

Interrelações Oceano-Continente no Cenário das Mudanças Globais

Coordenador: Luiz Drude de Lacerda

Grupo de Trabalho

Coordenação:

Luiz Drude de Lacerda (UFC/ABC)

Participantes:

Edmo Campos (USP)

Jose Muelbert (FURG)

Björn Kjerfve (WMU)

Alberto Piola (UBA/SHN/CONICET)

Sidney Mello (UFF)

Marcos Cortesão Barnsley Scheuenstuhl (ABC)

José Marengo (INPE/ABC)

Pedro Leite Dias (USP/LNCC/ABC)

Michel Mahiques (USP)

Jose Maria Landim Dominguez (UFBA)

1. Introdução

Acompanhando uma tendência internacional, a *Academia Brasileira de Ciências* resolveu envolver os comitês dos programas *International Geosphere-Biosphere Programme* (IGBP), *International Human Dimensions Programme on Global Environmental Changes* (IHDP), *World Climate Research Programme* (WCRP) e *International Programme on Biodiversity Science* (DIVERSITAS), sob sua supervisão no Brasil, em uma única articulação, instituindo o **Grupo de Estudos sobre Mudanças Ambientais Globais**, ficando assim em sintonia com o *Earth System Science Partnership* (ESSP), que representa um esforço internacional de integração dos quatro grandes programas relacionados às mudanças ambientais globais. Uma das primeiras atribuições do Grupo de Estudos é a realização de simpósios voltados para a identificação das lacunas da ciência brasileira na área de atuação do grupo e que objetivam apontar para uma agenda de pesquisa em áreas estratégicas onde investimentos devem ser focados. Duas grandes áreas foram inicialmente escolhidas como temas destes simpósios: "**Desastres Naturais"** e **"Ciências do Mar"**. Nesta última, alguns fatores conjunturais e históricos demonstram que a oceanografia brasileira concentrou, durante décadas, seus estudos em regiões estuarinas e costeiras, deixando em segundo plano as questões voltadas ao oceano profundo. Entretanto, questões relacionadas às mudanças climáticas, a própria previsão de desastres naturais e, mais recentemente, a necessidade de conhecimento para exploração de recurso do mar profundo (e.g. o cenário aberto pelo pré-sal), criaram a necessidade de o país olhar para o sistema oceânico.

As relações oceano-continente desempenham um papel fundamental nas mudanças globais, mas são ainda pouco entendidas, particularmente no oceano Atlântico Sul e Tropical. O Brasil tem desenvolvido pesquisas científicas de alto nível em Ciências do Mar nas regiões costeiras e de plataforma na borda oeste deste oceano, mas ainda carece de uma base cientifica sólida no que concerne aos processos oceânicos em grande escala. Tal deficiência dificulta uma abordagem holística do continuo continente-oceano, seja via atmosfera ou via sistemas fluviais, o que dificulta a interpretação do comportamento do sistema terrestre em um cenário de mudanças climáticas.

Buscando contribuir para um olhar da ciência brasileira sobre esta temática e, eventualmente, subsidiar as políticas públicas brasileiras para o setor, a *Academia Brasileira de Ciências* promoveu, no período de 2-3 de outubro de 2012, o simpósio ***"Interrelações Oceano-Continente no Cenário das Mudanças Globais".*** Esse encontro, que contou com apresentações de especialistas sobre processos e teleconexões oceânicas, visou desenvolver uma análise crítica do estado atual do conhecimento na área e, também, da participação brasileira em iniciativas internacionais de pesquisa e monitoramento oceânico.

2. Bases Científicas

Apesar da conscientização de ser enorme a lacuna existente sobre o conhecimento científico das Interrelações Oceano-Continente no Oceano Atlântico Sul e Equatorial, alguns tópicos

puderam ser elencados como prioritários devido à importância de seu papel na modulação das interações Oceano-Continente.

