



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA**

---

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**VARIAÇÕES SAZONAIS NA PLUMA DO RIO  
AMAZONAS COM FOCO NO SETOR LESTE**

**Trabalho apresentado por:**

**ANGELA CAROLINA CIDON MASCARENHAS**

**Orientador: Msc. Renan Peixoto Rosário**

**Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Rollnic (UFPA)**

---

**BELÉM**

**2016**

Dados Internacionais de Catalogação de Publicação (CIP)  
Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFPA

---

Mascarenhas, Angela Carolina Cidon, 1993-

Variações sazonais na pluma do rio Amazonas com foco no  
setor leste / Angela Carolina Cidon Mascarenhas. – 2017.

xiv, 45 f. : il. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Renan Peixoto Rosário

Coorientador: Marcelo Rollnic

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) –Universidade  
Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de  
Oceanografia, Belém, 2016.

1. Ecologia dos estuários – Amazônia. 2. Plataforma  
Continental – Amazônia. 3. Salinidade – Amazônia. I. Título.

CDD 22. ed.: 577.78609811

---



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

**VARIAÇÕES SAZONAIS NA PLUMA DO RIO  
AMAZONAS COM FOCO NO SETOR LESTE**

TRABALHO APRESENTADO POR:

**ANGELA CAROLINA CIDON MASCARENHAS**

Como requisito à obtenção do título de bacharel em OCEANOGRAFIA

Data de Aprovação: 20/04/2016

Banca Examinadora:

Msc. Renan Peixoto Rosário - Orientador  
Mestre em Oceanografia Física, Química e Geológica, IO-FURG  
Universidade Federal do Pará - PGF/UFPa

Prof. Dr. Marcelo Rollnic – Co-orientador  
Doutor em Oceanografia - UFPE  
Universidade Federal do Pará

Msc. Yuri Onça Prestes  
Mestre em Oceanografia - UFPE  
Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Alexandre Melo Casseb Do Carmo  
Doutor em Meteorologia – INPE  
Universidade Federal do Pará

**Aos meus companheiros Zara e Nick,  
obrigada pelos anos de amor!  
Sempre sentirei saudades.**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço Deus por fazer sua presença sentida à minha maneira e me fazer encarar a vida com serenidade. Agradeço à minha mãe Karla por ser a base de toda minha existência, por me ensinar a ser mulher, independente e com a cabeça livre de qualquer preceito imposto. Obrigada por nunca desistir na vida. Aos meus irmãos, Pedro e João Felipe, pela convivência familiar (quase) sempre sadia. O sucesso vai chegar pra todos.

À Cidonzada inteira. Aos meus tios Alex e Júnior, minha tia e madrinha Paulla, minha prima Duda e vovó Zulima (não fui pro BBB mas tô me formando, vó!). Ao meu primo Rodrigo, por ser meu irmão de alma. Ao pirão de moleques que tem na nossa família: Mateus, Manuela, Lucas, Vitor, Enzo. Especialmente meus afilhados Enzo e Vítor, por entenderem que meu orçamento pra presentes não ultrapassa os 5 reais. Obrigada a todos pelos churrascos dos domingos que me fortaleceram.

À minha brother de curso e vida Stéfany Mattos, por ter um espírito tão leve e por compartilhar a necessidade por viagens. Ao meu grande amigo Ivson, por todo carinho e ajuda nesses anos, além de ter me doado a minha querida dor de cabeça, dog Frida.

Aos meus amigos do Laboratório de Oceanografia Física (LOF): Gabi, Pamêla, Leandrinho, Kevin, Ian, Adriel, Rayssa e Adriano. A rotina leve e todas as risadas foram fundamentais. Ao salvador Maurício, por ser tão solícito o tempo todo e, à dupla Yuri e Arthur, duas pessoas geniais pra conviver.

