. Além disso, o MABIREH está contribuindo para a caracterização das relações de diversidade de organismos entre a região da Península Antártica e a margem continental brasileira profunda, ampliando a compreensão de como a vida evoluiu no ambiente marinho da Antártica e como vem influenciando a vida e a riqueza dos oceanos ao largo do continente sul-americano.

O projeto deixa um legado para as gerações futuras através da implantação de atividades de educação e comunicação sobre a relevância da Antártica para o planeta, para a América do Sul, e em especial, para o cotidiano ambiental, cultural e sócio-econômico brasileiro.

### **A diversidade da vida: de micróbios a predadores de topo de teia alimentar. Observando seres microscópicos**

Como a Antártica é um continente que apresenta condições extremas, os microrganismos que vivem nos seus ecossistemas têm que estar adaptados a fatores como as baixas temperaturas, a alta incidência de radiação UV, a grande variação de umidade, entre outros. Essas adaptações fazem desses microrganismos objetos interessantes de estudo. Será que existem novas espécies de microrganismos nesses ambientes extremos? Dentre as espécies já conhecidas que habitam os ecossistemas antárticos, existem adaptações que os tornam diferentes dos microrganismos em outras partes do mundo? Essas espécies e adaptações podem ter aplicações tecnológicas?

Para responder estas perguntas este trabalho realizou um estudo sobre a biodiversidade microbiana (Domínios Bacteria e Archaea) e de fisiologia (arquéias metanogênicas) em sedimentos marinhos da Baía do Almirantado na região das Ilhas Shetland do Sul. Além disso, informações sobre a ecologia microbiana

do gás metano na área de estudo, através da caracterização dos microrganismos e processos envolvidos na produção biogênica desse gás estão sendo adquiridas, no sentido de potencialmente estabelecer também relações entre estes organismos e as atividades tectônicas, especialmente na área profunda do Estreito de Bransfield.

Estão sendo realizados estudos genéticos com perfis moleculares e árvores filogenéticas de microrganismos das comunidades microbianas a fim de conhecer a composição das espécies nas amostras de sedimento e água.



**Foto 2.** Amostragem VanVeen e na zona entremarés. Registro feito por Rafael B. de Moura.

Esses resultados estão sendo associados aos dados ambientais com a finalidade de entender as funções ecológicas dos grupos micro-

bianos encontrados. O estudo da estrutura das comunidades microbianas nessas regiões adiciona informações valiosas para o Censo de Vida Marinha Antártica.

### **A vida nos fundos marinhos**

A Baía do Almirantado é representativa do ecossistema costeiro antártico, principalmente em termos de distribuição e composição de espécies do fundo marinho (espécies bentônicas), e está localizada distante das principais fontes de poluição, podendo ser considerada uma região ideal para investigações ecológicas. Logo, conhecer a estrutura e as condições dinâmicas naturais que regem o ecossistema nesta região é importante para avaliar adequadamente o significado de distúrbios provocados pelo ser humano no planeta, que passam a ser cada vez mais evidentes nas regiões polares.

Para obter tais conhecimentos, está sendo realizada uma caracterização mais detalhada dos habitats de fundo (bentônicos) e biodiversidade da Baía do Almirantado, através de coletas utilizando-se uma variedade de aparelhos, de filmagens e fotografias para se gerar um guia de identificação dos organismos encontrados naquela área. As informações adquiridas sobre os organismos bentônicos (resultados bióticos) estão sendo integradas aos resultados abióticos (por exemplo, dados de sedimento, temperatura, profundidade) a fim de compor o panorama ecológico dos locais amostrados.

Além disso, os seres vivos destas zonas profundas são pouco conhecidos, especialmente na Antártica. Apesar das pesquisas bentônicas terem um histórico antigo na Baía do Almirantado, sua porção mais central foi pouco estudada e um levantamento da diversidade de espécies associadas aos sedimentos profundos da baía está sendo feito em associação com a caracterização mais detalhada desse ecossis-



tema. Considerando a hipótese de que a região marinha Antártica pode funcionar como uma bomba de semente dos oceanos profundos do planeta, especialmente a região das Ilhas Shetland do Sul pode funcionar como área crítica para o que é semeado no Oceano Atlântico. Dados encontrados nessas áreas profundas estão sendo comparados com informações adquiridas nas regiões profundas do Brasil, sendo que já foram identificados alguns organismos que podem ser encontrados nas duas localidades. Este é um aspecto inovador que pode contribuir para a compreensão das conexões entre a Antártica e a América do Sul.

### **Organismos antárticos comuns nos fundos marinhos**

Os organismos da Ordem Amphipoda são os crustáceos mais abundantes da Antártica e também da Baía do Almirantado, tanto no que diz respeito ao número de espécies quanto à densidade populacional. Até o último levantamento feito em 2001, registrou-se mais de 230 espécies, as quais que vivem na baía ocupando desde as regiões rasas até as mais profundas.

Uma nova espécie desta Ordem foi descrita recentemente, revelando que provavelmente ainda não se conhece toda a biodiversidade do grupo. Esses organismos constituem parte importante da dieta de peixes, aves e diversos invertebrados e são componentes essenciais da teia alimentar, contribuindo para o fluxo de energia e reciclagem de matéria orgânica nos fundos marinhos.

A comunidade da Ordem Amphipoda (crustáceo) está sendo estudada com detalhe em relação aos diferentes habitats marinhos de fundo que ocorrem na Baía do Almirantado. As diferentes espécies desta ordem estão sendo caracterizadas em relação às diferentes profundidades entre 100 e 1100 metros. As des-

crições de Amphipoda existentes foram feitas há muito tempo, com ilustrações precárias em detalhes sobre as principais diferenças morfológicas (diferenças das estruturas). A identificação taxonômica (classificação) das espécies coletadas através do MABIREH, com ênfase a uma ampliação da descrição original e novas ilustrações das espécies, permitirão enriquecer as informações sobre este grupo, as quais estão sendo inseridas no SCARMarBIN.

### **Conhecendo a distribuição da biodiversidade no mar Antártico**

Estudar as esponjas (poríferos) da Antártica é um novo passo no intenso esforço despendido desde 2003 no mapeamento da espongi fauna do cone sul do Continente Sul Americano pela equipe do Museu Nacional da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Junto ao MABIREH, amplia agora o estudo para conhecer a ocorrência, distribuição e abundância das esponjas na Península Antártica, contrastando essa informação com o que se está descobrindo na Argentina, Brasil, Chile e Peru. A intensificação dos estudos focados na biodiversidade do oceano profundo brasileiro, iniciada com o Programa REVIZEE, gerou uma série de questionamentos. Ao contrário das espécies observadas em águas rasas brasileiras, em boa parte com amplas distribuições que freqüentemente estendem-se até a região do Caribe, espécies de lâminas d'água superiores a 100-200m estão distribuídas de forma notadamente distinta. Neste caso, amplia-se consideravelmente o número de espécies com distribuições austrais, tendo sido encontradas no talude superior do Sul e Sudeste brasileiros, espécies antes conhecidas apenas da Patagônia, Terra do Fogo e Antártica. Agora, pretende-se descobrir qual o nível de endemismo dos poríferos da Península Antártica e qual a proporção de espécies compartilhadas com o restante do continente antártico, região das ilhas subantárticas e cone sul do Continente Sul Americano.

De posse desta informação, buscar-se-á inferir quais as determinantes ecológicas atuais e quais as determinantes históricas dos padrões de distribuição observados, como forma de melhor compreender os processos que regem estes padrões.

Os poríferos são um recurso biológico estratégico, sendo notória a vasta gama de compostos com atividades biológicas armazenados por estes animais. Se por um lado, a exploração de recursos biológicos antárticos é regida por instrumentos internacionais que impedem a apropriação nacional de princípios ativos oriundos da antártica, a compreensão dos reais padrões de distribuição geográfica de espécies brasileiras de mar profundo poderá subsidiar a escolha de alvos para pesquisas em bioprospecção, que poderiam optar por concentrar-se em espécies endêmicas. Almejamos efetuar uma ampla série de mergulhos, iniciando-os pela Baía do Almirantado, apesar das condições por vezes adversas, o que contribuirá indiretamente também para o delineamento de uma lista de espécies endêmicas do mar profundo brasileiro.

Além das esponjas, a presença de organismos na margem continental brasileira profunda e na Antártica, como as espécies de pepinos-domar *Oneirophanta mutabilis* e *Ellipinion papillosus* são evidências de que o ecossistema marinho polar não está isolado.

#### **Protegendo a vida: observando as baleias do passado ao presente**

O Projeto Baleias, assim como é conhecido a bordo do navio "NapOc Ary Rongel", vem trabalhando na Antártica desde 1994. O projeto visa estudar a ocorrência, distribuição e abundância de várias espécies de cetáceos (baleias e golfinhos) nas regiões Sub-Antártica e Antártica, e investigando suas relações com os processos físicos.

Contudo, em certas regiões da Península Antártica, especialmente nos estreitos de Bransfield e Gerlache, o projeto investiga principalmente as baleias-jubarte. Esta espécie, que se encontra na Antártica no período de alimentação e também visita águas brasileiras no período de reprodução, foi extremamente caçada no passado pela indústria baleeira. Por este motivo o projeto visa estimar a abundância de baleias-jubarte nestas regiões a fim de comparar as informações todos os anos e averiguar se o número de animais está aumentando, ou seja, se a espécie está se recuperando depois do período de caça. Além disto, amostras de ossadas presentes nas praias da Baía do Almirantado foram coletadas para testar se existe perda de variabilidade genética entre as populações históricas (aquelas que existiram no período das caçadas) e as populações de baleias recentes (técnicas de arqueologia molecular).

Também são investigados os padrões de deslocamento da baleia-jubarte em águas Antárticas. São colocados transmissores de satélite no dorso do animal que emitem diariamente sua posição, ou seja, em que local estes animais estão se alimentando ou procurando alimento. Outros dados são coletados com uma pequena flecha, atirada com a ajuda de uma balestra, onde são retiradas pequenas amostras de pele e gordura das baleias-jubarte. As amostras de pele são usadas para estudos genéticos, comparando diferentes indivíduos da baleia-jubarte em diferentes localidades (Antártica e América do Sul) e verificar suas afinidades genéticas (grau de parentesco), além do estudo de variabilidade genética, ao longo dos anos, citada anteriormente. Das amostras de gordura o projeto investiga se existem resíduos poluentes acumulados e assim detectar qualquer tipo de contaminação nestes animais. As baleias-jubarte também possuem uma característica que as distingue individu-

almente, como uma identidade – o padrão de coloração da parte ventral de sua cauda. O projeto tem fotos da cauda de vários indivíduos e possui um catálogo com mais de 200 animais identificados. Este catálogo pode ser comparado com catálogos de outras áreas de reprodução e alimentação, como por exemplo, da costa do Brasil e Equador. Assim os pesquisadores podem obter várias informações, tais como os padrões de migração destes animais.

### **Interações no ecossistema**

Muito do que é encontrado nos fundos marinhos em termos de biodiversidade depende da produção de organismos que vivem na coluna d'água, os produtores primários, e como estão estabelecidos os processos de circulação na área de estudo. Assim sendo, o MABIREH coordena suas atividades de tal forma a facilitar a compreensão da conectividade entre esses dois compartimentos ambientais, a coluna d'água e os fundos marinhos, especialmente da Baía do Almirantado.

### **Revedo os modelos de circulação da Baía do Almirantado**

As ondas de gravidade superficiais são formadas pela maior parte da energia transferida do vento para a superfície do mar. Apenas uma pequena parte dessa energia se manifesta por meio de transferência de quantidade de movimento, gerando as correntes marinhas. O enfoque deste trabalho recai sobre essas ondas superficiais e como elas interferem nos processos de mistura na região da Baía do Almirantado e Península Antártica. A componente experimental desse trabalho consiste em medições de parâmetros das ondas, como altura, frequência e direção de propagação. Os dados foram observados em regiões distintas da baía, sendo também registrados em forma de imagens animadas, para posterior processamento. Esses dados servem para calibrar e validar

um modelo computacional de simulação das ondas, de modo a prevermos como ocorre a propagação de acordo com as condições de vento no local. A energia dessas ondas depende da amplitude e do período, enquanto que sua dissipação relaciona-se com a morfologia da linha de costa e da configuração do fundo marinho (batimetria). Através do modelo, observamos ondas com maiores amplitudes e maiores períodos ocorrendo principalmente nas regiões da Enseada Mackellar, no estreitamento da BA que acontece a partir de Ponta Hennequin e ao longo da Enseada Cardoso. As aplicações desse modelo estão sendo utilizadas no escopo do Projeto Vida Marinha Antártica: Biodiversidade em Relação à Heterogeneidade Ambiental na Baía do Almirantado (MABIREH). O conhecimento das ondas vem contribuindo, por exemplo, para responder questões relacionadas à distribuição geográfica de organismos que vivem nos fundos marinhos e que estão parcialmente associados à energia do ambiente.

### **Produtores primários da Teia Trófica Antártica**

Estudos da comunidade microfítotoplanctônica na Baía do Almirantado iniciaram-se em 2002. Esta comunidade é constituída por organismos planctônicos, predominantemente microalgas superiores a 20µm, e compõem a base da teia trófica antártica, servindo de alimento para animais como o krill, além de peixes e organismos bentônicos filtradores.

Por apresentarem uma íntima relação com a massa de água, são utilizados como instrumento de monitoramento ambiental. Sob este enfoque a avaliação da composição específica e da densidade celular desta comunidade vem sendo estudada em várias profundidades na coluna de água e em locais com diferentes níveis de impacto antrópico no início e final dos verões austrais. Na Antártica,

as condições de estratificação da coluna de água, no verão, favorecem o crescimento da flora de diatomáceas, gerando uma produção de aproximadamente 1gC/m<sup>2</sup>/dia. Estes altos índices de produção primária são decorrentes dos longos e contínuos períodos de luz no verão austral, associados a uma lenta ressurgência de águas ricas em nutrientes e pela mistura de massas de água entre as geleiras flutuantes. A contribuição na coluna de água, de espécies de diatomáceas planctônicas e bentônicas, reflete a influência das correntes marinhas, ventos e ressuspensão do sedimento de fundo e derretimento do gelo.

Além de constituírem a base da trama trófica, estes organismos possuem um papel importante nos processos que influenciam o clima e as mudanças globais. O oceano Antártico é conhecido como uma área de intensa troca de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) com a atmosfera. O fitoplâncton, através da fotossíntese, converte parte do CO<sub>2</sub> dissolvido na água em matéria orgânica, que vai formar suas células. Ao final de um florescimento, quando os níveis de nutrientes já estão muito baixos, uma proporção relativamente grande desta matéria orgânica sedimenta, “aprisionando” este carbono no solo oceânico. Este processo, quando em grande escala, causa uma diminuição significativa do CO<sub>2</sub> nas águas superficiais e o CO<sub>2</sub> da atmosfera tende a entrar para a água, para promover novamente um equilíbrio de gases entre os dois meios (água e ar). Desta maneira, o fitoplâncton contribui para a diminuição do excesso de gás carbônico na atmosfera. Embora este processo, que é conhecido como ‘bomba biológica’, aconteça em diversas regiões marinhas, o fluxo de carbono para o fundo no oceano Antártico é conhecido como um dos mais altos do globo.

### **Conectividade - Hidrobiologia e bactérias da coluna d’água e do sedimento**

A caracterização da Baía do Almirantado sobre o ponto de vista físico-químico e biológico tanto da coluna d’água quanto dos sedimentos é relevante para se compreender a conectividade entre processos que ocorrem entre os compartimentos pelágico e bentônico. O estudo do bacterioplâncton (as bactérias da água) e das bactérias associadas ao sedimento é relativamente novo na Antártica. As bactérias são consideradas organismos chave para o ecossistema, pois participam dos ciclos biogeoquímicos (nitrogênio, carbono, fósforo, entre outros) e da teia alimentar aquática. A abundância bacteriana será estimada utilizando a técnica de citometria em fluxo e relacionada a outros parâmetros ambientais tais como matéria orgânica, granulometria, nutrientes, clorofila e metais. As análises químicas da água e do sedimento vêm sendo realizadas segundo os métodos padrão em oceanografia. Este estudo é de extrema relevância, pois auxilia na interpretação de alguns fenômenos biológicos, tais como as florações de organismos fitoplanctônicos (que flutuam com as correntes, sem ter movimento próprio), que influenciam todos os organismos dos níveis tróficos superiores como peixes, pingüins, focas e baleias. Este trabalho permite-nos observar possíveis mudanças na qualidade da água da região em função de atividades humanas que possam ter graves conseqüências para a estrutura da comunidade marinha local, como por exemplo, a área onde é lançado o resíduo de esgoto da estação de tratamento da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF), na Enseada Martel.

As análises hidrobiológicas em região profunda (fora da baía, entre 700m e 1100m – foto 3) corroboram os estudos de distribuição espacial de organismos que estão sobre influência da massa d’água Água Intermediária Antártica

(AIA) em latitudes mais baixas, além de prover conhecimento sobre a comunidade bacteriana deste ambiente que ainda é pouco conhecida.

### **Heterogeneidade e Biodiversidade**

A composição química e física dos sedimentos marinhos recentes está sendo estudada numa abordagem espaço-temporal levando-se em conta a região antártica e a margem continental brasileira profunda. A heterogeneidade ambiental caracterizada pelas variáveis físico-químicas dos sedimentos está sendo relacionada com a biodiversidade marinha da Baía do Almirantado e Estreito de Bransfield.

Durante o verão austral de 2008/09 foram coletadas amostras de sedimentos superficiais com Box-Corer a bordo do “NapOc Ary Rongel”, nas profundidades de 100, 300 e 500 metros da Baía do Almirantado, e 700 e 1100 metros do Estreito de Bransfield.

Em cada profundidade foram realizadas três coletas equidistantes de 1 a 2km, aproximadamente. Após cada recolhimento do box-corer ao navio foram inseridos sub-amostradores em posições centrais para a coleta de dois testemunhos para as análises físico-químicas. Outros sub-amostradores serviram para uma série de análises biológicas e de componentes orgânicos.

Cada testemunho de sedimento foi seccionado de 2 em 2 centímetros para se compreender o perfil físico e de compostos químicos e posteriormente compará-los com a distribuição de organismos. Em laboratório, estão sendo realizadas análises da distribuição granulométrica do sedimento através de analisador de partículas a laser da marca Varian, além da análise química das concentrações de metais pesados (Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, V, Fe, Mn e Al) por ICP-AES da Varian modelo Libert Series II, da matéria orgânica

(C e N) em equipamento CHN Analyzer da Perkin-Elmer e do teor de carbonatos determinados gravimetricamente.

### **Conhecendo o Ambiente com Biomarcadores**

Biomarcadores orgânicos geoquímicos são compostos orgânicos com origens biológicas específicas, cuja presença pode fornecer evidências da sua fonte, ou informações sobre certas condições ambientais. Esses compostos estão diretamente ligados ao ciclo do carbono orgânico que nos oceanos está presente principalmente nos sedimentos. Os biomarcadores em sedimentos estão sendo estudados no gradiente batimétrico da zona rasa da Baía do Almirantado até a cordilheira do Estreito de Bransfield.

A matéria orgânica sedimentar fornece uma variedade de indicadores que podem ser usados para definir a origem e natureza dos compostos presentes. Certas moléculas orgânicas são sintetizadas apenas por organismos marinhos ou somente por plantas superiores e terrestres. Essas últimas podem ser transportadas para o oceano através de diversos mecanismos de transporte e serem preservadas em sedimentos marinhos. A abundância relativa destes compostos em sedimentos marinhos pode ser usada para determinar a contribuição de matéria orgânica terrestre ou marinha que foi depositada.

Várias classes de lipídeos são bons traçadores de fonte e destino da matéria orgânica em partículas e sedimento. Assim, estão sendo estudados os hidrocarbonetos, os esteróis e os ácidos graxos, sendo que o estudo desses biomarcadores contribuirá para o detalhamento dos aspectos químicos na caracterização dos ecossistemas e nos processos biogeoquímicos da Baía do Almirantado e adjacências.

### **Alta tecnologia ampliando os sentidos humanos para mirar os fundos marinhos**

O uso de robôs submarinos para exploração polar é ainda incipiente e essas missões, em

sua maioria, ocorreram a partir do final dos anos noventa. Esta tecnologia não é ainda facilmente disponível e merece ser desenvolvida no Brasil para dar suporte aos interesses do país na Antártica.



**Foto 3.** Robô LUMA  
Foto de Ramon R. Costa

O desenvolvimento do veículo submarino de operação remota (ROV, sigla em inglês para *remotely operated vehicle*), ou robô submarino, LUMA, iniciou-se há alguns anos pelo grupo de pesquisa GSCAR, do Programa de Engenharia Elétrica da COPPE/UFRJ para inspecionar túneis de adução de usinas hidrelétricas. O robô LUMA está sendo adaptado para fazer o levantamento fotográfico e obter imagens de vídeo das formas de vida marinha encontrada no fundo da Baía do Almirantado, na Antártica.

O LUMA já passou por diversas modificações, tais como a substituição da estrutura de alumínio por outra mais leve de polietileno, a substituição da eletrônica por uma tolerante às baixas temperaturas e inclusão de vários instrumentos e sensores para auxiliar na sua navegação. Para a expedi-

ção recentemente realizada em janeiro de 2009, o ROV recebeu um conjunto de baterias especiais para a sua alimentação, o que permitiu reduzir o peso do cabo umbilical e aumentar o seu comprimento. Em particular, foi instalada uma nova câmera de vídeo de alta definição para garantir a qualidade das imagens obtidas dos organismos e facilitar a sua identificação.

A utilização do LUMA representa uma significativa melhoria na eficiência, assim como na redução de riscos e de custo das missões de exploração dos mares polares, como na área Antártica marítima, onde o Brasil atua mais intensamente.

Um resultado subjacente importante desta investigação científico-tecnológica é o conhecimento tácito e experiência que se espera adquirir durante a sua execução. Em outras palavras, trata-se de um projeto piloto para o desenvolvimento de versões mais avançadas de robôs dedicados a operações em regiões polares. Nessas versões avançadas, poderiam ser incorporados instrumentos de medição e de intervenção para levantamentos geográficos, geológicos, ambientais ou biológicos mais precisos e detalhados.

### **Ciência Conseqüente e Educação Consciente**

O MABIREH tem o compromisso de difundir suas pesquisas com a sociedade brasileira, contribuindo para a construção de um conhecimento integrado sobre a Antártica, na perspectiva de sua implicação com as questões ambientais globais e locais. Com esse foco foram previstos dois grandes objetivos. O primeiro propõe contribuir para a construção de um Programa Nacional de Educação e Comunicação que promova a consciência ambiental global no Brasil, a partir da valorização das pesquisas desenvolvidas no MABIREH. O segundo objetivo prevê o desen-

volvimento de uma abordagem transdisciplinar junto aos pesquisadores das demais áreas de pesquisa, auxiliando na construção de conhecimentos transdisciplinares e artigos cooperativos.

A partir de entrevistas com pesquisadores e militares, registros de coletas e atividades de laboratório realizadas na Estação Antártica Comandante Ferraz e no Navio Ary Rongel e oficinas transdisciplinares, alguns resultados preliminares apontaram para a importância da abordagem transdisciplinar na ampliação da interação entre pesquisas e pesquisadores e na perspectiva do desenvolvimento de uma ciência complexa, capaz de responder à complexidade das questões ambientais locais e globais.

Outro resultado destacado foi a valorização do continente Antártico como lugar de preservação e pesquisa, laboratório natural, modelo de gestão compartilhada e motivador ideal para o desenvolvimento da percepção ambiental local e global. Esse contexto ressalta a importância de ampliar o conhecimento da população brasileira sobre a Antártica, preparando sua participação efetiva na discussão sobre os destinos do continente a partir de 2048, quando finaliza o prazo do Tratado de Madri, que vem garantindo sua utilização para fins de pesquisa e preservação.

Essa experiência do MABIREH na inclusão da educação, da comunicação e da transdisciplinaridade, acompanha uma tendência mundial e vem sendo referência para os agentes financiadores de pesquisas no Brasil, valorizando uma ciência conseqüente e uma educação promotora da consciência ambiental global.

### **Principais atividades realizadas durante o Ano Polar Internacional**

Durante os verões austrais de 2007/2008 e 2008/2009, o robô submarino LUMA foi adaptado ao trabalho em águas frias e testado nas

porções rasas da Baía do Almirantado. Foi a primeira vez que o Brasil levou, através do PROANTAR, um robô submarino com tecnologia nacional para a Antártica, o qual está sendo adaptado para capturar imagens de profundidades até 500m, mas já apontando o seu potencial para ambientes extremos.

Através do MABIREH, foram realizadas coletas de água e sedimento a partir do centro da Baía do Almirantado até uma profundidade de 1100m no Estreito de Bransfield. Este material servirá para uma avaliação mais detalhada da distribuição em profundidade da diversidade de pequenos organismos que vivem na coluna d'água (plâncton) e dos que vivem associados aos fundos marinhos (bentos), em relação às propriedades físico-químicas do ambiente.



**Foto 4.** Triagem de Organismos da Megafauna. Registrado por Rafael B. de Moura

Outros animais e plantas marinhos de maior porte foram coletados desde a zona entre-marés até 60m, para uma melhor caracterização da área e mapeamento de como estes organismos interagem entre si e com os diferentes habitats são encontrados.

Amostras de baleias foram coletadas para testar se existe perda de variabilidade genética entre as populações históricas (aquelas que existiram no período das caçadas) e as populações de baleias recentes, por exemplo, estudando-se as ossadas presentes nas praias da Baía do Almirantado através de técnicas de arqueologia molecular.

A abundância de baleias-jubarte, em áreas adjacentes a baía do Almirantado, vem sendo investigada e comparada ano após ano para verificar se o número de animais aumenta ou diminui. Além disso, a ocorrência e distribuição de cetáceos desde a América do Sul até a região da Península Antártica estão sendo avaliados em relação a processos físicos.

A distribuição latitudinal de biodiversidade, da América do Sul à Antártica, também está sendo avaliada em relação a outros cinco grupos de animais que vivem associados aos fundos marinhos: esponjas (que podem ter propriedades farmacológicas), moluscos e crustáceos (que dependendo do grupo mais específico pode ser de interesse comercial), poliquetos (muito utilizados em avaliações de impacto antrópico no ambiente marinho) e equinodermos (estrelas-do-mar e seus primos, símbolos do mar e que também podem ser de interesse comercial, dependendo do grupo considerado).

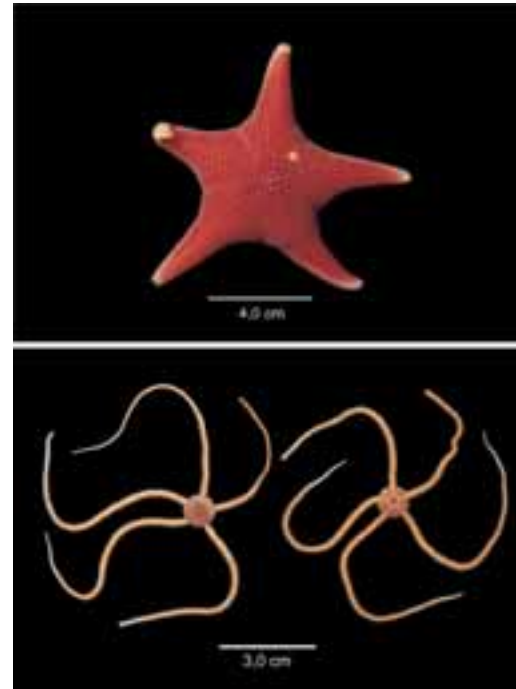
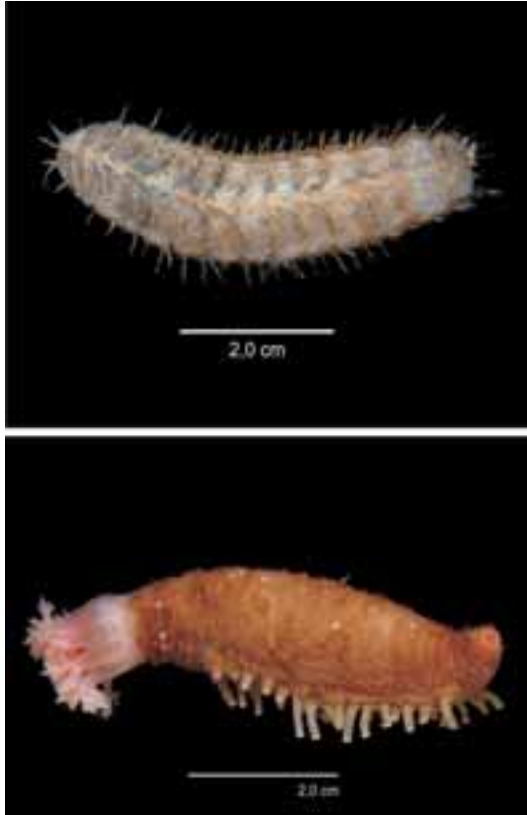


Foto 5. *Odontaster validus* e *Amphioplus acutus*

Todos os organismos coletados estão sendo fotografados para a construção de um guia da biodiversidade local. De um modo geral, as ações desenvolvidas na área de educação e comunicação do MABIREH vêm favorecendo o diálogo interno da equipe, as trocas de informações com a academia, a imprensa e divulgação dos resultados das pesquisas no contexto transdisciplinar, a exemplo da produção de vídeos e uma série de artigos científicos e de divulgação, estes difundidos pela mídia.

Os dados coletados através do MABIREH, durante o API e suas atividades posteriores, estão sendo integrados ao programa “Antarctic Marine Biodiversity Information System – SCAR-MarBIN”, também vinculado ao SCAR.





**Foto 6.** *Psolus charloti* e *Barrukia cristata*. Fotos 6 e 7 contribuição de Rafael B. de Moura.

#### **Entidades Executoras:**

Instituto de Biologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro (IB/UFRJ), COPPE/UFRJ, IO/USP, ICB/USP, IB/USP, FURG, UFSC/Instituto Autopoiesis Brasilis, UFF, UENF, MACKENZIE, UNESP/CLP

#### **Coordenadora Geral do Projeto:**

Dra Lúcia de Siqueira Campos

#### **Vice-Coordenadores:**

Dr Liu Hsu e Dra Rosalinda C. Montone

#### **SUB-PROJETOS DO MABIREH**

**Sub-projeto 1.** Biodiversidade Bentônica em Relação à Heterogeneidade Ambiental na Baía do Almirantado, Ilha Rei George e Áreas Adjacentes – IB/UFRJ – IO/USP

Responsáveis: Dra Lúcia S. Campos, Dra Mônica V. Petti, Dra Helena P. Lavrado, Dra Thaís N. Corbisier

**Sub-projeto 2.** Veículos submarinos de operação remota (ROV's - underwater Remotely Operated Vehicles - ou robôs submarinos) – COPPE/UFRJ

Responsáveis: Dr Liu Hsu, Dr Ramon R Costa, Dr Fernando Lizarralde

**Sub-projeto 3.** Biodiversidade e Aspectos Evolutivos de Cetáceos nas Proximidades da Península Antártica e suas interações com parâmetros ambientais: Contribuição ao Censo de Vida Marinha Antártico (CAML) – FURG

Responsáveis: Dr Eduardo R. Secchi, Dra Manuela Bassoi

**Sub-projeto 4.** Integração de Modelos Físico-Oceanográficos da Baía do Almirantado - UNESP/CLP.

Responsáveis: Dr Roberto F. Carelli Fontes e Luis Augusto Maia Marques

**Sub-projeto 5.** Características hidrobiológicas (nutrientes, clorofila e bacterioplâncton) na região da Baía do Almirantado e Bactérias de sedimento na região da Baía do Almirantado – IB/UFRJ.

Responsáveis: Dr Rodolfo Paranhos, Karla Carvalho e Marcel Santos

**Sub-projeto 6.** Composição química e física dos sedimentos marinhos recentes: Uma abordagem espaço-temporal - UENF

Responsáveis: Dr Carlos Eduardo de Rezende, Dr Marcelo C. Bernardes, MSc Marcos S.M.B. Salomão

**Sub-projeto 7.** Estrutura da comunidade do microfitoplâncton da Baía do Almirantado e Áreas Adjacentes – IB/UFRJ.

Responsáveis: Dra Denise Rivera Tenenbaum, BSc Priscila Kienteca Lange e Dra Virginia M.T. Garcia.

**Sub-projeto 8.** Disseminação, Educação e Conscientização Pública

Responsáveis: Dr Daniel José da Silva, Dra Roseane Palavizzini, MsC Marcio Cláudio C. da Silva

**Sub-projeto 9.** Taxonomia de Poríferos coligidos no âmbito do MABIREH – MN/UFRJ.

Responsáveis: Dr Eduardo Hajdu e Dra Gisele Lôbo-Hajdu

**Sub-projeto 10.** Distribuição batimétrica de Amphipoda (Crustacea, Amphipoda) na Baía do Almirantado, Ilha Rei George – MACKENZIE  
Responsáveis: Dra Maria Teresa Valério Berardo

**Sub-projeto 11.** Estudos sobre a Microbiota Antártica nos Sedimentos: Domínios Archaea e Bactéria - ICB/USP

Responsáveis: Dra Cristina Nakayama, Dra Vivian Pelizzari

**Sub-projeto 12.** Biomarcadores orgânicos geoquímicos – IO/USP

Responsáveis: Dra Rosalinda C. Montone, Dra Márcia C. Bicego, Dr Rolf Roland Weber





# Evolução e Biodiversidade na Antártica: Uma Resposta da Vida às Mudanças





# Evolução e Biodiversidade na Antártica: Uma Resposta da Vida às Mudanças

## Introdução

O programa científico “Evolution and Biodiversity in the Antarctic” (EBA) foi aprovado em 2004 pelo “Scientific Committee on Antarctic Research” (SCAR) para vigor no período de 2006 a 2013, objetivando: a) entender a evolução e a diversidade dos organismos antárticos; b) determinar como esses têm influenciado as propriedades e dinâmicas dos presentes ecossistemas antárticos e do oceano austral; c) prever como as comunidades e organismos estão respondendo e responderão a presentes e futuras alterações ambientais; d) Identificar os resultados científicos do EBA que são relevantes para a política de conservação da Antártica e comunicá-los via científica ao “SCAR Antarctic Treaty System Committee”. Assim, o programa EBA lidera as atividades do Ano Polar Internacional na área de Ciências da Vida e tem o objetivo central de explorar a história evolutiva da biota moderna Antártica, procurando descrever o passado, entender o presente e prever o futuro dessa biota, em especial, no que diz respeito a eventuais mudanças ambientais futuras.

O projeto “Evolution and Biodiversity in the Antarctic: the Response of Life to Change” (EBA) foi proposto com o mesmo nome do programa e aprovado internacionalmente para compor as atividades do IV Ano Polar Internacional. Participam do projeto pesquisadores

de 22 Países, integrando atividades interdisciplinares e multidisciplinares. O projeto EBA também apresenta forte sinergismo com projetos correlatos, como por exemplo, aqueles vinculados ao “Census of Antarctic Marine Life” (CAML) e a “International Collaborative Expedition to collect and study Fish Indigenous to Sub-Antarctic” (ICEFISH).

O projeto “Evolução e Biodiversidade na Antártica: uma resposta da vida às mudanças” foi aprovado pelo Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT) e fomentado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), sob a coordenação da Profa. Dra. Edith Susana Elisabeth Fanta – Universidade Federal do Paraná.

A participação de nosso Grupo no Ano Polar Internacional levou em consideração algumas áreas chave propostas pelo EBA para serem pesquisadas: I) limitações ao desempenho dos organismos: adaptação ao ambiente Antártico limitando o desempenho fisiológico; II) adaptações fisiológicas e genômicas que permitem aos organismos sobreviverem na Antártica: adaptações específicas para o ambiente Antártico ou simples variantes de adaptações exibidas por organismos em outros habitats; III) habilidade dos organismos antárticos de lidarem com as mudanças ambientais diárias, sazonais e de longo prazo; IV) adaptações comportamentais e morfofuncionais ao ambiente Antártico; e V) adaptação e plasticidade genotípica e fenotípica de organismos antárticos.

Assim, inspirados pelas cinco áreas de pesquisa acima mencionadas e com base em nossa experiência Antártica, resultado de pesquisas com peixes Antárticos nos últimos 25 anos, desenvolvemos durante o Ano Polar Internacional pesquisas que avaliaram a plasticidade

fenotípica e genotípica de peixes Antárticos e o sucesso adaptativo de seus mecanismos bioquímicos e fisiológicos frente às oscilações de salinidade, temperatura e pH e ao bio-acúmulo de fluoreto no ecossistema marinho Antártico.

### **Evolução e Biodiversidade de Peixes Antárticos**

O oceano Austral corresponde a cerca de 10% da superfície dos oceanos do planeta e reúne apenas 322 espécies de peixes, na sua maior parte notothenioides, correspondente a aproximadamente 1,2 % da diversidade global das espécies. O número de espécies endêmicas da região também é considerado elevado (88%) e é no mínimo três vezes maior do que o endemismo registrado em qualquer outro ambiente marinho isolado. Os notothenioides estão representados com 8 famílias, 44 gêneros e 129 espécies, sendo que dessas, 101 são endêmicas da Antártica (Eastman, 2005).

O endemismo Antártico tem sido discutido no contexto da evolução paleogeográfica da região. Com a abertura da passagem de Drake, a cerca de 32,5 a 34 milhões de anos atrás, e o subsequente surgimento da corrente circumpolar Antártica (ACC), também denominada de frente polar Antártica ou convergência Antártica (Figura 1A), o continente Antártico passou a existir isolado dos demais continentes. O isolamento geográfico, decorrente de episódios tectônicos, o estabelecimento da ACC, evitando o acesso de correntes marinhas quentes na região Antártica, e a mudança no ciclo do carbono, foi acompanhado por uma rápida e ampla glaciação da região, a qual foi responsável pela extinção em massa de várias espécies terrestres e marinhas. As espécies sobreviventes experimentaram uma dramática radiação e evoluíram sob a pressão seletiva das baixas temperaturas até originarem a atual fauna de peixes Antárticos. Simultaneamente, ao longo desses últimos 55 milhões de anos, a temperatura da água do

mar (Figura 1B) também sofreu gradativa redução, passando dos seus 20°C para -1,86°C, na interface do gelo marinho com a água do mar (Clarke & Johnston, 1996).

