



PROJETO
COSTA
NORTE

VOLUME 1



Projeto Costa Norte

A região da Margem Equatorial Brasileira é marcada pela riqueza biológica única associada à forças ambientais de extrema energia. Além disso, é também considerada uma nova fronteira para a indústria de O&G cuja atividade exploratória faz emergir a preocupação com a conservação dos ativos ambientais.

O principal objetivo científico do Projeto Costa Norte é desenvolver metodologias que melhorem a compreensão da vulnerabilidade das florestas de mangue a derramamentos de óleo. A complexidade das questões científicas associadas a este tema, particularmente em suas vertentes socioambientais, demanda a adoção de abordagem interdisciplinar para que, partindo das especificidades de áreas de conhecimento, se desenvolvam metodologias que abarquem tal complexidade.

O Projeto Costa Norte foi financiado com recursos de Pesquisa e Desenvolvimento da Agência Nacional de Petróleo (ANP), através da empresa Enauta, e contou com a participação das seguintes instituições:



O Laboratório de Pesquisa em Monitoramento Ambiental Marinho da Universidade Federal do Pará desenvolve pesquisas científicas e trabalhos técnicos há 8 anos na região costeira amazônica. Realiza coleta de dados oceanográficos, desenvolvimento e aplicação de modelos hidrodinâmicos e de transporte em diferentes escalas, desde a porção fluvial até a plataforma continental, e contribui na formação de recursos humanos em dois cursos de graduação e em quatro pós-graduação.

Atuação no projeto: Coleta de dados oceanográficos na plataforma continental amazônica; Desenvolvimento de modelo hidrodinâmico para os rios Amazonas e Pará, integrando-os a modelo costeiro; Coleta de dados para a implementação de modelos hidrodinâmicos em estuários amazônicos; Determinação das áreas inundáveis destes estuários através de modelagem acoplada ao modelo digital de terreno dos manguezais.



O Laboratório de Métodos Computacionais em Engenharia da COPPE representado no projeto Costa Norte pelo seu Núcleo de Modelagem Ambiental vem, ao longo de 17 anos, desenvolvendo pesquisa nas áreas de Modelagem Computacional Ambiental, Análise de Dados Ambientais e Sensoriamento Remoto. Os objetivos principais do grupo tem sido a formação acadêmica e a capacitação profissional além da idealização e execução de projetos de P&D nas áreas de pesquisa mencionadas.

Atuação no projeto: Desenvolvimento de um modelo hidrodinâmico em escala regional utilizando técnicas de assimilação de dados oceanográficos; Desenvolvimento de modelos hidrodinâmicos costeiros contemplando a simulação de processos de inundação; Mapeamento de Ecossistemas Costeiros em escala regional a partir do processamento e análise de imagens de satélite de alta e média resolução espacial.



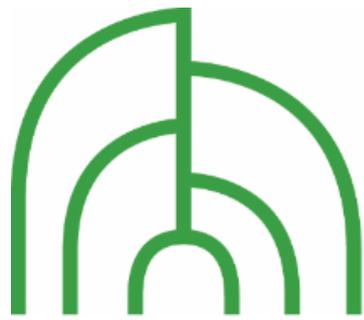
O Núcleo de Estudos em Geoquímica e Ecologia Marinha e Costeira – NEGEMC desenvolve pesquisas oceanográficas e ecológicas relacionadas aos ecossistemas costeiros, com foco no ecossistema manguezal, e em pesquisas de amplo espectro relacionadas à geoquímica orgânica marinha. As linhas de pesquisa desenvolvidas pelo NEGEMC são bastante abrangentes. Merecem destaque os estudos relacionados às diferentes funções do ecossistema manguezal e que contemplam sua importância ecológica, econômica, social e cultural; e as avaliações do sequestro e estoque de carbono na vegetação e nos sedimentos da região costeira, pesquisa que contribui para o entendimento da mitigação das mudanças climáticas globais e, ao mesmo tempo, promove o avanço da conservação dos ecossistemas costeiros. Assim, a proposta deste grupo de pesquisa é unir diferentes competências científicas na busca pela excelência acadêmica na região costeira brasileira. No Projeto Costa Norte, o NEGEMC atua em parceria com o Laboratório de Sensoriamento Remoto e Estudos Ambientais (ESPAÇO), da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), e com o Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá (IEPA).