2.1. Escalas aplicáveis às interações Oceano-Continente

Alguns modelos climáticos complexos usados no IPCC para definir cenários para o século XXI reproduzem a variabilidade na escala decadal/multidecadal, interanual e intrasazonal, porém, com menor magnitude que nas observações. Uma pergunta fundamental é: quais mecanismos são carentes nos modelos de baixa resolução usados no IPCC? No caso específico da variabilidade decadal/multidecadal, modelos não lineares simplificados do sistema climático (modelo simples, para a atmosfera, acoplado a um modelo simples dos oceanos) contêm um mecanismo de transferência de energia desde a escala diurna até a decadal/multidecadal. Esses modelos simplificados mostram que os modelos climáticos complexos precisam descrever de forma mais realista os fenômenos de pequena escala, como por exemplo, os responsáveis pela variação diurna (em particular o processo de liberação de calor na formação da chuva) para que a energia na escala diurna possa modular a escala intrasazonal, que por sua vez modula a escala decadal/multidecadal. Uma análise do papel da variabilidade das emissões de energia por parte do Sol e o papel do vulcanismo na variabilidade de baixa frequência, baseada em resultados observacionais da reconstituição do clima no último milênio, mostram que estes vetores podem atuar de forma significativa mesmo na escala multidecadal. Portanto, além dos mecanismos internos de variabilidade climática de baixa frequência, é preciso incluir de forma mais realista nos modelos a forçante solar e a concentração de aerossóis, devido à atividade vulcânica e mudanças no uso da terra. Grandes variações do clima no último milênio estão fortemente associadas aos ciclos solares e vulcanismo. Sobreposta a essas forçantes externas, observa-se a variabilidade decadal/multidecadal e interanual, que tem origem na dinâmica interna associada às não linearidades no acoplamento oceano/atmosfera e no papel de fenômenos de pequena escala associados à convecção úmida. A atividade humana, devido a aumento na concentração de gases de efeito estufa, como consequência da queima de combustíveis fósseis, também ganhou importância nesses fenômenos desde o início da era industrial. Exemplos de oscilações atmosféricas, geralmente associadas às forçantes térmicas (TSM, Temperatura na Superfície do Mar, nos oceanos tropicais, por exemplo), determinam interações oceano-atmosfera que se propagam pelo planeta, determinando mudanças no tempo e clima em regiões remotas, causando as chamadas teleconexões atmosférico-oceânicas. O El Niño representa o melhor exemplo, onde o aquecimento das águas superficiais no Oceano Pacífico do oeste pode determinar variações nos padrões de chuva em áreas distantes como no Nordeste ou Sul do Brasil, com sinal se propagando através de um padrão de ondas. Isso pode ser detectado em escalas intrasazonais, sazonais, interanuais e decadais.

Não se deve ignorar também que as mudanças climáticas mencionadas acima certamente resultarão em mudanças no padrão dos ventos (direção e intensidade), as quais se traduzirão em mudanças na biologia, nos processos biogeoquímicos e físicos, com consequências para a sociedade. Alterações no clima de ondas resultam em impactos diretos na linha de costa, causando erosão, seja por mudança na direção das ondas significativas e/ou aumento de sua energia, seja pelo aumento da elevação das marés meteorológicas que causam inundações, com prejuízos para as populações costeiras. Tais mudanças, por exemplo, já acontecem ao

longo do litoral brasileiro e vêm sendo documentadas as mudanças associadas aos episódios El Niño.

2.2. A contribuição continental

Os rios transportam água, sedimentos e uma variedade de constituintes biogeoquímicos, de origem continental, para os oceanos, incluindo contaminantes produzidos pelo homem. Esta contribuição do continente causa um impacto significativo no padrão de circulação de águas, principalmente nos ecossistemas e nas áreas costeiras e de plataforma. Um dos exemplos mais emblemáticos no Oceano Atlântico Sul é o Rio da Prata, com descarga de até 25.000 $m^3.s^{-1}$ para a plataforma continental do Atlântico Sul Ocidental. Este fluxo é dependente da precipitação sobre a bacia hidrográfica, a qual por sua vez é controlada por fluxos em larga escala de vapor de água na atmosfera. E a natureza dos sedimentos transportados para o oceano depende da região da bacia onde ocorrem precipitações mais intensas. A distribuição da água do Rio da Prata sobre a plataforma é controlada pela combinação dos efeitos da descarga do rio e da forçante dos ventos, embora simulações numéricas indiquem que as correntes do Brasil e das Malvinas também exercem um forte controle sobre a circulação de águas na plataforma continental.