Agradeço ao professor Marcelo Rollnic pela paciência comigo, principalmente quando eu sou a última a saber de tudo, e me acolher na oceanografia física quando precisei. O amor compartilhado pelo café renderam boas conversas. Obrigada, professor.

Ao meu orientador Renan Peixoto, pela sabedoria, por aturar as minhas enrolações e sempre estar disposto a me ajudar em qualquer coisa, mesmo de longe. “Sem pressão, mas eu vou ver esse TCC ainda esse ano?”. Thanks, boss.

À minha turma de oceano de 2012 e todos os amigos que fiz pelos blocos. Valeu pelas viagens de campo, risadas e os badalauês da vida.

Agradeço ao professor Eduardo Paes da Universidade Federal Rural da Amazônia pela parceria com o Laboratório de Oceanografia Física no projeto do INCT e suas expedições à Plataforma.

*“ De fato, o mundo é um lugar em que nunca fomos”*

*Sant*

## RESUMO

A Plataforma Continental Amazônica (PCA) é um ambiente caracterizado por um dinamismo, resultado de diversos processos físicos atuantes (maré, correntes, regime de ventos) somados à grande influência da vazão dos rios Amazonas e Pará sobre ele. O estudo teve como objetivo o monitoramento e análise das variações que a pluma do rio Amazonas sofre sazonalmente, focados no setor leste da Plataforma, região próxima à foz do rio Pará. A metodologia de pesquisa adveio de cinco cruzeiros oceanográficos ao longo da PCA: abril e outubro de 2013; maio, julho e outubro de 2014. O *transect* de amostragem seguiu desde a ponta do Cabo Maguari (ilha do Marajó) até 260 km na quebra da plataforma. Nove perfis verticais de condutividade, temperatura, pressão e turbidez foram coletados. A pluma mostrou uma extensão de cerca de 200 km *offshore* durante os períodos de máxima descarga fluvial dos rios (abril e maio). Já nos períodos de menor vazão, outubro de 2013 e 2014, a pluma limitou-se em cerca 30 km e apresentou também os menores níveis de salinidade (20 PSU). A Água Costeira, caracterizada por altas temperaturas e baixos valores de salinidade foi identificada até cerca de 15 m de profundidade. No ano de 2014, pôde-se evidenciar a presença no último ponto de amostragem, cerca de 260 km da costa, da Água Tropical de Superfície, devido aos altos níveis de salinidade e baixos de temperaturas. Essa massa d'água é comumente encontrada na Corrente Norte do Brasil, podendo concluir que essa massa de água invade, eventualmente, a Plataforma Continental Norte Brasileira. Constatou-se ainda que, mesmo em condições mínimas de vazão dos rios, as águas do oceano adjacente não invadem o estuário do rio Amazonas, apenas o rio Pará. Por esse fator, afirma-se que esses estuários apresentam diferentes processos físicos e biológicos.

Palavras-Chave: Plataforma Continental Amazônica. Salinidade. Pluma Estuarina.

## **ABSTRACT**

The Amazon Continental Shelf (ACS) is an environment characterized by dynamism, the result of several active physical processes (tides, currents, wind regime) added to the river discharge of Amazonas and Pará rivers on it. The study aimed at monitoring and analysis of changes that the plume of the Amazon suffers seasonally, in the eastern sector of the platform, the region near the mouth of the Pará river. The research methodology stemmed five oceanographic cruises along the ACS: April and October 2013; May, July and October 2014. The sampling transect followed from the Cape Maguari (Marajo Island) to 260 km on the shelf break. Nine vertical profiles conductivity, temperature, pressure, and turbidity were collected. The plume has shown a length of about 200 km offshore during periods of maximums river discharge of rivers (April and May). Already in times of minimum river discharge, October 2013 and 2014, the plume was limited to about 30 km and also presented relative high levels of salinity (20 PSU). The Coastal Water, characterized by high temperatures and low salinity was identified to about 15 m depth. In the year 2014, it could be noted the presence in the last sampling point, about 260 km from the coast, the Tropical Surface Water, due to high levels of salinity and low temperatures. This water body characteristics is commonly found in the North Brazil Current, then it can be concluded that water mass eventually invades the Amazon continental shelf. Even in low discharge conditions, adjacent ocean water do not invade the Amazon River estuary, only the Pará River. Because of that, these estuaries present different physical and biological processes.