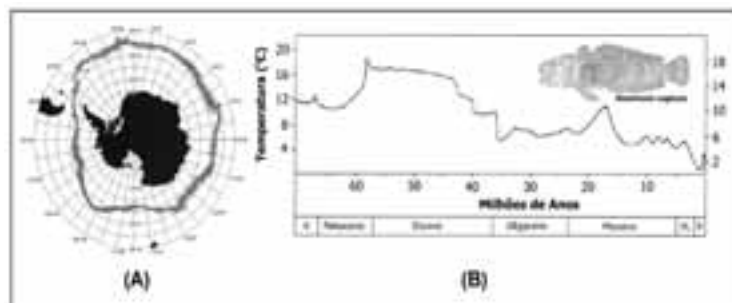
A baixa temperatura do ambiente marinho não foi o único fator seletivo da atual fauna de peixes Antárticos e determinante da sua biodiversidade, mas o confinamento ecológico, os ciclos climáticos e a oscilação sazonal do suprimento alimentar também são apontados como fatores importantes para explicar a baixa diversidade de peixes antárticos. Durante o longo período de inverno, quando a incidência da luz sobre a região Antártica encontra-se reduzida e a camada de gelo marinho torna-se mais espessa e extensa, a produção primária sofre expressiva redução e impõe um longo período de restrição alimentar afetando, direta ou indiretamente, todos os organismos. Outro aspecto importante reside na estabilidade térmica do meio, em especial os da zona de gelo marinho permanente, a qual pode ter sido de extrema importância para o processo de seleção e adaptação molecular dos organismos Antárticos (Hubold, 1991; Eastman, 1993; Clarke & Johnston, 1996; Montgomery & Clements, 2000).

A biodiversidade de organismos Antárticos tem sido estudada em nível genético (intraespecífico), organismal (específico) e ecológico (comunidades). O aparecimento das glicoproteínas anticongelantes (AFGP) no sangue dos notothenioides Antárticos tem sido considerado como o principal evento molecular responsável pelo sucesso adaptativo desse grupo de peixes as baixas temperaturas do ambiente marinho Antártico. A interação dessas glicoproteínas com a superfície dos microcristais de gelo evita o seu crescimento e o congelamento dos fluídos biológicos dos fluídos biológicos dos peixes Antárticos. Os genes das AFGP predominam nos notothenioides e, provavelmente



te, tiveram a sua origem na mutação do gene do tripsinogênio pancreático a cerca de 5 a 14 milhões de anos, coincidindo com o período de congelamento das águas do oceano Antártico.

atividades vitais, tais como locomoção, reprodução, excreção e manutenção da osmolalidade dos fluidos biológicos (Montgomery & Clements, 2000; Clarke, 2003).



**Figura 1.** Paleogeografia e história evolucionária do continente Antártico. O isolamento geográfico da região se consolidou com o surgimento da corrente circumpolar (A) a cerca de 25 milhões de anos. O gráfico (A) foi redesenhado de Moore et al., (1999). O resfriamento gradual da superfície d'água foi acompanhado por períodos de aquecimento que tiveram o seu início em meados do Eoceno. No Pleistoceno (PL) as temperaturas declinaram dos 4 – 5°C para os valores atuais (P). O gráfico (B) foi redesenhado com dados Clarke & Johnston (1996) e Pörtner (2006)

O controle da concentração de enzimas, a modulação da atividade enzimática e a seleção de formas enzimáticas de elevada eficiência catalítica, integram os principais mecanismos moleculares responsáveis pelo controle das velocidades das reações químicas em peixes Antárticos que vivem em temperaturas subzero. A elevada eficiência catalítica das enzimas dos peixes Antárticos em baixas temperaturas, comparada às estruturas homólogas encontradas em peixes de águas temperadas, em muitos casos, envolveu a seleção de estruturas protéicas mais flexíveis e termicamente mais instáveis (Figura 2). Ao logo desse processo seletivo os peixes Antárticos também experimentaram adaptações morfológicas de estruturas subcelulares, como o espessamento de fibras musculares e o aumento do número de mitocôndrias (Rodrigues et al., 1994; Somero, 2004; Urschel & O'Brien, 2008).

Embora as baixas temperaturas possam facilitar a sobrevivência de algumas formas larvais, elas restringem expressivamente as velocidades das reações químicas e conseqüentemente dos processos fisiológicos. A presença de um número elevado de mitocôndrias, de enzimas com elevada eficiência catalítica e de AFGP nos fluidos biológicos são alguns dos mecanismos moleculares experimentados pelos peixes Antárticos ao longo do processo evolutivo em temperaturas sub-zero (Figura 2). Dentre os sistemas fisiológicos, o metabolismo energético tem sido o mais estudado, considerando o papel central dos mecanismos geradores de ATP na manutenção de

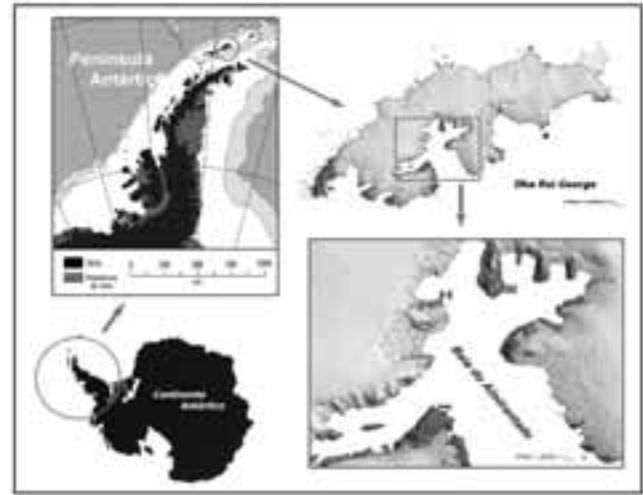


**Figura 2.** Estratégias morfo-moleculares experimentadas por peixes Antárticos ao longo do seu processo evolutivo.

Embora as baixas temperaturas possam facilitar a sobrevivência de algumas formas larvais, elas restringem expressivamente as velocidades das reações químicas e conseqüentemente dos processos fisiológicos. A presença de um número elevado de mitocôndrias, de enzimas com elevada eficiência catalítica e de AFGP nos fluidos biológicos são alguns dos mecanismos moleculares experimentados pelos peixes Antárticos ao longo do processo evolutivo em temperaturas sub-zero (Figura 2). Dentre os sistemas fisiológicos, o metabolismo energético tem sido o mais estudado, considerando o papel central dos mecanismos geradores de ATP na manutenção de

A variabilidade das condições ambientais pode alterar as velocidades dos processos bioquímicos e a estabilidade das macromoléculas, afetando, de forma marcante, as funções vitais dos organismos. A capacidade adaptativa imposta pela mudança ambiental da temperatura é vista como uma tendência atual e reflete, em grande parte, a habilidade dos organismos conseguirem promover ajustes comportamentais, fisiológicos (Scholander et al., 1953; Wohlschlag 1960; 1961; Fanta et al., 1989; Lucchiari et al., 1989; Hardewig et al., 1999), na atividade enzimática, na expressão de diferentes isoenzimas, na utilização de substratos energéticos, na distribuição de organelas, na composição da membrana plasmática (Baldisserotto, 2002), e dos metabólicos em curto prazo, seja alterando a expressão gênica, seja modulando a atividade proteica de forma adequada, bem como, ao longo da escala temporal evolutiva, preservando vantagens moleculares adaptativas (Hochachka & Somero, 1973; Clarke, 1998; Sokolova & Pörtner, 2003).

Estudos recentes sobre alterações climáticas revelaram que a península Antártica (Figura 3) é uma das três regiões do planeta, junto com o norte do Canadá (Ártico) e uma região central da Sibéria, que apresenta aquecimento acelerado, o qual tem resultado no colapso de plataformas de gelo, retração de glaciares e exposição de habitats terrestres, os quais ficavam permanentemente cobertos de gelo. O aquecimento da Península Antártica, tem provocando degelo intenso tanto de geleiras, como de neve acumulada durante o inverno e do gelo marinho, acarretando alterações na salinidade e na densidade da água do mar, diminuindo a salinidade do mar em regiões costeiras.



**Figura 3.** Grande parte das atividades de pesquisa do projeto EBA – uma resposta da vida às mudanças está sendo conduzida na Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF), a qual está localizada na Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Arquipélago das Ilhas Shetlands do Sul, Antártica. Além da EACF, a Baía do Almirantado abriga as estações científicas de Machu Picchu (peruana) e Arctowski (polonesa).

Diversos estudos revelaram que essas podem estar afetando os organismos, provocando alterações na cadeia alimentar, no metabolismo dos animais e em sua capacidade de ajuste e de sobrevivência (Fanta et al., 1995; Fanta & Kidawa, 1999; Di Prisco, 2000, Romão et al., 2001), e afetando todos os mecanismos de membrana dependentes de cargas elétricas.

A ilha Rei George é a maior das ilhas do arquipélago Shetlands do Sul, abriga a Estação Antártica Brasileira (EACF), apresentando clima essencialmente marinho e temperaturas do ar variando entre  $-7$  à  $14,4^{\circ}\text{C}$  durante o verão e  $-27,7$  à  $7,7^{\circ}\text{C}$  no inverno. A disponibilidade de informações sobre a composição de solos

e sedimentos, bem como o degelo associado com a formação de micro-ambientes (Shaefer et al., 2004) e com ampla variação de salinidade (Fanta et al., 1989; Romão et al., 2001), tornam a Baía do Almirantado na Ilha Rei George um ambiente adequado para estudos das relações tróficas (Fanta et al., 1994; 2003; Rios & Fanta, 1998; Fanta & Meyer, 1998; Fanta, 1999; Donatti & Fanta, 2002, 2007a, 2007b; Donatti et al., 2008) e adaptações evolutivas de organismos antárticos.

A variabilidade da temperatura na superfície das águas do oceano austral tem sido considerada de grande importância para a compreensão do comportamento da biologia marinha do ambiente costeiro. Influenciada pelas águas da corrente circumpolar Antártica, a água do mar das regiões litorâneas da Antártica sofre profunda variação sazonal de temperatura e influencia o comportamento da biota. Já, os ambientes costeiros das ilhas Georgia do Sul, Rei George e Anvers estão entre as poucas regiões da Antártica em que a temperatura da superfície da água (profundidade entre 10 a 20 m) foi medida de forma precisa ao longo das últimas quatro décadas, com variabilidade anual e inter-anual muito similar. Em parte, a variabilidade térmica inter-anual das águas litorâneas dessas ilhas apresentou correlação com os fenômenos “El Niño” e “La Niña” (eventos ENSO – “El Niño Southern Oscillation”). Contudo, nem todos os períodos quentes estiveram associados com os eventos ENSO. Apesar da proximidade geográfica da Ilha Rei George em relação as ilhas Georgia do Sul e Anvers, o aquecimento das águas litorâneas da ilha Rei George, registrado no ano de 2002, não teve reflexos nas outras duas ilhas. A presença de fiordes na ilha Rei George, semelhantes aos da Península Antártica, poderiam explicar essas anomalias térmicas. Contudo, temperaturas registradas nas profun-

didades de 30 m e 100 m, não foram capazes de explicar as anomalias térmicas registradas nos anos de 1991-1992 que poderiam estar associadas com a estrutura de fiordes. Essa série longa de registros térmicos do ambiente marinho litorânea e as anormalidades registradas ao longo das últimas quatro décadas, sem correlação, em alguns casos, com ENSO e a presença de fiordes, tornam a Ilha Rei George um ambiente propício para os estudos de Evolução e Biodiversidade.

Fatores tróficos podem desempenhar importante papel na constituição da moderna fauna Antártica (Montgomery & Clements, 2000). Como base da malha trófica antártica o krill serve de alimento para diversos peixes, aves, focas e baleias, os quais ocupam um nível trófico mais elevado (Figura 4). A presença de altas concentrações de fluoreto (bioacúmulo) no exoesqueleto desse crustáceo, tem chamado a atenção quanto à pesca para o consumo humano e a tolerância dos organismos que se alimentam de krill a essa sobrecarga de fluoreto. Como consequência do consumo de krill, peixes, pingüins e focas apresentam elevadas concentrações de fluoreto no tecido ósseo, sem manifestação de efeito tóxico (Adelung et al., 1985; Sands et al., 1998). A concentração de fluoreto no exoesqueleto de crustáceos marinhos varia de aproximadamente 20 à 6000  $\mu\text{gF/g}$  de peso seco. As maiores concentrações, entretanto, são observadas no sangue de crustáceos antárticos, *Euphausia crystallorophias* (5977  $\mu\text{gF/g}$  de peso seco) e *E. superba* (2594  $\mu\text{gF/g}$  de peso seco). Contudo, a concentração de fluoreto muscular varia de 0,78 à 257  $\mu\text{gF/g}$  de peso seco (Adelung et al., 1987; Sands et al., 1998).

Concentrações elevadas de fluoreto podem causar intoxicação aguda em peixes e levar ao aparecimento de sintomas de intoxicação antes da morte, como: hipoexcitabilidade, velocidade

respiratória reduzida, letargia e comportamento apático, bem como níveis elevados de fluoreto no sangue (Sigler & Neuhold, 1972; Smith et al., 1985; Camargo & Tarazona, 1991).

Estudando peixes antárticos da Ilha Elefante, Oehlenschläger & Manthey (1982) encontraram valores elevados de fluoreto no esqueleto ósseo de *Gobionotothen gibberifrons*, *Micromesistius australis* e *Chaenocephalus aceratus*, quando comparado a peixes teleósteos marinhos de outras regiões. A bioacumulação de fluoreto no exoesqueleto e tecido ósseo de animais aquáticos tais como invertebrados e peixes tem sido interpretada como um mecanismo de defesa, reduzindo a disponibilidade do fluoreto para os tecidos moles e fluidos biológicos (Sigler & Neuhold, 1972; Camargo, 2003).

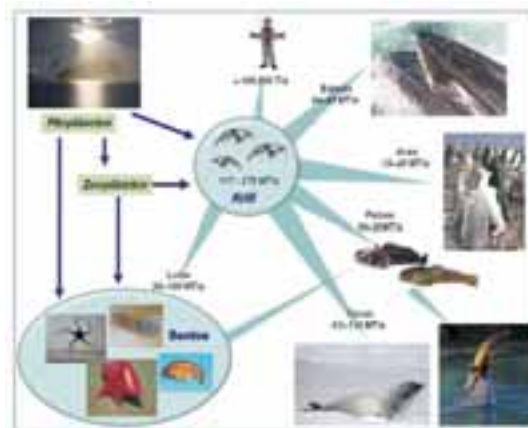
O efeito tóxico primário do fluoreto reside na inibição de enzimas do metabolismo intermediário (enolase, arginase, succinato desidrogenase, dentre outras) e pode acarretar severo risco a saúde de organismos aquáticos e terrestres. Os estudos do efeito do fluoreto sobre o metabolismo de organismos antárticos são limitados e envolvem, basicamente, as enzimas enolases e arginases (Bacila et al., 1989; Rodrigues et al., 2009).

Neste sentido, as enzimas de organismos não antárticos são bem mais sensíveis à inibição pelo fluoreto, como por exemplo, a arginase hepática de rato, a qual apresenta  $IC_{50}$  de 1,5mM em pH 7,4 e temperatura de 37°C. Contudo, o valor do  $IC_{50}$  varia em função do pH, com valores de 1,2 à 19mM para valores de pH de 7 à 10, respectivamente (Kessabi, 1984; Pethe et al., 2002).

Assim, a fluorose crônica afeta profundamente o metabolismo de carboidratos, lipídeos e proteínas, promovendo alterações funcionais e orgânicas. Embora o mecanismo molecular da

patogenia não esteja claro, níveis elevados de fluoreto prejudicam a síntese de proteínas e o metabolismo da glicose e alteram a composição de ácidos graxos insaturados em lipídeos de reserva e estruturais (Kessabi, 1984). Peixes e pingüins da região Antártica fazem uso do krill como item alimentar da sua dieta sem manifestar sinais de intoxicação. A tolerância desses animais às elevadas concentrações de fluoreto presentes no krill ainda permanece sem resposta, embora esses organismos apresentem enolases e arginases de elevada resistência à inibição pelo fluoreto (Barbosa et al., 2005a).

Estudos com arginase hepática de *P. papua* e do peixe Antártico *N. neglecta/coriiceps* revelaram elevada resistência à inibição pelo fluoreto sendo relacionada com a presença do cátion cobalto como cofator na reação catalisada pela arginase. Embora o cátion manganês tenha sido postulado como provável ativador fisiológico das arginases, as de *P. papua* e *N. neglecta/coriiceps* apresentaram vantagens catalíticas na presença do cátion cobalto em relação ao manganês (Rodrigues et al., 2005; Barbosa et al., 2005a; Barbosa et al., 2005b).



**Figura 4.** O krill Antártico predomina na dieta de várias espécies. Baleias, pingüins, focas, e peixes são os principais vertebrados não

humanos consumidores de krill. Como organismo chave do ecossistema Antártico o krill serve de alimento, direta ou indiretamente, para diversos animais que biomagnificam esse halogênio (Ross & Quetin; Nicol & de la Mare, 1993; Mori & Butterworth, 2006)

A evolução das técnicas de biologia molecular durante as últimas décadas tem contribuído para o entendimento da diversidade genética, dos aspectos biogeográficos envolvendo a dispersão das espécies e dos mecanismos de especiação. Análises de biologia molecular têm auxiliado nos estudos filogenéticos de famílias, subfamílias e gêneros da ordem Notothenioidei (Derome et al., 2002; Sanchez et al., 2007; Near et al., 2008).

A classificação das espécies desta família às vezes se torna difícil devido a sua variabilidade morfológica (Fisher & Hureau, 1988). Análises genéticas de peixes Antárticos têm revelado que espécies definidas por características morfológicas muitas vezes são espécies crípticas ou similares. Espécies do gênero *Trematomus*, por exemplo, foram alvos de estudos e discussões sobre suas variabilidades morfológicas. A ocorrência de dois morfotipos de *Trematomus newnesi*, o morfo típico e o morfo de boca grande, encontrados nas águas próximas a estação de McMurdo, inspiraram Eastman & DeVries (1997) a pesquisar a presença de plasticidade fenotípica nesta espécie. McDonald et al. (1992), através de estudos de marcadores aloenzimáticos, sugeriu que a espécie *Trematomus bernacchii* é um complexo de duas espécies crípticas.

O DNA mitocondrial tem sido usado em estudos envolvendo as relações moleculares entre as espécies, pois sua taxa de evolução é cerca de dez vezes superior à de um gene nuclear de cópia única. Além disso, a ausência de recom-

inação devido ao seu genoma haplóide faz com que o DNA mitocondrial seja um excelente marcador para estudos filogenéticos, de taxonomia molecular e de movimentos migratórios de populações ao redor do mundo. O DNA mitocondrial é uma molécula circular fita dupla com aproximadamente 16.500 pb presente em múltiplas cópias dentro da mitocôndria. Os genes codificam cerca de 5% de toda maquinaria necessária para o funcionamento da mitocôndria. São descritos 37 genes, dos quais 13 codificam proteínas, 2 codificam RNAs ribossomais e 22 codificam RNAs transportadores.

A capacidade adaptativa desses peixes em nível sistêmico, sub-celular, metabólico ao efeito da temperatura, da salinidade e do pH ambientais, bem como às concentrações elevadas de fluoreto, presentes na malha trófica do ecossistema Antártico, pode ser melhor compreendida evolutivamente através da determinação da distância ou proximidade das espécies e os padrões de evolução podem ser estudados por comparação das seqüências de DNA das espécies que atualmente ocorrem no ambiente Antártico.

Assim, ao longo das Expedições Brasileiras a Antártica (OPERANTAR) XXVI e XXVII, o projeto "Evolução e Biodiversidade na Antártica – uma reposta da vida à mudanças" foi a campo utilizando a infra-estrutura de pesquisa da Estação Antártica Comandante Ferraz e do navio norueguês G.O.Sars, ao longo dos períodos de verão 2007/2008 e 2008/2009, bem como ao longo do período de inverno (março – novembro de 2008). As atividades científicas objetivaram entender o efeito da temperatura, da salinidade e do fluoreto sobre o comportamento bioquímico, morfológico e fisiológico dos peixes Antárticos *Notothenia coriiceps* e *Notothenia rossii*, no contexto das alterações climáticas na Antártica

### Referências Bibliográficas

- Adelung, D., Bömann, K., Rödler, (1985). The distribution of fluoride in some Antarctic Seals. *Polar Biology*, 5:31-34.
- Adelung, D., Buchholz, F., Culik, B., Keck, A. (1987). Fluoride in tissues of Krill *Euphausia superba* Dana and *Meganyctiphanes novregica* M. Sars in relation to the moult cycle. *Polar Biology*, 7:43-50.
- Bacila, M., Rosa, R., Rodrigues, E. (1989). Fluoride inhibition of enolase from Antarctic organisms. *Pesquisa Antártica Brasileira* 1(1):31-34.
- Baldisserotto, B. (2002). **Fisiologia de peixes aplicada à piscicultura**. Santa Maria: Ed. UFSM, 212 p.
- Barbosa, A.L., Barbosa, D.A., Sree Vani, G., Bacila, M., Rodrigues, E. (2005a). Urea metabolism in *Pygoscellis papua*: a comparative study on the inhibition of arginase activity by fluoride. IX SCAR International Biology Symposium, p.120, Curitiba, Brazil.
- Barbosa, D.A., Sree Vani, G., Bacila, M., Rodrigues, R. (2005b). Comparative aspects of urea metabolism and cold adaptation in Antarctic fish. IX SCAR International Biology Symposium, p.120, Curitiba, Brazil.
- Barnes, D.K.A., Fuentes, V., Clarke, A., Schloss, I.R., Wallace, M.I. (2006). Spatial and temporal variation in shallow seawater temperatures around Antarctica. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 53: 853-865.
- Brandt, A. (2005). Evolution of Antarctic biodiversity in the context of the past: The importance of the Southern Ocean deep sea. *Antarctic Science*, 17: 509-521.
- Brandt, A., De Broyer, C., De Mesel, I., Ellingsen, K.E., Gooday, A.J., Hilbig, B., Linse, K., Thomson, M.R.A., Tyler, P.A. (2007). The bio-diversity of the deep Southern Ocean benthos. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 362: 39-66.
- Camargo, J.A. (2003). Fluoride toxicity to aquatic organisms: a review. *Chemosphere*, 50:251-264.
- Camargo, J.A., Tarazona, J.V. (1991). Short-term toxicity of fluoride ion (F<sup>-</sup>) in soft water to rainbow trout and brown trout. *Chemosphere*, 22:605-611.
- Chen, L., DeVries, A.L., Cheng, C.H. (1997). Evolution of antifreeze glycoprotein gene from a trypsinogen gene in Antarctic notothenioid fish. *Proc Natl Acad Sci USA*, 94: 3811-3816.
- Clarke, A. (1998). Temperature and energetics: an introduction to cold ocean physiology. In **Cold Ocean Physiology** (ed. H.O. Pörtner and R. C. Playle), pp. 3-30. Cambridge: Cambridge University Press.
- Clarke, A. (2003). Costs and consequences of evolutionary temperature adaptation. *Trends in Ecology and Evolution*, 18: 573-581.
- Clarke, A., Murphy, E.J., Meredith, M.P., King, J.C., Peck, L.S., Barnes, D.K.A., Smith, R.C., (2007). Climate change and the marine ecosystem of the western Antarctic Peninsula. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 362: 149-166.
- Derome, N.; Chen, W.; Dettai, A.; Bonillo, C.; Lecointre, G. (2002) Phylogeny of antarctic dragonfishes (Bathydraconidae, Notothenioidei, Teleostei) and related families base on their anatomy and two mitochondrial genes. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 24: 139-152.
- Di Prisco, G. (2000). Life style and biochemical adaptation in Antarctic fish. *J. Mar. Syst.*, 27:253-265.

- Donatti, L., Fanta, E. (2007a). Fine structure of the retinal pigment epithelium and cones of Antarctic fish *Notothenia coriiceps* Richardson in light and dark-conditions. *Revista Brasileira de Zoologia*, 24: 33-40.
- Donatti, L., Fanta, E. (2002). Influence of photo period on visual prey detection in the antarctic fish *Notothenia neglecta* Nybelin. *Antarctic Science*, 14 (2): 146-150.
- Donatti, L., Fanta, E. (2007b). Retinomotor movements in the Antarctic fish *Trematomus newnesi* Boulenger submitted to different environmental light conditions. *Revista Brasileira de Zoologia*, 24: 457-462.
- Donatti, L., Zaleski, T., Calil, P., Fanta, E. (2008). Photoperiod and feeding behavior of the antarctic fish *Notothenia rossii* (Perciformes: Nototheniidae) and functional morphology of chemical and visual sensory structures used for foraging. *Revista Brasileira de Zoologia*, 25: 254-262.
- Eastman, J.T. (1993). **Zoogeographic origins and evolution of the modern fauna. Antarctic Fish Biology – Evolution in a Unique Environment.** San Diego, Academic Press, Inc.
- Eastman, J.T. (2000). Antarctic notothenioid fishes as subjects for research in evolutionary biology. *Antarctic Science*, 12: 276-287.
- Eastman, J.T. (2005). The nature of the diversity of Antarctic fishes. *Polar Biology*, 28:93-107.
- Eastman, J. T.; DeVries, A. L. (1997). Biology and phenotypic plasticity of the antarctic nototheniid fish *Trematomus newnesi* in McMurdo Sound. *Antarctic Science*, 9(1):27-35.
- Fanta, E., Donatti, L., Romão, S., Vianna, A.C.C., Zaleski, T. (2003). Food detection and the morphology of some sensory organs in the Antarctic blackfin icefish *Chaenocephalus aceratus* Lönnberg, 1906. In: **Antarctic Biology in a global context** (Huiskes, A.H.L., Rozema, J., Schorno, R.M.L., Van de Vies, S.M., Wolff, W.J., Eds.), 338 pp, Blackhuijs Publ., Leiden: 126-131.
- Fanta, E., Kidawa, A. (1999). The effect of amino acids and amphipods extract on the respiratory metabolism of the Antarctic spiny plunderfish *Harpagifer antarcticus* (Nybelin 1947). *Polish Archives Hydrobiology*, 46: 297-302.
- Fanta, E., Lucchiari, P.H., Bacila, M. (1989). The effect of temperature increase on the behaviour of Antarctic fish. *Proc. NIPR Symp. on Polar Biology*, 2: 123-130.
- Fanta, E., Luvizotto, M.F., Meyer, A.A. (1995). Gill structure of the Antarctic fishes *Notothenia* (*Gobionotothen*) *gibberifrons* and *Trematomus newnesi* (Nototheniidae) stressed by salinity changes and some behavioural consequences. *Antarctic Record*, 39(1): 25-39.
- Fanta, E., Meyer, A.A. (1998). Behavioural strategies for feeding of six species of the Antarctic fish family Nototheniidae (Pisces, Notothenioidei) in a tank. *Antarctic Record*, 42(3): 227-243.
- Fanta, E., Meyer, A.A., Grötzner, S.R., Luvizotto, M.F. (1994). Comparative study on feeding strategy and activity patterns of two Antarctic fish *Trematomus newnesi* Boulenger 1902 and *Gobionotothen gibberifrons* (Lönnberg, 1905) (Pisces, Nototheniidae) under different light conditions. *Antarctic Record*, 38 (1): 13-29.
- Fischer, W.; Hureau, J. C. (1988). **Oceano austral.** Vol II. Roma: Organizacion de las Naciones Unidas para Alimentacion e la Agricultura, 474 p.
- Hardewig, I., Peck L.S., Pörtner H.O. (1999). Thermal sensitivity of mitochondrial function in the Antarctic Notothenioid, *Lepidonotothen nudifrons*. *Journal Comparative Physiology B*, 169: 597–604.
- Hochachka, P.W., Somero, G.N. (1973). **Strategies of Biochemical Adaptation.** Philadelphia, London, Toronto: W.B. Saunders & Co.

- Hubold, G. (1991). Ecology of Notothenioid fish in the Weddell sea. In **Biology of Antarctic Fish** (ed. G. di Prisco, B. Maresca & B. Tota), pp 4-22. New York: Springer-Verlag.
- Kessabi, M. (1984). Métabolisme et biochimie toxicologique du fluor: Une revue. *Rev. Méd. Vét.*, 135:497-510.
- Lucchiari, P.H., Hoshino, K., Fanta, E., Bacila, M. (1989). The effect of temperature on the muscle oxygen levels in Antarctic fish. *Proc. NIPR. Symp. Polar Biol.*, 2:117-122.
- McDonald, M. A.; Smith, M.H.; Smith, M. W.; Novak, M.J.; Johns, P.E; Devries, A. L. (1992). Biochemical systematics of Notothenioid fishes from Antarctica. *Biochem. Syst. Ecol.*, 20:233-241.
- Montgomery, J., Clements, K. (2000). Disaptation and recovery in the evolution of Antarctic fishes. *TREE*, 15(7):267-271.
- Moore, J.K., Abbott, M.R., Richman, J.G. (1999). Location and dynamics of the Antarctic Polar Front from satellite sea surface temperature data. *Journal of Geophysical Research*, 104(2):3059-3073.
- Mori, M., Butterworth, D.S. (2006). A first step towards modeling the krill-predator dynamics of the Antarctic ecosystem. *CCAMLR Science*, 13:217-277.
- Near, T. J.; Cheng, C.C.H. (2008). Phylogenetics of notothenioid fishes (Teleostei: Acanthomorpha): Inferences from mitochondrial and nuclear gene sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 47: 832-840.
- Nicol, S., de la Mare, W. (1993). Ecosystem management and the Antarctic Krill. *American Scientist* 81, 36-47.
- Oehlenschläger, J., Manthey, M. (1982). Fluoride content of Antarctic marine animals caught off Elephant Island. *Polar Biology*, 1:125-127.
- Pethe, S., Boucher, J., Mansuy, D. (2002). Interaction of anions with rat liver arginase: specific inhibitory effects of fluoride. *Journal Inorganic Biochem.*, 88:397-402.
- Portner, H.O. (2006). Climate-dependent evolution of Antarctic ectotherms: An integrative analysis. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 53: 1071-1104.
- Rios, F.S., Fanta, E. (1998). Morphology of the gill rakers and their ecological function in the feeding of the Antarctic fish *Notothenia neglecta* Nybelin 1951. *Antarctic Record*, 42 (2): 131-150.
- Rodrigues, E., Rosa, R., Fukuchi, M., Numanami, H., Bacila, M. (1994). The effect of temperature on the kinetic properties of phosphofructokinase and hexokinase from the Antarctic fish *Trematomus bernacchii*. *Proc. NIPR Symp. Polar Biol.*, 7:110-117.
- Romão, S., Freire, C.A., Fanta, E. (2001). Ionic regulation and Na, K-ATPase activity in gills and kidney of the glomerular Antarctic fish *Notothenia neglecta* upon exposure to seawater dilution. *Journal of Fish Biology*, 59 (2): 463-468.
- Ross, R.M., Quetin, L.B. (1986). How productive are antarctic krill. *Bioscience* 36: 264-269.
- Sanchez, S.; Dettai, A.; Bonillo, C.; Ozouf-Costaz, C.; Detrich III, H. W.; Lecointre, G. (2007). Molecular and morphological phylogenies of the antarctic teleostean family Nototheniidae, with emphasis on the Trematominae. *Polar Biology*. 30: 155-166.
- Sands, M., Nicol, S., McMinn, A. (1998). Fluoride in Antarctic marine crustaceans. *Marine Biology*, 132:591-598.
- Schaefer, C.E.G.R., Francelino, M.R., Simas, F.N.B., Albuquerque, M.R. (2004). **Ecosiste-**



**mas Costeiros e Monitoramento Ambiental da Antártica Marítima – Baía do Almirantado, Ilha Rei George.** Viçosa, NEPUT.

Scholander, P.F., Flagg W., Walters V., Iring L. (1953). Climatic adaptation in arctic and tropical poikilotherms. *Physiological Zoology*, 26: 67-92.

Sigler, W.F., Neuhold, J.M. (1972). Fluoride intoxication in fish: A review. *J. Wildlife Diseases*, 8:252-254.

Smith, L.R., Holsen, T.M., Ibay, N.C., Block, R.M., Leon, A.B. (1985). Studies on the acute toxicity of fluoride ion to stickleback, fathead minnow and rainbow trout. *Chemosphere*, 14:1383-1389.

Sokolova, I.M., Pörtner, H.O. (2003). Metabolic plasticity and critical temperatures for aerobic scope in a eurythermal marine invertebrates (*Littorina saxatilis*, Gastropoda: Littorinidae) from different latitudes. *Journal of Experimental Biology*, 206:195-207.

Somero, G.N. (2004). Adaptation of enzymes to temperature: searching for basic “strategies”. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology* 139: 321-333.

Urschel, M.R., O’Brien, K.M. (2008). High mitochondrial densities in the hearts of Antarctic icefishes are maintained by an increase in mitochondrial size rather than mitochondrial biogenesis. *Journal of Experimental Biology* 211: 2638-2646.

Wang, Y.-N., Xiao, K.-Q., Liu, J.-L., Dallner, G., Guan, Z.-Z. (2000). Effect of long term fluoride exposure on lipid composition in rat liver. *Toxicology* 146: 161-169.

Wolschlag D.E. (1960). Metabolism of an Antarctic fish and the phenomenon of cold adaptation. *Ecology*, 41: 287-292.

Wolschlag, D.E. (1961). Respiratory metabolism and ecological characteristics of some fishes in McMurdo Sound, Antarctica. In: **Biology of the Antarctic Seas** (Ed. M.D. Lee) 1: 33-62. American Geophysical Union, Washington, DC.

**Universidade Federal do Paraná (UFPR), Setor de Ciências Biológicas, Departamento de Biologia Celular.**

Lucélia Donatti  
donatti@ufpr.br

Flavia Sant’Anna Rios  
flaviasrios@ufpr.br

**Universidade de Taubaté (UNITAU), Instituto Básico de Biociências.**

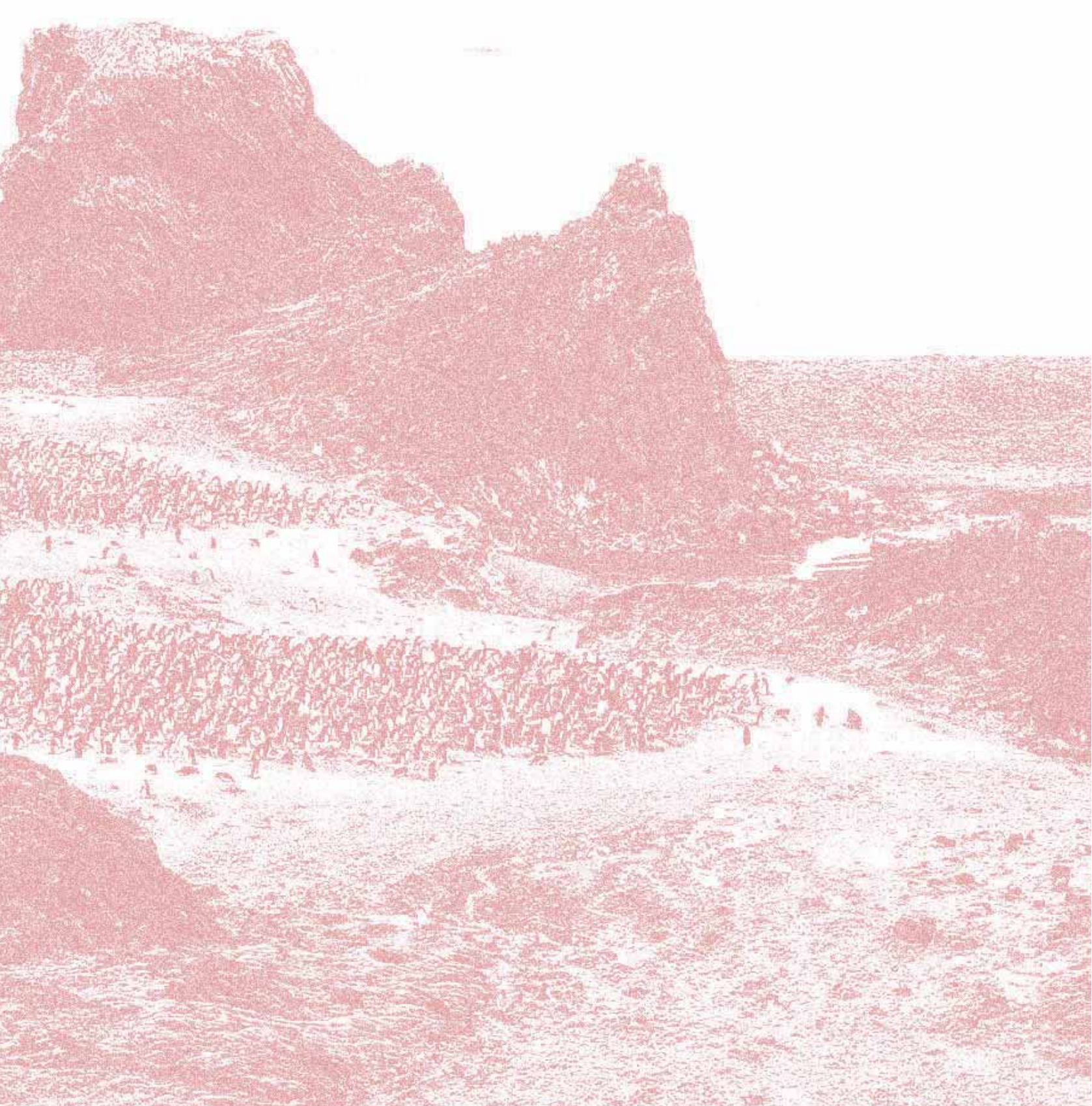
Edson Rodrigues  
edsonrod@unitau.br


Gannabathula Sree Vani  
srvani@hotmail.com

**Centro Universitário Campus de Andrade (UNIANDRADE). Núcleo de Pesquisa**

Helena Gonçalves Kawall  
helena.kawall@gmail.com





A wide-angle photograph of an Antarctic coastal scene. In the foreground, a large colony of penguins, likely Adelie penguins, is gathered on a sandy and rocky beach. The background features a rugged, rocky coastline with patches of green and orange lichen. In the distance, a large white iceberg floats in the blue ocean under a clear sky.