Todas estas forçantes causam grandes flutuações na estratificação vertical e na distribuição de nutrientes em uma escala sazonal; caracterizada pela penetração, em direção nordeste, de águas de baixa salinidade durante o fim do outono até o início da primavera. As águas do Rio da Prata fluem para norte, ao longo da plataforma continental sudeste, podendo alcançar até a latitude de Cabo Frio. A reversão dos ventos ao longo da costa, que ocorre no começo da primavera, causa um fluxo de água da plataforma e uma retração da pluma do rio em direção sudoeste. Esta larga flutuação sazonal modula a distribuição de uma variedade de espécies ao longo da plataforma continental do Uruguai e sul do Brasil. Na escala interanual evidencia-se uma forte modulação pela fase positiva do *El Niño Southern Oscillation* (ENSO), que pode aumentar em 3 a 5 vezes a descarga fluvial. Entretanto, ao contrário de algumas previsões teóricas, o efeito combinado da variabilidade de ventos e de descarga leva a uma grande penetração em direção nordeste associada a baixas descargas do rio. O mesmo padrão de ventos, que resulta em fluxos de vapor de água anômalos na atmosfera e aumenta a precipitação sobre a bacia, também inibe frequentemente a penetração da pluma em direção nordeste e exporta quantidades significativas de materiais continentais para fora da plataforma continental. Algumas covariações de vento e descarga que causaram eventos extremos tiveram grandes reflexos sobre a circulação e na biota marinha. Por exemplo, o quase desaparecimento da sardinha verdadeira (*Sardinella brasiliensis*) em 1976 foi atribuído a uma penetração anômala dessas águas até a Bacia de Santos, no sudeste do Brasil.

Quais serão o destino das águas do Rio da Prata e seus impactos sobre a biota nas próximas décadas? De acordo com as evidências que sugerem um recente aumento das chuvas no Sudeste da América do Sul, a descarga do rio da Prata vem aumentando desde os anos 1970. Devido à dinâmica atual da pluma do rio da Prata, um aumento da contribuição continental resulta na ampliação da variabilidade sazonal. Entretanto, tanto o anticiclone do Atlântico Sul, quanto os ventos do sudoeste e a confluência das Correntes do Brasil e Malvinas, vêm sendo

deslocados em direção sul em décadas recentes. Assim existe uma guinada em larga escala ao nível da atmosfera para condições de verão, o que pode contrabalançar a resposta da descarga fluvial no inverno. A tendência da forçante dos ventos é causada por mudanças rápidas e de grande magnitude que são muito difíceis de prever. As dificuldades de previsão decorrem da natureza não linear do sistema, que por si só é um grande desafio científico. Entretanto, o entendimento detalhado da dinâmica e do papel relativo das diferentes forçantes regionais, embora bastante ampliado nos últimos anos, é fundamental para o desenvolvimento de melhores projeções do destino das águas do Rio da Prata no Atlântico Sul Ocidental.

Plataformas continentais são ambientes particularmente propícios para a compreensão da variabilidade de longo termo (secular a milenar) relacionada às mudanças climáticas. Isto porque, de uma maneira geral, o registro sedimentar em plataformas continentais e, particularmente em seus depósitos lamosos, é contínuo, e permite reconstituir a história das interações continente-oceano. Neste aspecto, através da utilização de uma abordagem *multiproxy*, em testemunhos coletados na plataforma continental Sul-Sudeste do Brasil, foi possível reconhecer o avanço da pluma do Rio da Prata e suas implicações paleoclimáticas. Os estudos permitiram reconhecer uma mudança brusca no aporte continental, a partir de 2800 anos AP (Antes do Presente), resultante de aumento de pluviosidade sobre o sudeste do Brasil, com o consequente aumento da descarga do Rio da Prata e fenômenos quase-cíclicos com período multidecadal (principalmente da ordem de 60 anos). Além dos depósitos lamosos, as construções recifais presentes na plataforma continental também constituem um importante repositório de proxies indicativos das condições paleo-oceanográficas dos oceanos tropicais, incluindo mudanças de temperatura, turbidez e aportes sedimentares.

Contribuição importante entre o continente e os oceanos se dá através da descarga de águas subterrâneas. Existe um crescente corpo de evidências indicando a importância de vias subterrâneas para o transporte de solutos em sedimentos permeáveis e aquíferos na interface continente-oceano. Descarga de água subterrânea de aquíferos costeiros pode transportar nutrientes e poluentes para o oceano a partir da terra, além dos rios, e muitas vezes em concentrações muito mais elevadas. Pouco se conhece sobre a efetiva contribuição desse processo ao ambiente marinho e como ele comportará em longo termo em face da crescente demanda por água doce.