**Key-Words:** Amazon Continental Shelf. Salinity. Estuarine Plume.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 01- Série histórica da vazão das bacias hidrográficas dos rios Amazonas e Tocantins .....       | 15 |
| Figura 02- Perfil de sedimento em suspensão observados pelo projeto AmasSeds .....                     | 16 |
| Figura 03- Depósitos Sedimentares ao longo da Plataforma Continental Amazônica ...                     | 17 |
| Figura 04 - Amplitude e fase da componente astronômica principal M2 na plataforma Amazônica .....      | 19 |
| Figura 05 - Mapa de localização da área de estudo .....                                                | 21 |
| Figura 06 - Mapa da área de estudo evidenciando os pontos de coleta georreferenciados .....            | 28 |
| Figura 07 - Imagem dos equipamentos utilizados na obtenção dos dados .....                             | 30 |
| Figura 08 - Ilustração das especificações de um equipamento como o CTD e a gaiola de acoplamento ..... | 31 |

## LISTRA DE ILUSTRAÇÕES DO ARTIGO

|                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 01- Location of the study area with georeferenced points .....                                                               | 37 |
| Figure 02 - Demonstration of range of the estuarine plume from the parameters analyzed: Salinity and Turbidity .....                | 38 |
| Figure 03 - T-S diagram based on data of the vertical profile 9 for April and October, 2013; and May, July, and October, 2014 ..... | 38 |
| Figure 04 - Historical average discharge of Amazonas and Pará rivers demonstrating the difference between them .....                | 39 |

## SUMÁRIO

|                                       |      |
|---------------------------------------|------|
| <b>DEDICATÓRIA</b> .....              | iv   |
| <b>AGRADECIMENTOS</b> .....           | v    |
| <b>EPÍGRAFE</b> .....                 | vi   |
| <b>RESUMO</b> .....                   | vii  |
| <b>ABSTRACT</b> .....                 | viii |
| <b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b> .....     | ix   |
| <b>CAPÍTULO 1</b> .....               | 1    |
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....             | 1    |
| 1.1 IMPORTÂNCIA DO TRABALHO .....     | 10   |
| 1.2 OBJETIVOS .....                   | 11   |
| 1.2.1 <b> Gerais</b> .....            | 11   |
| <b>CAPÍTULO 2</b> .....               | 12   |
| <b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....    | 12   |
| 2.1 SALINIDADE .....                  | 12   |
| 2.2 TURBIDEZ .....                    | 14   |
| <b>CAPÍTULO 3</b> .....               | 15   |
| <b>3 METODOLOGIA</b> .....            | 15   |
| 3.1 AQUISIÇÃO DE DADOS .....          | 15   |
| 3.2 TRATAMENTO DOS DADOS .....        | 20   |
| 3.2.1 <b> Salinidade</b> .....        | 20   |
| 3.2.2 <b> Turbidez</b> .....          | 21   |
| <b>CAPÍTULO 4</b> .....               | 22   |
| <b>4 RESULTADOS</b> .....             | 22   |
| <b>CAPÍTULO 5</b> .....               | 41   |
| <b>5 SINTESE DOS RESULTADOS</b> ..... | 41   |
| <b>REFERÊNCIAS</b> .....              | 43   |

## APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

A interação fluvial e oceânica presente na Plataforma Continental Norte Brasileira a torna um ambiente com características únicas, o que justifica o crescimento ao longo dos últimos anos de pesquisas e interesses nacionais e internacionais. Estes estudos vêm continuamente elevando a gama de informações e aperfeiçoando a compreensão dos principais processos ocorrentes nesta região.