# Integração do conhecimento de ecologia microbiana e sua biocomplexidade no Ambiente Antártico



# Integração do Conhecimento de Ecologia Microbiana e sua Biocomplexidade no Ambiente Antártico

## Equipe:

Coordenadora: Profa Dra Vivian Helena Pellizari. Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade de São Paulo.

## Introdução

Com o objetivo de explorar fronteiras científicas e aprofundar o conhecimento dos processos microbianos polares e suas conexões com o planeta, se faz necessário desenvolver o conhecimento sobre a diversidade microbiana nas regiões polares, as interações entre os microrganismos e a biota e também suas respostas frente à interferência humana e as mudanças climáticas globais. Especula-se que 50% da vida na terra seja procariótica. Sabemos hoje que a mudança climática global e o declínio da biodiversidade microbiana estão fortemente relacionados. Seja através de associações simbióticas ou da redução do CO<sub>2</sub>, os microrganismos são cruciais na preservação das condições que sustentam a vida na Terra. Por isso, o estudo da ecologia microbiana vem integrando nos últimos anos os projetos multidisciplinares de muitos programas polares. No entanto, pouco ainda se conhece sobre a diversidade e biogeografia microbiana nesses ambientes. O avanço das técnicas moleculares e da taxonomia polifásica demonstrou ser possível modificar esse quadro. Este projeto representa um avanço desse conhecimento dentro do PROANTAR, trazendo para o mesmo microbiologistas de diferentes especialidades,

atuando no estudo de diferentes habitats e também com a comunidade simbiótica de aves, mamíferos e macroalgas.

Como aplicação do conhecimento desta biodiversidade, este projeto atua também na área de bioprospecção, explorando os mecanismos de adaptação ao frio destes microrganismos na busca por compostos quirais, quitinases, biosurfactantes, antibióticos e antitumorais, entre outros. Dessa forma, a ação ora apoiada pelo MCT, CNPq e SECIRM tem a oportunidade única de, em apoio à proposta ID 403 submetida ao API, reunir as condições que permitirão o avanço neste conhecimento, assim como a adequação dos laboratórios da EACF para estudos moleculares na área biológica. O projeto também está reunindo esforços para a organização da primeira coleção brasileira de culturas de microrganismos antárticos, que estará sendo gerenciada pelo CBMAI (Coleção Brasileira de Microrganismos de Ambiente e Indústria -UNICAMP).

**Diversidade de bactérias em diferentes solos presentes na Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Antártica** — Lia C.R.S. Teixeira, Raquel S. Peixoto, Hugo E. Jesus, Alexandre S. Rosado

A formação de solos na Antártica é restrita a menos de 0,35% do continente, compreendendo áreas livres de gelo localizadas ao longo da costa e em vales secos glaciais. Dentre os grupos de microrganismos encontrados em solos antárticos, pode-se destacar as microalgas, os fungos, as bactérias, os actinomicetos, os protozoários e as leveduras. Os processos microbianos que ocorrem no solo também são variados, envolvendo produção fotossintética, fixação de nitrogênio, metanogênese (que contribui significativamente para o fluxo de carbono total), metilotrofia (consumo de

metano e outros compostos de um carbono) e metabolismo de compostos nitrogenados (incluindo o ácido úrico do guano).

Em contraste com a baixa diversidade de plantas e animais encontrados na Antártica, a diversidade microbiana tem se mostrado surpreendentemente diversa. Solos e rochas abrigam uma grande variedade de bactérias, o que indica que as temperaturas extremamente baixas não representam um obstáculo para a colonização desses organismos. As abordagens moleculares permitem a detecção de microrganismos não cultiváveis e a classificação de organismos cultiváveis, uma vez que a morfologia e a fisiologia desses organismos não são suficientes para distinguir diferentes taxas. Estudos utilizando essas metodologias vêm contribuindo para o entendimento da diversidade microbiana antártica.

Para a ecologia microbiana molecular um dos maiores desafios é identificar o maior número de seqüências de DNA distintas em uma determinada amostra para que a diversidade total do ambiente amostrado seja detectada. O sistema integrado de seqüenciamento genômico 454 Life Science vem sendo utilizado para estimar a diversidade taxonômica de microrganismos não cultiváveis de uma determinada amostra. Essa técnica permite o seqüenciamento de mais de 20 milhões de bases em cerca de 4,5 horas e precisão maior que 99%. Os resultados dessas análises de piroseqüenciamento de amostras de diferentes tipos de solo da Baía do Almirantado mostram, de uma maneira geral, uma grande predominância de grupos de bactérias anaeróbias. Os filos com maior número de representantes foram Firmicutes, Actinobacteria e Proteobacteria, em todas as amostras estudadas, sendo também interessante destacar a presença de bactérias ainda não classificadas. A análise dos resultados obtidos

mostra uma alta similaridade entre as amostras de solo associadas às duas espécies de plantas vasculares *D. antarctica* e *C. quitensis* sugerindo a comunidade bacteriana pode ser mais influenciada pelo tipo de solo que pela espécie de planta. A Antártica pode ser um dos poucos ambientes onde os fatores abióticos são mais importantes que os fatores bióticos na estruturação das populações. Isso porque os fatores abióticos extremos desse ambiente funcionam como uma forte pressão seletiva para os organismos. Os diferentes solos amostrados apresentam diferenças significativas em relação à composição físico-química, sendo mais um resultado que corrobora para a separação da comunidade bacteriana pelo local de coleta. Em outra análise, a partir de géis de DGGE (Eletroforese em gel de gradiente desnaturante), também foi observado esse mesmo padrão de distribuição da comunidade bacteriana. O número de seqüências obtidas pelas bibliotecas do piroseqüenciamento é bem superior ao número de bandas reveladas pelo DGGE, sendo a técnica de piroseqüenciamento bem mais robusta para o estudo da diversidade microbiana. Investigações futuras em andamento realizadas em grupos específicos de bactérias dentro das bibliotecas podem mostrar diferenças sutis entre as comunidades bacterianas associadas à *D. antarctica* e *C. quitensis*.

Em relação aos experimentos com as bactérias cultiváveis, os resultados obtidos até o momento indicam o quanto a diversidade de microrganismos da Antártica também é desconhecida. Os resultados de identificação das bactérias isoladas através do seqüenciamento do DNA do gene que codifica a subunidade 16S do RNA ribossomal revelaram um grande número de indivíduos que apresentaram baixa similaridade desse gene com as seqüências descritas nos bancos de dados, indicando que esses sejam representantes de novas espécies,

e mesmo novos gêneros. Além disto, outras análises mostram isolados com um ótimo crescimento em temperaturas em torno de 4°C, o que nos chama a atenção para os mecanismos químicos e biológicos que podem estar sendo empregados por tais microrganismos para possibilitar um crescimento em temperatura tão baixa, e assim permitir a atividade enzimática ideal para a manutenção da vida em tais organismos. Através dos testes utilizados, foram detectados microrganismos produtores de amilases, proteases, incluindo proteases ativas em baixas temperaturas e solubilizadores de fosfato. Esses dados reforçam o grande potencial do ambiente Antártico como reservatório de produtos biotecnológicos de grande interesse para a indústria.



**Figura 1.** Experimento em microcosmo na EACF, elaborado com o objetivo de através da técnica de “SIP-DNA”, estudar a participação da comunidade microbiana da rizosfera da *Deschampsia Antarctica* no fluxo de carbono a partir da fixação de  $^{13}\text{CO}_2$  pela gramínea.

### **Biodiversidade e bioprospecção de fungos presentes em ecossistemas Antárticos** — Luiz Henrique Rosa, Carlos Leomar Zani e Carlos Augusto Rosa

A Antártica representa um ecossistema caracterizado por extremos de temperatura, baixa disponibilidade de água e isolamento geográfico. Os fungos residentes na Antártica são adaptados às condições extremas e desempenham importantes papéis ecológicos como colonizadores primários, na ciclagem de nutrientes e relações ecológicas inter e intra-específicas. Além disso, devido à fisiologia diferenciada, estes fungos podem representar uma fonte metabólica promissora de produtos biotecnológicos. Para realização deste trabalho coletadas amostras de sedimentos marinhos e de lagos, solos convencionais e ornitogênicos, água marinha e de lagos, espécimes de *Deschampsia antarctica* Desv. (Poaceae), *Colobanthus quitensis* (Humboldt, Bonpland & Kunth) Bartling (Caryophyllaceae) e das macroalgas *Adenocystis untricularis*, *Desmarestia anceps* e *Palmaria decipiens*, presentes na Baía do Almirantado (Ilha Rei George) e Ilha Deception na Península Antártica. Neste sentido, o objetivo deste projeto é contribuir para o conhecimento da diversidade de fungos presentes em diferentes ecossistemas da Antártica e avaliar o seu potencial como fonte de metabólitos bioativos, protótipos úteis para o desenvolvimento de novas drogas. Todos os fungos obtidos ao longo do projeto estão em fase de identificação e sendo submetidos a processos fermentativos para o preparo extratos e detecção de moléculas com atividades antimicrobianas, citotóxicas sobre linhagens de células tumorais humanas e antiparasitárias dos gêneros *Leishmania* e *Trypanosoma*. Além disso, os extratos ativos serão fracionados quimicamente e as substâncias ativas isoladas e identificadas por meio de técnicas de cromatográficas.

No total foram coletadas 13 amostras de sedimento marinho e 29 de lagos, 37 amostras de solo, 30 amostras de solo ornitogênico, 18 amostras de água marinha, 24 amostras de água de lagos, 94 exemplares de *D. antarctica* e 100 de *C. quitensis*, 20 exemplares de cada espécie de macroalga (*A. untricularis*, *D. anceps*, *P. decipiens*). Após os diferentes processos de isolamento, foram obtidos 258 isolados de leveduras e 914 de fungos filamentosos. Dezesete isolados de fungos filamentosos foram obtidos de sedimento marinho, 82 de sedimentos de lagos, 63 de solo, 58 de solo de pingüineira, 11 de amostras de água marinha, 27 de água de lagos e 153 da rizosfera, 26 endofíticos de *D. antarctica*, 190 de *C. quitensis*, 27 de *A. untricularis* e dois de *P. decipiens*. Ao longo de dois anos de pesquisas foram obtidos um total de 2.000 isolados de fungos (1.200 de fungos filamentosos e 800 de leveduras). A partir de 91 espécimes de *D. antarctica* foram obtidos 26 isolados de fungos endofíticos (9,5% de frequência) de 273 fragmentos de folhas. *Alternaria* Nees (57,7%) e *Phaeosphaeria* I. Miyake (19,2%) foram os gêneros encontrados com mais frequência. Sete isolados não puderam ser identificados e foram denominados como inconclusivos e podem representar novas espécies para a ciência. Os fungos endofíticos associados a *C. quitensis* foram separados em 57 morfoespécies distintas e estão em fase de identificação molecular.

Para as leveduras, foram obtidos um isolado de sedimento marinho, 20 isolados de sedimentos de lagos, quatro de solo, 18 de solo de pinguineira, 15 de amostras de água marinha, 15 de água de lagos, 28 de rizosfera, 30 de *D. antarctica* e 78 de *C. quitensis*. Além disso, foram obtidos 48 isolados de *A. untricularis*, três de *P. decipiens* e oito de *D. anceps*. Até o momento foram identificadas espécies dos gêneros: *Cryptococcus*, *Debaryomyces*, *Leucosporidiella*,

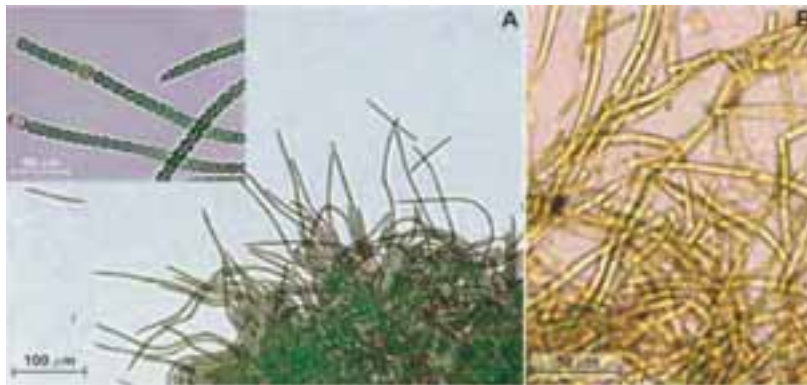
*Dioszegia*, *Nadsonia*, *Metschnikowia*, *Bensingtonia*, *Sporodiobolus*, *Rhinocladiella*, *Neobulgaria*, *Microglossum*, *Kodamaea*, *Pichia*, *Rhodotorula*, *Candida* e *Exophiala*. Os demais isolados de leveduras se encontram em processo de identificação. Para o processo de bioprospecção, 603 extratos estão em fase de avaliação em testes biológicos para detecção de substâncias antimicrobianas, citotóxicas e leishmanicidas.

**Cianobactérias Antárticas** — Marli Fátima Fiore, Janaina Rigonato, Diego Bonaldo Genúario, Danillo Oliveira de Alvarenga

Cianobactérias são microrganismos fotossintéticos oxigênicos pertencentes ao domínio Bacteria com distribuição cosmopolita na Terra. Elas apareceram há aproximadamente três bilhões de anos e são responsáveis pela presença do oxigênio no nosso planeta. Mesmo hoje, sua atividade fotossintética permanece essencial para a manutenção do balanço  $\text{CO}_2/\text{O}_2$  na atmosfera terrestre. As cianobactérias são os únicos organismos capazes de realizar fotossíntese oxigênica e fixação de nitrogênio atmosférico. Globalmente, a fixação de  $\text{N}_2$  é o mais importante processo após a fixação de  $\text{CO}_2$ . Assim, esses microrganismos fotossintéticos são importantes produtores primários de matéria orgânica e fonte de nitrogênio nos ecossistemas. A versatilidade metabólica das cianobactérias favorece sua adaptação ao ambiente inóspito da Antártica, que inclui ventos catabáticos implacáveis, temperatura e precipitação baixa permanentemente e depauperante fornecimento de carbono, onde elas colonizam lagos, lagoas, solos, rochas, geleiras, camadas de gelo, líquens, musgos e tundras. O principal objetivo do nosso programa de pesquisa na Antártica é aumentar o conhecimento do genoma, fisiologia, bioquímica e biodiversidade das cianobactérias por meio de uma abordagem integrada, a fim de: 1) identificar



os gêneros colonizadores desse ambiente; 2) explorar o seu potencial biotecnológico. Para tanto, cianobactérias estão sendo isoladas (Fig. 2), cultivadas em laboratório e caracterizadas morfológicamente e molecularmente; métodos moleculares estão sendo utilizados em amostras ambientais para acessar as linhagens não cultiváveis; a identificação de moléculas bioativas de interesse farmacológico está sendo feita por meio de bioensaios, análises em espectrometria de massas e métodos moleculares.



**Figura 2.** Microscopia óptica de cianobactérias Antárticas. A. *Anabaena/Nostoc* isolada de um manto microbiano coletado em Baranowski. B. *Lyngbya/Oscillatoria* isolada de biofilme de um córrego próximo ao Refúgio 2 brasileiro na Península Keller.

**Desvendando o ciclo biológico do metano na Antártica** — Cristina Rossi Nakayama, Plínio Carlos Alvalá, Emanuele Kuhn, Ana Carolina Vieira Araújo, Vivian Helena Pellizari, Rosana Filomena Vazoller.

Os micro-organismos têm um papel chave no ciclo do metano, o mais importante gás de efeito estufa depois do  $\text{CO}_2$ . Embora a produção de metano possa acontecer abioticamente por processos geoquímicos, a maior parte do metano existente na atmosfera tem origem

biológica e é produzida exclusivamente pelas arqueias metanogênicas em ambientes sem oxigênio, como sedimentos marinhos, solos alagados, permafrosts, sistemas digestórios de animais, sistemas de tratamento de esgoto, aterros sanitários, entre outros. Na atmosfera, o destino final do metano é a troposfera, onde o gás é removido por reações fotoquímicas com radicais hidroxila (OH), formando  $\text{CO}_2$ . Entretanto, uma porção significativa do gás é consumida antes de atingir a atmosfera por dois grupos de microrganismos: as bactérias metanotróficas, aeróbicas, que habitam solos, ambientes aquáticos ou estão associadas a animais, como algumas espécies de mexilhões; ou as arqueias associadas a alguns grupos específicos de bactérias, que degradam o metano anaerobicamente em sedimentos marinhos, exudações, áreas de hidrato de metano e lagos.

A presente pesquisa concentra-se no estudo dos grupos de arqueias metanogênicas e bactérias metanotróficas da Baía do Almirantado, com o objetivo de obter informações sobre a diversidade e a ecologia desses organismos, além de avaliar se as atividades humanas na estação brasileira Comandante Ferraz estão influenciando a produção e o consumo local pelas comunidades microbianas. O estudo do ciclo do metano também permite a caracterização dos ecossistemas antárticos como fontes ou sorvedouros do gás, gerando informação de referência que pode ser útil para a detecção de mudanças futuras na região, resultantes da atividade humana ou de processos globais.

Diferentes técnicas estão sendo combinadas para o estudo da ecologia das arqueias metanogênicas e bactérias metanotróficas. O DNA

presente nas amostras de sedimento e água está sendo usado na construção de bibliotecas genômicas, que fornecem informação sobre a composição das espécies presentes na área de estudo. Outra técnica molecular empregada é o DGGE (eletroforese em gel de gradiente desnaturante), a qual gera perfis de bandas que nos permitem diferenciar visualmente a estrutura das comunidades de bactérias e arqueias. Através da comparação desses perfis, é possível detectar diferenças que refletem a influência das condições ambientais ou das atividades humanas sobre a diversidade dos grupos microbianos estudados. O cultivo de arqueias metanogênicas e bactérias metanotróficas também está sendo realizado, com o objetivo de obter linhagens puras para estudos de fisiologia e depósito em coleções de culturas.

Em paralelo aos estudos microbiológicos, medidas dos fluxos de metano *in situ* estão sendo feitas para determinar se o oceano da região é fonte ou sorvedouro de metano atmosférico e para detectar possíveis interferências do lançamento do efluente do sistema de tratamento de esgoto da EACF no ciclo do metano local.

Através deste estudo, a presença de ambos os grupos metanogênicos e metanotróficos foi confirmada nas amostras da Enseada Martel. Medidas dos fluxos de metano mostraram que a área é fonte de metano para a atmosfera e que os fluxos próximos à saída do sistema de tratamento de esgoto tendem a ser maiores que os medidos nos pontos de referência, indicando uma possível estimulação da produção local de metano.

Esse estímulo também foi sugerido pelos resultados de contagem de bactérias metanotróficas, os quais revelaram que, embora estejam presentes em densidades baixas na coluna d'água, o número de células foi maior em

amostras próximas à saída de esgoto, provavelmente em decorrência de uma maior disponibilidade de matéria orgânica ou de metano. Entretanto, estudos da diversidade de arqueias no sedimento (grupo a que pertencem os microrganismos produtores de metano) mostraram a presença de grupos essencialmente ligados a ambientes frios ou extremos e bem diferentes das seqüências encontradas no efluente do sistema de tratamento de esgoto. Esses resultados indicam que as diferenças nas taxas de emissão de metano observadas nas proximidades da saída de esgoto da EACF estão provavelmente mais relacionadas à estimulação da atividade de grupos locais por alterações nas condições ambientais (por exemplo, disponibilidade de substrato) do que pela introdução de organismos presentes no efluente da estação.

**Diversidade Microbiana em Amostras de Gelos e Solos Expostos no Recuo de Geleiras** — Rubens Duarte, Jefferson Simões, Heitor Evangelista da Silva, Vivian Helena Pellizari

Há aproximadamente 14 milhões de anos atrás, antes da Antártica desenvolver seu manto de gelo permanente, os microrganismos que lá existiam já habitavam diferentes ecossistemas, a exemplo do solo, lagos, sedimentos, e obviamente no próprio gelo que ali se formava. Dentro do gelo os microrganismos estão submetidos não só a temperaturas muito abaixo de 0°C, mas também à ausência de luz, ausência de oxigênio, escassez de nutrientes, pressões 400 vezes maiores que ao nível do mar, além do contato com soluções altamente ácidas e salinas. Em um ambiente tão inóspito como esse, os microrganismos recorrem a diferentes estratégias para sobreviver, tais como formar esporos (estruturas celulares altamente resistentes), associar-se a fragmentos de poeira ou pequenas rochas (as quais dificultam a

formação de gelo) ou ainda produzir substâncias anti-congelantes. Recentemente foi sugerido que muitos microrganismos conseguem manter-se vivos quando se encontram em canais microscópicos de água líquida que se formam durante a transformação da neve em gelo. Estes canais, denominados veias ou veículas líquidas, são formados a partir da expulsão de íons e partículas sólidas do núcleo de congelamento. Essas partículas diminuem a temperatura necessária para fusão da água e, desta forma, resultam micro-habitats com altas concentrações de sais, nutrientes, água líquida e microrganismos.

A comunidade microbiana presente no gelo é composta, essencialmente, de células transportadas pelo vento e precipitadas junto com a neve. Diferentes estudos indicam que a topografia, a posição geográfica, a estação do ano, as condições climáticas globais, e a proximidade com outros ecossistemas influenciam na concentração e diversidade de microrganismos transportados pelo ar. Desta forma, as geleiras do Ártico, da Antártica, e de grandes altitudes possuem diferentes espécies e quantidades de microrganismos. Poucas geleiras no mundo foram exploradas com o objetivo de conhecer os microrganismos que ali estão depositados. Na Antártica, estima-se que a quantidade de microrganismos imersos no gelo varia de  $10^3$  a  $10^7$  células por litro. Considerando a atual taxa de derretimento do gelo polar, isto significaria uma reintrodução de  $10^{17}$  a  $10^{21}$  microrganismos para a atmosfera a cada ano, e eventos que colaborem para o aquecimento global aumentariam ainda mais estes números. Os poucos estudos que existem sobre os microrganismos no gelo da Antártica indicam que as espécies variam bastante de acordo com a localização e idade da geleira.

Com o objetivo de esclarecer este panorama, está sendo caracterizada a comunidade de microrganismos presentes em amostras de gelo coletadas na geleira Baranowski, Ilha Rei George (Península Antártica) e no manto de gelo continental próximo ao Pólo Sul Geográfico (PSG). A quantidade de células presente nas duas regiões foi considerada semelhante ( $3,0 \times 10^4$  células por mililitro para a Geleira Baranowski e  $2,6 \times 10^4$  células por mililitro para o PSG). Entretanto, a análise por microscopia de fluorescência, empregando-se a hibridização de sondas específicas para diferentes grupos taxonômicos, indicou uma divergência na composição da comunidade de cada ambiente. A geleira Baranowski apresentou dominância de indivíduos da Classe Alphaproteobacteria (58%), seguido das Classes Gamma (12%) e Betaproteobacteria (9%), enquanto foram observados poucos representantes da Classe Deltaproteobacteria (2%). A amostra de gelo do PSG, por sua vez, apresentou dominância de Beta (41%) e Alphaproteobacteria (35%). Entretanto, indivíduos da Classe Gammaproteobacteria (2%) foram pouco observados na amostra continental. Ao contrário da amostra de Baranowski, a Classe Deltaproteobacteria foi encontrada com maior frequência no PSG (11%). Com relação ao Dominio Archaea, poucos representantes foram encontrados na Geleira Baranowski (1%), e um número maior na amostra do PSG (7%). Uma vez que os métodos utilizados neste estudo não dependem do cultivo das células vivas no gelo, sugere-se que as diferenças observadas entre os dois ambientes possam estar relacionadas à fatores que influenciam no transporte e na deposição destes microrganismos.

Relacionado às geleiras, um fenômeno que vêm sendo observado pelos cientistas nos últimos tempos é o recuo da frente destas em todo

o Planeta. Na Antártica, sobretudo na região da Península e Ilhas Shetland do Sul, os estudos de glaciologia indicam que o atual aumento das médias de temperaturas anuais podem ser os principais responsáveis pelo avançado recuo de frente de geleiras. O recuo do gelo resulta na exposição de superfícies que estavam isoladas da atmosfera por centenas, milhares ou até milhões de anos. Tais áreas tornam-se, com o passar dos anos, novos habitats para animais, plantas e microrganismos, sendo estes últimos os únicos capazes de sobreviver em ambientes com pouca ou nenhuma matéria orgânica. Em um segundo momento, após alterações nas características do solo através do desenvolvimento da comunidade microbiana, outros organismos como plantas e animais também são capazes de habitar estes ambientes. Desta forma, a área exposta por recuo de geleiras é considerada uma cronosseqüência, isto é, um gradiente espaço-temporal onde é possível realizar estudos sobre mudanças ecológicas ao longo de um certo tempo. Os processos ecológicos que ocorrem no solo exposto por recuo de geleira ainda foram pouco estudados, mas indicam que mudanças na população microbiana ocorrem após alguns anos de exposição. Uma vez que as populações de microrganismos são capazes de sofrer grandes alterações em resposta a variações de fatores ambientais num curto espaço de tempo, as cronosseqüências de recuo de geleira podem ser empregadas como indicadores de alterações ambientais.

Este projeto visa estudar a variação na comunidade microbiana em uma cronosseqüência de solo na Antártica. A área de estudo escolhida foi a geleira Baranowski, que se localiza na entrada da Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Península Antártica. As médias anuais de temperatura na Baía do Almirantado aumentaram cerca de 1,7°C em pouco mais de 50 anos, resultando no derretimento de frente

de geleiras e na exposição de novas áreas livres de gelo. Segundo análises de imagens aéreas, a geleira Baranowski recuou cerca de 450 metros entre 1978 e 2000, sendo a taxa de recuo mais acelerada nos últimos 10 anos. Através do emprego de técnicas independentes de cultivo para caracterizar a comunidade de bactérias no solo e na geleira, foi observada uma sucessão ecológica ao longo da cronosseqüência. No solo mais próximo à frente da geleira foram encontrados microrganismos do Filo Actinobacteria (53%), Proteobacteria (20%), Bacteroidetes (12%), e alguns indivíduos de Firmicutes, Cyanobacteria, Verrucomicrobia, entre outros (<2%). No solo mais distante da geleira, exposto há aproximadamente 22-25 anos, o grupo predominante foi Proteobacteria (72%), seguido de Actinobacteria (10%) e Bacteroidetes (5%), com alguns Acidobacteria, Chloroflexi e Gemmatimonadates (<2%). A comunidade de bactérias presente no gelo da geleira foi composta em sua maioria por indivíduos do Filo Proteobacteria (93%) e alguns representantes de Actinobacteria (5%) e Cyanobacteria (1%). As variações na composição das comunidades bacterianas pode estar relacionada a mudanças ambientais na região de estudo.

**Diversidade de genes catabólicos no ambiente marinho e solos “permafrost” na Antártica marítima** — Emanuele Kuhn, Rubens Duarte, David Gilichinsky, Vivian Helena Pellizari

O sedimento constitui um importante compartimento dos ecossistemas aquáticos sendo reconhecido como o principal destino das substâncias introduzidas nestes sistemas, podendo acumular os compostos introduzidos a níveis mais elevados que aqueles observados na coluna d'água adjacente. Compostos orgânicos, como os hidrocarbonetos, tendem a ser adsorvidos ao material particulado e depositados no sedimento. Esses compostos podem

ser utilizados por microrganismos como fonte de carbono e energia para crescimento e duplicação celular através de um processo chamado de biodegradação. A biodegradação de compostos orgânicos, juntamente com a biossíntese de massa celular, rege grande parte do ciclo do carbono através da quebra desses hidrocarbonetos por enzimas microbianas, chamadas oxigenases. As oxigenases são codificadas por genes catabólicos, ou funcionais, que são seqüências de DNA que possuem o código para a produção dessas enzimas que reconhecem e agem sobre seus substratos específicos.

Junto ao Ano Polar Internacional, está se desenvolvendo um trabalho de pesquisa de detecção e análise da diversidade desses genes funcionais relacionados à degradação de hidrocarbonetos no ambiente marinho da Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Península Antártica. Através da análise de seqüências de DNA adquiridas diretamente de amostras ambientais de sedimento marinho da Baía do Almirantado, foi possível identificar, além de enzimas já descritas, códigos genéticos distintos dos demais códigos descritos em outros ambientes do planeta. Esses resultados podem estar relacionados ao isolamento geográfico do continente e também às suas condições ambientais distintas, principalmente relacionadas a baixas temperaturas, constituindo uma população gênica peculiar na região. Ocorreu então, a necessidade de se procurar esses genes em isolados marinhos para um estudo aprofundado de reconhecimento de substrato e atividade enzimática dessas enzimas oxigenases. Sendo assim, o projeto continua agora a procurar esses genes ainda não descritos em isolados bacterianos que compõem a comunidade microbiana da Baía do Almirantado.

Já o permafrost é constituído por solo que permanece congelado ao longo dos anos. Ocupa cerca de 20% da superfície terrestre, sobretudo nas regiões polares, e sua temperatura permanece abaixo de zero por milhares ou até milhões de anos. No hemisfério norte, o permafrost localiza-se principalmente nas regiões da Eurásia (Sibéria) e América do Norte (Alaska e Canadá), alcançando a espessura de 700 a 1000m. Ocorre ainda em regiões livres de gelo da Groelândia, Antártica e regiões alpinas. As baixas e constantes temperaturas do permafrost mantêm conservados por milhões de anos todo o material sedimentado. Tais características fazem deste solo um repositório de materiais biológicos em escalas geológicas, muitos dos quais adaptados biogeoquimicamente a condições de congelamento.

No contexto das mudanças climáticas globais, o estudo da biodiversidade do permafrost se mostra importante para que as futuras alterações decorrentes do degelo deste solo possam ser monitoradas. Considerando que o permafrost abriga uma grande quantidade de compostos e gases de efeito estufa, como o metano, e que uma área de 20% dos solos do planeta encontra-se em condição de permafrost, existirá uma contribuição significativa em relação ao fluxo de carbono no meio ambiente e os ciclos biogeoquímicos poderão ser afetados. Cabe também ressaltar que o crescente interesse no impacto causado pelas mudanças globais é recente, mas traz o estímulo ao importante conhecimento da diversidade microbiana e seu papel nos processos de degradação de compostos poliaromáticos na natureza. A versatilidade metabólica dos microrganismos constitui um meio significativo para compreender os processos envolvidos no estoque de carbono no solo e a disponibilidade de nutrientes para o crescimento das plantas.



**Figura 3.** Coleta de permafrost realizada à profundidade de 9m na Ilha Rei George, para análise microbiológica, realizada em cooperação com pesquisadores russos.

No que se refere aos trabalhos envolvendo as amostras de solos criogênicos, o desenvolvimento de projetos junto ao Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR-CNPq) permitiu observar o comportamento dos genes funcionais alcano-monoxigenases (alk) e anel-aromático dioxigenases (ARHD) em solos e sedimentos marinhos em áreas preservadas da Antártica, com características físico-químicas diferenciadas, como alto conteúdo de metais e baixo de matéria orgânica. Desta forma o Laboratório de Microbiologia Ambiental (ICB/USP), em colaboração internacional com o Laboratório de Criossolos do Instituto de Problemas Físico-químicos e Biológicos do Solo da Rússia (IFHBPP/RAN), iniciou no ano de 2008 a exploração da diversidade funcional em amostras de solo permafrost da Antártica e da Sibéria. Além da diferença de origem, que permite estudos de biogeografia para estes genes, as amostras testadas também variaram quan-

to ao tipo (sedimento marinho, solo) e idade (moderno, alguns milhares de anos e milhões de anos). Genes de degradação de compostos alcanos (alk) foram detectados em amostras da Sibéria de 120.000 anos a 1,8 Milhões de anos, e em amostras modernas de sedimento marinho da Antártica e em amostras antigas de aproximadamente 10.000 anos. A presença de anel-aromático dioxigenases (ARHD) foi detectada em solos da Sibéria com datação de 5.000 anos a 3 Milhões de anos. Na Antártica, genes ARHD foram detectados em sedimentos marinhos de aproximadamente 15.000 anos. A amostra mais antiga testada foram permafrosts do Beacon Valley da Antártica, com datação de aproximadamente 8,0 Milhões de anos, mas nenhum dos genes testados foram detectados nesta amostra. A análise de solos tão antigos irá ajudar a compreensão da origem filogenética destes genes encontrados atualmente no meio ambiente. Também será de importância como continuidade a este estudo, realizar a busca dos novos genes em isolados de bactérias obtidas nas amostras para descrição e conhecimento dos grupos taxonômicos hospedeiros destes genes.

#### **Detecção prospectiva de bactérias magnetotáticas na Antártica: biologia, diversidade e biotecnologia** — Ulysses Garcia Casado Lins

Bactérias magnetotáticas são encontradas em diferentes ambientes na América do Sul e do Norte, Europa, Austrália, África e Ásia. A possibilidade de encontrar bactérias magnetotáticas na Antártica irá gerar grande conhecimento sobre sua diversidade morfológica e filogenética, uma vez que esse continente possui características ambientais e parâmetros do campo geomagnético únicos e a presença desta bactéria não foi anteriormente relatada. Estudos sobre a diversidade de bactérias magnetotáticas aumentam as possibilidades de estudos de

mecanismos de biomineralização e produção de biomateriais, sendo de extrema importância para nanotecnologia, já que esse grupo de bactérias produz nanocristais magnéticos com propriedades bem definidas.

As bactérias magnetotáticas são conhecidas por sua capacidade de orientar e migrar ao longo das linhas de um campo magnético propelas por flagelos. Possivelmente essa habilidade permite um melhor deslocamento em ambientes com gradientes verticais, significando maior facilidade em encontrar e se manter em determinados microhabitats que possuem concentrações ideais de oxigênio ou outro composto. Apesar de essas bactérias possuam algumas características comuns, essas formam um grupo diverso em relação à filogenia, morfologia e fisiologia.

Todas as bactérias magnetotáticas descritas até hoje pertencem ao domínio Bacteria. A maioria das bactérias magnetotáticas pertence ao subgrupo Proteobacteria e estão relacionadas a alphaproteobacteria, deltaproteobacteria e, possivelmente, gammaproteobacteria. Bactérias magnetotáticas pertencentes ao filo Nitrospira também foram descritas. As bactérias magnetotáticas apresentam diferentes formas, que incluem cocos, bacilos, espirilos, víbrios, barbell e forma multicelular.

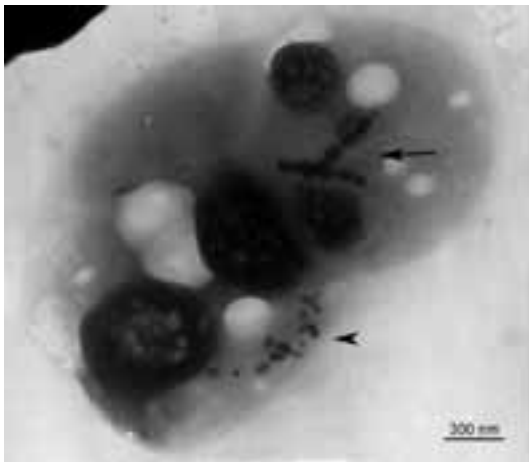
Além de pertencer ao domínio Bacteria e apresentar estrutura Gram negativa de parede celular e flagelos, outra característica comum das MB é a presença de organelas contendo cristais magnéticos chamados magnetossomos. Magnetossomos são cristais magnéticos envolvidos por uma bicamada lipídica que geralmente se organizam em cadeias. O tamanho do cristal magnético usualmente varia de 35 a 120 nm entre espécies. Quando organizados em cadeias, os magnetossomos atuam como um

dipolo magnético permanente, trabalhando como uma eficiente bússola. Os magnetossomos das bactérias magnetotáticas contêm o óxido de ferro magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), ou o sulfeto de ferro greigita ( $\text{Fe}_3\text{S}_4$ ), dependendo da espécie. Bactérias magnetotáticas capazes de sintetizar ambos os materiais magnéticos em seus magnetossomos foram descritos. Os cristais de magnetita dos magnetossomos são geralmente octaédricos, prismáticos ou em ponta de lança. Já os magnetossomos de greigita ocorrem em formas de paralelepípedo ou cubo-octaedro.

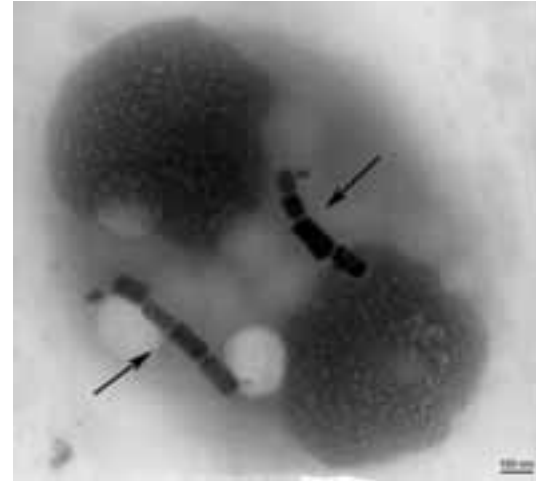
A produção de magnetossomos por bactérias magnetotáticas ocorre em condições naturais de temperatura e pressão e os cristais magnéticos originados desse processo possuem características magnéticas e cristalográficas únicas. Portanto, os mecanismos de síntese de magnetossomos são extremamente relevantes para a produção de biomateriais com características definidas. Algumas aplicações comerciais e biotecnológicas já foram sugeridas para os magnetossomos, incluindo a produção de meios magnéticos para a indústria, separação celular a aplicações médicas como agente de contraste para ressonância magnética.