Infelizmente, ainda não é possível realizar uma análise semelhante no outro grande estuário sul americano, o do Rio Amazonas, apesar da reconhecida significância desta região no âmbito do ciclo global de carbono e seus efeitos sobre o clima. Os dados paleoclimáticos disponíveis são ainda mais fragmentados na região de influência do Rio Amazonas que na região afetada pelo Rio da Prata. Entretanto, os estudos existentes indicam que essas águas têm forte influência nas interações oceano-atmosfera, podendo contribuir para a formação de furacões no Atlântico norte. Portanto, mesmo que baseado em previsões originadas em poucos resultados é evidente a enorme importância desta região para o Oceano Atlântico, sendo urgente o lançamento de programas sistemáticos de pesquisa na região.

2.3. A circulação oceânica em larga escala

Águas do Oceano Índico são transferidas para o Atlântico Sul por anéis e filamentos e vórtices na região de Retroflexão da Corrente das Agulhas. Estudos mostram que importantes eventos

climáticos estão associados com variações no "vazamento" das Agulhas. Registros paleo-oceanográficos indicam uma interrupção no vazamento das Agulhas durante o último período glacial. Eventos de extinção e reaparecimento de espécies de foraminíferos no Atlântico Sul parecem estar associados com o fechamento e a reabertura da conexão das Agulhas. O Vazamento das Agulhas pode estar aumentando como uma consequência da intensificação e do deslocamento para sul dos ventos de oeste no Hemisfério Sul.

Estudos recentes baseados em modelos acoplados oceano-atmosfera e modelos oceânicos forçados mostram que anomalias da região das Agulhas são advectadas em níveis subsuperficiais alterando de forma significativa a temperatura e a concentração de sal na termoclina no Atlântico Sul e na região equatorial. Essas anomalias eventualmente ressurgem, alterando as condições na superfície e os fluxos termodinâmicos na interface oceano-atmosfera. Simulações numéricas e observações apontam para tendências de aumento da temperatura e da salinidade da superfície do mar na região ao largo do litoral sudeste do Brasil, local onde um ciclone extratropical transformou-se no primeiro furacão registrado no Atlântico Sul.

3. Cooperação Internacional

Uma análise da evolução temporal da produção científica sobre as interrelações oceano-continente no cenário das mudanças globais, gerada no Oceano Atlântico Sul (Figura 1), mostra que a preocupação com o tema torna-se relevante simultaneamente aos primeiros relatórios intergovernamentais sobre mudanças climáticas globais em fins da década de 1990. A partir daí ocorre uma aceleração na produção científica originada neste oceano. A participação de autores brasileiros na produção científica global é, entretanto, um pouco defasada, tendo seu crescimento realmente iniciado a partir do presente século, porém apresentando a mesma tendência de crescimento exponencial. Por outro lado, é muito relevante ressaltar a diferença no processo de aceleração da produção originada por autores brasileiros isoladamente e a produção em cooperação com o restante dos países que atuam no tema. É evidente que a quase totalidade da produção de autores brasileiros é feita em cooperação internacional. Desta forma, fica evidente que não é possível tratar do tema relativo às interrelações oceano-continente no cenário das mudanças globais sem a discussão do papel da cooperação internacional.

O tema foi discutido através da explanação e discussão de exemplos de programas de cooperação em andamento, particularmente SCOR, PIRATA, GOOS, IODP e de iniciativas internacionais que o Brasil se propõe a participar, como o Centro de Referência para a Redução de Riscos de Desastres Naturais e a *World Maritime University* (WMU), ambas as iniciativas da Organização das Nações Unidas. Vale destacar ainda o programa INTERRIDGE, que é uma cooperação internacional de sucesso, voltada para a investigação do sistema global de cordilheiras mesoceânicas. Essa iniciativa, inclui a otimização da infraestrutura de pesquisa e o desenvolvimento de estudos de alto nível sobre a formação de crosta oceânica, a atividade hidrotermal e a biota associada aos ambientes extremos. O INTERRIDGE mantém observatórios importantes no eixo da cordilheira, no Atlântico Norte e no Pacífico, constituindo um ótimo exemplo de cooperação aos moldes do IODP, sem uma plataforma

dedicada. O INTERRIDGE, assim como vários outros programas, entretanto, sublinha a ausência de dados no Atlântico Sul e indica a importância de mapear sítios hidrotermais nesta região, sobretudo com foco nas suas características estruturais e na biodiversidade local e regional entre sítios hidrotermais. O Atlântico Sul remanesce como uma fronteira no conhecimento de extremófilos em cordilheiras mesoceânicas e pode ser elo para o entendimento de comunidades entre o Atlântico Norte e Índico.