A maioria dos estudos focam o setor oeste da Plataforma, direcionado à foz do rio Amazonas e seus dois principais canais, Norte e Sul, com variadas temáticas, como os processos físico- oceanográficos na Plataforma Amazônica ou as propriedades estratigráficas da Plataforma (GEYER *et al.*, 1996; FIGUEIREDO JR e NITTROUER, 1995).

O trabalho que será apresentado possui como principal foco o monitoramento da pluma do rio Amazonas e seu comportamento ao longo da Plataforma, em períodos sazonais distintos, na desembocadura do estuário do rio Pará, um ponto de partida diferente de pesquisas anteriores. Este originou-se de um projeto intitulado “InctAmbTropic - Ambientes Marinhos Tropicais: Heterogeneidade Espaço-Temporal e Respostas à Mudanças Climáticas”, patrocinado pelo Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) e apoio da CNPq, FAPESB e CAPES. Objetivou-se avaliar a heterogeneidade espaço-temporal sobre os processos, a dinâmica e o funcionamento da zona costeira e plataforma continental no Norte do Brasil e, desta forma, gerar uma base sólida de informações sobre tais regiões.

O presente trabalho de conclusão de curso está disposto em cinco capítulos, com a inclusão de um artigo científico. O primeiro capítulo é um introdutório sobre a região de interesse, apresentando uma breve descrição dos principais processos atuantes na plataforma continental estudada (circulação costeira no norte do Brasil, ventos, precipitação, maré, descargas dos rios Pará e Amazonas), importância do trabalho e objetivos. No segundo capítulo encontra-se o referencial teórico dos parâmetros de estudo. O terceiro capítulo apresentará a metodologia geral utilizada no estudo. O quarto capítulo traz o artigo científico submetido ao *Journal of Coastal Research* e informações sobre sua publicação. O último e quinto capítulo irá apresentar as considerações finais

sobre o trabalho proposto: sumarização dos principais pontos e descobertas do estudo realizado.

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUÇÃO

Os grandes estuários são as principais interfaces entre a região costeira e os oceanos. Adjacente à esse sistema encontram-se as plataformas continentais.

Na borda oeste do Oceano Atlântico tropical localiza-se a Plataforma Continental Amazônica (PCA), que chega a atingir em torno de 330 km de extensão próximo da foz dos rios Amazonas e Pará (FLOOD e DAMUTH, 1987). Sua extensão é delimitada até a isóbata de 100 m, onde se inicia o talude continental. Apresenta três subdivisões: Plataforma Continental Interna; Plataforma Continental Intermediária, representando a porção mais inclinada situada entre as isóbatas 20 e 40 m e Plataforma Continental Externa, situada entre as isóbatas 40 e 80 m (SILVA, 1998). Os processos oceânicos ocorrentes na PCA são resultantes da superposição de características dominantes: localização latitudinal próximo ao equador; grande energia física gerada a partir das marés, corrente oceânicas e enorme descarga hídrica e sedimentar proveniente do rio Amazonas (NITTROUER e DEMASTER, 1986), tornando a área complexa e com grandes variações sazonais e espaciais.

A região Amazônica abriga o sistema hídrico mais extenso e de maior massa líquida da terra (SIOLI, 1985). O rio Amazonas é responsável pelo estabelecimento da maior zona estuarina do mundo. Aproximadamente 16% da água doce lançadas nas águas do Oceano Atlântico são oriundos desse rio (MULLER-KARGER *et al.*, 1986). Sendo também o terceiro em importância em transporte de sedimentos em suspensão, libera  $\sim 1,2 \times 10^9$  toneladas de sedimentos por ano na plataforma (MEADE *et al.*, 1985).