Bactérias magnetotáticas foram descritas em muitos locais ao redor do mundo, onde habitam ambientes de água doce a hipersalinos. As bactérias magnetotáticas são encontradas na zona de transição óxica-anóxica nos ambientes com estratificação química vertical como colunas d'água ou sedimentos. Entre todas as morfologias de bactérias magnetotáticas, apenas cocos, espirilos e víbrios magnetotáticos foram isolados e cultivados até o momento. Muitas outras MB foram descritas ao redor do mundo e a maioria dos estudos se baseia em métodos independentes de cultivo. Bactérias magnetotáticas são facilmente reconhecidas

quando observadas por microscopia de luz por causa de sua migração para o norte ou sul ao longo das linhas de campo magnéticas em gotas de água. Estudos de diversidade e isolamento de bactérias magnetotáticas em meios de cultura são de grande importância em nanotecnologia, pois as bactérias magnetotáticas podem possuir a chave para a produção de nanomateriais estruturados com propriedades magnéticas definidas. Este estudo visa detectar bactérias magnetotáticas em amostras de água e sedimento; analisar a morfologia e diversidade filogenética das bactérias magnetotáticas; isolar microrganismos magnetotáticos usando meios de cultura específicos; caracterizar os microrganismos magnetotáticos com microscopia eletrônica com interesse especial no tamanho, forma e composição de seus magnetossomos.



**Figura 4.** Micrografia eletrônica de transmissão de bactérias magnetotáticas encontradas em Punta Ullman. Note que as cadeias de magnetossomos em cada célula são diferentes (seta e ponta de seta), sugerindo a presença de duas espécies.



**Figura 5.** Micrografia eletrônica de transmissão de uma bactéria magnetotática encontrada em Punta Ullman. Note a presença de duas cadeias de magnetossomos na célula (setas).

#### **Explorando a diversidade de Actinobactérias na Antártica** — Itamar Soares de Melo

Compostos naturais produzidos por microrganismos, especialmente as actinobactérias, têm sido amplamente utilizados para o desenvolvimento da maioria de medicamentos bacterianos. Entretanto, a detecção de novos compostos a partir de ambientes naturais tem se tornado cada vez mais difícil em virtude dos esforços para se aumentar as capacidades de varredura e o número de bactérias testadas.

Enquanto linhagens terrestres têm sido ativamente isoladas e testadas para fins industriais, estreptomicetos isolados de ambientes extremos têm sido ignorados, até recentemente. Ambientes frios são frequentemente dominados por microrganismos, que representam a mais abundante forma de vida adaptada ao frio do planeta. Uma grande área da superfície terrestre é ocupada por ambientes frios,



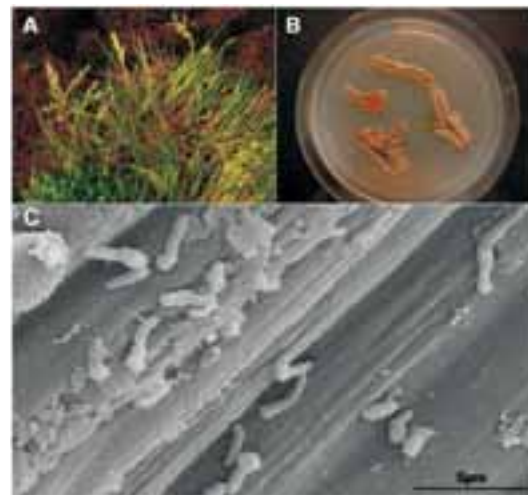
tais como a Antártica. A adaptação desses microrganismos ao frio é devida, pelo menos em parte, à sua habilidade de produzir enzimas ativas ao frio que exibem atividades catalíticas maiores em baixas temperaturas que seus correspondentes mesofílicos e termofílicos.

Neste projeto, isolamos linhagens de bactérias psicrotólicas a partir de sedimento marinho e da alga *Palmaria* que possuem a habilidade de produzir lipase (glicerol-ester-hidrolases). Todas as linhagens isoladas foram capazes de utilizar lipídios de origem vegetal (óleo de oliva) como fonte de carbono e energia para o crescimento através da produção de lipases extracelulares.

Outra abordagem deste projeto é investigar a atividade antibacteriana de bactérias provenientes de solos antárticos. O interesse na microbiota antártica aumentou devido à investigação de novos compostos bioativos, especialmente antibióticos. A produção de agentes antifúngicos e enzimas por bactérias, especialmente por bactérias associadas a tecidos de plantas (de rizosfera e endofíticas) tem sido objeto de estudo. O projeto propõe o estudo da diversidade de bactérias endofíticas e isolados de actinobactérias a partir de *Deschampsia* e *Colobanthus*.

Bactérias endofíticas são definidas como organismos que vivem em associação com plantas na maior parte, se não na totalidade, dos seus ciclos de vida. Esses organismos podem trazer benefícios à planta e esses benefícios podem ser recíprocos, resultando em um sistema simbiótico aperfeiçoado para características específicas das plantas. Portanto, o uso das endofíticas abre novas áreas para as explorações biotecnológicas, as quais levam à necessidade de se isolar e cultivar esses organismos. Assim, o projeto tem o objetivo de detectar a ocorrência de proteínas anti-congelantes em bactérias

endofíticas antárticas ativas. Essas proteínas têm a habilidade de modificar a estrutura do cristal de gelo e inibir a sua recristalização. Embora não tenham sido bem caracterizadas em procariontes, as proteínas anti-congelantes tem sido encontradas em algumas bactérias. Nossa hipótese argumenta que proteínas anti-congelantes encontradas em actinobactérias endofíticas podem proteger as plantas antárticas das temperaturas frias.



**Figura 6.** Bactérias associadas à gramínea *Deschampsia antarctica*. A. *Deschampsia antarctica*. B. Bactérias endofíticas (rosa) crescendo a partir de folhas de *D. Antarctica*. C. Imagem de microscopia eletrônica de varredura mostrando células bacterianas colonizando raízes de *D. Antarctica* (aumento: 5.000 vezes).

### **Biotransformações enantiosseletivas utilizando microorganismos isolados na Antártica**

— Leandro Helgueira de Andrade, Lidiane de Araújo, Edna Kagohara

Nesse projeto realizamos a busca de enzimas presentes em microorganismos isolados da Antártica (Península Keller e Baía do Almirante) para sua aplicação em reações de bioca-

tálise enantiosseletivas. As enzimas de interesse, álcool desidrogenases, são utilizadas como catalisadores de reações de biorredução e oxidação para síntese de álcoois quirais. Como esses microorganismos são psicrófilos, uma vantagem para o uso de suas enzimas encontra-se no fato de que elas apresentam uma ótima ação e especificidade a baixas temperaturas. Inicialmente, realizou uma expedição em dezembro de 2006, com o objetivo de coletar amostras de solos e sedimentos (12 e 4 pontos de coleta, respectivamente). Após o estudo dessas amostras obteve-se, pelo processo de isolamento induzido, 125 microorganismos. Foram avaliados o espectro de atividade enzimática desses microorganismos em reações de biorredução de cetonas e oxidação de álcoois secundários enantiosseletiva. O maior número de microrganismos com bons resultados de enantiosseletividade foi encontrado na reação de oxidação enantiosseletiva (6 bactérias, em até 99 % ee). Com base nesses resultados, na expedição de novembro/dezembro de 2008 foi coletado um maior número de amostras de solo, sedimento marinho e lacustre (13, 6 e 4 pontos de coletas, respectivamente). Nessa fase do trabalho estamos interessados no isolamento de enzimas para uso como biocatalisadores de reações de oxidação enantiosseletiva. Nessa etapa foram realizados, até o momento, a coleta do material e o isolamento dos microorganismos no próprio laboratório de química da EACF (230 colônias). A continuidade desse projeto, na qual consiste a avaliação da atividade enzimática enantiosseletiva, será realizada no IQ-USP.

**Vírus em aves e mamíferos marinhos na Antártica** — Jansen de Araújo, Joaquim Olinto Branco, Luiz Francisco Sanfilippo, Edison Durigon

Os vírus, como outros microorganismos, possuem ampla distribuição mundial e se espalham com facilidade através do globo. No

continente Antártico, ainda pouco se sabe sobre a existência desses patógenos. Nosso estudo está direcionado a investigar principalmente a diversidade de grupos distintos de vírus em aves e mamíferos marinhos, que possam servir de reservatórios naturais com potencial zoonótico. Algumas espécies de pingüins (*Pygoscelis adeliae*), assim como as Skuas (*Catharata skua*), já apresentaram sorologia positiva para vírus tipo influenza A e Paramixovírus. Nas ilhas sub-Antárticas, outros vírus como o da doença de Newcastle e o IBDV (Infectious Bursal Disease Virus) foram descritos em pingüins imperadores (*Aptenodytes forsteri*), podendo apresentar um risco de transferência para a península. Com relação ao vírus PDV (Phocine Distemper Virus- Morbilivirus), este parece ter sido o responsável pela morte de aproximadamente 18.000 focas (*Phoca vitulina*) e sua origem ainda permanece desconhecida. Evidências demonstram que o vírus provavelmente surgiu de populações de focas de regiões polares. Herpesvírus de caninos e felinos também já foram relatados em espécies de pinípedes antárticos.

As aves migratórias são comprovadamente responsáveis pelo carreamento e a transmissão de agentes virais de alcance internacional. Os principais agentes envolvidos são os vírus da Influenza A e da Doença de Newcastle, sendo o primeiro de suma importância, pois é o responsável pelas grandes epidemias de gripe em seres humanos no século XX, e o segundo por perdas consideráveis na avicultura industrial. As aves fazem parte deste cenário e caracterizam o principal grupo de interesse, pois estão diretamente em contato com mamíferos marinhos e constantemente migrando para outras regiões. Mamíferos marinhos também são frequentemente encontrados em regiões não polares, podendo carrear o vírus para regiões subtropicais. Sabe-se que é necessário um mo-

nitoramento rigoroso das mudanças ambientais nesse ecossistema, e conseqüentemente, informações sobre a distribuição, abundância e a biologia das populações, são indispensáveis para preservar as espécies que ali vivem, para então esclarecer como ocorre a infecção, a transmissão e o possível ciclo desses vírus em animais Antárticos.

A presença de vírus em populações humanas na Antártica também já foi relatada. Desafios que o ambiente extremo apresenta ao sistema imune, ou até mesmo o próprio período de confinamento do grupo de pesquisa e de trabalhadores nas estações antárticas, permite a ocorrência de viroses.

As atividades desta pesquisa e envolvem a aplicação de técnicas de biologia molecular, tais como o real time PCR, que permite a detecção direta de RNA viral em amostras de secreções de aves e mamíferos marinhos, e o seqüenciamento de DNA de material genético viral, empregada com a finalidade de analisar sua composição e comparar com outras seqüências conhecidas e depositadas em bancos de dados. Testes sorológicos de inibição da hemoaglutinação estão também sendo aplicados em amostras de sangue, com o objetivo de verificar a presença de anticorpos no soro desses animais. A informação obtida através desses testes são de grande importância, uma vez que permitem traçar a história do contato desses animais com os vírus em algum momento de suas vidas.

**Perspectivas: potencial biotecnológico da biodiversidade não cultivada** — Valeria Maia de Oliveira

Os microrganismos representam uma importante fonte de recursos genéticos para o avanço biotecnológico e para o desenvolvimento econômico sustentável. Tradicionalmente, compostos

com atividade biológica (antibióticos, drogas anti-carcinogênicas, anti-fúngicos, agentes imunossupressores, probióticos; enzimas, polímeros, herbicidas, inseticidas, promotores de crescimento, entre outros) têm sido acessados por métodos envolvendo isolamento e cultivo dos organismos a partir das amostras ambientais, principalmente solo). A maioria das enzimas utilizadas industrialmente tem sido descoberta desta maneira. Apesar do sucesso desta abordagem, várias limitações têm sido reconhecidas ultimamente, como algumas reações de biotransformação e biocatalíticas, as quais ainda permanecem impraticáveis em função de deficiências associadas às enzimas, tais como baixa taxa de expressão ou localização intracelular. A descoberta de perfis de atividade novos freqüentemente requer novos compostos e a estratégia de cultivo parece recuperar, na sua maioria, microrganismos conhecidos.

Nos últimos anos, estudos de diversidade microbiana empregando microscopia e contagem de células têm revelado que podemos recuperar apenas cerca de 1-10% dos microrganismos de uma amostra ambiental através do isolamento e cultivo). Isto se deve basicamente às limitações inerentes às técnicas de plaqueamento e cultivo, uma vez que todos os meios de cultura são seletivos em maior ou menor extensão para os diversos grupos de microrganismos e, na maioria das vezes, incapazes de reproduzir as condições encontradas no ambiente. Este é o caso de microrganismos que vivem sob a forma de consórcios, onde uma espécie depende de produtos do metabolismo de outras espécies para sua sobrevivência e multiplicação; de microrganismos simbiotes, os quais vivem no interior de outros organismos e de microrganismos extremófilos, como aqueles adaptados a condições extremas de temperatura ou pressão, por exemplo.

Metodologias moleculares desenvolvidas nas últimas décadas foram otimizadas e adaptadas para superar as limitações impostas pela abordagem clássica de estudo de populações microbianas, e desencadearam uma série de estudos de ecologia microbiana que mudaram drasticamente a perspectiva da diversidade microbiana. Estes métodos envolvem a lise de células microbianas diretamente na amostra ambiental, a extração dos ácidos nucléicos a partir desta matriz e a análise de seqüências-alvo nas amostras mistas de DNA de organismos diversos (metagenoma), utilizando para isso sondas ou primers grupo-específicos. Esta estratégia foi adotada como ferramenta padrão para analisar a diversidade de muitos ambientes diferentes, revelando a descoberta de novos grupos de organismos, nunca antes cultivados. O aprimoramento destas metodologias resultou, recentemente, em uma estratégia molecular que nos permite ter acesso ao potencial metabólico desses novos organismos. Esta estratégia envolve o uso de vetores do tipo BAC (Bacterial Artificial Chromosome), foscídios ou cosmídios, para clonagem de fragmentos grandes de DNA (20 a 300 kb) a partir de amostras ambientais, e análise das complexas bibliotecas metagenômicas resultantes em busca por novas atividades biológicas. Desta forma, uma variedade maior de compostos com atividade biológica de interesse pode ser obtida simultaneamente, em comparação ao método tradicional de obtenção de compostos naturais, baseado em isolamento, cultivo e triagem de linhagens puras de microrganismos.

A viabilização das bibliotecas metagenômicas como um método para seleção de novos compostos de interesse só é possível, no entanto, quando uma abordagem integrada é usada, combinando metodologias de triagem de alto desempenho (high-throughput) recém-desenvolvidas, como ensaios enzimáticos

miniaturizados (em microplacas) associados a leitores de placa e tecnologia de hibridização de DNA, com seqüenciamento em larga escala e a bioinformática.

Os estudos metagenômicos pioneiros envolveram o desenvolvimento de métodos para a descoberta de novas vias de síntese de produtos naturais a partir de micro-organismos de solo. Estes métodos vêm sendo atualmente utilizados para outros habitats, tais como a microbiota de insetos, animais marinhos ou ambientes extremos, os quais são tidos como uma fonte promissora de novos compostos, mas freqüentemente difíceis de serem reproduzidos em laboratório. A Antártica representa um destes ambientes extremos, com uma enorme diversidade microbiana ainda não conhecida e com grande potencial metabólico para a exploração biotecnológica. Entretanto, são escassos os estudos metagenômicos na Antártica visando à obtenção de novas substâncias biologicamente ativas e com propriedades únicas. Recentemente, um fragmento genômico de 39,5 kb, obtido de uma biblioteca metagenômica de plâncton coletado a 500 m de profundidade na Antártica, foi seqüenciado e identificado como pertencendo ao grupo II de Euryarchaeota. A análise do fragmento revelou a presença de um operon que codifica proteínas provavelmente constituintes de uma nova oxirredutase do tipo succinato-desidrogenase, envolvida no que poderia ser uma nova via para o metabolismo energético nestes organismos.

O uso da metagenômica para explorar o vasto potencial biocatalítico dos micro-organismos não cultivados é uma ferramenta promissora para a descoberta de novos e versáteis compostos biologicamente ativos, especialmente em ambientes extremos como a Antártica, os quais podem abrigar enzimas com características industriais relevantes. Este cenário vem de encontro à tendência atual de implementa-

ção de tecnologias e processos sustentáveis. A metagenômica, juntamente com evolução *in vitro* e estratégias inteligentes de triagem de alto desempenho, fornece à indústria uma chance sem precedentes de obtenção de biomoléculas para aplicações diversas. Além disso, permitirá também definir os mecanismos básicos de sobrevivência sob as condições mais hostis existentes nas extremidades da biosfera.

### **Preservação da diversidade microbiana e de recursos genéticos** — Lara Durães Sette

As coleções de culturas microbianas possuem como objetivo principal coletar, manter e distribuir linhagens de microrganismos e são consideradas como um meio de preservação *ex situ* da diversidade microbiana. Uma crescente consciência da importância da biodiversidade e de seu potencial genético tem conduzido a um aumento no reconhecimento do valor dessas coleções.

Coleções de culturas que oferecem serviços especializados (coleções de serviço), que adotam protocolos de preservação de longo termo, checam a viabilidade e autenticidade do material biológico e trabalham em conformidade com a legislação nacional e internacional merecem atenção especial. Estas coleções são potenciais candidatas ao status de Centro de Recursos Biológicos (CRBs) definidos como: "...partes essenciais da infra-estrutura de apoio às ciências da vida e biotecnologia, atuando como provedores de serviços, repositórios de células vivas e genomas de organismos e informação relacionada à hereditariedade e funções de sistemas biológicos. Os CRBs compreendem coleções de organismos cultiváveis (e.g. microrganismos e células de planta, animal e humana), suas partes replicáveis (e.g. genomas, plasmídios, vírus, DNAc), organismos viáveis mais não ain-

da cultiváveis, células e tecidos, bem como base de dados contendo informações moleculares, fisiológicas e estruturais relevantes para estas coleções e bioinformática relacionada. Os CRBs devem atender aos altos padrões de qualidade e competência demandado pela comunidade industrial e científica internacional no que diz respeito à distribuição de material biológico e informação associada. Eles devem fornecer o acesso aos recursos biológicos dos quais dependem a P&D nas ciências da vida e para o avanço da biotecnologia" (OECD Best Practice Guidelines for BRCs, 2007).

Os CRBs são fundamentais no aproveitamento e preservação da biodiversidade e recursos genéticos mundiais e possuem como principais funções: i) Preservação e fornecimento de recursos biológicos para P&D nos setores médico, industrial, agrícola e ambiental; ii) Conservação da biodiversidade; iii) Repositório de material biológico de referência; iv) Repositório de recursos biológicos para a proteção da propriedade intelectual, e v) Recursos para informação pública e formulação de políticas.

A Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB), que foi adotada em 1992, destaca a necessidade de estudos científicos detalhados sobre a diversidade biológica e levantou a importância dos CRBs para os olhos do governo e da comunidade científica. Um vasto número de organismos distribuídos ao redor do globo será estudado e se poderão se transformar em recursos biológicos para as ciências da vida e biotecnologia. Neste contexto, a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (Organization for Economic Co-operation and Development – OECD) está trabalhando para o estabelecimento de uma Rede Global de Centros de Recursos Biológicos (Global BRC Network

- GBRCN) que realce o acesso aos recursos biológicos e promova a colaboração internacional nesta área, com vistas ao apoio do desenvolvimento econômico e social.

A demanda por material biológico (e informações) altamente qualificado é uma tendência crescente no Brasil. A estratégia do governo brasileiro tem como foco o estabelecimento de uma rede distribuída, integrando centros selecionados com papéis críticos visando a obtenção de uma Rede Brasileira de Centros de Recursos Biológicos. Para tanto, o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) está financiando um programa de capacitação para melhorar a infra-estrutura e procedimentos de gerenciamento da qualidade em coleções de serviços selecionadas, as quais são candidatas a se tornarem Centro de Recursos Biológicos. Em um primeiro momento, quatro coleções foram selecionadas para integrar a Rede Brasileira de Centros de Recursos Biológicos: Coleção Brasileira de Microrganismos de Ambiente e Indústria – CBMAI (CPQBA/UNICAMP); Coleção de Leishmania do Instituto Oswaldo Cruz – CLIOC (FIOCRUZ); Banco de Células do Rio de Janeiro – BCRJ (UFRJ) e Coleção de agentes microbianos para controle biológico (EMBRAPA). O programa brasileiro está sendo realizado em consonância com o programa executado pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MIDIC) que está financiando o estabelecimento de uma Autoridade Depositária de Material Biológico para fins de patentes e um centro para a metrologia em biologia no Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO).

A Coleção Brasileira de Microrganismos de Ambiente e Indústria – CBMAI, uma das coleções participante do projeto Rede Brasileira de Centros de Recursos Biológicos, será responsável pela preservação dos microrganismos derivados

da Antártica no escopo do Programa Ano Polar Internacional do MCT. Desta forma, os fungos filamentosos, as leveduras e as bactérias, bem como os dados associados ao material microbiológico, que forem isolados a partir de amostras da Antártica e que representem novas espécies e/ou apresentem potencial biotecnológico ou outras propriedades importantes, serão depositados na coleção CBMAI e estarão disponíveis para o acesso público e para estudos futuros de P&D.



### **Instituições participantes e Pesquisadores:**

Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo. ICB/USP Profa. Dra. Rosana Filomena Vazoller; Dra. Cristina Rossi Nakayama; Dra. Cristine C. Barreto; Msc. Emanuele Kuhn; Msc. Rosa de Carvalho Gamba; Msc. Rubens Duarte; Ana Carolina Araujo; Daniela Villela. Prof. Dr. Edison Durigon; Jansen de Araújo; Luiz Francisco Sanfilippo; Prof Dr. Joaquim O. Branco

Instituto de Química, Universidade de São Paulo. IQ/ USP. Prof Dr. Leandro Helgueira de Andrade, Msc. Edna Kagohara, Msc. Lidiane de Araújo

Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo. CENA/ USP Profa Dra Marli Fátima Fiore; Janaina Rigonato; Diego Bonaldo Genuário; Danillo Oliveira de Alvarenga.

Instituto de Microbiologia Prof. Paulo de Goes, Universidade Federal do Rio de Janeiro. IM-

PPG/UFRJ. Prof. Dr. Alexandre Soares Rosado, Dra. Raquel S. Peixoto, Msc. Lia Cardoso Rocha Saraiva Teixeira, Hugo E. Jesus. Prof Dr. Ulysses Garcia Casado Lins

Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade Federal de Minas Gerais. ICB/ UFMG Prof. Dr. Carlos Augusto Rosa

Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, Universidade Federal de Ouro Preto. ICEB/UFOP Prof. Dr. Luiz Henrique Rosa

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. EMBRAPA Meio Ambiente Dr. Itamar Soares de Melo

Coleção Brasileira de Microrganismos de Ambiente e Indústria (CBMAI), Centro de Pesquisas Químicas e Biológicas Ambientais, Universidade de Campinas. CPQBA/ UNICAMP. Dra. Valeria Maia de Oliveira; Dra. Lara Durães Sette; Dra. Fabiana Fantinatti-Garboggini.







Mamíferos  
Marinhos  
Explorando os  
Oceanos de Pólo  
a Pólo



# Mamíferos Marinhos Explorando os Oceanos de Pólo a Pólo

(Programa nº153 API) “Oceanógrafos animais” e a exploração dos ambientes polares

## Introdução

A Antártica é uma das regiões do globo que mais está sofrendo as conseqüências de mudanças globais e climáticas. Pesquisadores da NASA demonstraram uma relação clara entre fenômenos “El Niño (ENSO)”, mudanças climáticas e a cobertura de gelo ao redor do Continente Antártico. A relação mais forte foi observada na região de Amundsen, Bellingshausen e Mar de Weddell no oeste da Antártica. Os efeitos observados podem ter profundo impacto, já que episódios “El Niño (ENSO)” afetam diretamente os mares de Ross e Weddell, áreas-fonte de água fria e densa de fundo, que por sua vez influenciam a circulação global dos oceanos.

Através de tecnologias de monitoramento e rastreamento por satélite, mamíferos marinhos (baleias, golfinhos, focas, lobos-marinhos, leões-marinhos e morsas) podem ser utilizados para explorar ambientes polares. Plataformas de transmissão de posições (PTTs) associadas a sensores específicos possibilitam monitorar a posição geográfica, temperatura da água e intensidade luminosa do ambiente em intervalos de profundidade e tempo pré-determinados.

Ainda é possível a obtenção de dados de salinidade e clorofila com pequenas alterações destes instrumentos. Ou seja, é possível a reconstituição do “hábitat” ou ambiente aquático destes organismos em tempo quase-real através do monitoramento à distância do am-

biente e de atividades realizadas na água em área remotas e de difícil acesso.

Apesar da prática de utilização de mamíferos marinhos como plataformas de monitoramento ambiental não ser tão recente, o desenvolvimento tecnológico que permitiu um salto de qualidade nos dados obtidos aconteceu apenas recentemente. Biuw e colaboradores demonstram que o avanço tecnológico mais importante dos últimos tempos veio através do desenvolvimento pela Sea Mammal Research Unit (SMRU) da Universidade de St. Andrews de rastreadores satelitais com sensores de salinidade, temperatura e pressão que atuam como mini-CTDs (Figura 1).

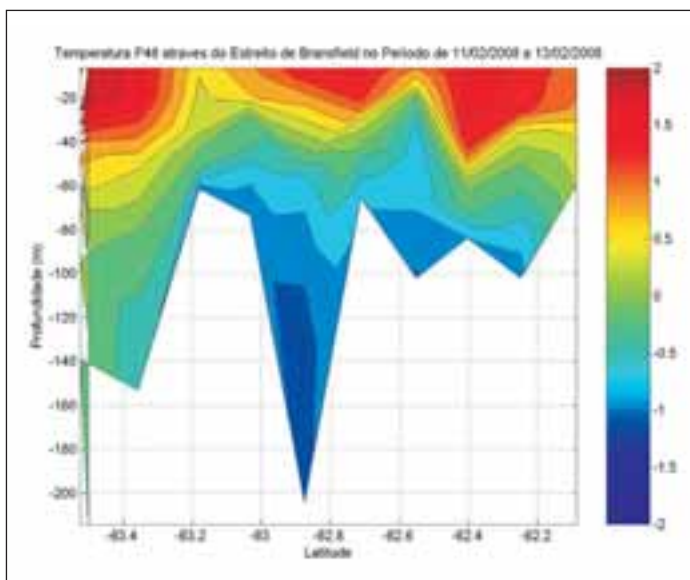


**Figura 1.** Fêmea de elefante-marinho equipada com um mini-CTD, unidade fabricada pela SMRU, Universidade de St. Andrews, Escócia.

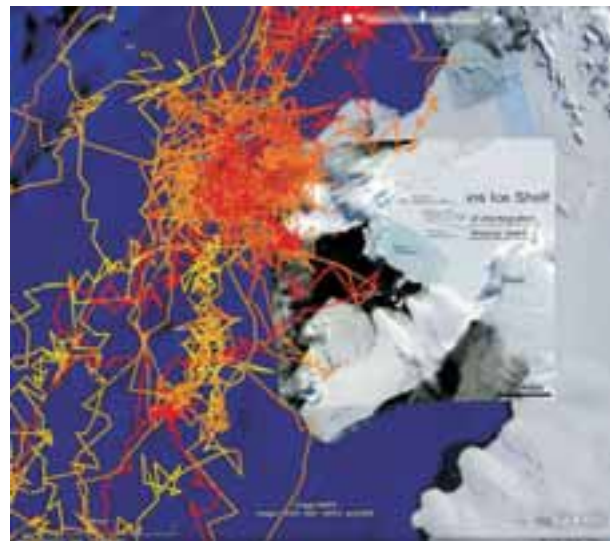
Estes aparelhos foram desenvolvidos originalmente para instrumentação de elefantes-marinhos nos projetos “Southern elephant seals as oceanographic samplers – SeaOS” (Biuw et al. 2007) e “Tagging of Pacific Pelagics - TOPP” (Block et al. 2002) atuando como ferramentas importantes na caracteri-

zação do ambiente e comportamento de predadores de topo no ambiente aquático.

Os sensores de salinidade, temperatura e pressão são comparáveis a instrumentos de medição oceanográfica tradicionais, fornecendo informações importantes e detalhadas do meio ambiente (Figura 2) ao mesmo tempo em que permitem o acompanhamento em tempo quase real do comportamento pelágico de focas e lobos-marinhos (Figuras 2 e 3) com alta resolução espacial e temporal das regiões por onde estes animais trafegam, que muitas vezes representam regiões de interesse oceanográfico (áreas de frentes e plataformas de gelo).



**Figura 2.** Espera-se que mais de 80.000 perfis de temperatura e salinidade como este sejam coletados por elefantes-marinhos ao redor do continente antártico durante o API. Ronald Buss de Souza e colaboradores, dados não publicados.



**Figura 3.** Trajetórias de alguns elefantes-marinhos do sul (MEOP) entre março e junho de 2008 nas proximidades da Plataforma de Wilkins. Os perfis ambientais coletados permitem visualizar o esfriamento sazonal da temperatura do oceano afetando a coluna d'água.

Como nos oceanos regiões de subsidência, ressurgência e frentes oceanográficas são as áreas preferenciais de alimentação de varias espécies de pinípedes, isto os torna candidatos incontestáveis a indicadores das condições físicas e biológicas do ecossistema, atuando como plataformas de monitoramento ambiental. Isto evoluiu sensivelmente nos últimos 40 anos desde o trabalho pioneiro de Evans e Kooyman na década de 70 principalmente porque para sobreviver, estes animais na busca de forma sistemática e bem sucedida por alimentos em um ambiente amplo e inóspito, navegam por diversas feições oceanográficas de interesse e são influenciados por elas. Ou seja, a sobrevivência das populações destes predadores marinhos está determinada por processos oceânicos que influenciam a distri-

buição espacial e temporal de suas presas, que por sua vez são influenciadas pela variação na produtividade primária dos ecossistemas.

A chave para o entendimento dos processos que levam a alta abundância de predadores está na identificação de estratégias e comportamentos de forrageio específicos em relação direta a condições ambientais diferentes, ou seja, com a variabilidade ambiental.

Elefantes-marinhos (*Mirounga spp.*) são pinípedes que realizam grandes migrações, mergulham sistematicamente a profundidades de até 1500m, retornam ao mesmo local de partida (fidelidade de sítio) e podem visitar áreas de forrageio (ricas em alimento) até 2 vezes por ano. Eles alimentam-se preferencialmente de cefalópodes de grandes profundidades e de peixes.

Estudos recentes de monitoramento por satélite (STDRs) de várias espécies de pinípedes como elefantes-marinhos do sul (*M. leonina*), focas-de-weddell (*Leponychotes weddellii*), e focas-caranguejeiras (*Lobodon carcinophagus*) demonstram que estes animais trafegam com desenvoltura pelo oceano austral visitando o continente Antártico, desde a área leste do Plateau de Campbell até as ilhas Geórgia do Sul. Os dados coletados até hoje demonstram uma relação forte entre as áreas preferenciais de alimentação nos oceanos (pelágicas) e áreas de alta produtividade primária e secundária. Nestes estudos ficou demonstrada a associação entre áreas de alimentação, seus perfis de temperatura superficial e estimativas de cor dos oceanos favorecendo sua utilização como indicadores de áreas de interesse para o homem seja em relação a pesca e/ou fenômenos oceanográficos. Desta forma, mamíferos marinhos podem ser considerados indicadores de variações espaciais e temporais na produtividade marinha, atuando como um elo en-

tre a produção primária e a cadeia trófica em regiões polares (ártica e antártica). De acordo com a espécie monitorada, podemos adequar o tipo de informação a ser obtida já que cada espécie tem um padrão de alimentação distinto assim como áreas de distribuição diferentes ainda que muitas vezes com alto grau de sobreposição. O monitoramento contínuo destes animais é uma ferramenta importante para o estudo de alterações no ecossistema antártico frente a mudanças climáticas.

Elefantes-marinhos apresentam ainda algumas vantagens quando comparados a outras plataformas atualmente utilizadas para monitoramento dos oceanos:

trafegam por regiões de difícil acesso a navios e em épocas que estes estejam ausentes (monitoramento anual);

ao mergulhar - o que ocorre sistematicamente até pelo menos 600m de profundidade- podem ser feitos perfis das condições da coluna d'água na trajetória de descida e subida;

pelo seu tamanho corporal avantajado (até 3,6 ton. de peso e 3m de comprimento) podem facilmente carregar equipamentos com sensores eletrônicos;

podem atuar como coletores de dados de medidas repetidas ao longo de intervalos de tempo variáveis (curto e longo prazo) e não são afetados pela cobertura de nuvens.

No MEOP a meta principal é a coleta de dados oceanográficos únicos através do monitoramento remoto de elefantes-marinhos do sul, baleias-beluga, focas-encapuçadas, focas-cinzentas, focas-de-Weddell, focas-carranguejeiras equipados com uma nova geração de mini-CTDs. Estes instrumentos permitem a coleta e transmissão em tempo quase real dados oceanográficos georeferenciados (perfis de tem-

peratura e salinidade), obtidos no momento dos mergulhos destes predadores, assim como seus movimentos. Estas pesquisas permitem identificar o habitat oceanográfico destes animais e contribuem para a conservação destas espécies carismáticas, participando no esforço de observação internacional e global dos oceanos polares.

Estes estudos também nos permitem determinar e quantificar as relações entre a performance alimentar (padrão de mergulho, duração das viagens de alimentação, localização das áreas preferenciais de alimentação, esforço alimentar, aquisição de presas, deposição de reservas alimentares) e parâmetros oceanográficos como temperatura superficial da água, produtividade/cor do oceano e batimetria. Esperamos com isso, investigar a existência de padrões interanuais de comportamento e determinar quais os fatores que possam influenciar desvios nestes padrões (cobertura de gelo, frentes oceanográficas). Redes neurais podem ser usadas para analisar, de maneira preditiva através da modelagem da produtividade dos ecossistemas, variações sazonais no comportamento alimentar dos elefantes-marinhos relacionadas à variações espaciais e temporais nos parâmetros oceanográficos monitorados.

### Objetivos Principais

Descrever os movimentos de elefantes-marinhos do sul rastreados por satélite e a associação entre seu comportamento e variáveis oceanográficas das massas de água durante estes deslocamentos na área de estudo;

Associar as características oceanográficas das possíveis áreas de alimentação com o nível

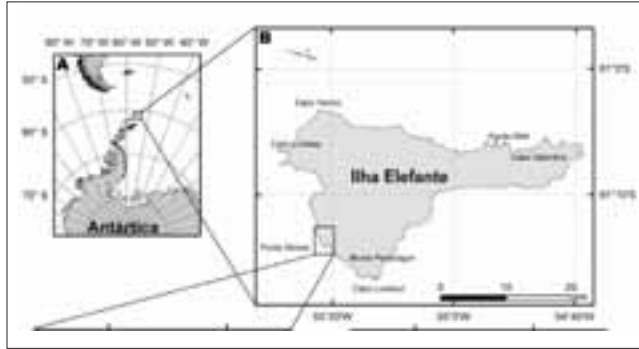
trófico dos indivíduos amostrados e sua dieta; Analisar a variabilidade nas assinaturas de isótopos estáveis de carbono e nitrogênio ao longo das vibrissas de exemplares de focas antárticas e lobos-marinhos antárticos para investigar a origem e deslocamentos por estes realizados;

Validar a regularidade no crescimento e deposição de isótopos estáveis ao longo das vibrissas (focídeos); e,

Estabelecer uma serie temporal de observações do ecossistema antártico visando compreender alterações induzidas por mudanças climáticas.

### Metodologia

Neste projeto são utilizados mini-CTDs (SDLRs fabricados pela Sea Mammal Research Unit, RU) em elefantes-marinhos do sul para fazer o monitoramento da localização, caracterização das atividades de mergulho e forrageio dos indivíduos, bem como a caracterização oceanográfica do ambiente aquático durante seus deslocamentos e mergulhos. Os indivíduos são instrumentados fases específicas do seu ciclo de vida fornecendo dados sobre sua ecologia durante suas atividades de forrageio enquanto coletam informações do ambiente. Os animais pertencem ao grupo que habita a Ilha Elefante (61°05'S 055°20'W), Shetlands do Sul (Figura 4) durante todo o ano e as atividades de pesquisa são realizadas a partir do refugio Emilio Goeldi, que fica situado na face oeste da ilha, caracterizando a única estrutura de pesquisa num raio de 100 milhas.



**Figura 4.** Localização da área de estudo nas Ilhas Shetlands do Sul (A) e detalhe da área de estudo e principais referências geográficas (B).

Os aparelhos também determinam a posição geográfica, perfis de temperatura e salinidade do ambiente bem como taxas de ascensão e descida nos mergulhos, duração do mergulho, profundidade, tempo no fundo, taxas de deriva e afundamento. A montagem e fixação dos aparelhos segue metodologia previamente testada e descrita para várias espécies. Devido ao alto valor de cada mini-CTD, procura-se recuperar o instrumento ao final de cada período de instrumentação. Este procedimento vem sendo usado com sucesso em várias espécies de pinípedes.

O acompanhamento do movimento dos animais instrumentados com rastreadores satelitais é feito praticamente em tempo real pelo British Antarctic Survey (BAS) e/ou pelo INPE via sistema ARGOS. Até o momento, foram instrumentadas pelo projeto MEOP-BR 19 fêmeas e 5 machos de elefante-marinho do sul, *M. leonina*, na Ilha Elefante. Temos a previsão de instrumentar mais 8 indivíduos nos períodos pós-reprodutivo em colaboração com demais parceiros no projeto MEOP internacional.