Embora a participação brasileira esteja presente em todos estes fóruns, foi notada uma deficiência na geração de propostas que possam usufruir de eventuais recursos e/ou iniciativas de pesquisa. Ressalta-se a recente entrada do Brasil no IODP - *Integrated Ocean Drilling Program* através da CAPES, quando recursos foram alocados também para a preparação da participação brasileira em cruzeiros e para a confecção de propostas de expedições de interesse nacional. Porém, ainda é fundamental dotar os agentes e os gestores da cooperação internacional de recursos e orçamento para aprimorar a geração de propostas de cooperação e de cobertura de custos operacionais, que tornem eventuais propostas de cooperação internacionais mais competitivas ao nível mundial (e.g. GEF, IGBP, INCC, Belmont Forum etc...).

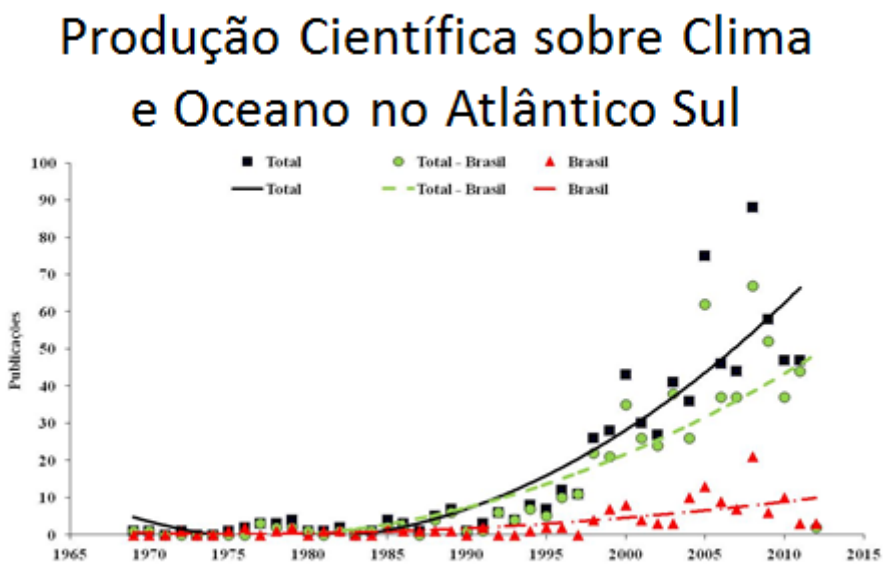


Figura 1. Produção científica (número de artigos indexados) sobre oceanos e clima no Atlântico Sul. Linha preta, produção total; linha verde produção brasileira em cooperação internacional; linha vermelha, produção brasileira isolada.

Outro aspecto relevante é provocar uma discussão sobre os mecanismos e instrumentos de indicação de representantes brasileiros nestes fóruns internacionais, dando prioridade ao atendimento das demandas geradas de parecerias e/ou programas internacionais de geração de dados e/ou de oceanografia operacional. É fortemente sugerido que a representação brasileira na arena internacional seja sempre mediada pelo meio acadêmico e suas instituições mais representativas como a Academia Brasileira de Ciências e a sociedade Brasileira para o

Progresso da Ciência, particularmente naqueles programas junto às iniciativas não-governamentais (e.g ICSU, IGBP, IAP, SCOR, IGBP).

Finalmente, foi acordado que não é possível esperar que pesquisas pontuais de interesse local facilitem o entendimento na escala da bacia oceanográfica. A ênfase nos processos locais de forma individual dificulta em última análise o próprio entendimento dos processos ao nível regional e global. É importante chamar a atenção que a ênfase em pesquisas pontuais, no Brasil, salvo as honrosas exceções, é consequência direta da fragmentação de recursos, da falta de uma estrutura de suporte e de aquisição de dados oceanográficos e da excessiva burocratização na gestão da pesquisa. Além destes entraves, não é possível atender as necessidades de geração de conhecimento sobre os oceanos sem a cooperação internacional.