Segundo Corrêa e Ávilla (2002), o rio Amazonas possui uma desembocadura em forma de delta com cerca de 330 km de largura. Dois canais principais, Norte e Sul, são responsáveis pelo processo de escoamento do rio. É por esses canais que a descarga hídrica do rio Amazonas penetra no oceano Atlântico, com seus máximos de vazão no mês de maio (média de  $220.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) e o mínimo (média de  $100.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) em novembro (GEYER *et al.*, 1996). No mais, a vazão ingressando no estuário pode ser estimada a partir do somatório da vazão do rio Amazonas em Óbidos e do aportado pelos rios Tapajós e Xingú (GABIOUX, 2002).

O rio Pará é o segundo rio do sistema amazônico de drenagem, formado pela confluência de um ramo do rio Amazonas com o rio Tocantins, os quais possuem vazão hídrica diferenciada (Figura 01). Foi definido por Lima *et al.* (2001) como um conjunto hidrográfico sem nascente própria, formado por inúmeros rios cujas águas nele desembocam. Mais precisamente, parte da descarga do rio Amazonas por meio dos Estreitos de Breves, somada à descarga dos rios Tocantins, Acará, Moju, Capim e Guamá, formam o estuário do rio Pará (GREGORIO; MENDES, 2009). Bemerguy *et al.* (2003) refere-se ao estuário do rio Pará como sendo composto por uma sequência de baías: a de Melgaço forma um único canal com larguras entre 3,5 km e 7,5 km, a qual se ramifica em canais múltiplos até desaguar na Baía das Bocas, onde o canal volta a ser único com largura constante de 7,5 km; a partir dessa baía o canal é denominado de rio Pará. A sua vazão média é de  $11 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$  com máximos de  $34 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$  e mínimos de  $4 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$ . O canal principal do rio Pará apresenta profundidades maiores do que 20 m (GABIOUX, 2002).

Segundo Gregório; Mendes (2009), a intensa descarga de água doce reduz consideravelmente a salinidade no estuário, porém, a ocorrência de maré dinâmica na região resulta em uma larga zona de transição fluviomarinha sujeitas ao regime semidiurno das marés. O estuário do rio Pará é de suma importância para a navegação local, ligando os principais portos no nordeste do Pará e Belém, capital do estado, com diversas regiões. Com uma posição privilegiada, possui uma profundidade média de 14 metros, com fácil acesso aos rios e mar adjacente (BEZERRA, 2013).