Atuação no projeto: Levantamento Fitossociológico; Mapeamento em Alta Resolução das fitofisionomias; Levantamento por LiDAR; Desenvolvimento de metodologia para determinação da Vulnerabilidade das Áreas de Manguezal à Contaminação por Óleo no Mar.



A Prooceano é uma empresa brasileira, de base tecnológica, que atua na área de oceanografia offshore e costeira, com forte atuação no segmento de Óleo & Gás. Tendo como foco o desenvolvimento e implementação de tecnologias de ponta para demandas operacionais e ambientais deste segmento, o caminho para projetos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação foi natural. Em seus 17 anos de existência, conta em seu portfólio com várias experiências em projetos de P&D, financiados por empresas e instituições. No papel de propor, liderar ou colaborar com universidades e institutos de pesquisa nacionais e estrangeiros, atua como elo entre mercado, academia e governo.

Atuação no projeto: Desenvolvimento dos sistemas de modelagem de transporte de poluentes, desenvolvimento de metodologias e ferramentas para determinação das regiões suscetíveis a serem atingidas por vazamentos acidentais de óleo, particularmente, nas bacias Pará-Maranhão e Foz do Amazonas, suporte à coleta de dados oceanográficos, desenvolvimento, implementação e manutenção de banco de dados e plataforma Web e coordenação geral do projeto.



PROJETO
COSTA
NORTE

Coordenação Científica do Projeto Costa Norte

Prof. Dra. Carla Bernadete Madureira Cruz –
ESPAÇO/UFRJ

Prof. Dr. Filipe de Oliveira Chaves -
NEGEMC/UERJ

Dr. Júlio Augusto de Castro Pellegrini –
PROOCEANO

Prof. Dr. Luiz Paulo de Freitas Assad –
LAMCE/UFRJ

Prof. Dr. Marcelo Rollnic – LAPMAR/UFPA

Prof. Dr. Mário Luiz Gomes Soares -
NEGEMC/UERJ

Coordenação Geral do Projeto

Ma. Maria Eduarda Pessoa- ENAUTA

Dr. Júlio Augusto de Castro Pellegrini -
PROOCEANO

Bela. Anne Goni Guedes - ENAUTA

Bela. Dyellen Soares Queiroz – ENAUTA

Coordenação de Comunicação do Projeto

Frederico Luna Rinaldi – PROOCEANO

Rebeca Kiperman – ENAUTA

Sumário - Volume 1

1. Introdução.....	17
2. Área de Estudo Regional.....	21
3. Metodologia de Análise de Vulnerabilidade de Manguezais ao Óleo.....	46
4. Vulnerabilidade dos Manguezais ao Óleo – Aplicações na Área de Estudo.....	85
5. Primeiros Esforços de Análise de Vulnerabilidade das Florestas de Mangue do Sistema Costeiro de Sucuriju	219
6. Aplicações dos Resultados e Metodologias do Projeto Costa Norte	241

1. Introdução

A Margem Equatorial Brasileira (MEB) é marcada por uma diversidade biológica única, associada a um conjunto de forçantes ambientais extremamente energéticos. Nesse complexo sistema, destacam-se alguns fatores como a vazão do rio Amazonas, regime de macro e hiper marés, intensos ventos alísios, a Corrente Norte do Brasil e uma morfologia costeira complexa com muitos sistemas estuarinos repletos de canais e extensas planícies de maré.