### Resultados Esperados

Melhoria do nosso conhecimento da ecologia destes animais fascinantes durante os diferentes estágios do seu ciclo de vida;

Aumento do nosso conhecimento dos oceanos polares através da coleta eficaz de dados durante o inverno.

Estabelecimento de reações individuais e específicas de acordo às diferentes condições oceanográficas encontradas;

Avaliação de possíveis adaptações às mudanças climáticas;

A presente iniciativa contribuirá para consolidar o conhecimento da ecologia e biologia de pinípedes no âmbito do Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR), que tiveram início em 1997, e permitirá a participação brasileira em iniciativas importantes de avaliação da biodiversidade antártica no âmbito tanto do Comitê Científico para Pesquisas Antárticas (SCAR) quanto da Convenção para Conservação dos Recursos Marinhos Vivos da Antártica (CCAMLR).

As inovações tecnológicas propostas tem aplicações trans-disciplinares e permitem integração com estudos na área de mudanças climáticas.

### Considerações

Algumas das críticas feitas ao tipo de informação obtida por “oceanógrafos animais” esta ligada ao fato da amostragem/varredura dos oceanos não ser realizada de maneira aleatória ou ao acaso não poder ser reproduzida de ano a ano, requisitos para estudos específicos e teóricos. No entanto, os indícios cada vez mais fortes de que os animais percorrem sim rotas pré-estabelecidas e conhecidas ano após ano, e ao fazê-lo cruzam no seu caminho com feições e situações oceanográficas de alto interesse como

é o caso de frentes oceânicas e plataformas de gelo. Isto sem falar na busca por alimento que precisa ocorrer de forma satisfatória para garantir a sobrevivência do indivíduo e de sua prole.

Não podemos deixar de mencionar a importância de complementação entre a oceanografia tradicional e a oceanografia “animal” não apenas pelas implicações em termos de repetibilidade dos estudos mas também pela qualidade dos dados coletados já que avanços tecnológicos tanto na oceanografia tradicional quanto nos sensores incorporados a oceanografia animal.

O projeto MEOP reúne um time interdisciplinar de especialistas (biólogos, oceanógrafos e meteorologistas) de dez nacionalidades diferentes e que atuando em rede de pesquisa deve permitir estudar a repartição e a migração dos mamíferos marinhos polares, melhor compreender seus comportamentos (onde eles preferem se alimentar? qual a profundidade em que eles mergulham?) e avaliar as consequências das mudanças oceanográficas em curso sobre estas espécies através de uma melhor caracterização dos ambientes que eles frequentam.

O sucesso alimentar dos predadores-topo, em especial o do elefante-marinho do sul, está ligado ao bom aproveitamento e reconhecimento de condições oceanográficas favoráveis a suas presas.

A espécie privilegia a alimentação em grandes estruturas frontais do oceano polar, enquanto outras espécies apresentam maior dependência da presença de blocos de gelo sendo mais afetadas nos anos em que a superfície da calota polar é reduzida, o que induz a uma diminuição no estoque de uma de suas presas principais, o krill.

Informações coletadas ao longo de vários anos permitirão avaliar a influência das condições oceanográficas a curto, médio e longo prazo

sobre a distribuição, o sucesso alimentar e reprodutivo, e a demografia destes predadores. Trabalhos integrados como estes permitirão avaliar a capacidade de adaptação destas espécies às mudanças climáticas.

Os dados recolhidos pelas focas e cetáceos têm aplicações diversas para a oceanografia. Eles contribuem para a função de observação em tempo real dos oceanos, permitem descrever a circulação das massas d'água, os fenômenos climáticos e oceanográficos de grande escala assim como o fornecimento em fluxo contínuo de dados assimilados aos modelos oceano-clima.

Oceanos polares constam entre os mais inacessíveis do planeta, notadamente no período de inverno e nas zonas cobertas pela calota de gelo. Os oceanógrafos utilizam dados coletados por métodos tradicionais (cruzeiros oceanográficos e bóias de deriva), centralizados em bancos de dados como o CORIOLIS e centros nacionais de dados oceanográficos (National Oceanographic Data Centres - NODC), entre outros para estudar estes oceanos reguladores do clima mundial, e avaliar as consequências oceanográficas resultantes do aquecimento global.

A título de comparação, cerca de 200 perfis históricos de temperatura e de salinidade obtidos por meios oceanográficos convencionais foram coletados na região antártica do Oceano Índico e arredores, sendo então integrados à base de dados CORIOLIS. Em menos de 5 meses em 2004-2006, como parte do programa SEaOS, elefantes-marinhos do sul coletaram mais de 2000 perfis T-S! A colaboração é portanto de grande importância para todos os envolvidos.



## Bibliografia

- Bester, M.N., Erickson A.W., and Ferguson J.H. 1995. Seasonal change in the distribution and density of seals in the pack ice off Princess Martha Coast, Antarctica. *Antarctic Science* 7: 357-364.
- Biuw, M., Boehme, L., Guinet, C., Hindell, M., Costa, D., Charrassin, J. B., Roquet, F., Bailleul, F., Meredith, M., Thorpe, S. et al. (2007). Variations in behavior and condition of a Southern Ocean top predator in relation to in situ oceanographic conditions. *PNAS*, 0701121104.
- Block, B.A., Costa, D.P., Boehlert, G. & Kochevar, R. 2002. Revealing habitat use: the tagging of Pacific pelagics program. *Oceanologica Acta*.
- Boehlert, G.W., Costa, D.P., Crocker, D.E., Green, P., O'Brien, T., Levitus, S. & LeBoeuf, B.J. 2001. Autonomous Pinniped Environmental Samples: Using Instrumented Animals as Oceanographic Data Collectors. *Journal of Atmosphere and Ocean Technology* 18: 18821893.
- Boehme, L., M. P. Meredith, S. E. Thorpe, M. Biuw, and M. Fedak (2008a), Antarctic Circumpolar Current frontal system in the South Atlantic: Monitoring using merged Argo and animal-borne sensor data, *J. Geophys. Res.*, 113, C09012, doi:10.1029/2007JC004647.
- Boehme, L., S.E. Thorpe, M. Biuw, M. Fedak and M.P. Meredith (2008b), Monitoring Drake Passage with elephant seals: Frontal structures and snapshots of transport. *Limnology & Oceanography*, 53, 2350-2360
- Boehme, L., M. Biuw, M. Fedak, K. Nicholls, S. Thopre, and M. Meredith (2008c), Animals as exploratory underwater vehicles. *Proceedings of the International Workshop on Autonomous Underwater Vehicle Science in Extreme Environments* held at the Scott Polar Research Institute, K.J. Collins and G. Griffiths, eds., London: Society for Underwater Technology, pp 55-62.
- Boyd, I.L., E.J. Hawker, M.A. Brandon, I.J. Staniland (2001), Measurement of the ocean temperatures using instruments carried by Antarctic fur seals. *Journal of Marine Systems*, 27, 277–288
- Campagna, C., Rivas, A.L. & Marin, M.R. 2000. Temperature and depth profiles recorded during the dives of elephant seals reflect distinct ocean environments. *Journal of Marine Systems* 24: 299-312.
- Campagna, C., Piola, A.R., Marin, M.R., Lewis, M., e Fernandez, T., 2006. Southern elephant seal trajectories, fronts and eddies in the Brazil/Malvinas Confluence. *Deep-Sea Research I* 53:1907–1924.
- Campagna, C., Piola, A.R., Marin, M.R., Lewis, M., Zajaczkovski, U. e Fernandez, T. 2007. Deep divers in shallow seas: Southern elephant seals on the Patagonian shelf. *Deep-Sea Research I* 54: 1792–1814.
- Charrassin, J. B., et al. (2008), Southern Ocean Frontal Structure and Sea-Ice Formation Rates Revealed by Elephant Seals. *PNAS*. 105:11634-9
- Costa, D.P. 1993. The Secret Life of Marine Mammals: Novel tools studying their behavior and biology at sea. *Oceanography* 6: 120-128.
- Evans, W. E. (1970), Uses of advanced space technology and upgrading the future of oceanography, in *AIAA Paper*, 7-01273, 3 pp.
- Fedak, M., Lovell, P., McConnell, B. and Hunter, C. (2002). Overcoming the constraints of long range radio telemetry from animals: Getting more useful data from smaller packages. *Integ. Comp. Biol.* 42, 3-10.
- Lydersen, C., O. A. Nøst, P. Lovell, B. J. McConnell, T. Gammelsrød, C. Hunter, M. A.

Fedak, and K. M. Kovacs (2002), Salinity and temperature structure of a freezing Arctic fjord monitored by white whales (*Delphinapterus leucas*), *Geophys. Res. Lett.*, 29(23), 2119, doi:10.1029/2002GL015462.

Lydersen, C., O. A. Nøst, K. M. Kovacs, and M. A. Fedak (2004), Temperature data from Norwegian and Russian waters of the northern Barents Sea collected by free-living ringed seals. *Journal of Marine Systems*, 46, 99–108.

Nicholls K. W., L. Boehme, M. Biuw and M. A. Fedak (2008), Wintertime ocean conditions over the southern Weddell Sea continental shelf, Antarctica. *Geophys. Res. Lett.*, 35, L21605, doi:10.1029/2008GL035742

Sokolov S., S. R. Rintoul, B. Wienecke (2006), Tracking the Polar Front south of New Zealand using penguin dive data, *Deep Sea Research Part I*, Volume 53 (4), 591-607, doi: 10.1016/j.dsr.2005.12.012.

### Apoio

Este projeto foi avaliado pelo comitê de ética nacional e os instrumentos colocado nos animais não ultrapassam 0.1 à 0.2% de sua massa corporal, o que não compromete as atividades de seu ciclo de vida.

### Lista de Figuras e Tabelas

**Figura 1.** Fêmea de elefante-marinho equipado com um mini-CTD, unidade fabricada pela SMRU, Universidade de St.Andrews, Escócia.


**Figura 2.** Espera-se que mais de 80.000 perfis de temperatura e salinidade como este sejam coletados por elefantes-marinhos ao redor do continente antártico durante o API. Ronald Buss de Souza e colaboradores, dados não publicados.

**Figura 3.** Trajetórias de alguns elefantes-marinhos do sul (MEOP) entre março e junho de 2008 nas proximidades da Plataforma de Wilkins. Os perfis ambientais coletados permitem visualizar o esfriamento sazonal da temperatura do oceano afetando a coluna d'água.

**Figura 4.** Localização da área de estudo nas Ilhas Shetlands do Sul (A) e detalhe da área de estudo e principais referências geográficas (B).







# Impacto do Clima Espacial na Atmosfera da Região Polar e sobre o Território Brasileiro Geoespaço



# Impacto do Clima Espacial na Atmosfera da Região Polar e sobre o Território Brasileiro Geoespaço

## Introdução

Nosso planeta tem enfrentado grandes desastres climáticos nos últimos tempos, entre eles podemos citar o aumento na incidência e intensidade de furacões, verões e invernos mais pronunciados, e precipitação de chuvas/neve catastróficas. Estas anomalias são atribuídas ao aumento de cerca de 0,4 graus Celsius na temperatura média global de nosso planeta. Este aumento de temperatura altera o regime de ventos na atmosfera, que é um dos fatores associados às variações climáticas. A questão fundamental é: as mudanças climáticas atuais são devido a fenômenos naturais ou estão ocorrendo devido ao aumento de gases poluidores gerados indiscriminadamente pelo homem?

As mudanças climáticas têm sido mais pronunciadas nas regiões polares, especialmente no Ártico, onde a extensão de gelo marinho tem mostrado uma redução pronunciada nos últimos anos. Em médias e altas latitudes, as linhas do campo magnético da Terra, que atravessam a ionosfera, se comunicam diretamente com o espaço interplanetário (geoespaço). Deste modo, as regiões polares são laboratórios onde podemos estudar processos de plasma de larga escala, que ocorrem no espaço interplanetário, e causam alterações mais pronunciadas na atmosfera dessas regiões.

As perturbações naturais no espaço entre o Sol e a Terra, denominadas de clima espacial, podem se propagar das altas para as médias latitudes causando problemas nos sistemas tecnológicos que se baseiam em telecomunicações cujos sinais viajam pela ionosfera ou a atravessam. O monitoramento da ionosfera, especialmente em altas e médias latitudes, é importante para se entender e modelar seu comportamento em função das condições do clima espacial.

O principal objetivo do projeto 'Impacto do Clima Espacial na Atmosfera da Região Polar e sobre o Território Brasileiro' é se entender os efeitos do clima espacial na camada ionizada de nossa atmosfera, a ionosfera.

No contexto do Ano Polar Internacional (IPY), este projeto faz parte do projeto núcleo 'Impacto da Heliosfera no Geoespaço' ('Heliosphere Impact on Geospace'), que está sob a coordenação dos programas ICESTAR ('Interhemispheric Conjugacy Effects in Solar-Terrestrial and Aeronomy Research') e IHY ('Internacional Heliophysical Year'). O projeto núcleo consiste de 29 programas individuais e envolve a participação dos países: Austrália, Brasil, Canadá, Itália, Japão, Malásia, Suécia, Reino Unido, Ucrânia, EUA, Rússia, Polônia, Noruega e África do Sul.

## Os três principais temas do projeto núcleo são:

Estudar os processos de acoplamento entre as diferentes camadas da atmosfera e sua conexão com a atividade solar: efeitos das partículas energéticas na química da atmosfera, o circuito geo-elétrico, e ondas de gravidade e planetárias no sistema acoplado da mesosfera-termosfera-ionosfera.

Estudar a troca de massa e energia entre a ionosfera e a magnetosfera: física do

plasma entre o Sol e a Terra, clima espacial, subtempestades magnéticas; tomografia e cintilação da ionosfera; e sensoriamento remoto da dinâmica dos cinturões de radiação.

As similaridades e assimetrias entre os dois hemisférios terrestres frente aos fenômenos do geoespaço.

O projeto GEOESPAÇO desenvolve atividades dentro dos dois primeiros temas principais do projeto núcleo. O principal objetivo é caracterizar os efeitos do clima espacial na ionosfera e avaliar seu impacto nos parâmetros climáticas da região da EACF e sua conexão com as condições do clima sobre o território brasileiro.

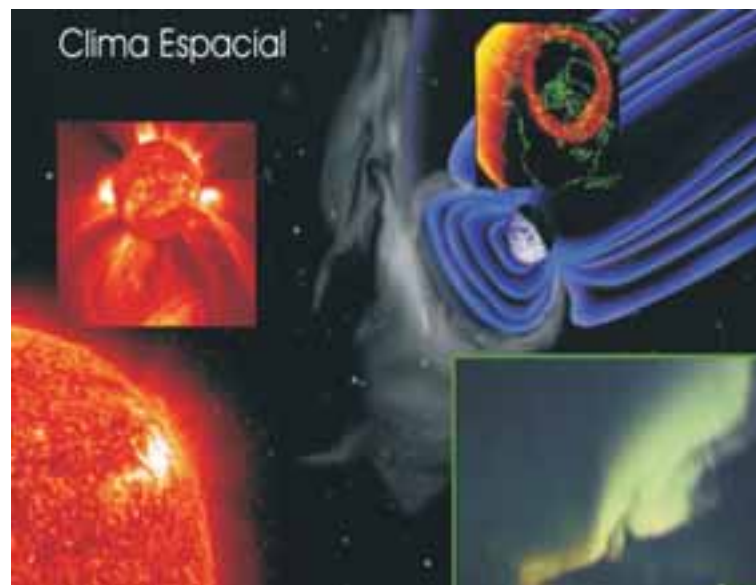
#### Atividades de pesquisa

As variações do clima espacial modificam as condições físico/químicas da ionosfera, cujos efeitos podem ser detectados através de sondagens rádio. Sondagens de frequência rádio muito baixa (VLF) detectam as variações de amplitude/fase dos sinais VLF se propagando através de longas distâncias dentro do guia de onda formado pelo solo e base da ionosfera.

A partir de medidas GPS feitas com receptores de dupla frequência, se obtém o Conteúdo Total de Elétrons (TEC), que é definido como a integral colunar da concentração de elétrons ao longo do caminho do sinal entre o satélite e o receptor. Combinando estes dois métodos é possível se estudar a ionosfera entre 300 km (região F) e cerca de 70 km (região D) de altitude.

A base da ionosfera, a região D, é basicamente formada/mantida pela radiação Lyman-alfa do Sol, que é produzida quando um elétron do átomo de hidrogênio cai para um nível de menor energia. Essa radiação ioniza os gases neutros da nossa atmosfera, especialmente o oxigênio e nitrogênio, e participa da química de

espécies minoritárias como o vapor de água e ozônio. A baixa ionosfera é altamente alterada durante a ocorrência de grandes explosões solares, quando a emissão em raios-X do Sol aumenta violentamente e produz um excesso de ionização da atmosfera neutra. Regiões localizadas da baixa ionosfera, especialmente nas regiões polares, são também perturbadas por elétrons que se precipitam dos cinturões de radiação, que são anéis magnéticos ao redor da Terra. Desde que a ionosfera é altamente dependente de fenômenos solares, é importante se estudar seu comportamento a longo prazo para se entender seu comportamento em função da atividade solar.



**Figura 1.** Clima Espacial e Aurora.

Fonte NASA

As condições do clima espacial são monitoradas através da observação do fluxo de raios cósmicos e da emissão rádio do Sol. Durante períodos de alta atividade, o Sol pode ejetar bolhas magnéticas para o espaço interplane-



tário (CME – ejeção de massa da coroa), que quando geofetivas perturbam nossa magnetosfera causando as tempestades geomagnéticas, que podem danificar sistemas tecnológicos dos satélites bem como de solo. As CMEs servem como um escudo ao defletir os raios cósmicos que vêm na direção da Terra, reduzindo seu fluxo a nível do solo horas ou até dias antes do impacto do CMEs na nossa magnetosfera. Portanto, o monitoramento do fluxo de raios cósmicos pode ser útil na previsão de distúrbios geomagnéticos, e ajudar a evitar/diminuir os problemas causados nos sistemas terrestres.

A atividade solar é monitorada através de observações feitas na faixa rádio, cuja radiação apresenta aumentos violentos quando da ocorrência de grandes explosões, que geralmente são acompanhadas por CMEs.

### Instrumentação

As sondagens VLF são feitas com receptores operando na faixa de frequências entre 1 e 50 kHz. As principais estações transmissoras VLF rastreadas são da marinha dos EUA. Os sinais VLF tem sido monitorados na estação Antártica Comandante Ferraz (EACF) desde 1984, quando o Brasil iniciou seu programa de pesquisas Antárticas (PROANTAR). Atualmente, o monitoramento VLF na EACF está sendo feito com dois receptores VLF que detectam fase e amplitude de estações transmissoras fixas (banda estreita). Um dos receptores VLF também obtém dados de alta resolução temporal em toda a faixa de frequências (banda larga), que dá informação sobre fontes naturais de ondas VLF (por ex. relâmpagos, meteoros e tempestades geomagnéticas). O receptor de banda estreita faz parte da rede SAVNET (Southern American VLF Network), que atualmente está operando com sete estações (Piura e Punta

Lobos no Peru, San Juan na Argentina, e três no Brasil: Palmas/TO, Sta. Maria/RS e São Paulo/SP, e na EACF).

Os dados de TEC são obtidos de medidas GPS, feitas com um receptor de dupla frequência, operando na EACF e sobre o território brasileiro. Os dados de TEC sobre o território brasileiro são da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), dentro de uma colaboração entre a Escola Politécnica da USP e INPE/CRAAM.

O fluxo de raios cósmicos é monitorado com o experimento CARPET instalado no Complexo Astronômico El Leoncito (CASLEO) nos Andes argentinos. O experimento foi desenvolvido dentro de uma colaboração internacional entre INPE/CRAAM, e o Instituto de Física de Lebedev da Rússia e CASLEO da Argentina.

A atividade solar rádio é monitorada em 7 GHz com o Rádio Polarímetro Solar operando no Rádio Observatório do Itapetinga (Atibaia/Brasil) e em 212 e 415 GHz com o Telescópio Solar Submilimétrico instalado no CASLEO (San Juan/Argentina).

### Resultados Recentes de Pesquisa

Sondagens ionosféricas têm sido feitas por um longo tempo, e se conhece a influência do clima espacial em suas propriedades físico/químicas, mais especificamente durante períodos de atividade geomagnética intensa e associada aos aumentos violentos de radiação durante as explosões solares. Mas recentemente, a ionosfera tem recebido uma atenção especial e tem sido monitorada continuamente através de diferentes técnicas de rádio sondagem (VLF, GPS, ionossondas e riômetros).



**Figura 2.** Estação Comandante Ferraz, paisagens antárticas e sala de pesquisas. Contribuição de Emília Correia.

As sondagens VLF têm mostrado que as propriedades da ionosfera dependem da fase do ciclo solar. As súbitas anomalias de fase (SPA), que são produzidas pelo excesso da radiação X produzida durante as explosões solares, têm mostrado que as propriedades da baixa ionosfera, região D, dependem do nível da atividade solar.

Resultados recentes têm mostrado que as SPAs podem ser detectadas associadas aos menores eventos solares durante os períodos de mínimo da atividade solar. Por outro lado, a região D sendo controlada pela radiação Lyman-alfa, as sondagens de longo termo podem ser usadas para monitorar esta radiação.

O monitoramento destes últimos dois anos feito com os sistemas MSK novos tem mostrado que a ionosfera apresenta variações em várias escalas temporais. Tem um comportamento

sazonal associado com as estações do ano devido as variações de iluminação solar, e variações em escala de poucos dias provavelmente em função de seu acoplamento com as camadas atmosféricas abaixo dela.

A dinâmica dos cinturões de radiação também está sendo estudada através de sondagens VLF. Parte das partículas aprisionadas nos cinturões pode se precipitar nas regiões polares, e produzir distúrbios localizados nas propriedades físico/químicas da baixa ionosfera. Estes distúrbios são detectados como variações rápidas na amplitude/fase dos sinais VLF.

Estudos em andamento têm mostrado que estas perturbações ocorrem mais pronunciadamente durante as tempestades geomagnéticas, e uma análise detalhada será feita para caracterizar suas propriedades em função do ciclo da atividade solar.

### **Coordenadora**

Emília Correia

Fone: (11)2114-8726

Fax: (11) 3214-2300

Email: ecorreia@craam.mackenzie.br

### **Equipe**

Dra. Emília Correia - INPE/CRAAM

Dr. Jean-Pierre Raulin - CRAAM/UPM

Dr. Pierre Kaufmann - CRAAM/UPM

BSc. Maria Tereza Quevedo – INPE

BSc. Rodney Vicente de Souza – CRAAM/UPM

Graduanda Giselle Barreto Santos – CRAAM/UPM

Graduando Alexandre Rodel de Almeida – CRAAM/UPM

Técnico Armando Tatumi Hadano - INPE

Técnico Yasushi Rubens Hadano - INPE

Técnico Robinson Falsarella - INPE

Técnico Edson Bortolossi – INPE

Técnico Francisco Mesquita de Paula – INPE

Técnico Avicena Filho - INPE

### **Colaboradores brasileiros**

Dr. Edvaldo Simões da Fonseca Jr – PTR/USP

Dr. José Henrique Fernandez – UNITAU

Dr. Paulo Fagundes – UNIVAP

Dr. Mangalathayil Ali Abdu – INPE

### **Colaboradores estrangeiros**

Dr. Vladimir Makmutov e Dr. Yuri Stozhkov – Lebedev Physical Institute, Rússia

Dr. Hugo Levato – Complexo Atronomico El Leoncito , Argentina

Dr. Umran Inan – Stanford University, EUA

Dr. Kazuo Makita – Takushoku University, Japão

**Figura 1.** Fonte Nasa

**Figura 2.** Emília Correia



# A Atmosfera Antártica e suas Conexões com a América do Sul





# A Atmosfera Antártica e suas Conexões com a América do Sul

## Introdução

A atmosfera antártica, por ser excepcionalmente limpa, pela posição polar do continente e a configuração do campo magnético da Terra, propiciam condições ideais para estudos atmosféricos e do geoespaço. Seu equilíbrio é muito frágil e responde rapidamente a qualquer alteração ambiental. Um exemplo disto é a destruição da Camada de Ozônio, que na década de 80 alertou à comunidade científica que algo de errado estava ocorrendo na alta atmosfera.

Os pesquisadores antárticos brasileiros que estudam a Atmosfera, atendendo a uma recomendação do Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT), se organizaram e apresentaram uma proposta conjunta de pesquisa para o Ano Polar Internacional: **O estudo da Atmosfera Antártica e suas conexões com a América do Sul.**

Este tema é de extrema relevância científica e política, uma vez que envolve estudos em mudanças climáticas e ambientais que afetam diretamente o Brasil e a América do Sul. Os países participantes como Argentina, Bolívia, Chile, Equador, Peru, Uruguai, Austrália, Japão, Reino Unido e Rússia já possuem cooperação com projetos brasileiros, com atividades na Antártica ou na América do Sul.

É importante destacar que o Programa Antártico Brasileiro tem uma das séries mais longas de monitoramento atmosférico na região da Península Antártica e que é, assim, líder científico nessa região. Lembramos ainda que somente a Antártica pode nos fornecer dados

suficientes e em um tempo adequado para prever as mudanças futuras. Conhecer melhor e monitorar a atmosfera antártica e os impactos que estas alterações podem provocar no meio ambiente é fundamental para a construção de cenários futuros e o Brasil tem contribuído, em muito, na construção desse conhecimento. Estes estudos realizados continuamente há 25 anos, são de um valor inquestionável.

A proposta científica que abrange a baixa, média e alta atmosfera, foi considerada de grande relevância pelo comitê internacional ICSU e recomendada para participar do Ano Polar Internacional.

A proposta : “ **Estudo da Mesosfera, Estratosfera, Troposfera Antártica e suas conexões com a América do Sul.**”, tem a participação de Instituições Nacionais e Internacionais como da Argentina, Bolívia, Chile, Peru, Austrália, Estados Unidos, , Japão, Reino Unido e Rússia.

A presente pesquisa tem como objetivo o estudo integrado de todas as camadas da Atmosfera Antártica e sua conexão com a América do Sul. A diminuição da concentração de ozônio na Estratosfera (região entre 15 e 50 Km de altitude) tem alterado especialmente a temperatura nesta altitude e a incidência da radiação ultravioleta que chega ao solo.

Este cenário pode provocar mudanças químicas e físicas e conseqüentemente alterar a dinâmica da atmosfera nas regiões mais altas (Mesosfera) e próximas a superfície (Troposfera).

No quadro atual das Mudanças Globais, outras informações complementares sobre a variação dos parâmetros atmosféricos, dos gases do Efeito Estufa e eventos extremos do clima se fazem necessárias para que o impacto destas mudanças na atmosfera e no meio ambiente possa ser avaliado e quantificado.

### Resumo dos Objetivos

O Projeto visa o estudo da alta, média e baixa atmosfera usando diferentes técnicas de medidas na região Antártica e América do Sul. Estes estudos até então estavam sendo realizados de forma isolada e buscando analisar fenômenos específicos de cada região.

Neste trabalho o foco será um estudo integrado para entender os processos de conexão entre as camadas e assim identificar fenômenos que se propagam e impactam toda a Atmosfera e com isto dar subsídios para o estudo de Mudanças Climáticas, atividades principais que serão realizadas:

1. Medidas da aeroluminescência atmosférica na região de Ilha Rei George usando fotômetros de alta resolução.
2. Medidas da temperatura da alta atmosfera (Mesosfera). Características dos eventos ondulatórios na mesosfera, através de imagens all-sky da aeroluminescência da hidroxila. Desenvolvimento de um sistema de calibração absoluta para aferição dos espectro-imageadores de temperatura desenvolvidos pelo INPE.
3. Efeitos atmosféricos produzidos pela atividade solar, caracterizadas por mudanças rápidas devido a intensidade de raios cósmicos, pela precipitação de elétrons na baixa ionosfera e variações da intensidade da radiação ultravioleta extrema ( EUV.).

Esta atividade esta associada ao projeto SWIMPA , coordenado pela Dra. Emília Correia.

4. Estudos da climatologia do Buraco de Ozônio, através de medidas de temperatura, pressão, ventos e umidade, com o

objetivo de investigar a sua influência nos processos fotoquímicos e dinâmicos da baixa e da alta atmosfera, e também sua influência nas atitudes menores da América do Sul, como Sul do Chile, da Argentina e do Brasil

5. Medidas da concentração total da Camada de ozônio, sua variação temporal e especial e a correlação com a radiação UV., por instrumentos de superfície.
6. Medidas de alguns gases minoritários como o CO, CO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub>, para monitoramento de poluição ambiental produzida na região de Ferraz e gases ligados à química do ozônio, como o NO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub> e ao Efeito Estufa.
7. Manter o registro, coleta, processamento, divulgação e uso em trabalhos científicos de dados das atuais estações meteorológicas do Proantar na EACF e na Ilha Joinville, e fazer o mesmo na reativação das estações das Ilhas Biscoe e do Morro da Cruz/EACF.
8. Continuar as análises e publicações descobrindo e descrevendo a interação da meteorologia e clima da região norte da Península Antártica com o sul da América do Sul.
9. Estudos do impacto da variação da radiação UV na atmosfera e biosfera como:
  - a) a relação dose-resposta entre radiação ultravioleta e a capacidade de manutenção da integridade do genoma de organismos selecionados (peixes e anfipodas);
  - b) verificar se os níveis atuais de UV exercem efeitos significativos sobre a integridade do DNA dos organismos;
  - c) identificar em quais regiões espectrais as radiações UV são mais efetivas em relação à danificação do DNA.



### Sub-projeto: Investigação Sistemática Sobre os Processos Fotoquímicos e Dinâmicos da Atmosfera Antártica no contexto das mudanças climáticas globais

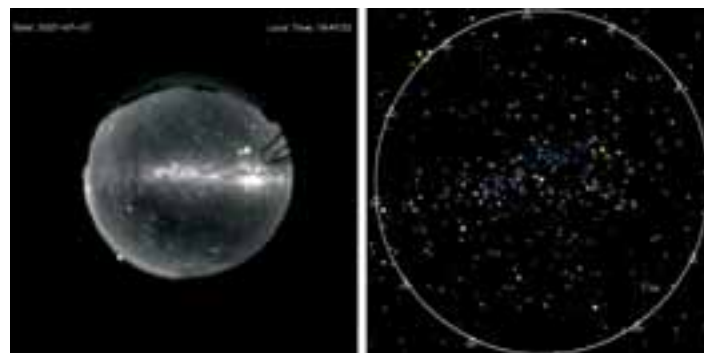
Na estação Antártica de Comandante Ferraz, foram realizadas medidas zenitais da radiação e da temperatura rotacional da emissão de hidroxila (OH), através de espectrofotômetros automatizados desenvolvidos no laboratório de Opto-Eletrônica de Aeronômica (INPE), sintonizados na faixa espectral do infravermelho próximo.

As atividades realizadas durante o período 2007-2008 referem-se, basicamente:

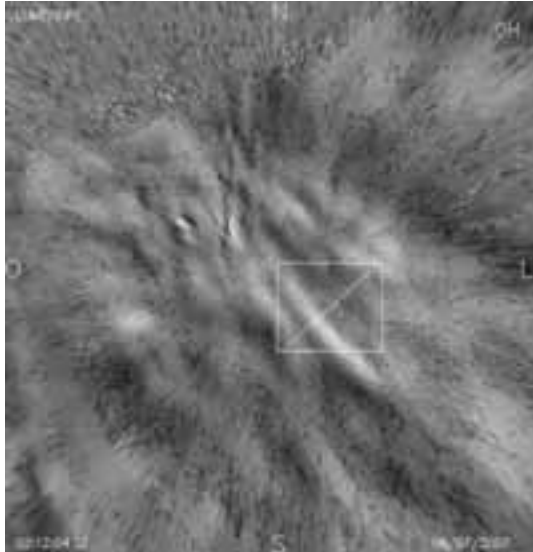
1. Continuidade da campanha de imageamento do airglow e das medidas de temperatura da Mesosfera.
2. Instalação da câmera imageadora all sky para observação de ondas de gravidade (**Figura 1**).
3. Calibração espacial das imagens (linearização), através da determinação da Função da Lente. (**Figura 2**).
4. Análises iniciais das imagens obtidas com o imageador all sky. (**Figura 3**).
5. Redução dos dados obtidos com o espectro-imageador de temperatura, (**Figura 4**).



**Figura 1.** (A) Imageador montado no rack e posicionado para ser elevado até a cúpula de observação. (B) Cabos de energia e comunicação da CCD com o micro sendo conectados. (C) Vista externa da cúpula de observação, com o imageador na posição de observação.



**Figura 2.** (A) Imagem all sky utilizada para a calibração espacial e (B) imagem obtida pelo sky map, que juntamente com a imagem obtida do imageador é usada na calibração. Em ambas as imagens são destacadas quatro estrelas coincidentes, numeradas de acordo com a ordem em que foram identificadas.

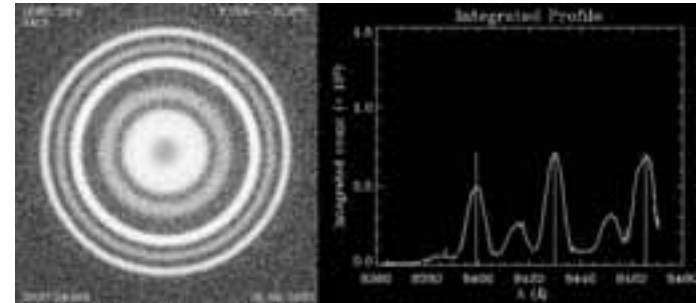


**Figura 3.** Imagem obtida pelo imageador all sky, linearizada e mapeada para uma área de 512 X 512 km<sup>2</sup> na altura da camada de emissão do OH (~87 km). Na imagem é mostrado um nítido evento de onda de gravidade.

6. Redução dos dados obtidos com o espectro-imageador de temperatura.

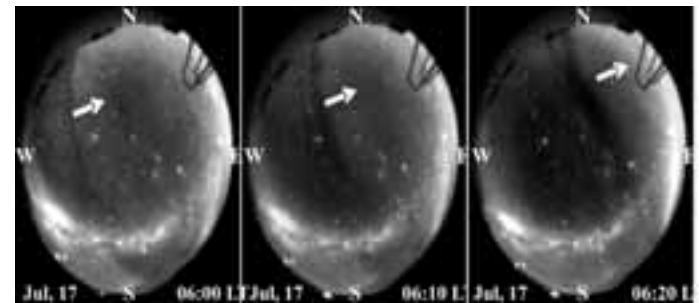
Construção de séries temporais noturnas de temperatura e radiância da emissão da hidroxila – OH(6-2), com base nas imagens de franjas de interferência obtidas originalmente pelo equipamento.

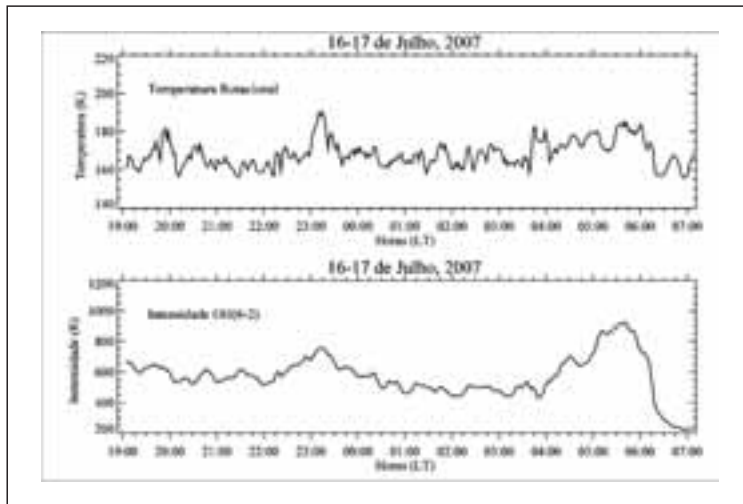
A **Figura 4** (A) apresenta a tela de redução dos dados do FotAntar-3 durante a redução dos dados da noite de 16 de Agosto de 2007 e a **Figura 4** (B) mostra a mesma tela de redução, porém no final da redução, onde pode-se identificar mais facilmente a variabilidade tanto da temperatura quanto da intensidade da emissão ao longo de toda a noite.



**Figura 4.** Exemplo de um frame (1 imagem) extraído de um vídeo dos dados da noite de 16 de Agosto de 2007. Em (A) é mostrada a imagem das franjas de interferência da emissão do OH(6-2), onde já foi subtraído do ruído intrínseco do instrumento (dark noise), e em (B) o respectivo perfil integrado (partir do centro) e já convertido de pixels para comprimentos de onda.

**Estudo de caso:** dia 16-17 de Julho de 2007 (Imagens do imageador com filtro para o OH -altura ~87km)





**Figura 5.** Temperatura rotacional e intensidade do OH(6-2) medidos pelo espectro-imageador de temperatura com filtro do OH(6-2), mostrando uma queda na temperatura e na intensidade exatamente quando uma onda de gravidade (visualizada como uma faixa escura – queda na emissão da intensidade do OH) passa pelo zênite (como mostra a Fig.acima). A queda na temp. foi de ~30K e de ~500R na intensidade. Estas medidas, simultâneas, e mostrando estes resultados coincidentes nos dois instrumentos, são inéditas.

A análise dos resultados indica uma variabilidade sazonal na temperatura da mesosfera superior e um amplo espectro de frequências características das ondas atmosféricas (ondas de gravidade, marés, planetárias).

#### **Sub-projeto: Estudo da Climatologia da Camada de Ozônio, ge gases minoritários e do Impacto da radiação UV no meio ambiente.**

A diminuição da camada de ozônio é um dos sinais antropogênicos mais fortes no sistema atmosférico da Terra. Em 2009, mais de vinte

anos após a assinatura do Protocolo de Montreal, a perda do ozônio, mostradas por medidas observacionais no Ártico e Antártica, é tão severa como no início da década de 80 e o sincronismo e a extensão da sua recuperação são incertos.