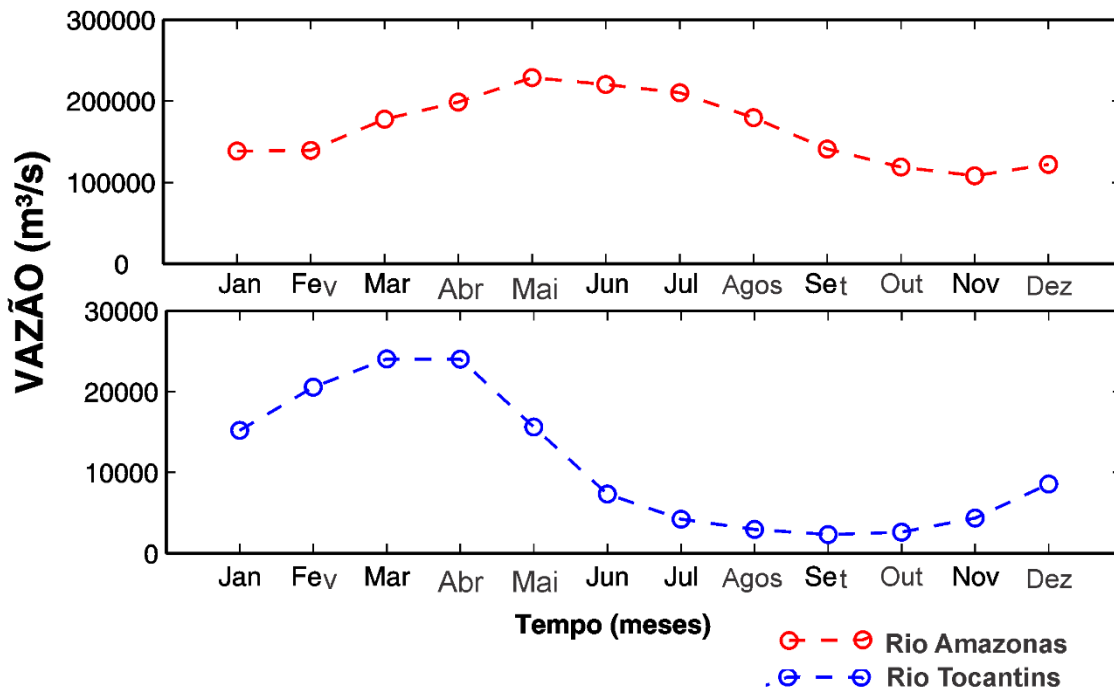


Figura 01: Série histórica da vazão das bacias hidrográficas dos rios Amazonas e Tocantins, obtidos através de dados fornecidos pela Agência Nacional de Água (ANA).

Fonte: Yuri Prestes, arquivo pessoal cedido.

A cobertura sedimentar é diferenciada ao longo da Plataforma, apresentando características de ambiente estuarino, com zonas de turbidez máxima. Com cerca de  $1,1$  a  $1,3 \times 10^9$  toneladas por ano, a presença do sedimento se deve principalmente à essa carga em suspensão transportada em sua maioria pelo rio Amazonas e aos diferentes tipos de acumulo de sedimentos na região (MEADE *et al.*, 1985). O projeto AmasSeds (A Multidisciplinary Amazon Shelf Sediment Study), realizado em parceria brasileira com os Estados Unidos, proporcionou uma visão da Plataforma Norte no inverno amazônico (maio de 1990) e gerou um perfil de concentrações de sedimentos em suspensão e seu aumento com a proximidade ao fundo (Figura 02).

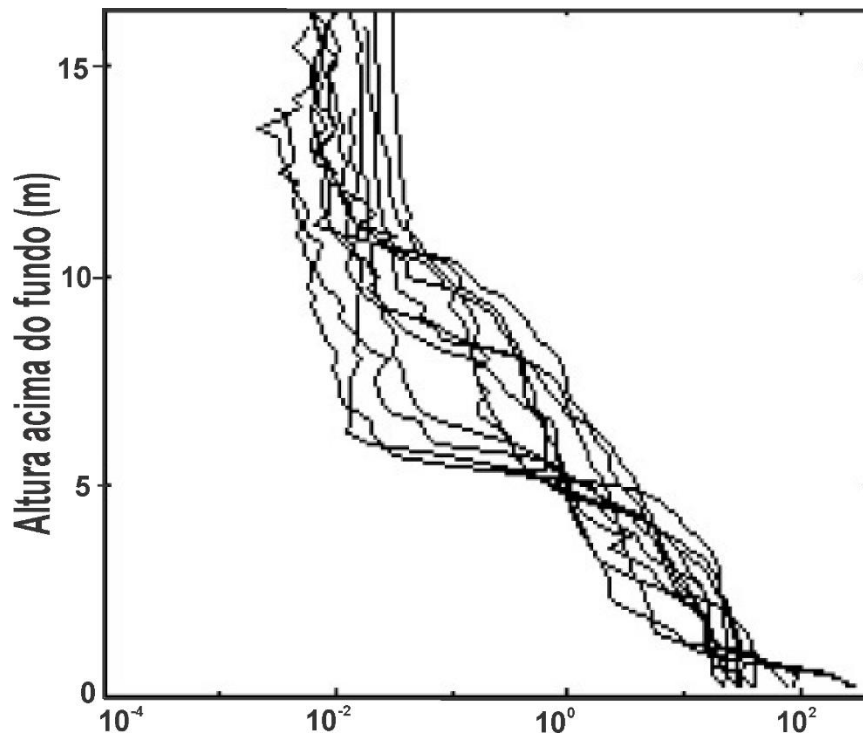


Figura 02: Perfil de sedimento em suspensão observados pelo projeto AmasSeds. Maio, 1990.  
(Modificado de VINZON, 1998).