Os manguezais são ecossistemas marinhos costeiros onde um número expressivo de organismos, como peixes, aves, crustáceos, encontram as condições ideais para nutrição, reprodução, criadouro e abrigo. Dentre outras funções de grande relevância socioambiental, destacam-se a produção de matéria prima e recursos para a subsistência de populações ribeirinhas, a produção de alimentos, e a proteção da linha de costa da erosão costeira. Na MEB é encontrada a maior área contínua de florestas de mangue do mundo – localizada entre os estados do Maranhão e Pará – somando cerca de 7.400 km², o que corresponde a 4,3% de toda a área de florestas de mangue do Planeta. A exuberância e o elevado grau de preservação das florestas são a grande motivação para que avancemos a fronteira de conhecimento desses sistemas para que se mantenham a relevância ecológica, econômica e social que tais ambientes representam para a região. Compreender a dinâmica deste ambiente e trabalhar para sua conservação é fundamental para garantir todos os seus serviços socioambientais às gerações futuras.

Do ponto de vista do desenvolvimento econômico, a MEB representa uma nova fronteira de exploração e produção de petróleo e gás no país. As atividades de O&G começaram nesta região nos anos 60, e mais recentemente, em 2013, foi realizada a 11^a rodada de leilão da ANP, na qual foram ofertados blocos nos setores *offshore* de todas as Bacias da MEB visando aumentar o desenvolvimento regional desta indústria. Como as florestas de mangue são ecossistemas extremamente sensíveis ao óleo, é crucial abordar essa questão antropogênica e seus riscos socioambientais. O conhecimento das florestas de mangue desses locais e da hidrodinâmica estuarina, costeira e *offshore* é essencial para o dimensionamento de estruturas de resposta em casos de eventos acidentais de vazamento de óleo no mar.

Nesse contexto, foi criado o Projeto Costa Norte (PCN), financiado com recursos de P&D da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), com o objetivo principal de desenvolver metodologias para melhorar o entendimento da **vulnerabilidade** das florestas de mangue a derrames de óleo.

Como toda questão socioambiental, o assunto foco do Projeto Costa Norte – determinação da **vulnerabilidade** de florestas de mangue ao óleo – é um tema de alta complexidade, no sentido que interliga diversos assuntos, desde a política energética brasileira na definição de áreas de potencial exploração e produção, o gerenciamento de riscos operacionais, a deriva do óleo em mar aberto e em sistemas costeiros e estuarinos, até a ecologia do manguezal e as relações socioeconômicas associadas a esse ecossistema. Desse panorama, o PCN faz um recorte nos aspectos relacionados ao transporte do óleo, à ecologia do manguezal e à sua **vulnerabilidade** a esse poluente, considerando as atividades de exploração e produção de óleo e gás nas bacias marítimas da MEB. A partir desse recorte, identificam-se duas macro-áreas de conhecimento que se inter-relacionam: a oceanografia física e a biológica.

Dessa forma, o desenho institucional e científico do PCN foi baseado na crença de que a abordagem interdisciplinar possui maior capacidade de desenvolver metodologias inovadoras e úteis para avançar no entendimento e auxiliar no gerenciamento dessa complexa questão socioambiental. O PCN é constituído por 4 módulos distintos e complementares (Sensoriamento Remoto, Coleta de Dados Oceanográficos,

Modelagem Numérica e Caracterização das Florestas de Mangue) e tem enfoque regional das Bacias do Pará-Maranhão e Foz do Amazonas e específico na baía de Turiaçu (MA), no estuário de São Caetano de Odivelas (PA), no sistema costeiro de Soure (PA) e no sistema costeiro de Sucuriju (AM). Tais áreas de estudo representam, além de significativa cobertura geográfica, sistemas ambientais bastante distintos entre si, o que torna a metodologia desenvolvida robusta o bastante para que seja aplicada ao longo de toda a MEB.