4. Institucionalização

Consideram-se urgentes alguns aspectos que devem ser mais aprofundados para tornar possível uma maior capacidade preditiva e, portanto, de construção de cenários que permitam uma melhor interpretação do comportamento do sistema terrestre em um cenário de mudanças climáticas. Dentre estas se destacam: observações integradas ao nível de ecossistema; a disponibilização de dados assim como a operacionalidade dos mesmos; a necessidade de incentivo a participação de áreas básicas (matemática, física, química, biologia e geologia) para a oceanografia; a manutenção de bases operacionais, continuidade de sistemas de observação, capacitação na calibração de sensores no desenvolvimento de sensores, e instrumentação remota; entre outras. Para alcançar estas e outras metas, é premente a institucionalização das pesquisas oceanográficas ao nível nacional. Para isto, é sugerida a criação de uma instituição capaz de facilitar a geração do pleno domínio do conhecimento sobre os oceanos e seus impactos no sistema terrestre, elevando a capacidade do Estado brasileiro para atuar e exercer a sua soberania, bem como facultar ao Governo capacidade plena para a tomada de decisões, em nível nacional e global, sempre visando ao bem-estar da sociedade. Esta deve ser uma instituição brasileira de referência mundial no conhecimento sobre o Oceano Atlântico Tropical e Sul e suas inter-relações com o sistema terrestre. O Oceano deve ser visto como um eixo estruturante do desenvolvimento do País. A instituição proposta deve ser capaz de alavancar esse paradigma, articulando as instituições acadêmicas já existentes e os órgãos responsáveis por tarefas operacionais que envolvam atividades oceânicas. Espera-se desta instituição o desenvolvimento de pesquisa aplicada; a manutenção de sistemas operacionais de monitoramento e previsão ambiental; a sistematização e disponibilização universal de dados e informações gerados no âmbito da temática da instituição; o aproveitamento do conhecimento para criação de soluções inovadoras para indústria, infraestrutura e outros ramos da economia; o desenvolvimento de ferramentas para implementação de políticas públicas; o apoio à formação de recursos humanos; a articulação interinstitucional e interdisciplinar; e uma maior inserção do País nas tomadas de decisão em fóruns globais sobre os oceanos. Não deverá “competir com universidade/academia”, mas dar suporte as atividades acadêmicas de formação de recursos humanos e pesquisa científica básica.

Parece importante definir mais claramente o papel das instituições de Governo, com respeito às suas responsabilidades na pesquisa do mar no Brasil, sobretudo quanto à infraestrutura para pesquisa, formação de pessoal, bancos de dados e financiamento. O País de fato possui uma Política Nacional para Recursos do Mar (PNRM) e vem renovando seu Plano Setorial para Recursos do Mar (PSRM) de tempos em tempos. Paralelamente, hoje apoia pelo menos quatro Institutos Nacionais de Ciência de Tecnologia em Ciências do Mar (através do programa do CNPq) e outros três com significativa interface com o mar. Estas ações, uma polarizada pela SECIRM e a outra pelo MCTI-CNPq, não estão necessariamente alinhadas. A primeira trata dos recursos do mar no âmbito de políticas sobre a extensão da Plataforma Continental Jurídica Brasileira e exploração da *Área*, enquanto a segunda trata do desenvolvimento da pesquisa e da produção do conhecimento cientifico no mar, com forte relação com a formação de pessoal e a cooperação internacional. Estas ações precisam estar alinhadas, pois devem e podem convergir recursos de financiamento e maximizar a infraestrutura para pesquisa com fins científicos e estratégicos, se beneficiando da massa crítica dos INCTs. O sucesso do acesso aos recursos do mar depende fortemente de modelos e métodos científicos, ao contrário de um garimpo aleatório destes eventuais recursos, envolvendo amostragens ou descrição de ocorrências de diferentes tipos.

Uma Comissão Supraministerial como uma forma mais efetiva de gerir e financiar as Ciências do Mar no país é muito importante, mas não pode estar restrita aos recursos do mar em si, pois estes dependem de articulações com outros ramos das ciências. Em particular, é importante uma forte articulação com o Sistema Nacional de Meteorologia, ora em discussão no âmbito do governo federal, através da atribuição de responsabilidades aos diversos atores. A atual organização precisa avançar em direção a infraestrutura para a pesquisa e produção do conhecimento e tecnologia no mar, pois tem a coerência necessária com uma visão estratégica sobre mar, como fonte de recursos naturais - minerais e alimentos, biodiversidade e biotecnológicos, transporte, regulador climático e ambiental e ainda meio de lazer e bem estar. O MCTI e o MEC devem atuar mais fortemente junto à SECIRM, buscando realinhar ações e com isso reduzir prováveis sobreposições dentro do governo e uma eventual dispersão de recursos.