Fonte: GABIOUX, 2002.

De acordo com levantamentos realizados por Silva (1998), a Plataforma Interna é constituída predominantemente por sedimentos finos, silte, argila siltica e silte argiloso. Os processos que favorecem a sedimentação de materiais finos, principalmente nas proximidades da foz do rio Amazonas, podem favorecer também a ressuspensão e conseqüente redeposição de sedimentos através de correntes de fundo, geradas pelas interações entre rio/oceano (NITTROUER *et al.*, 1995). A porção mais externa retrata a predominância de areias e material siltoso, com alguma argila associada. A presença deste material é justificada, nos períodos de maior descarga do rio, e é relacionada aos processos de circulação das águas oceânicas, que podem dispersar os materiais mais finos em suspensão por longas distâncias (SILVA, 1998).

A distribuição dos depósitos sedimentares ao longo de toda Plataforma foi esquematizada por Nittrouer *et al.* (1983), e apresenta três tipos de sedimentos (Figura 03):

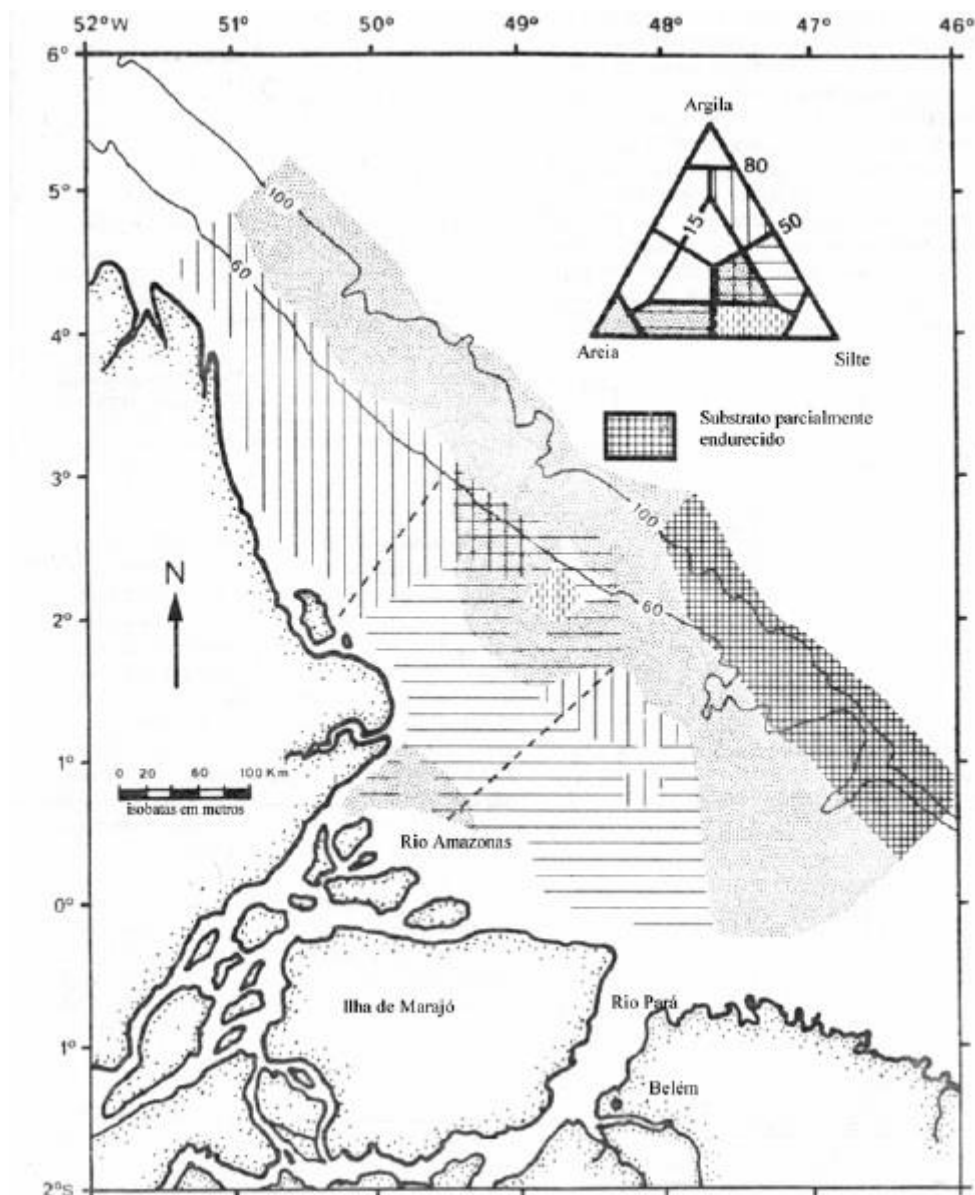


Figura 03: Depósitos Sedimentares ao longo da Plataforma Continental Amazônica (Modificado de NITTROUER *et al.*, 1983).

Fonte: GABIOUX (2002).

A Plataforma Continental Amazônica apresenta um clima caracterizado por instabilidade ocasionada pela baixa pressão atmosférica, alta nebulosidade com chuvas associadas e altos índices de umidade atmosférica, que fazem a identificação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

Os ventos alísios caracterizam-se por ter variação sazonal associada à migração da ZCIT da atmosfera. Quando a ZCIT está localizada próxima ao equador (entre março e abril), a plataforma está submetida à ação dos ventos alísios de nordeste. Durante agosto e

setembro, predominam os alísios de sudeste, que fazem a ZCIT migrar para o norte (FONTES, 2000). Os ventos alísios que sopram durante todo o ano sobre a plataforma, constituem outra forçante da circulação hidrodinâmica.