Dentre as questões motivadoras do PCN, listam-se:

- Qual seria o comportamento do óleo no interior de sistemas costeiros e estuarinos, e no interior das florestas de mangue, considerando a sua complexidade?
- Qual é a eficiência e aplicabilidade, e onde estão os limites das técnicas de modelagem numérica em representar a hidrodinâmica e a dispersão de óleo nesses sistemas, considerando o estado da arte dessa área de conhecimento?
- Como lidar com o desafio da variação de escalas considerando a localização das potenciais fontes de vazamento em áreas *offshore* – milhares de quilômetros – até o interior das florestas de mangue, onde a hidrodinâmica e a dispersão do óleo são influenciadas por micro-canais de poucos metros e até pelas raízes das árvores?
- Considerando a extensão das florestas de mangue e os avanços nas técnicas de sensoriamento remoto, será que é possível realizar a caracterização das florestas de mangue em larga escala?
- Como aumentar o caráter objetivo e quantitativo na determinação da **vulnerabilidade** de florestas de mangue, considerando suas três componentes: **suscetibilidade**, **resiliência** e **sensibilidade**?
- Em uma região amplamente dominada por florestas de mangue – um ecossistema classificado homogeneamente com o máximo grau de **sensibilidade** ao óleo – é possível diferenciar sua **vulnerabilidade** em nível infrassistêmico?

Além de realizar um extenso levantamento de dados para subsidiar o aumento do conhecimento de processos oceânicos, costeiros e estuarinos, e da ecologia de florestas de mangue, o PCN tem como foco o desenvolvimento de metodologias, que possam ser aplicadas não só na área de estudo, mas também ser replicadas para outras áreas, servindo de base para que outros fatores relevantes à conservação das características socioambientais da região sejam mantidas.

1.1. Objetivo Geral

O objetivo principal do projeto é desenvolver metodologias para determinar a **vulnerabilidade** dos manguezais localizados nas Bacias da Foz do Amazonas e do Pará-Maranhão à contaminação por óleo, considerando as componentes: **suscetibilidade**, **sensibilidade** e **resiliência**.

1.1.1. Objetivos Específicos

Dentre os objetivos específicos do Projeto Costa Norte, estão:

- Desenvolvimento de ferramenta interativa online de simulação de trajetórias de óleo no mar;
- Sistema de modelagem hidrodinâmica em escala regional e local, utilizando técnicas de assimilação de dados oceanográficos e aninhamento de grades numéricas;
- Aquisição de dados oceanográficos a partir da utilização de diferentes metodologias;

- Mapeamento das florestas de mangue através de imagens de satélite de alta resolução;
- Identificação das diferentes fitofisionomias que compõem as florestas de mangue das áreas de estudo;
- Caracterização da hidrodinâmica nas diferentes zonas e fitofisionomias identificadas;
- Caracterização da **vulnerabilidade**, da **sensibilidade**, da **resiliência** e da **suscetibilidade** dos manguezais à contaminação por óleo.
- Caracterização dos processos oceânicos, costeiros e estuarinos significativos na área de estudo;

1.2. Organização do Relatório

O caminho escolhido e trilhado pelo PCN na busca de seu objetivo foi o da interdisciplinaridade. Mais do que superposições de visões disciplinares, buscou-se a ação conjunta de diferentes especialidades na construção metodológica.

Dessa forma, o PCN pode ser visto como um sistema complexo no qual, da interação entre as disciplinas, emergem características e potencialidades próprias, não existentes ou possíveis em nenhuma parte isoladamente – desta perspectiva, o todo é mais que a soma das partes. Contudo, as características e funções do projeto no nível interdisciplinar não contemplam todo o potencial de cada parte isoladamente. De fato, muitos resultados específicos foram gerados por cada área de conhecimento e, desse ponto de vista, o todo é menos que a soma das partes. Esta dualidade de visão – orientada ao “todo” e as “partes” – e a complexidade das interações entre os núcleos de conhecimentos foi um importante norteador de todo o projeto e, por consequência, na construção deste relatório final.

Essa tensão e oscilação entre o todo e as partes está presente na evolução do conhecimento humano desde a antiguidade (CAPRA e LUISI, 2014). Bem antes do surgimento do paradigma sistêmico no século XX em contraposição ao paradigma cartesiano, que emergiu ao longo da revolução científica (séculos XVI a XVIII) e se fundamenta na visão mecanicista da natureza, filósofos gregos já distinguiam diferentes perspectivas orientadas à “substância” e ao “padrão”, ou matéria e forma, no entendimento dos fenômenos:

“O estudo da matéria começa com a pergunta: “Do que ela é feita?” Isso leva a noções de elementos fundamentais, blocos de construção, medir, quantificar. O estudo da forma indaga: “Qual é o padrão?” E isso leva às noções de ordem, organização e relações. Em vez de quantidade, envolve qualidade, em vez de medição, envolve mapeamento.”