O acompanhamento da evolução temporal e espacial do “Buraco de Ozônio” é muito importante para entender os mecanismos de transporte da massa de ar entre as regiões com mais e com menos concentração de ozônio, principalmente quando o “Buraco de Ozônio” atinge a América do Sul.

Uma das consequências mais graves com a diminuição da concentração do ozônio é o aumento da radiação ultravioleta que chega até o solo, em especial a radiação UV-B, nociva aos seres vivos.

O aumento da radiação UV-B afeta os ciclos bio-geoquímicos de duas maneiras principais:

1. Processos biológicos são diretamente afetados por meio de deterioração do DNA das células, em todos os seres vivos, bem como os níveis de clorofila nas plantas.
2. Processos geo-químicos na terra e no mar são também muito afetados, como por exemplo a formação química de alguns dos gases do Efeito Estufa, como o  $\text{CO}_2$ , CO, NO, e VCOS, além de outros.

No período de 2007 a 2008 foram realizadas medidas contínuas da radiação UV foram realizadas durante todo o ano utilizando um radiômetro de 4 canais que mede a radiação UV-B, UV-A e radiação PAR (fotosinteticamente Ativa) muito importante para estudos

biológicos em várias latitudes: Ferraz, Ilha Rei George, em Punta Arenas, sul do Chile, em La Paz, Bolívia, e em Santa Maria, Rio Grande do Sul.

- Medidas da Coluna Total do Ozônio, do Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>) e Dióxido de Nitrogênio( NO<sub>2</sub>) e gases do Efeito Estufa.

Para a realização das medidas da concentração total do Ozônio, do Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>) e Dióxido de Nitrogênio( NO<sub>2</sub>). Para estas medidas foram utilizados Espectrofotômetros Brewer em Ferraz, Punta arenas (Chile), Rio Gallegos(Argentina),La Paz ( Bolívia) e Santa Maria ( RS,Brasil).

Realização de uma calibração internacional com a WMO, em Punta Arenas, Chile, com 2 espectrofotômetros Brewer do Brasil e um de Punta Arenas.

A calibração internacional do sistema óptico, o Espectrofotômetro Brewer, que mede a coluna total de ozônio, a radiação UV, o gás dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>) e o dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>), é necessária para a validação internacional dos dados. Para o Ano Polar foi realizada no laboratório de Ozônio da Universidade de Magallanes, em Punta Arenas. O técnico enviado pela WMO (Organização Mundial de Meteorologia) trouxe um calibrador para aferir a instrumentação.

Sondas lançadas em balões na primavera de 2008 mediram a climatologia e a concentração da Camada de Ozônio. Resultados preliminares mostram que nos anos de 2007 e 2008 a destruição da Camada de Ozônio ficou em torno de 50%, 0 que representa um valor 15% menor em relação à 2006, quando se observou um record da diminuição na concentração e na extensão do “Buraco de Ozônio”. Também

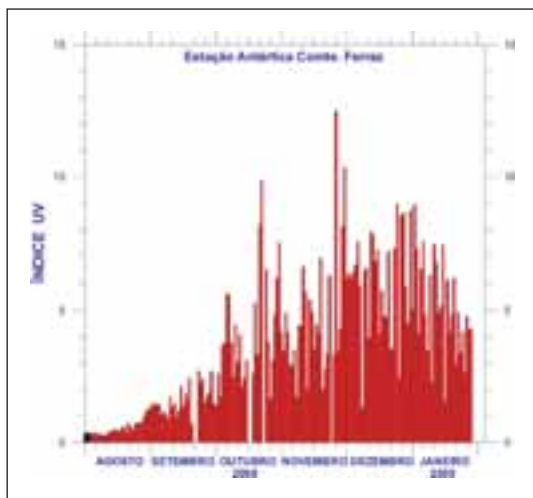
em 2008, foi observado um efeito secundário do Buraco de Ozônio em Santa Maria, sul do Brasil, quando a concentração de ozônio diminuiu em 10%. A radiação UV na região de Ferraz continua muito alta, alcançando níveis de latitudes tropicais.

Ainda existe muito gás CFC (Cloro-Flúor-Carbono) responsável pela destruição do ozônio. Os modelos indicam que a camada só estará normal em 2060 (comparada com a concentração de 1980), se nenhum fato novo ocorrer.

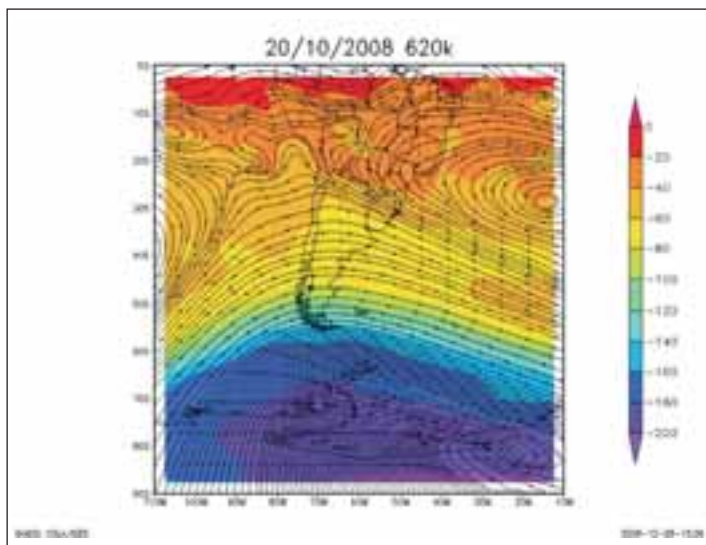
No período de janeiro e fevereiro, o tempo esteve bastante encoberto o que protege a superfície da radiação que incide no solo. Ficaram em operação dois instrumentos de solo: o Espectrofotômetro Brewer, que mede a concentração da Camada de Ozônio, a Radiação Ultravioleta e os gases SO<sub>2</sub> e NO<sub>2</sub>, importantes para a química do ozônio e para o efeito estufa. Outro instrumento que mede a radiação UV é o sensor de radiação chamado GUV ( Ground Ultraviolet Radiometer ). Além da radiação ele fornece a informação do PAR – que é a radiação fotossinteticamente ativa, muito importante, pois mede a radiação que produz danos biológicos nos organismos.

Na fase de janeiro a fevereiro, as medidas da radiação UV continuaram com o acompanhamento do tipos de nuvens para um estudo da correlação do tipo da nuvem com a atenuação da radiação UV.

As medidas deste período também serão usadas pelo projeto que estuda o efeito da radiação no DNA em microorganismos marinhos.



**Figura 1.** Índice UV sobre a região de Ferraz no período de agosto de 2008 a janeiro de 2009. Observa-se que o índice está muito alto alcançando níveis encontrados no Brasil.



**Figura 2.** O ano de 2008 mostrou um evento com diminuição de ozônio nas medidas obtidas no Observatório Espacial do Sul ligada à Região Antártida no dia 21 outubro. Os resul-

tados obtidos mostram a influência das massas de ar pobre em ozônio na região central do Rio Grande do Sul, Sul do Brasil, com uma diminuição para 271,5 UD, quando a climatologia para a região nos meses de outubro é  $292,9 \pm 9,5$  UD.

Gases relacionados com o efeito estufa foram coletados na EACF no período de verão e estão sendo analisados no Brasil pelo processo de Cromatografia Gasosa. Será possível identificar a emissão produzida na Estação e a concentração natural.

### Sub projeto : A METEOROLOGIA ANTÁRTICA

Os esforços do grupo no API se concentraram principalmente em três atividades: manter e melhorar a série de dados de 60 anos da Baía do Almirantado; manutenção dos sensores, equipamentos e sistemas de coletas e de divulgação de dados da Estação Ferraz e da Ilha Joinville, e; desenvolvimento e apresentação e publicação de resultados e pesquisas na internet e em congressos e revistas científicas. O Grupo atua no Proantar há 25 anos, e as atividades do API permitiram consolidar várias das atividades e pesquisas que já ocorriam antes.

Ferraz está localizada no mesmo local da Ilha Rei George onde de 1948 a 1960 operou a antiga “Base G” inglesa, e que iniciou uma das primeiras coletas sistemáticas de dados meteorológicos em toda a Antártica. A partir de 1986, os dados registrados em Ferraz passaram a ter consistência e qualidade adequadas, contribuindo assim com mais 22 anos de informação recente para o mesmo local.

Para gerar uma série abrangendo os dois períodos e, portanto, o intervalo muito longo de 60 anos, foram incorporadas as temperaturas do ar das seguintes estações: Arctowski, no período 1977-1985, distante apenas 8 km e na mesma baía de Ferraz; Bellingshausen, no período 1966-1978, distante ~35 km e na mesma ilha, e; Deception, a ~60 km e no mesmo arquipélago, no período 1961-1967.

Os dados destas três estações foram corrigidos em base mensal para o local de Ferraz, a partir da comparação de séries simultâneas nos anos em que houve coletas simultâneas coincidentes nestas estações. Alguns resultados obtidos desta série de temperaturas, que se constitui em uma das mais longas da Antártica, estão apresentados na Figura 1 e permitem determinar as variações climáticas na região.

Entre as conclusões, destaca-se a constatação de: diferenças de cerca de 5°C entre as médias de anos próximos, indicando que a região é sujeita a variações naturais muito maiores que em outras partes do Planeta; que a longo prazo o aquecimento é de 0,25°C/década, um dos mais elevados que se conhece, e; que nos últimos 13 anos houve um resfriamento de 0,30°C/década, contrariando as previsões de modelos climáticos de aquecimento global.

Os resultados e detalhes deste trabalho estão em fase de preparo para publicação em revista internacional, acreditando-se que venham a trazer uma contribuição significativa na constatação e análise das variações climáticas regionais.

No API foram e estão sendo reparados e substituídos os sensores meteorológicos, bem como os sistemas de aquisição e de transmissão dos dados. A estação meteorológica automática da Ilha Joinville, ao norte da Península Antártica, com registro OMM 89253, teve a manuten-

ção feita em Fevereiro e Dezembro/2008. A de Ferraz, OMM 89252, tem sido constantemente melhorada, e todo sistema de registro e envio automáticos de dados foi substituído.

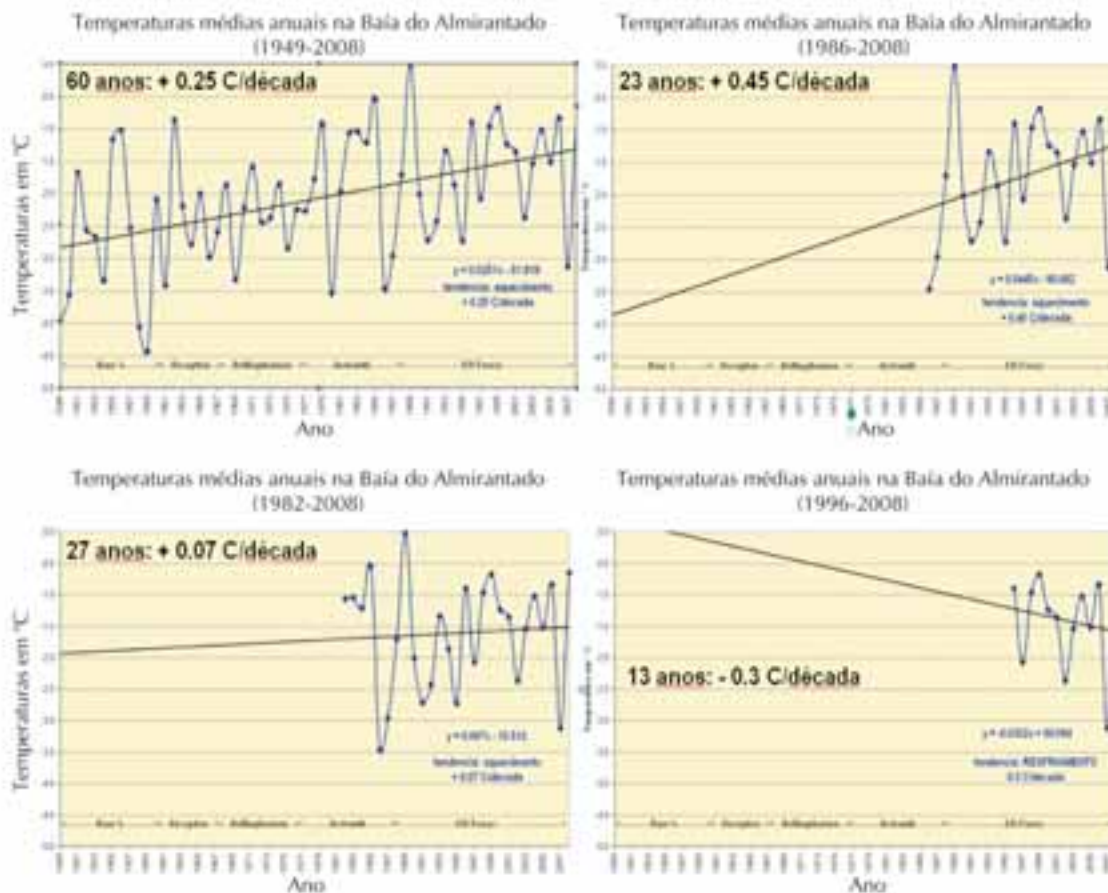
Os dados de ambas as estações entram automaticamente em tempo real na rede mundial GTS de distribuição da OMM: no caso de Joinville, por transmissão direta aos satélites NOAA (sistema ARGOS), e no de Ferraz, por meio da internet e do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

No verão 2008-09 foram instalados na estação meteorológica de Ferraz sensores óticos para registro e caracterização da precipitação e da profundidade de neve, variáveis estas muito difíceis de serem medidas com os instrumentos convencionais existentes devido aos ventos fortes que prevalecem na região. Foi também atualizado o sistema de recepção de imagens de baixa resolução dos satélites de órbita polar.

Os dados meteorológicos, assim como as imagens a cada 15 minutos de três web-câmeras do Projeto, são divulgados rotineiramente na internet por meio da página <http://antartica.cptec.inpe.br/> que é mantida no e pelo CPTEC/INPE (Centro de Previsão de tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Dados passados também estão disponíveis no mesmo endereço.

As pesquisas do Grupo caracterizam os sistemas meteorológicos e o clima no norte da Península Antártica, e suas relações com o sul e sudeste do Brasil. Em particular, no API cabe mencionar os seguintes:

- Estudo do aumento dos sistemas de muito baixa pressão, "ciclones bomba", que passam no norte da Península, e cujas conclusões, inéditas, indicam um aumento em seu número nos últimos anos, principalmente no outono – ver Figura 2.



**Figura 1.** Médias anuais de temperatura do ar durante 60 anos para a Baía do Almirantado. Notar a diferença significativa das tendências em função do período considerado, resultantes da grande variação climática natural na região e na temperatura superficial do oceano no Pacífico (Oscilação Decadal do Pacífico -“PDO” e el-Niños e La-Niñas).

- Estudo da variação da radiação solar incidente em Ferraz nos anos de 2006 e 2007, que respectivamente estão entre os mais quentes e mais frios registrados na região; mostrou-se que a advecção (origem) das massas de ar é a principal razão pelas variações nas médias de temperaturas, e não algum aquecimento ou resfriamento regional. 2007 foi 2.3°C mais frio e teve ~5% a mais de radiação que 2006,

o que contraria a noção convencional de que mais radiação causa maiores temperaturas – ver Figura 3. Este trabalho foi premiado no último Congresso Brasileiro de Meteorologia, em Novembro/2008.

- Estudo do desempenho do modelo BRAMS (Brazilian Regional Atmospheric Modeling System) na previsão do tempo para a EACF,

em relação aos dados meteorológicos observados em Ferraz e na região.

- Registro de nuvens notilucentes, devido à sua possível associação a supostas mudanças climáticas.

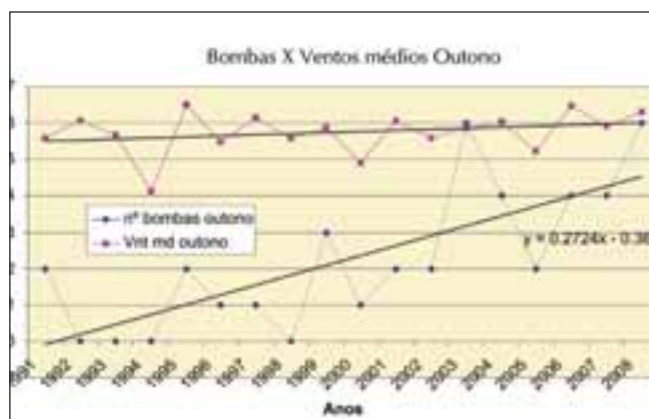
- Publicação de mais de uma dezena de trabalhos técnicos.

Adicionalmente, o Grupo colabora com institutos e universidades em trabalhos do API, como o IAGUSP, IOUSP, UERJ, UFRGS, UFV.

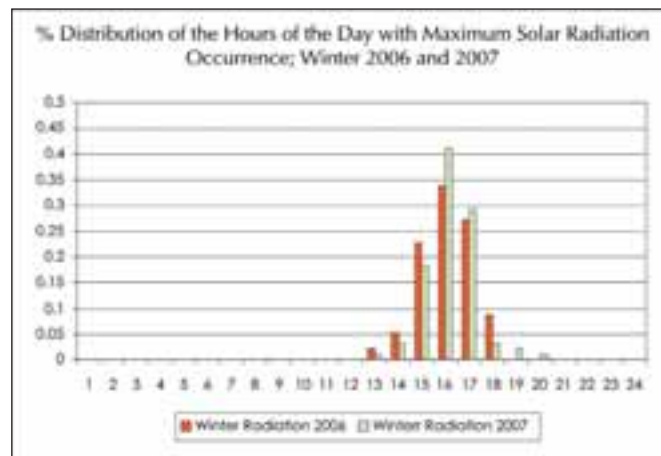
Análises mensais das condições antárticas e suas relações com o Brasil estão publicadas em [http://antartica.cptec.inpe.br/cgi-bin/antart\\_climanalise.cgi](http://antartica.cptec.inpe.br/cgi-bin/antart_climanalise.cgi).

As publicações do projeto em revistas, livros e em congressos estão disponíveis em [http://antartica.cptec.inpe.br/~rantar/biblia/public\\_proj.pdf](http://antartica.cptec.inpe.br/~rantar/biblia/public_proj.pdf)

E por último, para uma visão geral do trabalho, assim como dos dados gerados, recomenda-se a página principal do Grupo, em <http://antartica.cptec.inpe.br>



**Figura 2.** Aumento dos “cyclones Bomba” em Ferraz para o período de outono, 1991-2008.



**Figura 3.** Distribuição da % das horas de radiação solar mostrando 2007 com mais energia que 2006.

### Sub projeto - “Impacto da radiação ultravioleta sobre o DNA de organismos antárticos”

Desde a descoberta do buraco de ozônio sobre a Antártica, na década de 1980, tem havido muito interesse e preocupação em relação aos crescentes efeitos da radiação ultravioleta (UV) no ecossistema marinho antártico. Foi levantada a hipótese de que as comunidades marinhas nas regiões mais superficiais da zona fótica podem ser alteradas pelo aumento da radiação decorrente da depleção de ozônio.

Para estudar os possíveis efeitos dessas alterações no ambiente, nesta etapa do desenvolvimento do projeto, em campo, foi avaliado o grau de lesões no DNA (Ensaio Cometa) de anfípodos de regiões costeiras rasas da espécie *Gondogeneia antarctica*, da Baía do Almirantado, expostos à radiação ultravioleta natural e artificial UVA.

O objetivo deste trabalho é o de compreender os efeitos da radiação sobre a integridade do material genético destes organismos,



em uma região com variação da camada sazonal de ozônio e, conseqüentemente, da radiação ultravioleta.

O efeito da fotooxidação de derivados de petróleo pela UVR também foi estudado através do Ensaio Cometa. Este ensaio é um método rápido que permite a detecção de danos e de reparos do DNA de uma única célula, e é de extrema relevância para a avaliação de compostos genotóxicos.

Essa metodologia é relativamente econômica e fornece excelentes resultados. Consiste em uma eletroforese de núcleos celulares que separa o DNA intacto daquele fragmentado pela ação de alguma substância genotóxica.

O DNA fragmentado forma uma espécie de cauda, dando ao núcleo o aspecto de um cometa. O tamanho da cauda pode ser medido e sua intensidade quantificada. Essas medidas podem ser relacionadas com o grau e o tipo de contaminação (Fig. 1).

Os anfípodes foram coletados em zonas rasas da Baía com rede-de-mão, que mantém a integridade fisiológica dos indivíduos (Fig. 2).



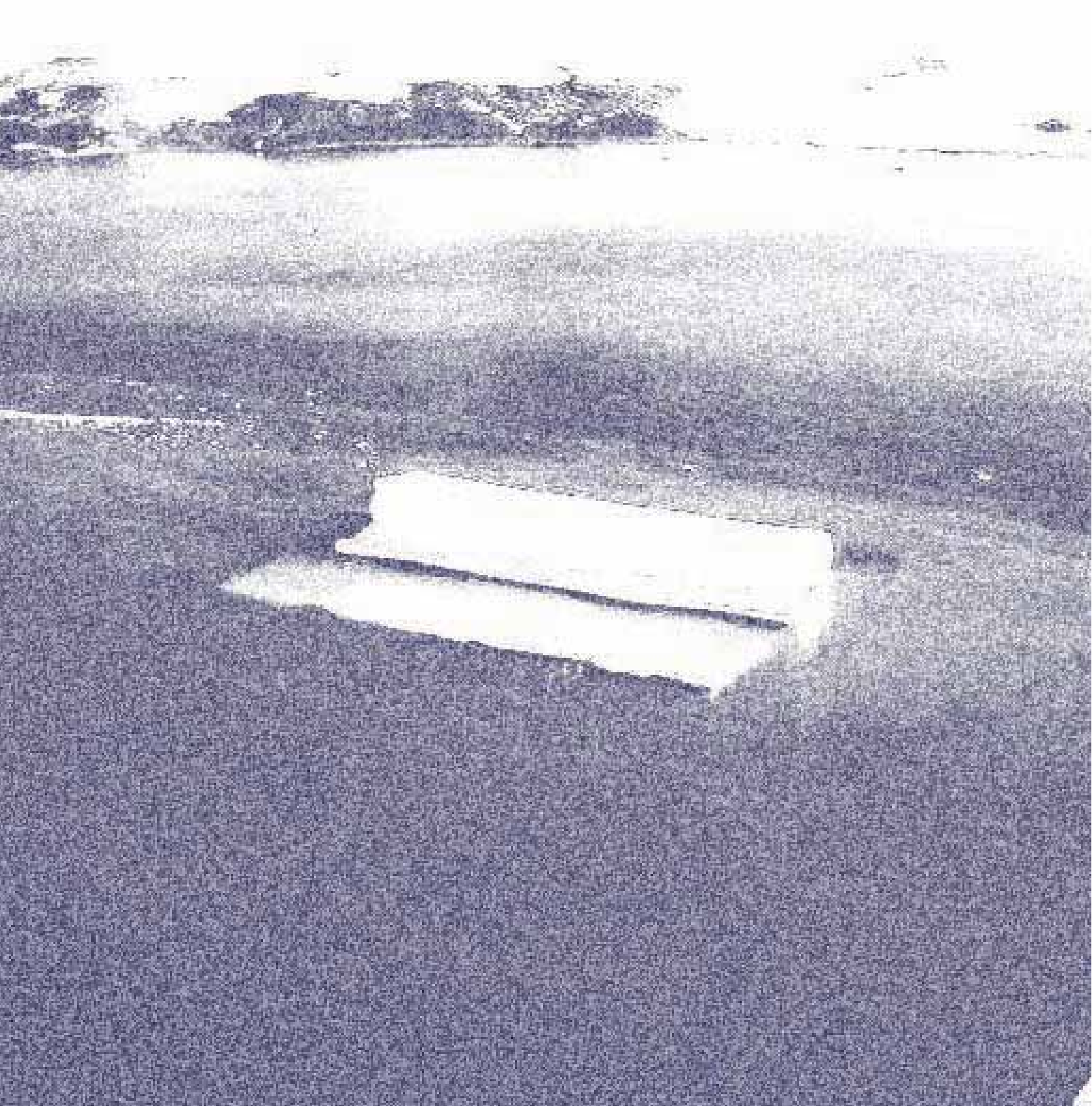
**Figura 1.** Células de cometa de *G. antarctica*.



**Figura 2.** Coleta dos anfípodes.

Os dados obtidos até este momento do desenvolvimento do projeto estão em fase de análise. Até agora, verificou-se que danos celulares, imunohistoquímicos (realizados no verão 2007/2008) e no genoma (2008/2009) são evidentes, e possuem uma relação dose-reposta direta com os fatores estudados.

Esses dados confirmam os efeitos deletérios da radiação, principalmente em sinergismo com outros poluentes. Podemos também afirmar que *G. antarctica* é um excelente organismo para ser utilizado como um bioindicador de estudos ambientais na Antártica.



# Estudos no Oceano Austral para a Compreensão do Clima Global





# Estudos no Oceano Austral para a Compreensão do Clima Global

## Introdução

O planeta Terra possui cerca de  $\frac{3}{4}$  de sua superfície terrestre coberta por água. Além de ser fundamental para a vida no planeta, a água desempenha um papel crucial na manutenção do clima terrestre. Devido à sua grande capacidade térmica, os oceanos são capazes de armazenar grande quantidade de energia térmica (calor) recebida pelo Sol e, através de seu sistema de correntes, redistribuí-la no planeta.

Este sistema de correntes oceânicas possui na sua essência duas componentes: a superficial e a de fundo oceânico. Como as regiões equatoriais e tropicais recebem maior quantidade de energia solar, correntes oceânicas superficiais transportam este excesso de energia para as regiões de maiores latitudes. Por outro lado, em regiões polares há forte interação entre o oceano e a atmosfera, onde fortes ventos, esfriamento e formação de gelo marinho contribuem para a modificação de suas águas superficiais, forçando-as, por diferença de densidade, a afundarem para o interior do oceano, até atingirem grandes profundidades e, a partir daí, propagam-se para baixas latitudes.

Denominamos este sistema de correntes globais de “Circulação Termohalina Global”. A palavra “termohalina” é empregada aqui porque a temperatura e a salinidade são as propriedades físicas que controlam esta circulação global. Como resultado final, correntes oceânicas de superfície e de fundo oceânico exercem grande impacto no clima do planeta

Terra, em escalas que variam de poucos anos a séculos, pois transportam massa e calor, redistribuindo, assim, a energia solar incidente sobre o planeta.

No caso da Antártica, as águas formadas naquela região fluem para os oceanos Atlântico, Índico e Pacífico. O Oceano Austral – que circunda o continente Antártico – exerce a função de renovar as águas dos grande oceanos globais. Além disso, recentes estudos mostram que o Oceano Austral desempenha papel acentuado no ciclo global do gás carbônico, pois a circulação das águas profundas, que funcionam como rico reservatório de carbono, é controlada por processos físicos que lá ocorrem. O Oceano Austral, tal como o Ártico, possui papel considerável nas trocas de  $\text{CO}_2$  (um dos principais gases do efeito estufa) entre a atmosfera e o oceano. Estas trocas gasosas são, por sua vez, controladas pela formação de gelo marinho, convecção termohalina e produtividade biológica.

No caso do gelo marinho, estudos sobre as condições ambientais sob os bancos de gelo marinho e nas plataformas de gelo que circundam a Antártica são igualmente relevantes, devido ao fato de que ali são formadas as águas frias, profundas e densas, ricas em nutrientes, que fluem para menores latitudes, influenciando a produtividade e a biodiversidade das regiões costeiras em todo o Atlântico Sul, oceanos Índico e Pacífico.

A região oceânica no entorno da Península Antártica, particularmente, demanda um grande esforço de pesquisa, pois a região serve como conexão primária entre as águas polares e as águas dos oceanos adjacentes. O monitoramento de longo prazo desta região deve ser considerado de importância vital, já que as águas frias que são formadas na região do

Mar de Weddell são transportadas para os outros oceanos. Esse monitoramento de longo prazo já encontra-se estabelecido pelos programas internacionais Global Ocean Observing System (GOOS) e Global Climate Observation System (GCOS).

Outro fato notável a respeito do Oceano Austral é a alta concentração de nutrientes e a baixa produtividade primária (ou síntese de matéria orgânica através da fotossíntese) nas camadas superficiais. Esse fenômeno é conhecido como “paradoxo da Antártica”, pois embora os níveis de nitratos e fosfatos sejam altos, o primeiro elo da cadeia trófica oceânica – as microalgas marinhas (ou fitoplâncton) – se desenvolve muito pouco. Hoje, sabe-se que a limitação do micronutriente ferro nas águas superficiais do Oceano Austral inibe a utilização biológica dos outros nutrientes disponíveis. Entretanto, a Corrente Circumpolar Antártica, que flui ao redor do continente antártico com altas concentrações de nutrientes como nitratos e fosfatos, ao passar pela Passagem de Drake, divide-se em praticamente dois segmentos, sendo que um deles propaga-se para o norte. Este ramo norte da corrente é denominado de “Correntes das Malvinas”, cujas águas transportam esses macronutrientes para as regiões do Atlântico Sul Ocidental, em especial para a plataforma continental e talude da Argentina. Com o aporte de ferro, provavelmente oriundo de transporte eólico a partir dos desertos da Patagônia, as águas da plataforma Argentina são altamente enriquecidas e a produção biológica se eleva, com impactos positivos em toda a cadeia trófica. Estudos recentes baseados em imagens de satélites e em medições da pressão parcial do  $\text{CO}_2$ , na água e no ar, mostram que as águas da plataforma Argentina apresentam elevadas concentrações de microalgas marinhas (Romero et al., 2006; Garcia et al., 2008), que têm um papel fundamental na absorção do  $\text{CO}_2$  pelo oceano.

Mais especificamente para a população que vive no hemisfério sul, estudar a região antártica é de crucial importância, devido à sua proximidade e, principalmente, devido às teleconexões que ocorrem nos meios atmosférico e oceânico. Adicionalmente, oceano e atmosfera interagem fortemente, principalmente em regiões de fortes contrastes térmicos das águas superficiais. A Corrente do Brasil, por exemplo, flui próximo do talude brasileiro, transportando águas quentes e salinas desde o nordeste do Brasil até o norte da Argentina. Nas proximidades de  $38^\circ \text{S}$ , ela encontra a Corrente das Malvinas que, por sua vez, transporta águas frias e menos salinas para o norte. Essa região de contrastes termohalinos é denominada de “Confluência Brasil-Malvinas”.

Os processos de teleconexão entre os ambientes antártico, subantártico e subtropical, somente serão melhor compreendidos, após a intensificação dos estudos sobre a região da Confluência Brasil-Malvinas (CBM), considerada uma das regiões mais dinâmicas dos oceanos globais. Vórtices oceânicos (semelhantes a gigantes redemoinhos), formados na região, necessitam ser estudados em detalhe, para que se compreenda os mecanismos de trocas de água, calor e gases, dentre outras propriedades, entre os ambientes subantártico e tropical. Os processos de interação e trocas entre oceano e atmosfera na CBM são pouco conhecidos e acredita-se que a previsão meteorológica no continente sul-americano poderia ser melhorada se alimentada com dados provenientes desta região.

### O Projeto Sos-Climate

O projeto SOS-CLIMATE (Southern Ocean Studies for Understanding Global-CLIMATE Issues) integra quatro grandes Programas do Ano Polar Internacional (API): (1) Synoptic Antarctic Shelf-Slope Interactions Study (SAS-SI); (2) Collaborative Research into Antarctic

Calving and Iceberg Evolution (CRAC-ICE); (3) Integrated analyses of circumpolar Climate interactions and Ecosystem Dynamics in the Southern Ocean–International Polar Year (ICED-IPY) e (4) Climate of Antarctica and the Southern Ocean – Ocean Circulation Cluster (CASO).

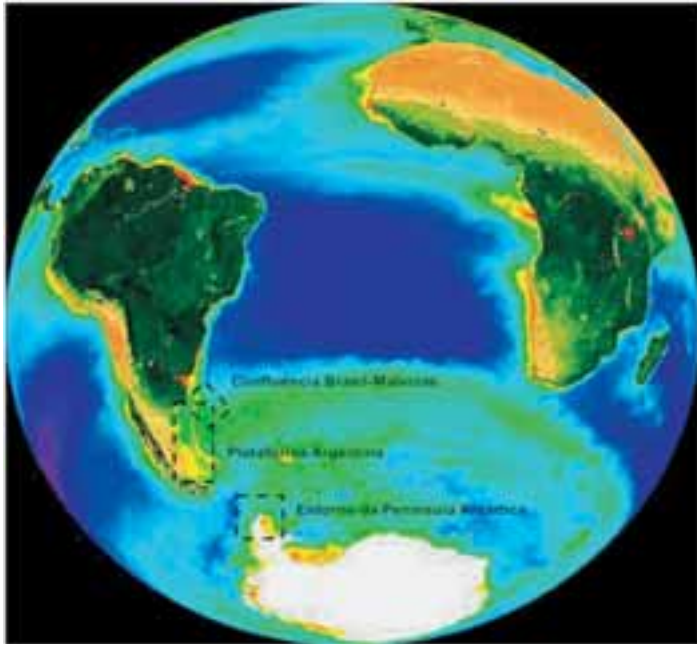
O SASSI é uma iniciativa internacional liderada pelo grupo IANZone, International Antarctic Zone, que objetiva, de forma integrada e coordenada, investigar os processos oceanográficos na plataforma, quebra de plataforma e talude continental da Antártica. O CRAC-ICE é uma investigação integrada sobre os processos de formação de icebergs nas três maiores plataformas de gelo da Antártica, além do monitoramento de longo prazo dos icebergs do Oceano Austral, incluindo estudos físicos relacionados com a deriva e decaimento dos mesmos. ICED-IPY é uma iniciativa internacional que objetiva o estudo multidisciplinar de vários ecossistemas do Oceano Austral, com ênfase nos impactos sobre os mesmos pelas mudanças climáticas globais. O CASO pretende obter uma visão sinótica do meio ambiente físico do Oceano Austral - em colaboração com outras atividades do API, que incluem biogeoquímica, ecologia e biodiversidade. Este programa pretende, também, aumentar o conhecimento do papel dos oceanos no passado, presente e futuro do clima, incluindo conexões entre as circulações do Oceano Austral e teleconexões entre latitudes polares e temperadas.

O projeto SOS-CLIMATE objetiva, em conjunto com a comunidade internacional, elucidar aspectos considerados relevantes sobre o papel do Oceano Austral no panorama atual de mudanças climáticas globais. Mais especificamente, o projeto visa monitorar as águas densas formadas a oeste da Península Antártica que se espalham pelo resto dos oceanos glo-

bais através da circulação termohalina global; verificar o papel desempenhado pelos icebergs na estabilização da coluna de água do mar, na fertilização das águas superficiais e suas conseqüências sobre a produtividade primária regional; compreender a dinâmica do intenso crescimento (ou florações) de microalgas marinhas na plataforma Argentina, responsáveis por forte seqüestro de CO<sub>2</sub> atmosférico do Hemisfério Sul; compreender os processos de interação oceano-atmosfera na região de teleconexão entre águas subantárticas e tropicais; determinar a influencia da dinâmica do gelo marinho (variação da extensão e concentração) ao redor da Antártica, na circulação do Oceano Atlântico Sul - em particular os efeitos na região de maior variância desta bacia, ou seja, a área da Confluência Brasil-Malvinas. O projeto SOS-CLIMATE é executado pelo Grupo de Oceanografia de Altas Latitudes (GOAL), formado por pesquisadores de diferentes instituições brasileiras e colaboradores internacionais. Estudantes de graduação e pós-graduação de instituições brasileiras e internacionais participam ativamente do projeto, especialmente nos trabalhos de campo, adquirindo experiência em oceanografia de altas latitudes.

#### **Atividades durante o ano Polar Internaional**

A contribuição do SOS-CLIMATE, no âmbito do Ano Polar Internacional, tem sido no sentido de conduzir estudos observacionais multidisciplinares, a bordo do navio Ary Rongel, em três regiões distintas, mas interligadas: Confluência Brasil-Malvinas, quebra da plataforma Argentina e ao redor da Península Antártica (Figura 1). As atividades de pesquisa envolvem: (i) trabalho de campo (Figura 2); (ii) processamento e análises em laboratórios no Brasil e no exterior; (iii) modelagem e análises de resultados de modelos climáticos globais.



**Figura 1.** Imagem média da biosfera terrestre fornecida pelo sensor SeaWiFS/NASA mostrando as concentrações de clorofila nos oceanos. As regiões da Confluência Brasil-Malvinas, quebra da plataforma Argentina e no entorno da Península Antártica foram estudadas no âmbito do Ano Polar Internacional pelo projeto SOS-Climate.



**Figura 2.** Composição de fotos das atividades desenvolvidas a bordo do navio Ary Rongel durante o Ano Polar Internacional. As atividades constituíam-se basicamente de lançamentos do sistema CTD/Roseta e da bóia radiométrica, lançamento de instrumentos óticos, lançamento do disco de secchi, incubação de água do mar para experimentos de produção primária, análises de água para determinação de nutrientes, pigmentos fitoplanctônicos, contagem e identificação de microalgas marinhas, análises da  $pCO_2$  (ar e água) e amostragem de gases atmosféricos.

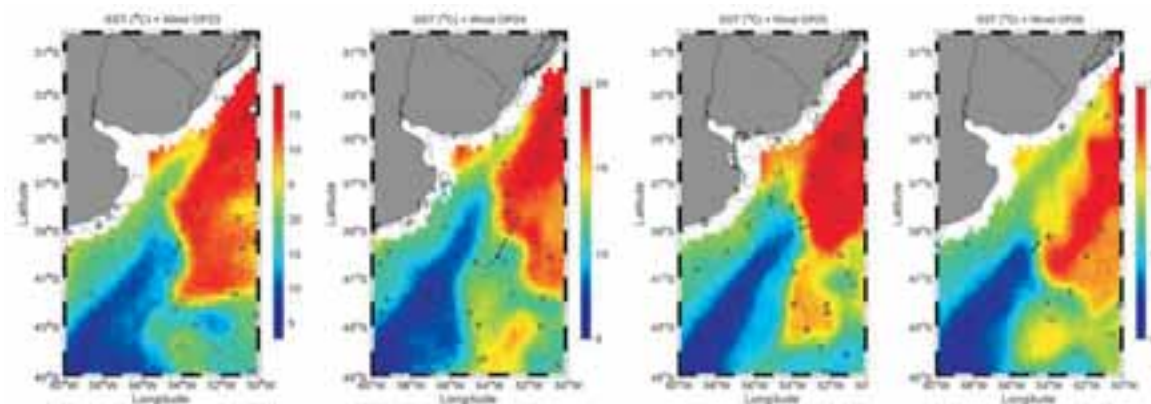
A seguir descrevemos as principais atividades executadas nas 3 (três) regiões citadas.

### Região da Confluência Brasil-Malvinas

Durante os trajetos de ida do navio Ary Rongel para a Antártica, em outubro de 2007 e 2008, experimentos oceanográficos e atmosféricos foram realizados na região de encontro das correntes do Brasil e das Malvinas. Sondas que foram lançadas no oceano e na atmosfera (Figura 3) permitiram avaliar a estrutura térmica



ca e o grau de acoplamento entre o oceano e a atmosfera. O papel desempenhado por vórtices, e estruturas similares, na transferência de massa, calor e propriedades entre as regiões subantártica e temperada do Atlântico Sul Ocidental foi também estudado. Os resultados advindos dos cruzeiros mostram que a camada atmosférica próxima do mar é fortemente modulada pelos intensos gradientes de temperatura das águas superficiais (Pezzi et al., 2009).



**Figuras 3.** Locais de lançamento das sondas oceânicas e atmosféricas (pontos em negrito) durante as Operações Antártica 23 (2005) a 25 (2008) sobre imagens da temperatura superficial do mar com superposição de valores da intensidade do vento, derivados também por satélites. Note a escala de temperaturas no extremo direito da figura.

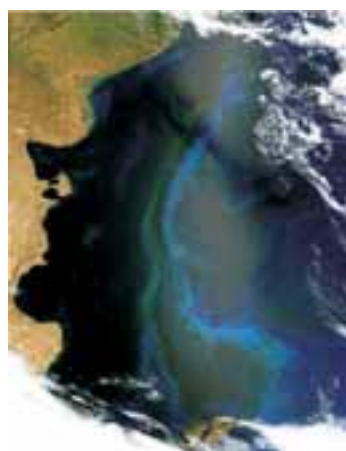
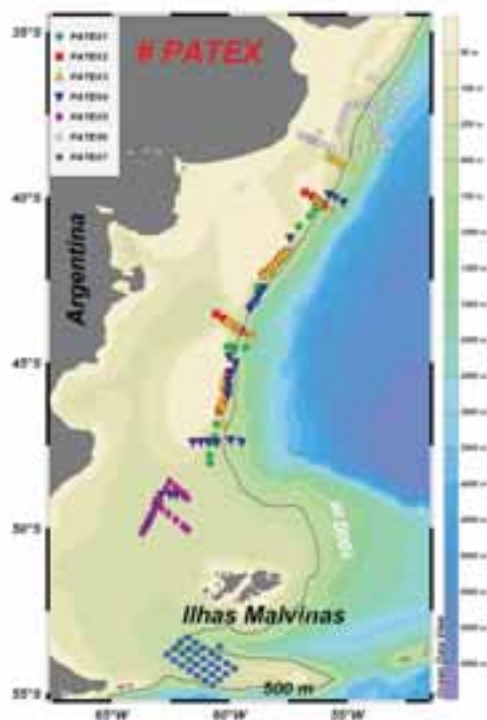
#### Região da Plataforma Argentina (Patagônia)

A dinâmica das águas superficiais, a interação da luz com os constituintes da água do mar, os níveis de nutrientes, os níveis da produção primária e as comunidades de microalgas, as trocas de  $\text{CO}_2$  entre o oceano e a atmosfera e os níveis de micro-nutrientes e gases de origem biológica na atmosfera sobre o mar

foram tópicos de intensos estudos na região da quebra da plataforma e plataforma continental da Argentina em 5 (cinco) cruzeiros distintos: março de 2007, outubro de 2007, janeiro de 2008, outubro de 2008 e janeiro de 2009 (Figura 4, esquerda).

A variabilidade dos grupos de microalgas dominantes, em diferentes épocas do ano, e sua relação com a absorção de  $\text{CO}_2$  atmosférico foi parcialmente elucidada. Aspectos

físicos (ex. estabilidade da coluna da água), altos níveis de nutrientes e composição de espécies de microalgas explicam os altíssimos níveis de produção primária (ou taxas de fotossíntese) medidas na região, que são comparáveis às regiões mais produtivas dos oceanos globais (Garcia et al., 2008). Verificou-se que a alta abundância de fitoplâncton (microalgas) marinho ocorre durante a primavera e verão de cada ano, com dominância de diatomáceas e dinoflagelados na primavera e coccolitoforídeos no verão, conferindo às águas colorações distintas, que podem ser observadas por imagens de satélites (Figura 4, direita).



**Figura 4.** Esquerda: As estações oceanográficas ocupadas durante os cruzeiros da série PATEX (PATagonia EXperiment). Direita: Imagem

de satélite mostrando as grandes florações de microalgas marinhas sobre a plataforma e ao longo da quebra da plataforma (talude) da Argentina. As tonalidades de cor das feições alongadas na imagem denotam diferentes grupos de microalgas marinhas que espalham e absorvem a luz do sol de forma diferenciada.

Estas florações possuem papel preponderante nos processos biogeoquímicos regionais, tais como no seqüestro de  $\text{CO}_2$  atmosférico e na liberação de compostos de enxofre para a atmosfera, os quais promovem a formação de nuvens, influenciando o nível de albedo (ou reflexão da energia solar) terrestre. No entanto, estes complexos processos ainda estão sendo quantificados à medida que os dados coletados durante o API sejam inteiramente processados e avaliados.

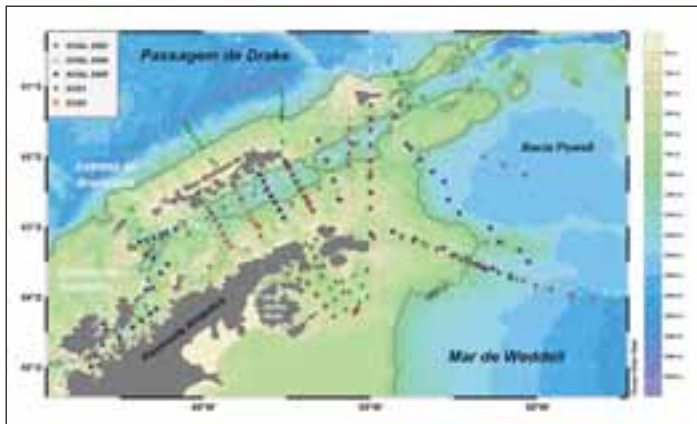
Análises recentes de imagens de satélites desta área demonstram que as florações de fitoplâncton estendem-se de setembro a março de cada ano, com alta variabilidade interanual (Signorini et al, 2006). As imagens mostram também que as águas produtivas da plataforma e quebra da plataforma Argentina fluem para a região costeira do sul do Brasil, com prováveis impactos positivos na produção biológica, incluindo produção pesqueira, de nossa costa sul. A variabilidade espaço-temporal do sistema carbonato na interface ar-mar e suas relações com a produção primária marinha vem sendo estudada na Patagônia Argentina, utilizando-se diferentes técnicas de medição. Observou-se que as concentrações de  $\text{CO}_2$  e seus fluxos estão fortemente relacionados às comunidades fitoplanctônicas dominantes e à produção primária.

Propriedades óticas, de importância fundamental para a detecção precisa de parâmetros biológicos por sensoriamento remoto, foram

medidas pela primeira vez em águas da Patagônia Argentina. As medidas da refletância e da absorção da luz, em diversos comprimentos de onda (ou hiper-espectral), estão sendo utilizadas com a potencialidade de diferenciar grupos de microalgas marinhas na região, que exercem importante função no sequestro de carbono atmosférico. Imagens de satélites estão sendo calibradas em termos de concentrações e grupos dominantes de microalgas marinhas, e o potencial de modelos preditivos dos fluxos de CO<sub>2</sub> entre atmosfera e oceano, por sensoriamento remoto e modelagem, estão sendo explorados para a região da Patagônia Argentina.

#### Região ao redor da Península Antártica

Durante o Ano Polar Internacional, as regiões da quebra da plataforma e talude Antártico, particularmente nas regiões oeste do Mar de Weddell, Passagem de Drake e Estreito de Bransfield, foram amostradas com o navio Ary Rongel (Figura 5).



**Figura 5.** Localização das estações oceanográficas ocupadas pelo Grupo de Oceanografia de Altas Latitudes (GOAL), entre os anos de 2003 e 2009, nas proximidades da ponta da Península Antártica. As estações denominadas de SOS-1 e SOS-2 foram ocupadas du-

rante o Ano Polar Internacional para a execução do projeto SOS-Climate. Instrumentos mediram propriedades oceanográficas até profundidades de 4200 metros.

Os cruzeiros oceanográficos, com a realização de medidas físicas, biogeoquímicas, biológicas, óticas e atmosféricas foram efetuados em setores considerados críticos na exportação de águas profundas no noroeste do Mar de Weddell. As seções hidrográficas foram coordenadas com outras atividades internacionais previstas pelo programa SASSI.

Com o quadro de mudanças climáticas em curso, o monitoramento da exportação de águas densas formadas na região do noroeste do Mar de Weddell para o Estreito de Bransfield e regiões adjacentes, passou a ser fundamental pela comunidade internacional. No caso do Estreito de Bransfield, notou-se, a partir de dados históricos e coletados durante o API, que continua ocorrendo a diminuição de salinidade e o aquecimento da águas de fundo da bacia central do Estreito de Bransfield (Garcia & Mata, 2005). Com o objetivo de estudar sua variabilidade intranual e interanual, pela primeira vez no Programa Antártico Brasileiro, instrumentos que medem e registram continuamente a temperatura, salinidade e correntes marinhas foram colocados no fundo do mar, no talude das bacias Central e Leste do Estreito de Bransfield. Estes equipamentos permanecerão coletando dados por vários anos.

Com o objetivo de verificar a distribuição de massas de água do fundo do Mar de Weddell, análises foram realizadas usando o modelo oceânico global do National Center for Atmospheric Research. Os resultados apontam para a necessidade de melhor representar os processos da interação entre oceano e criosfera (e.g. gelo marinho, icebergs, fluxos de



água de plataforma de gelo) para estudos da variabilidade das densas massas de água no Oceano Austral (Kerr et al., 2009).

O desprendimento (ou calving) de icebergs das plataformas de gelo que circundam o continente Antártico e sua deriva subsequente causam uma aporte significativo de água doce e nutrientes oriundos do manto de gelo, no oceano adjacente. Os eventos de calving de icebergs gigantes (até centenas de quilômetros) são observados ocasionalmente. Nestes casos, a deriva e o tempo de vida dos gigantes blocos de gelo podem ser acompanhadas facilmente através de imagens de satélites. No entanto, grande quantidade da água doce perdida pelo manto de gelo Antártico para o oceano se dá na forma de icebergs pequenos e médios, menores que alguns quilômetros. Estes, por sua vez, não são facilmente observados por imagens de satélites e, portanto, necessita-se outra metodologia para estimar

a movimentação e deriva dos mesmos. Adicionalmente, como já mencionado, o Oceano Austral é limitado em ferro bio-disponível. Os icebergs podem ser uma importante fonte deste micronutriente para as águas no entorno da Antártica, já tendo sido evidenciado florações (ou desenvolvimento massivo) de microalgas na esteira de água perturbada pela passagem dos blocos de gelo.

A contribuição brasileira para o CRAC-ICE está acontecendo no âmbito do projeto SOS-CLIMATE, que realizou durante a OPERANTAR XXVII a instrumentação de 3 icebergs na região oeste do Mar de Weddell. A instrumentação foi realizada com o uso de “bóias-de-iceberg” que são fixadas no topo do mesmo com o uso de uma broca especial e transmitem diariamente, via o sistema ARGOS, a posição dos icebergs e dados de pressão atmosférica. O tempo médio de vida destes icebergs é em torno de 2 anos. O apoio para a fixação

das bóias é dado por helicóptero a partir do navio e a operação leva cerca de 40 minutos, desde a decolagem até o retorno da aeronave para bordo (Figura 6). Esta operação de instrumentação, realizada durante a OPERANTAR XXVII, foi inédita para o Brasil.

Os fatores ambientais que exercem influência na produtividade primária das águas do entorno da Península Antártica também foram estudados durante o Ano Polar Internacional. As concentrações de nutrientes dissolvidos, as concentrações de biomassa fitoplanctônica e as relações entre o sinal da luz que emerge da coluna da água do mar e seus constituintes óticamente ativos (pigmentos das microalgas, partículas e matéria orgânica dissolvida) mostraram ser bem diferenciadas de regiões temperadas e tropicais. Fluxos de CO<sub>2</sub> entre atmosfera e oceanos, medidos nos dois cruzeiros, demonstraram a alta variabilidade espacial e temporal na região do entorno da Península Antártica.

Pela primeira vez, as florações de microalgas marinhas na região do noroeste do Mar de Weddell foram estudadas em dois anos sucessivos durante o Ano Polar Internacional. Análises preliminares indicam a importância da zona marginal do gelo marinho nas regiões de altas concentrações de microalgas marinhas. A estabilidade da coluna de água, medida nas proximidades do gelo marinho e de icebergs, foi considerada fundamental para assegurar a alta produtividade primária com consequência na diversidade biológica da região antártica.

#### **Equipe Brasileira**

Carlos Alberto Eiras Garcia (Universidade Federal do Rio Grande, coordenador), Mauricio M. Mata (Universidade Federal do Rio Grande, coordenador substituto), Virgínia M. Tavano Garcia (Universidade Federal do Rio Grande), Ilana

Wainer (Universidade de São Paulo), Rosane Gonçalves Ito (Universidade de São Paulo), Ronald Buss de Souza (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), Luciano Pezzi (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), Ricardo Pollery (Universidade de Santa Úrsula), Heitor Evangelista (Universidade Estadual do Rio de Janeiro).

#### **Colaboradores Internacionais**

Charles McClain, Sergio Signorini e Antonio Mannino (NASA, USA), Harmut Hellmer e Michael Schroeder (Alfred-Wegener-Institute, Alemanha), Bruce Huber (University of Columbia, USA), Vanda Gonçalves Brotas (Universidade de Lisboa, Portugal)

#### **Conclusões**

Enormes esforços foram despendidos por diferentes setores da sociedade para que os cientistas brasileiros participassem do Ano Polar Internacional. No caso do projeto SOS-CLIMATE, os recursos financeiros alocados permitiram não somente a realização de experimentos científicos para elucidar processos físicos e biogeoquímicos no Oceano Austral e relacioná-los com clima terrestre, mas como de capacitar recursos humanos na área de oceanografia de altas latitudes para o futuro próximo.

Dezenas de estudantes de graduação e pós-graduação participaram ativamente das coletas e estão participando das análises dos dados físicos, químicos, óticos e biológicos nas regiões da Confluência Brasil-Malvinas, Patagônia Argentina e ao redor da Península Antártica. A formação de recursos humanos em oceanografia polar, aliada ao avanço do conhecimento de diversos processos que envolvem a interação oceano-atmosfera-criosfera no Oceano Austral têm sido os maiores legados do projeto SOS-CLIMATE ao Ano Polar Internacional.

## Referências

Kerr, R. ; Wainer, Ilana ; Mata, Mauricio M. (2009). Representation of the Weddell Sea deep water masses in the ocean component of the NCAR-CCSM model. *Antarctic Science*, p. 1-12. doi:10.1017/S0954102009001825.

Garcia, C. A. E. ; Mata, M. M. (2005). Deep and bottom water variability in the central basin of Bransfield Strait (Antarctica) over the 1980-2005 period. *CLIVAR Exchanges*, v. 35, n. 10, p. 48-50, 2005.

Garcia, V ; Garcia, C ; Mata, M ; Pollery, R ; Piola, A ; Signorini, S ; McClain, C ; Iglesias-Rodriguez, M (2008). Environmental factors controlling the phytoplankton blooms at the Patagonia shelf-break in spring. *Deep-Sea Research. Part 1, Oceanographic Research Papers*, 55, p. 1150-1166.

Pezzi, L. P. , Souza, R. B, Acevedo, O., Wainer, I., Mata, M., Garcia, C. A. E. and Camargo, R, (2009). Multi-year measurements of the Oceanic and Atmospheric Boundary Layers at the Brazil-Malvinas Confluence Region. Submitted to *Journal of Geophysical Research*.

Romero, S.S.; Piola, A.R; Charo, M.; Garcia, C.A.E (2006). Chlorophyll-a variability off Patagonian based on SeaWiFS data. *Journal of Geophysical Research*, 111, C05021, doi:10.1029/2005JC003244.

Signorini, S., Garcia, V.M.T., Piola, A., Garcia, C.A.E., Mata, M.M., McClain, C.R. (2006). Seasonal and Interannual Variability of calcite in the Vicinity of the Patagonian Shelf Break (38oS - 52oS). *Geophysical Research Letters*, doi:10.1029/2006 GL026592.

**Figura 6.** Navio Ary Rongel nas proximidades de um iceberg tabular que teve fixado no seu topo uma “bóia-de-iceberg” que transmite diariamente, via o sistema ARGOS, a posição do iceberg (sistema GPS) e dados de pressão atmosférica. No verão de 2009, 3 (três) icebergs de dimensões similares receberam as bóias-de-icebergs. O acompanhamento da trajetória destes icebergs pode ser feito livremente pela internet.







# Expedições Multidisciplinares ao Manto de Gelo Antártico: As Primeiras Investigações Brasileiras no Interior do Continente





# Expedições Multidisciplinares ao Manto de Gelo Antártico: As Primeiras Investigações Brasileiras no Interior do Continente

O continente antártico é quase totalmente (99,7%) coberto por um imenso (13,7 milhões de quilômetros quadrados) manto de gelo com espessura média de 1.829 m. Essa enorme massa fria é um dos principais controladores do sistema do clima, tendo papel tão importante quanto a Amazônia na circulação atmosférica. Esse gelo, se derretido totalmente, equivaleria a um aumento de 60 metros no nível médio dos mares. Qualquer pequena modificação nele, por consequência, terá implicações importantes para as regiões costeiras do Brasil. Ao longo dos últimos 25 anos, a perfuração desse gelo proveu a melhor fonte de dados para reconstruir as variações climáticas e da química atmosférica dos últimos 800 mil anos: os testemunhos de gelo. No entanto, até o API o Brasil teve sua atuação restrita as áreas oceânicas e costeiras da Antártica este, portanto, foi o projeto que executou as primeiras expedições nacionais no interior dessa massa de gelo, dando acesso ao país a uma das partes menos conhecidas da superfície do planeta (Veja mapa).



**Mapa 1.** Mapa antártico localizando os acampamentos da equipe glaciológica do PROANTAR durante o API. Ponto vermelho 1 – platô Detroit (64° 05'S, 59° 38'W), verão 2007/08; ponto vermelho 2 – montes Patriot (80° 18'S, 81° 22'W), verão 2008/09; ponto 3 – local de perfuração do gelo no verão de 2008/2009 (monte Johns; 79° 55'S, 94° 23'W); ponto amarelo – Estação Antártica Comandante Ferraz (62°05'S, 58°23'W).

O projeto, resultado de uma intensa cooperação nacional e internacional, abrange várias pesquisas que ajudam a compreender o papel do gelo antártico na variabilidade climática recente do Atlântico Sul. Duas expedições foram realizadas durante o API, uma ao topo da calota de gelo que cobre o norte da Península Antártica, no platô Detroit no verão de 2007/08. A segunda, que foi a primeira expedição do Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR) ao interior do continente antártico, mais precisamente na região dos montes Patriot (montanhas Ellsworth) no verão de 2008/09.



**Foto 1.** Acampamento internacional (Brasil-Chile-EUA) no platô Detroit ( $64^{\circ} 05'S$ ,  $59^{\circ} 38'W$ ; 1.937 m de altitude), Península Antártica, para realização de estudos glaciológicos e da química atmosférica.

Ao longo do período do API, o projeto também expandiu o uso do sensoriamento remoto satelital para o levantamento e monitoramento de variações na extensão das geleiras do norte da Península Antártica. Em particular, usando sensores SAR (Radar de Abertura Sintética). Essa parte de nossas investigações é realizada em cooperação com o Institut für Physische Geographie (IPG), Universität Freiburg, Alemanha.

#### **Expedição ao platô Detroit**

Esta expedição de caráter internacional, liderada pelo Brasil, contou com pesquisadores do Instituto Nacional Antártico Chileno - INACH (Punta Arenas), Universidad de Magallanes (UMag, Punta Arenas), Climate Change Institute (University of Maine, Orono, EUA) e de quatro instituições nacionais (Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ, Observatório Nacional e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE).

A missão glaciológica foi realizada no topo da Península Antártica, no isolado platô Detroit ( $64^{\circ} 05'S$ ,  $59^{\circ} 38'W$ ; 1.937 m de altitude; temperatura média anual  $-14^{\circ}C$ ), entre 25 de novembro e 24 de dezembro de 2007 (Fotografia 1). Acesso a este local só é possível via área, assim toda a carga e pessoal foi transportada até o topo do platô por aviões bimotores com esquis Twin-Otters (Fotografia 2) da Força Aérea Chilena (FACH).



**Foto 2.** Detalhe do acampamento no platô Detroit e uma aeronave Twin-Otter da Força Aérea Chilena (FACH) usada durante as operações. Contribuição: Jefferson Córdia Simões.

O principal objetivo foi a obtenção de amostras de gelo para reconstruir a história climática da parte setentrional da Península Antártica. Esta meta foi atingida com a coleta de um testemunho de gelo de 133 m (representando aproximadamente 150 anos de dados ambientais) – Fotografia 3.

Também escavamos trincheiras glaciológicas ultralimpas para amostras biológicas (microorganismos) e determinação de concentração de elementos traços; realizamos amostragens atmosféricas (Fotografia 4), medições da radiação ambiental e um levantamento geofísico do terreno (por Radar de Penetração no Solo - GPR) para determinar a estrutura interna do gelo. Ainda, uma estação meteorológica automática foi montada e deixada no local.



**Foto 3.** Perfuração e obtenção de um testemunho de gelo. A seqüência mostra o manejo da perfuradora e o empacotamento de uma seção de 1m. Contribuição de Jefferson Cárdua Simões.



**Foto 4.** Equipamento de amostragem de particulados usado no platô Detroit. Ao fundo, Alexandre Alencar (UERJ) amostra, em condições ultralimpas, neve superficial recém-depositada. Contribuição de Jefferson Cárdua Simões. Expedição científica “Deserto de Cristal”

A primeira expedição nacional ao interior do continente desenrolou-se a partir de um acampamento base nos montes Patriot ((80° 18'S, 81° 22'W, Fotografia 5), 2.157 km ao sul da estação Comandante Ferraz (62°05'S, 58°23'W). Durante 44 dias (01 de dezembro de 2008 a 13 de janeiro de 2009), um grupo interdisciplinar, formado por cinco pesquisadores da UFRGS, dois da UERJ e um da UMag, realizou vários estudos glaciológicos e da química atmosférica. Para transporte de carga e pessoal até o local do acampamento base, uma aeronave cargueira Ilyushin IL-76 foi fretada.

Esta foi uma das principais atividades do Brasil durante o API, teve financiamento direto do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) e contou com apoio da Academia Brasileira de Ciências, Frente Parlamentar em Prol do PROANTAR, Ministério do Meio Ambiente e SECIRM.



**Foto 5.** Neve a deriva na região dos montes Patriot. Na foto o pesquisador Luiz Fernando M. Reis (UFRGS) caminha perto do local de amostragem de microparticulados. Fotografado por Jefferson Cárdua Simões

Na região do acampamento base, a atmosfera superficial foi continuamente amostrada para estudar o transporte de subprodutos (carbono elementar e levoglucosan) da queima da biomassa (principalmente sul-americana e africana) para altas latitudes.

Tanto aerossóis e, simultaneamente, a neve recente foram amostradas para procurar microorganismos associados ao transporte de longo alcance (Fotografia 6). Ainda, a investigação incluiu estudos exploratórios sobre a evolução da geomorfologia glacial local e do processo de formação de solo em temperaturas extremamente baixas.



**Foto 6.** Pesquisadores da expedição ao montes Patriot (2008/2009) examinam o equipamento usado para amostrar micropartículas atmosféricas. Contribuição de Jefferson Cárdua Simões.

A investigação principal foi realizada em um acampamento avançado, em uma das regiões menos conhecidas, ao redor do monte Johns (79° 55'S, 94° 23'W; 2.125 m de altitude; temperatura média anual -33°C) no manto de gelo da Antártica Ocidental.

Lá, em condições limites (quatro pesquisadores acampados, isolados e enfrentando sensação térmica de quase 40°C negativos durante 17 dias - Fotografia 7), obtivemos um testemunho de gelo (95 m) para reconstruir a história da precipitação e química da atmosfera dos últimos 250 anos.

Mais do que o testemunho em si, tal coleta e futuras análises são contribuição de entrada do país ao International Partnership in Ice Core Sciences (IPICS - <http://www.pages.unibe.ch/ipics/>), um consórcio que tem entre suas metas a obtenção de um conjunto de testemunhos de gelo nas regiões polares e em montanhas, como as geleiras nos Andes, e que mostrem com resolução anual a evolução do clima e da química atmosférica ao longo dos últimos 2.000 anos.



**Foto 7.** Grupo de perfuração de gelo no monte Johns. Da esquerda para direita: Marcelo Arealo (Universidad Magallanes, Punta Arenas, Chile), Jefferson C. Simões, Luiz Fernando M. Reis e Francisco E. Aquino, todos da UFRGS)

Ainda, nossa ação é mais uma contribuição ao programa de travessias que estuda a variabilidade climática antártica ao longo dos últimos 300 anos, o International Trans-Antarctic Scientific Expedition (ITASE - <http://www2.umaine.edu/itase/>).

Esses testemunhos de gelo coletados durante as duas missões foram transportados em estado sólido para laboratórios brasileiros e dos EUA. Ao longo dos próximos dois anos, um árduo e lento trabalho de descontaminação, seguido por milhares de análises químicas (exemplo, determinação das razões de isótopos estáveis da água, conteúdo de micropartículas e conteúdo iônico) proverão séries temporais de variações ambientais ao longo dos últimos 250 anos.

### **Cooperação internacional**

O projeto é exemplo de cooperação internacional dentro dos sistemas do APY e do SCAR, nossas pesquisas incluem intensos trabalhos laboratoriais e de campo com centros polares da Alemanha, Chile e EUA. Isso é essencial para viabilizar operações de campo na cobertura de gelo polar, onde os custos do transporte aéreo podem atingir centenas de milhares de reais. Como resultado, deste projeto, foi estabelecida uma nova iniciativa de cooperação para a Antártica, o programa CASA (Clima da

América do Sul e Antártica - [www.casa.aq](http://www.casa.aq)), cujo objetivo principal é partilhar a estrutura laboratorial e logística na investigação das respostas glaciológicas às mudanças do clima na Península Antártica (uma das áreas com maior aquecimento atmosférico ao longo dos últimos 50 anos) e a obtenção de registros paleoclimáticos de alta resolução temporal.

As pesquisas do projeto seguem as recomendações e propostas do programa do SCAR “Antártica e o Sistema Climático Global”, e contribuem para os seguintes projetos do API: Impacto do derretimento glacial induzido pelo clima nas comunidades antárticas costeiras (nº 34); Acumulação superficial na Antártica e a descarga de gelo (nº 88); Gelo da Península Antártica e o clima (nº 107).

### **Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia da Criosfera**

O projeto também gerou a proposta de criação do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia da Criosfera (INCTC), recentemente aprovada pelo MCT (com investimentos via CNPq). Trata-se do primeiro programa nacional de pesquisa da criosfera (a massa de neve e gelo que cobre 10% da Terra). O INCTC, a ser gerenciado pela UFRGS, integra sete laboratórios nacionais para estudos da variabilidade dos componentes da massa de gelo planetária (gelo marinho, geleiras e o manto de gelo antártico, geleiras andinas, permafrost) e suas respostas à mudança do clima. Dentro do espírito do API, este centro também investigará o papel do gelo Ártico no sistema ambiental global.

Em suma, as ações deste projeto durante o API avançaram o conhecimento sobre a Antártica e proveram a infra-estrutura para ampliação das atividades nacionais ao interior do continente.

### Nome oficial do projeto

Expedições nacionais multidisciplinares ao manto de gelo antártico: investigando a resposta da criosfera às mudanças globais

### Equipe

**Coordenação:** Jefferson Cardia Simões (UFRGS)

**Instituição coordenadora:** Universidade Federal do Rio Grande do Sul

### Principais pesquisadores

Alexandre Alencar UERJ

Andrei Kurbatov CCI/University of Maine, EUA

Francisco Eliseu Aquino UFRGS

Helmut Saurer IPG/Universität Freiburg, Alemanha

Heitor Evangelista da Silva UERJ

Jandyr M. Travassos Observatório Nacional

Jorge Arigony Neto Universidade Federal do Rio Grande (FURG)

Marcelo Arevalo Universidad de Magallanes, Chile

Márcio Cataldo UERJ

Paul A. Mayewski CCI/University of Maine, EUA

Ricardo Jaña Instituto Nacional Antártico

Chileno (INACH)

Rosemary Vieira UFRGS

Ulisses Franz Bremer UFRGS

### Legenda do mapa e figuras

**Mapa** - Mapa antártico localizando os acampamentos da equipe glaciológica do PROANTAR durante o API. Ponto vermelho 1 – platô Detroit (64° 05'S, 59° 38'W), verão 2007/08; ponto vermelho 2 – montes Patriot (80° 18'S, 81° 22'W), verão 2008/09; ponto 3 – local de perfuração do gelo no verão de 2008/2009 (monte Johns; 79° 55'S, 94° 23'W); ponto amarelo – Estação Antártica Comandante Ferraz (62°05'S, 58°23'W).

### Fotografias

1. Acampamento internacional (Brasil-Chile-EUA) no platô Detroit (64° 05'S, 59° 38'W;

1.937 m de altitude), Península Antártica, para realização de estudos glaciológicos e da química atmosférica.

2. Detalhe do acampamento no platô Detroit e uma aeronave Twin-Otter da Força Aérea Chilena (FACH) usada durante as operações.
3. Perfuração e obtenção de um testemunho de gelo. A seqüência mostra o manejo da perfuradora e o empacotamento de uma seção de 1 m.
4. No primeiro plano, o equipamento de amostragem de particulados usado no platô Detroit. Ao fundo, Alexandre Alencar (UERJ) amostra, em condições ultralimpas, neve superficial recém depositada.
5. Neve a deriva na região dos montes Patriot. Na foto o pesquisador Luiz Fernando M. Reis (UFRGS) caminha perto do local de amostragem de microparticulados.
6. Pesquisadores da expedição ao montes Patriot (2008/2009) examinam o equipamento usado para amostrar micropartículas atmosféricas.
7. Grupo de perfuração de gelo no monte Johns. Da esquerda para direita: Marcelo Arevalo (Universidad Magallanes, Punta Arenas, Chile), Jefferson C. Simões, Luiz Fernando M. Reis e Francisco E. Aquino, todos da UFRGS).







# Projeto Seasoam Estudos da Separação entre a Antártica e América do Sul: Implicações Geológicas e Biológicas





# Projeto Seasoam Estudos da Separação entre a Antártica e América do Sul: Implicações Geológicas e Biológicas

## Introdução

A Antártica, com uma área de 14 milhões de km<sup>2</sup> e uma cobertura de gelo com 3 km de espessura média, permanece o único continente pouco conhecido e explorado, em função basicamente dos desafios climáticos, geográficos, políticos e econômicos. O continente é submetido a um clima rigoroso, com temperaturas que podem atingir 80 graus negativos no seu interior. A corrente Circumpolar Antártica, contorna o continente no sentido horário, movendo toda coluna de água desde a superfície até o fundo submarino, isolando-o termicamente.

Entender de maneira detalhada a história do continente antártico ao longo do tempo geológico é fundamental para prever seu futuro e como essa evolução poderá afetar o planeta Terra como um todo. Além disso, estudos comparativos entre a Antártica e outros fragmentos do supercontinente Gondwana, o estudo das variações climáticas e a influência da ação humana sobre este ambiente tão especial são críticas para entender a evolução das comunidades biológicas locais e sua interação com outros organismos fora da região antártica.

A separação dos continentes sul-americano e antártico ocorreu durante o período Oligoceno (entre 33 e 24 milhões de anos atrás). Esse

fato acarretou três eventos importantes, o isolamento geográfico do continente antártico, o fluxo em direção norte da Água de Fundo Antártica (AABW) e a formação do Oceano Austral. O Oceano Austral é um oceano profundo, com grande parte de sua área apresentando profundidades entre 4000 e 5000 metros, com poucas zonas de águas pouco profundas e com uma plataforma continental estreita e relativamente profunda em relação às outras. A quebra da plataforma encontra-se entre as isóbatas de 400 e 800 metros, contra uma média mundial de 133 metros. Esse evento desencadeou outros processos geológicos na região da Península Antártica como a criação de um centro de espalhamento no Estreito de Bransfield, uma zona de choque de placas a oeste do Arquipélago das Shetland do Sul e o acúmulo de hidratos de gás em sedimentos modernos. Essa combinação de isolamento e mudança climática resultou em uma fauna rica em taxas endêmica e um contraste acentuado entre as biotas marinhas, terrestres e liminológicas. Na região do Oceano Atlântico Sul ocorre, nesta mesma época, uma floração de Braarudosphaera que resulta em uma camada extensa, observada desde a costa da África em testemunhos do DSDP (Deep Sea Drilling Project), até a costa brasileira nas perfurações exploratórias da Petrobras. A correlação de idades entre estes dois eventos (a abertura da passagem de Drake e a floração de Braarudosphaera), mostra claramente uma relação de causa e efeito, mostrando que a abertura da Passagem de Drake gerou mudanças climáticas importantes em nível global.

O estudo do isolamento do continente antártico pelo oceano austral e suas bacias é relevante no entendimento dos padrões de circulação da atmosfera e dos oceanos do mundo e como as comunidades biológicas vem respondendo às mudanças ambientais do passado e

do presente. Este projeto pretende contribuir para o conhecimento da evolução geológica da região e suas conseqüências a nível global gerando informações relevantes que poderão ser aplicadas em modelos para prever as mudanças futuras do meio ambiente.

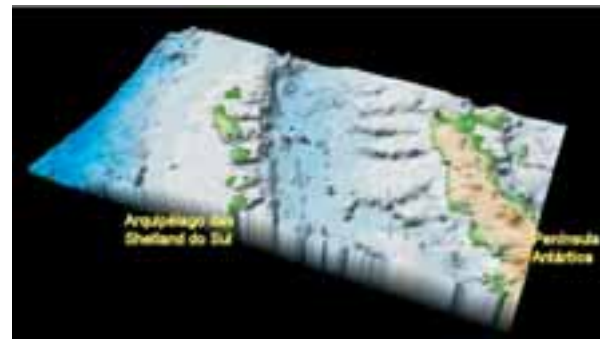
### Geologia Regional

Morfológica e geologicamente, o continente antártico pode ser dividido em duas partes, separadas pelo alinhamento das montanhas Transantárticas que seguem pela borda ocidental da reentrância do Mar de Ross e pela margem oriental do mar de Weddel.

A Antártica Oriental é formada principalmente por rochas metamórficas do Pré-cambriano e do Paleozóico, submetidas a diversas orogênicas (Davey, 1985). As feições geológicas e geomorfológicas mais marcantes são as montanhas Transantárticas, constituídas na base por rochas ígneas e metamórficas de idade Proterozóica e no topo por rochas sedimentares continentais de idade devoniana a jurássica do Supergrupo Beacon. Estas últimas são o melhor registro na Antártica do antigo supercontinente Gondwana. A margem continental deste setor da Antártica encontra-se devassada para os oceanos Índico e Atlântico e suas bacias sedimentares apresentam estilo tectônico de margem passiva, muito semelhante às bacias sedimentares do litoral brasileiro.

A Antártica Ocidental apresenta uma geologia complexa e ainda não muito bem compreendida em termos geofísicos. Aparentemente, sua estrutura é dominada pela movimentação e rotação de micro-placas que hoje constituem os blocos da península antártica, das montanhas Ellsworth, Ilha de Thruston e Terra de Mary Bird, de onde teria, no Cenozóico, se desprendido os blocos que hoje formam a Nova Zelândia.

A bacia de Bransfield é uma bacia de “retro-arco”, relativamente nova (sua idade é estimada em 5 milhões de anos em função do alto grau geotérmico observado) e formada pela tectônica extensional responsável pela separação da Península Antártica do arquipélago das Ilhas Shetland do Sul. A parte mais profunda da bacia é constituída por crosta oceânica e/ou transicional (Gamboa, 1988). A bacia é delimitada a nordeste e a sudoeste pelas zonas de fratura de Shackelton e Hero, respectivamente. Apresenta um perfil assimétrico com seu eixo de espalhamento localizado mais próximo do arquipélago das Shetland do Sul. Deste lado a margem continental é mais estreita e apresenta um talude continental mais íngreme. Do lado da Península Antártica observa-se uma plataforma continental mais larga, maior espessura de sedimentos e um talude mais suave, sugerindo que a península forneceu um volume muito maior de sedimentos para a bacia do que o arquipélago. Em ambos os lados são observados cânions e ravinas profundas no talude, geradas pelo movimento das geleiras em direção ao mar (figura 1).