Fritjof Capra e Pier Luigi Luisi (2014) em “A Visão Sistêmica da Vida”

Um dos desafios na elaboração do relatório final do PCN foi o de refletir a visão sistêmica do projeto e a interdisciplinaridade dos produtos finais, sem contudo deixar de contemplar os resultados específicos de cada núcleo de conhecimento. A solução encontrada foi dividi-lo em dois volumes, um orientado ao objetivo geral, metodologias e produtos no contexto da abordagem interdisciplinar, que guiou a análise de **vulnerabilidade** (Volume 1) e, o outro, orientado ao conhecimento específico desenvolvido pelos núcleos de pesquisa, que possibilitou que o objetivo geral fosse alcançado (Volume 2). O Volume 2 parte da perspectiva da substância, ou seja, dos “blocos de construção” de conhecimento, enquanto o Volume 1 parte da perspectiva da forma, da organização e relações entre os núcleos de conhecimento específicos na

construção da metodologia integrada para a definição de **vulnerabilidade**. No presente Volume 1, foi dado enfoque à metodologia para a determinação da **vulnerabilidade** de florestas de mangue ao óleo, e se divide em 5 capítulos, apresentados brevemente a seguir.

O presente capítulo 1 se dedica a apresentar as motivações, o contexto, a relevância e os objetivos do Projeto Costa Norte, assim como a estrutura do relatório e os capítulos do Volume 1.

No capítulo 2 a área de estudo em escala regional (a Margem Equatorial Brasileira) é caracterizada quanto aos principais aspectos físicos - geomorfologia costeira, correntes e ventos - e biológicos – caracterização geral das florestas de mangue na região - de relevância para os objetivos do PCN. A descrição das áreas de estudo específicas (sistemas costeiros e estuarinos estudados) é realizada no capítulo 2 do Volume 2.

O capítulo 3 aborda com profundidade os aspectos conceituais da **vulnerabilidade** de manguezais ao óleo, realizando uma extensa revisão bibliográfica sobre o tema de forma a embasar a construção e definição deste conceito no PCN. Além da construção conceitual, nesse capítulo é apresentada a metodologia desenvolvida para determinar a **vulnerabilidade** de florestas de mangue ao óleo, de forma objetiva, quantitativa/comparativa e infrassistêmica.

No capítulo 4 é apresentada a aplicação da metodologia desenvolvida nas áreas de estudo específicas: Baía de Turiaçu (MA), estuário de São Caetano de Odivelas (PA) e sistema costeiro de Soure (PA).

No Capítulo 5 são apresentados os primeiros esforços para análise de vulnerabilidade das florestas de mangue do sistema costeiro de Sucuriju ao óleo. Inúmeras particularidades observadas nesse sistema impuseram desafios e limitações à metodologia desenvolvida e aplicada nas demais áreas. Neste capítulo são descritos em detalhes tais particularidades, desafios metodológicos e limitações associadas, assim como todas as considerações sobre a vulnerabilidade deste sistema a partir dos dados levantados e metodologias aplicadas.

Por fim, o capítulo 6 pretende realizar um exercício de propostas de aplicações operacionais, estratégicas e metodológicas a partir dos resultados obtidos ao final do Projeto Costa Norte.

Outro desafio da construção do relatório final do PCN advém das limitações da linguagem escrita e do formato de relatório em refletir a rede de interações entre as partes que o integram. Uma das formas de contornar esse desafio foi a utilização de referências cruzadas entre os capítulos e volumes. Pelo caráter interdisciplinar do presente volume 1, o leitor irá encontrar muitas referências cruzadas para os capítulos do volume 2, visando indicar o caminho para um aprofundamento técnico específico de determinada área de conhecimento.