**Figura 1.** Bloco diagrama 3D da batimetria do Estreito de Bransfield

### Projeto SEASOAM

O Projeto SEASOAM foi aprovado pelo comitê do Ano Polar Internacional do SCAR e finan-

ciado pelo CNPq (Projeto 52.0116/2008-9) e objetiva o estudo de seqüências deposicionais regionais encontradas nesta região e a identificação de superfícies erosionais relacionadas à variação do nível do mar. O projeto está inserido dentro do Projeto Plates and Gates.

O Ano Polar Internacional 2007-2008 é organizado pelo Conselho Internacional de Ciências (ICSU) e pela Organização Meteorológica Mundial (WMO). É o quarto evento deste tipo, seguindo os de 1882-1883, 1932-1933 e 1957-1958. A fim de se ter uma cobertura completa e igualitária das regiões Ártica e Antártica, o API 2007-2008 cobre dois ciclos anuais completos e envolve mais de 200 projetos.

### Metodologia

O projeto consiste na realização de levantamentos geofísicos, sísmica de alta resolução e magnetometria, e coleta de testemunhos de sedimentos marinhos com a finalidade de investigar a relação entre a evolução geológica da região e as mudanças climáticas do hemisfério sul.

A sísmica é um dos mais populares métodos geofísicos e utiliza a emissão e recepção de sinais acústicos emitidos em direção ao fundo marinho. Quando uma onda atinge a interface entre duas camadas com propriedades acústicas contrastantes, parte desta energia é refletida de volta a superfície e parte é transmitida para camada de baixo. Esse processo se repete cada vez que o sinal encontra uma nova interface.

Essas propriedades acústicas estão intimamente ligadas às características geológicas das camadas e, com freqüência, cada uma destas interfaces corresponde ao limite entre duas camadas geológicas diferentes. O perfil sísmico representa, portanto, uma seção verti-

cal das camadas geológicas abaixo do fundo marinho. A relação estrutural entre as diversas camadas geológicas nos permite avaliar a evolução geológica de uma região, incluído aqui os efeitos dos movimentos relativos de subida e descida do nível do mar. O limite de profundidade da investigação sísmica vai depender basicamente da freqüência do sinal transmitido e do tipo de sedimento.

O levantamento sísmico tem como principal objetivo a identificação das superfícies erosivas e dos depósitos gerados pelo acúmulo de sedimentos na margem continental leste do Arquipélago das Shetland do Sul. Os dados sísmicos coletados na Operação 27 pelo NOc Ary Rongel serão correlacionados com dados sísmicos e bioestratigráficos da margem brasileira depositados na UFF, onde se situa o banco de dados sísmicos internacionais da Antártica, e na UFRJ, onde serão examinados os indicadores biológicos atuais, com a utilização de dados nacionais que fazem parte da equipe deste projeto. A combinação deste trabalho com dados coletados por instituições e programas internacionais também será muito importante; aí estarão atuando pesquisadores das universidades de Granada, Barcelona e Leeds, instituições detentoras de um excelente acervo sísmico.

A magnetometria por sua vez objetiva detectar anomalias do campo magnético provocados pela presença de corpos ou estruturas geológicas enterradas, em particular de material com alta susceptibilidade magnética. Muitas rochas, tal como o basalto, são ricos em elementos férricos, designadamente magnetita. Durante a formação destas rochas, o magma que chega à superfície em zonas de riftes oceânicos, ao entrar em contato com a atmosfera ou a água do mar (no caso de vulcanismo submarino), resfria e fossiliza o campo magnético

da Terra. Por motivos ainda não completamente entendidos, o campo magnético da Terra altera sua polaridade de tempos em tempos. Existem provas de que estas inversões ocorrem desde há 330 milhões de anos. Durante esse período, ocorreram mais de 400, com uma média de uma em cada 700.000 anos. No entanto, o tempo entre inversões não é constante, variando desde menos de 100.000 anos até dezenas de milhões de anos. Em períodos geológicos recentes, essas inversões acontecem, em média, uma vez em cada 200.000 anos, mas a última ocorreu há 780.000 anos. Atualmente estamos sob o estado “normal” do campo magnético, onde os pólos norte e sul geográfico e magnético da Terra encontram-se aproximadamente na mesma posição. No estado considerado “inverso”, a posição do pólo norte geográfico corresponde aproximadamente à posição do pólo sul magnético. Assim, a medida que novo magma é extrudido, as rochas já consolidadas são afastadas para os lados pelo processo de expansão oceânica, transportando com elas a polarização do campo magnético atuante no momento em que se solidificaram. O resultado é um padrão em bandas, simétrico em relação ao eixo principal do rift. Essas bandas magnéticas observadas no fundo dos oceanos são colocadas num contexto cronológico através da datação das rochas recolhidas em cada uma das faixas.

O levantamento magnetométrico do projeto SEASOAM consiste em seis perfis transversais ao eixo do estreito de Bransfield, estendendo-se desde as Ilhas Shetland até as proximidades da península Antártica. A finalidade do levantamento é demarcar as faixas magnéticas no fundo oceânico do Estreito de Bransfield a fim de datar o início de sua abertura. Outro objetivo deste estudo é avaliar o atual estado de desenvolvimento do rift de Bransfield. Evidências indicam que atualmente o processo pode estar estagnado ou funcionando a taxas muito baixas.

Complementar à estes levantamentos geofísicos, serão coletados testemunhos geológicos dos sedimentos superficiais do fundo marinho nas duas regiões a fim de se correlacionar a geologia com os dados sísmicos e magnetométricos obtidos nos dois levantamentos. Para a coleta de testemunhos será utilizado um amostrador do tipo Piston-corer, que permite a coleta de colunas de sedimentos com até 6 metros de comprimento.

Por meio do trabalho conjunto com os pesquisadores nacionais e estrangeiros, buscaremos correlacionar os depósitos no fundo do Oceano Atlântico adjacente à margem brasileira, com os resultados procedentes das regiões antárticas obtidos nas expedições espanholas e inglesas.

Para o levantamento de perfilagem acústica foi utilizado um sistema de alta resolução modelo 3200 XS da EdgeTech. Esse sistema é composto por um equipamento rebocado SB-512i que opera com frequências entre 500 Hz e 5 KHz, permitindo a investigação até 200 metros abaixo do leito marinho dependendo das condições do sedimento. Para o levantamento magnetométrico foi utilizado um magnetômetro de precessão de prótons Geometrics modelo G-877 com resolução de 0,1 nT.

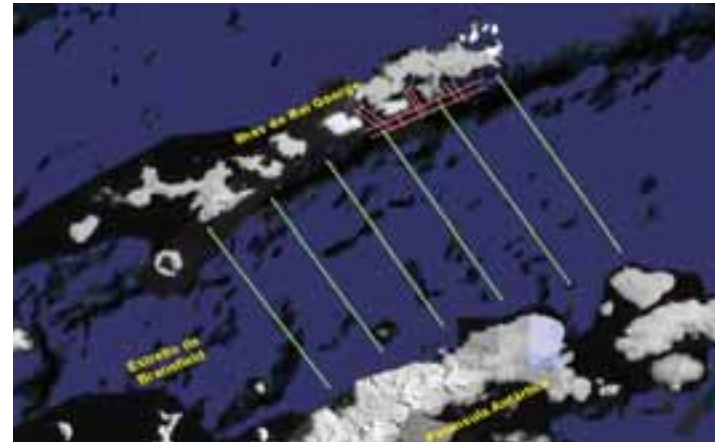




**Figura 2.** Suíte de equipamentos geofísicos utilizados no projeto

### Área de trabalho

A área do levantamento geofísico do projeto SEASOAM está localizada no Estreito de Bransfield, entre a Ilha do Rei George e a península Antártica. O levantamento sísmico corresponde à região dos três fiordes da Ilha do Rei George, Baía do Almirantado, Baía Maxwell e Baía do rei George, além de dois perfis na face SE da ilha, na plataforma continental. A malha de levantamento sísmico possui aproximadamente 400 km ou 216 milhas náuticas. O levantamento magnetométrico é constituído de 6 perfis transversais ao eixo principal do Estreito de Bransfield com aproximadamente 100 km de comprimento, totalizando 600 km ou 320 milhas náuticas (figura 3).



**Figura 3.** Localização dos perfis geofísicos (magnetometria: verde; sísmica: vermelho)

Por motivos de segurança da embarcação e dos equipamentos, os perfis navegados estarão restritos à isóbata de 100 m. O período ideal para realização do levantamento é o mês de dezembro, devido ao gelo ainda encontrar-se em grande parte preso, facilitando a navegação e preservando a integridade dos instrumentos. No entanto, não há nenhuma restrição para que o levantamento ocorra durante os outros meses.

### Resultados esperados

Qual a idade precisa da Bacia de Bransfield? O rift ainda está ativo? Qual a taxa de espalhamento do fundo oceânico na região? Foi esta taxa constante ao longo do tempo? Como a abertura do Estreito de Drake afetou a circulação oceânica no oceano Atlântico? Quais foram as conseqüências climáticas em escala global da evolução geológica desta região?

O projeto SEASOAM pretende através do estudo da geologia da região do estreito de Bransfield responder de forma satisfatória a estas perguntas.

### Equipe

Arthur Ayres – Coordenador  
Universidade Federal Fluminense

Luis Antonio Pierantoni Gamboa  
Universidade Federal Fluminense

Luiz Carlos Torres  
Centro de Hidrografia da Marinha

Diego Sá de Souza  
Universidade Federal Fluminense

Fernanda Vianna da Conceição  
Universidade Federal Fluminense

Pedro Jonas Teixeira Amaral  
Universidade Federal Fluminense

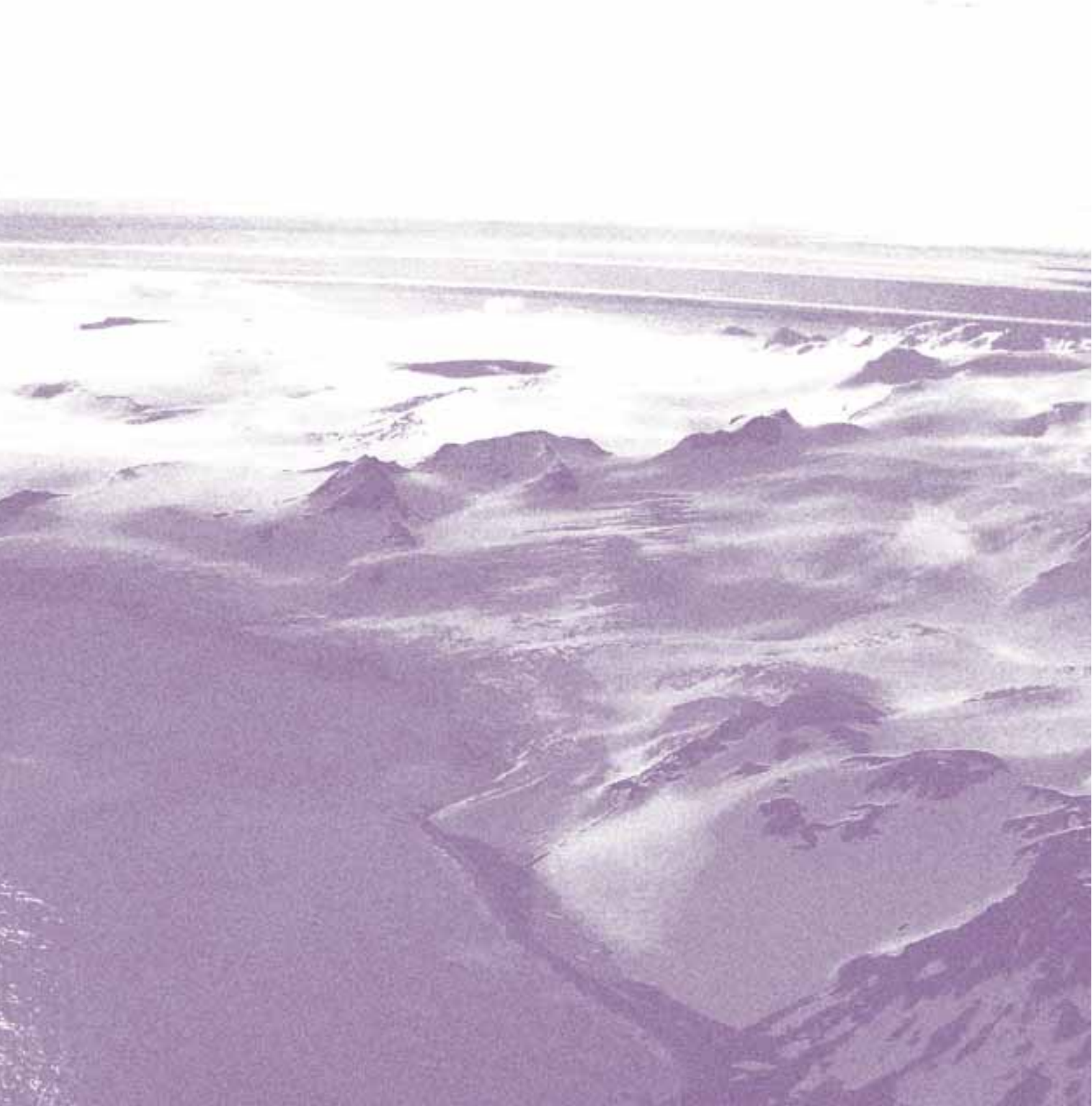
### Referências

Davey, F.J., (1985) – The Antarctic Margin and its Possible Hydrocarbon Potential. *Tectonophysics*, V.14. P: 443-470.

Galindo-Zaldívar, J., Gamboa, L.A.P., Maldonado, A., Nakao, S. and Bochu, Y. (2006) - Bransfield Basin Tectonic Evolution. Fütterer DK, Damaske D, Kleinschmidt G, Miller H, Tessensohn F (eds) (2006) *Antarctica: Contributions to global earth sciences*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, pp 243–248.

Gamboa, L.A.P. (1988) – Pesquisas geofísicas Executadas pela Petrobras no Estreito de Bransfield e Margem Continental de Bellingshausen, Antártica. In *Anais do 2º Congresso Latino-Americano de Hidrocarbonetos*, Rio de Janeiro.







**Dinâmica do Permafrost,  
Caracterização e  
Mapeamento de  
Criossolos da Antártica  
Marítima e Peninsular  
no Cenário de Mudanças  
Climáticas Globais**



# Dinâmica do Permafrost, Caracterização e Mapeamento de Criossolos da Antártica Marítima e Peninsular no Cenário de Mudanças Climáticas Globais

## Introdução e Objetivos

A formação de solos e o desenvolvimento dos ecossistemas terrestres na Antártica estão restritos a pequenas áreas livres de gelo que ocorrem ao longo da costa ou em cadeias montanhosas elevadas. Ao todo, estas áreas totalizam menos de 0,4 % da área total do continente. Solos criogênicos ou criossolos são típicos das regiões polares e subpolares e têm como principal característica a presença de uma camada permanentemente congelada, denominada permafrost (Kimble, 2004).

O permafrost é parte da criosfera terrestre ocorrendo nas regiões polares e subpolares do planeta. Na Antártica, ainda são escassas informações a respeito da distribuição, espessura, idade, propriedades físicas e químicas do permafrost. As características da camada ativa (porção do solo que descongela durante parte do ano) e do permafrost são altamente sensíveis às mudanças climáticas.

Estas mudanças resultam em importantes respostas na hidrologia regional, funcionamento dos ecossistemas terrestres, estabilidade da paisagem e nos impactos ambientais de origem antrópica. Ainda, os solos e permafrost da Antártica guardam importantes registros de

mudanças ambientais e atividade biológica ocorridas a milhões de anos atrás.

Criossolos de regiões polares boreais armazenam cerca de 26 % do total de C orgânico estocado nos ecossistemas terrestres do planeta (Post et al., 1982). Pesquisas indicam que até a década de 70 estes solos funcionavam como reservatórios ou depósitos de C, em função da proteção à decomposição condicionada pelo estado de congelamento do permafrost (Michaelson et al., 2004). Com o aumento da temperatura média global, observou-se entre os anos 80 e 90, inversão do fluxo de C, transformando estas áreas em fontes atuais e potenciais de C para a atmosfera (Michaelson et al., 2004; Oechel et al., 1992).

Existem poucos estudos sobre a qualidade, quantidade e dinâmica da matéria orgânica nos ecossistemas terrestres da Antártica (Blume et al., 2002; Beyer et al., 2004).

A região da Antártica Marítima apresenta os maiores valores de temperaturas e precipitação de todo o continente, favorecendo a produção primária, a pedogênese e a atividade biológica em geral.

Visando o entendimento mais amplo da distribuição, dinâmica e características de solos e permafrost na Antártica, foi lançado em conjunto pela International Permafrost Association (IPA), pelo grupo de trabalho do SCAR - Antarctic Soils, Permafrost and Periglacial Environments e pelo International Union of Soil Science Cryosols Working Group o projeto Antarctic and Sub-Antarctic Permafrost, Soils and Periglacial Environments (ANTPAS). O ANTPAS constitui uma proposta internacional para o Ano Polar Internacional, apoiada pelo Scientific Committee on Antarctic Research (SCAR - atividade 33 do API) que objetiva a caracterização, o ma-

peamento e o monitoramento de solos e permafrost da Antártica (<http://erth.waikato.ac.nz/antpas/>).

Apoiado no âmbito do Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR) para Ano Polar Internacional, o presente projeto representa a contribuição brasileira para o ANTPAS.

Nosso objetivo é a caracterização detalhada e mapeamento de solos e permafrost da Região 8 da Antártica que, conforme definido pelo ANTPAS, engloba o arquipélago das Shetlands do Sul e as áreas livres de gelo na porção norte da Península Antártica, visando a compreensão dos efeitos de mudanças climáticas na dinâmica do permafrost e no funcionamento dos ecossistemas terrestres desta região. O projeto é uma das ações realizadas pelo Núcleo Terrantar [www.terrantar.com.br](http://www.terrantar.com.br), sediado na Universidade Federal de Viçosa, que é um dos sete grupos que compõem o recém criado Instituto de Ciência e Tecnologia da Criosfera ([http://www.cnpq.br/programas/inct/\\_apresentacao/inct\\_criosfera.htm](http://www.cnpq.br/programas/inct/_apresentacao/inct_criosfera.htm)).

As pesquisas inter-relacionadas incluem processos e fenômenos periglaciais, estimativa de estoques de carbono orgânico no solo de regiões polares, mapeamento regional do permafrost e solos, gerenciamento e disponibilização de dados na web e educação ambiental.

Estudos de permafrost e ecologia de solos polares são transversais (multi e inter-disciplinares), pois envolvem o entendimento de inter-relações complexas entre a geosfera, criosfera e a biosfera. Portanto, para atingir o objetivo geral tem-se os seguintes objetivos específicos:

a) Estudo detalhado da camada ativa e permafrost em áreas piloto na região da Antártica Marítima e Peninsular (região 8), em termos de dinâmica térmica, hídrica e

físico-química, estabelecendo um banco de dados sobre os Criosolos da região 8;

- b) Estudar a dinâmica biogeoquímica dos solos frente à aceleração do degelo do permafrost, com ênfase nos mecanismos de seqüestro e emissão de carbono nos solos;
- c) Estudar a ciclagem biogeoquímica promovida por microrganismos e pela cobertura microfítica (briófitas, líquens e cianobactérias), no cenário de aprofundamento da camada ativa e degelo do permafrost;
- d) Mapeamento dos criossolos, formas de relevo, comunidades vegetais e permafrost nas áreas piloto estudadas sobre uma base cartográfica adequada.

As ações do projeto envolvem professores e estudantes de graduação e pós-graduação de diversas instituições de ensino e pesquisa do Brasil, contando ainda com a participação de colaboradores internacionais.

Além do CNPq, a Fundação de Amparo a Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG), a Fundação Estadual de Meio Ambiente do Estado de Minas Gerais e a Petrobrás são importantes parceiros, alocando recursos financeiros e humanos na execução do projeto.

### Abordagem Metodológica

Para atingir os objetivos propostos estão previstas, até o verão de 2009/2010, campanhas de campo em todas as principais áreas livres de gelo da região 8.

Em função da dificuldade de acesso e descontinuidade das áreas livres de gelo é necessária a montagem de acampamentos em áreas remotas (Figura 1), o que só é possível graças ao eficiente apoio logístico e larga



experiência do PROANTAR em acampamentos antárticos. Uma vez acampadas, as equipes multidisciplinares são responsáveis pelas atividades necessárias para se atingir os objetivos almejados.

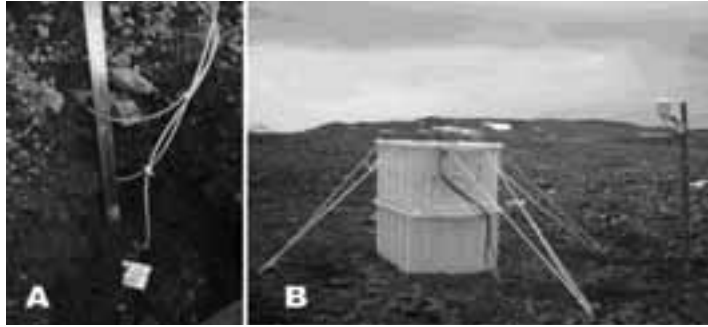


**Figura 1.** Acampamento utilizado para pesquisas na margem oeste da Baía do Almirantado, Ilha Rei George.

A caracterização e classificação dos solos se dão mediante o método clássico de abertura de trincheiras, descrição morfológica do perfil de solo, coleta de amostras e interpretação de análises químicas, físicas, mineralógicas e micromorfológicas. No caso dos solos da Antártica, visto que a temperatura do solo é um parâmetro de grande importância tanto para o entendimento do funcionamento como para a classificação dos solos, são utilizados termômetros digitais para obtenção da temperatura dos horizontes (camadas) que formam o solo. Para o presente projeto, está sendo utilizada, ainda, a base de dados gerada desde 2002 pelo nosso grupo de pesquisa acerca de solos da região (Michel et al., 2006; Simas et al., 2006, 2007a, 2007b, 2008; Schaefer et al., 2008).

Para o monitoramento da dinâmica térmica e hídrica do permafrost são selecionados perfis de solo representativos dos diversos compartimentos geomorfológicos e materiais de origem. A fim de se verificar a relação entre as características do solo, dinâmica do permafrost e a colonização biológica, são escolhidos perfis sob as diferentes coberturas vegetais existentes, tais como tapetes de musgos, líquenes, plantas superiores (*Deschampsia Antarctica* e *Colobanthus Quitensis*) e associações destes organismos. Para entender o efeito das condições atmosféricas sobre a dinâmica do solo, o monitoramento compreende áreas livres de gelo ao longo de um gradiente pedoclimático, que compreende desde áreas mais secas e frias, como solos menos desenvolvidos, ao longo da península Antártica até áreas mais úmidas e quentes, com solos mais desenvolvidos, ao longo das ilhas que compõem o arquipélago das Shetlands do Sul.

Em cada perfil selecionado para o monitoramento, são instalados sensores de temperatura e umidade em diferentes horizontes (Figura 2) dentro do primeiro 1 metro de perfil ou até chegar ao permafrost ou no contato com a rocha. Os sensores são alimentados por baterias e ligados a um equipamento datalogger que registra e armazena as variações diárias de temperatura e umidade do solo durante todo o ano. O uso destas tecnologias de ponta permite que, uma vez instalados os sistemas, as áreas sejam visitadas apenas uma vez por ano, quando são descarregados os dados para um computador e trocadas as baterias para o ano seguinte. A distribuição espacial do permafrost obtida mediante outra tecnologia de ponta, que é o Radar de Penetração de Solo (RPS), que permite identificar ao longo de um transecto a profundidade onde inicia-se a camada de solo congelado.



**Figura 2.** A) Conjunto de sensores instalados para monitoramento da camada ativa. B) Sistema montado, protegido para resistir em funcionamento ao longo de um ano sob condições climáticas extremas.

Para um maior entendimento das relações ecológicas em cada conjunto de permafrost, criossolo e vegetação, equipes de botânicos descrevem a composição florística e as relações fitossociológicas em cada ponto estudado (Figura 3). Estudos da composição química dos solos, rochas e da vegetação permitem investigar os processos de ciclagem biogeoquímica e a disponibilização de elementos químicos neste solos. Tais dados são de fundamental importância para a obtenção de valores de referência para diversos elementos, entre estes os metais pesados, que permitem então verificar a relação entre a ação antrópica e a contaminação dos ecossistemas terrestres.



**Figura 3.** Pesquisadores realizando coleta de perfil de solo e caracterização botânica em área densamente vegetada.

Para investigar a resposta da emissão de C-CO<sub>2</sub> do solo aos aumentos da temperatura em diferentes condições de vegetação no ambiente da região da Antártica Marítima, estão sendo duas técnicas de medição *in situ*: i) câmpulas fechadas contendo frasco com solução de NaOH (câmara estática) e sistema portátil LI-8100 que é acoplado à câmara dinâmica. Além disso, amostras dos horizontes superficiais e do permafrost são coletadas e mantidas sob baixa temperatura até a realização de ensaios de incubação com temperatura controlada, simulando-se aumentos da temperatura do solo, a fim de se avaliar o potencial de liberação de C-CO<sub>2</sub> em um eventual cenário de aquecimento. A coincidência dos locais de monitoramento da temperatura e dos experimentos com emissão de CO<sub>2</sub> visa permitir a interpretação integrada e entre estes dois fenômenos: mudança climática e alteração dos fluxos de C-CO<sub>2</sub>.

Para a geração dos mapas temáticos, que consistem em um dos principais produtos do projeto, são utilizadas técnicas de sensoriamento remoto, sistema de posicionamento global (GPS) e geoprocessamento. Foram adquiridas imagens de alta resolução das áreas a serem visitadas, que consistem de base para a interpretação das formas do terreno, distribuição dos solos, comunidades vegetais e do permafrost. No campo, a utilização de GPS diferencial permite a aquisição de pontos com precisão centimétrica, permitindo a geração de mapas em escala detalhada. Todos os pontos de descrição e coleta são georreferenciados e posteriormente plotados sobre a imagem de forma a guiar a delimitação das unidades de mapeamento dos diferentes temas.

#### Resultados Parciais e Ações Futuras

O banco de dados gerado a partir de pesquisas iniciadas em 2002 é composto por mais de 80 perfis de solo, descritos e analisados nas áreas livres de gelo das ilhas Rei George e Livingstone. Os solos são via de regra pouco intemperizados, com destaque para os processos de intemperismo físico do substrato mineral, favorecido pelos frequentes ciclos diários de congelamento e descongelamento da água do solo. A expansão e contração da massa de água causa o rompimento e desagregação das partículas minerais em outras de menor tamanho, porém sem alterar sua composição química. Contudo, existem evidências de que o intemperismo químico também atua de forma significativa na gênese dos solos desta região (Simas et al., 2007b). A precipitação elevada de chuva em termos de Antártica e a intensa atividade biológica são fatores que favorecem os processos químicos de alteração dos substratos. Ao longo do verão, o degelo resulta na formação de inúmeros cursos d'água que inundam os níveis topográficos mais rebaixados formando extensas áreas alagadas

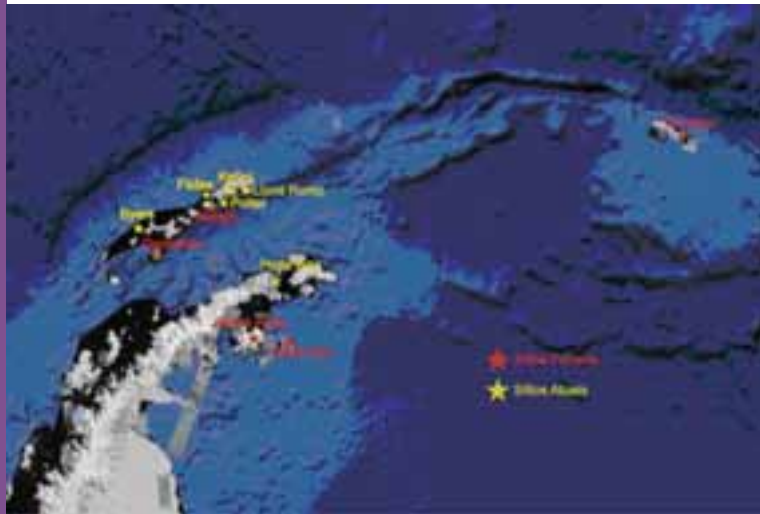
Os solos exibem características químicas fortemente relacionadas ao material de origem. Solos derivados de rochas e sedimentos basálticos e andesíticos apresentam reação alcalina e teores elevados de cálcio e magnésio. Do ponto de vista mineralógico, a presença de minerais de fácil intemperismo (feldspatos, olivinas e piroxênios) na fração argila evidenciam o baixo grau de alteração química. Por outro lado, a identificação de aluminossilicatos pouco cristalinos (alofanas) sugere que a alteração química também ocorre (Simas et al., 2006).

Já os solos derivados de rochas afetadas por sulfetos apresentam-se fortemente ácidos, com baixos valores de cálcio e magnésio e altos valores de alumínio. A presença de caulinita e óxidos de ferro pouco cristalinos evidencia pronunciada alteração química destes solos (Simas et al., 2006).

Os solos afetados pela atividade de aves, com destaque para os pingüins, ditos ornitogênicos, são os solos mais desenvolvidos da região. Ocorre um elevado aporte de dejetos de aves, ricos em nitrogênio e fósforo, que após reagirem com o substrato mineral resultam na formação de minerais de fosfato raros em ambientes naturais, que chegam a representar mais de 70 % da fração argila dos solos. Os Criosolos Ornitogênicos constituem os principais reservatórios de C orgânico desta região da Antártica (Tatur et al., 1997; Michel et al., 2006; Simas et al., 2006, 2007a). Grande parte do C estocado em Criosolos encontra-se protegido na camada permanentemente congelada (Michaelson et al., 2004; Simas et al., 2007a), sugerindo um alto potencial de emissão de C-CO<sub>2</sub> diante do cenário atual de aquecimento global e degradação do permafrost. Experimentos em laboratório indicaram aumento de 10 (dez) vezes na taxa respiratória de criossolos do Ártico após um aumento da

temperatura de  $-0,5$  a  $0^{\circ}\text{C}$ , 4 vezes de  $0^{\circ}\text{C}$  a  $5^{\circ}\text{C}$  e duas vezes quando a temperatura foi aumentada continuamente até  $25^{\circ}\text{C}$  (Michaelson et al., 2004).

No verão de 2007/2008, durante a OPERANTAR XXVI, teve início a implantação da rede de sensores para monitoramento da camada ativa e do permafrost (Figura 4). Em função da facilidade de acesso e apoio logístico, a península Keller, onde está situada a Estação Antártica Comandante Ferraz, foi escolhida como área piloto, na qual foram instalados oito sítios para monitoramento.



**Figura 4.** Imagem de satélite de parte da Península Antártica e do arquipélago das Shetlands do Sul, ilustrando a localização de sensores para monitoramento da camada ativa ao longo de um gradiente pedoclimático, abrangendo desde áreas de deserto polar até porções mais úmidas e menos frias desta porção do continente Antártico.

Além destes, foi instalado um sítio na península Potter e outro na península Fildes, todos na ilha Rei George. Durante a OPERANTAR

XXVII, os dados climáticos referentes a um ano foram coletados e encontram-se em análise. Além disso, foram instalados mais dois sítios nas ilhas Livingstone, na Baía Esperanza (península Antártica) e Lions Rump. Nestas áreas, são comparados também sítios com e sem vegetação, além de comparar tipos de vegetação (líquens, briófitas, Deschampsia). Todos os sítios serão monitorados por no mínimo cinco anos, para prover uma base segura de dados temporais, com visitas anuais aos sítios para manutenção dos sistemas de sensores, download dos dados coletados e troca de baterias. Apesar de estar na fase inicial de coletas e interpretação dos dados, não permitindo maiores conclusões no momento, a aquisição em tempo real de um conjunto de dados temporal e espacialmente distribuídos de forma a representar o estado do permafrost e da camada ativa ao longo de um gradiente pedoclimático na Antártica, é uma das principais contribuições do presente projeto ao escopo do projeto ANTPAS/API.

Os dados coletados vão servir de base para a estimativa segura do regime de temperatura dos solos e permafrost e sua distribuição na Antártica Marítima, além de validar cenários de modelos climáticos e de dinâmica do permafrost. As observações e medidas resultantes vão servir de elemento chave para o desenvolvimento de uma Rede Internacional de Observações de Permafrost (INPO), conforme definido no projeto ANTPAS.

As ações futuras do projeto consistem na complementação da rede de sítios para monitoramento térmico e hídrico e na consolidação da legenda dos mapas temáticos para as diversas áreas estudadas. Estão previstas expedições para as Ilhas Deception, James Ross, Greenwich, Seymour, Vega e para a porção norte da Península Antártica (Baía Esperanza),

assim como para as Península Barton (ilha Rei George) e Byers, de forma a completar o mapeamento das áreas livres de gelo nesta região da Antártica.

Feito isso, os estudos de caracterização e mapeamento devem se voltar para a Antártica continental, de forma a ampliar o conhecimento e a abrangência das atividades de pesquisa hoje quase que totalmente restrita as ilhas ao norte da península Antártica.

Além disso, terão início os trabalhos de interpretação dos dados coletados ao longo dos anos de forma a permitir maiores conclusões acerca dos impactos das mudanças climáticas globais sobre o funcionamento e formação dos ecossistemas terrestres da Antártica.

### **Equipe**

Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer<sup>1</sup>, Felipe Nogueira Bello Simas<sup>2</sup>, Marcio Rocha Francellino<sup>3</sup>, Rogério Mercandelle Santana<sup>2</sup>, Roberto Ferreira Machado Michel<sup>4</sup>, Eduardo Sá Mendonça<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Coordenador do projeto - Professor Associado, Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa. carlos.schaefer@ufv.br;

<sup>2</sup> Bolsistas de Pós-Doutorado (CNPq), Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa

<sup>3</sup> Professor Adjunto, Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

<sup>4</sup> Analista Ambiental, Fundação Estadual de Meio Ambiente do Estado de Minas Gerais

<sup>5</sup> Professor Associado, Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa

## Bibliografia

Beyer, L., White, D.M., Pingpank, K., Bolter, M. 2004. Composition and transformation of Soils Organic Matter in Cryosols and Gelic Histosols in Coastal Eastern Antarctica (Casey Station, Wilkes Land). In: J. Kimble (Editor), *Cryosols - Permafrost Affected Soils*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 525-557.

Blume, H.P., Beyer, L., Kalk, E. and Kuhn, D., 2002. Weathering and Soil Formation. In: L. Beyer e M. Bölker (Editors), *Geoecology of Antarctic Ice-Free Coastal Landscapes*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 114-138.

Kimble, J.M (ed). *Cryosols, Permafrost-affected soils*. Springer-Verlag. 725p. 2004

Michaelson, G.J, Dai, X.Y. and Ping C.L. Organic Matter and Bioactivity in Cryosols of Arctic Alaska. In: Kimble, J.M. (ed) *Cryosols, Permafrost-affected soils* p. 463-479. 2004

Michel, R. F. M., Schaefer, C.E.G.R., Dias L., Simas, F.N.B., Benites, V., Mendonça, E.S., 2006. Ornithogenic Gelisols (Cryosols) from Maritime Antarctica: pedogenesis, vegetation and carbon studies. *Soil Sci. Soc. Am. Journal*. 70:1370-1376.

Oechel WC, Billings WD. 1992. Effects of global change on the Carbon balance of Arctic plants and ecosystems. In: Chapin III F.S., Jefferies R.L., Reynolds J.F., Shaver G.R. & Svoboda J. (eds). *Arctic Ecosystems in a Changing Climate*. Academic Press, Inc p. 139-168.

Post, W.M., Emanuel, W.R., Zinke, P.J., Strangenberger, A.G. 1982. Soil Carbon pools in the world life zones. *Nature* 298:156-159.

Simas, F. N. B.; Schaefer, C. E. G. R. ; Melo, V. F.; Guerra, M. B. B.; Saunders, M.; Gilkes, R. J., 2006. Clay-sized minerals in permafrost-

affected soils (Cryosols) from King George island, Antarctica. *Clays and Clay Minerals, Estados Unidos*, v. 54, n. 6, p. 723-738.

Simas, F. N. B.; Schaefer, C. E. G. R. ; Mendonça, E. S. ; Silva, I. R.; Ribeiro, A S S . Organic carbon stocks in permafrost-affected soils from Admiralty Bay, Antarctica. 2007a. *US GEOLOGICAL SURVEY*, v. 1047, p. 76-79.

Simas, F. N. B.; Schaefer, C. E. G. R. ; Melo, V. F.; Albuquerque Filho, M. R.; Michel, R. F. M.; Pereira, V. V.; Gomes, M. R M ; Costa, L. M., 2007b. Ornithogenic cryosols from maritime Antarctica: phosphatization as soil forming process. *Geoderma (Amsterdam)*, v. 138, p. 191-203.

Simas, F. N. B.; Schaefer, C. E. G. R. ; Albuquerque Filho, M. R.; Francelino, M. R.; Fernandes Filho, E. I. ; Gilkes, R. J.; Costa, L. M., 2008. Genesis, properties and classification of cryosols from Admiralty Bay, maritime Antarctica. *Geoderma (Amsterdam)*, v. 144, p. 116-122.

Schaefer, C. E. G. R. ; Simas, F. N. B.; Gilkes, R. J.; Costa, L. M.; Albuquerque, M. A., 2008. Micromorphology and microchemistry of selected cryosols from maritime Antarctica. *Geoderma (Amsterdam)*, v. 144, p. 104-115.

Tatur, A., Myrcha, A. and Niegodzisz, J., 1997. Formation of abandoned penguin rookery ecosystems in the maritime Antarctic. *Polar Biol.*, 17:405-417.

Ministério da  
Ciência e Tecnologia