A circulação na região estuarina e do oceano adjacente é muito complexa devido a diferença hidrodinâmica entre os ambientes.

A circulação oceânica próxima à plataforma continental é marcada pelo sistema Corrente Norte do Brasil e Subcorrente Norte do Brasil (componente de subsuperfície). Silva *et al.* (2009) explicam que esse sistema transporta água quente do Atlântico Sul para noroeste, ao longo da costa brasileira, cruzando a linha do Equador em direção ao Atlântico Norte.

Segundo Richardson e McKee (1984), a circulação na região externa da PCA encontra-se sobre influência da Corrente Norte do Brasil (CNB), a qual flui ao longo da plataforma continental, predominantemente para noroeste, com velocidades entre 0,5 e 1,0 m/s, apresentando valores médios na ordem de 0,6-0,8 m/s. De acordo com Johns *et al.* (1990), a CNB sofre variação sazonal, apresentando valores máximos de 30 Sv<sup>1</sup> entre os meses de agosto e setembro e mínimos de 10 Sv entre abril e maio. Apresenta um transporte médio anual de 26 Sv, segundo Johns *et al.*, (1998).

As correntes de inframaré (com períodos de dias ou semanas) constituem uma outra componente importante da circulação na plataforma. A orientação das correntes é predominantemente ao longo da plataforma, exceto na embocadura do rio Amazonas, onde existe uma componente importante no sentido do mar. O escoamento médio de inframaré é fortemente estratificado (com diferenças de velocidade e salinidade, entre a superfície e o fundo, da ordem de 1 m/s e 20 PSU respectivamente) e tem geralmente direção noroeste, o que poderia estar relacionado com a Corrente Norte do Brasil (GEYER e KINEKE, 1995).

A maré na região estudada é predominantemente semidiurna, amplificada na região costeira, afetada pelo atrito e outros processos físicos à medida que a onda de maré se propaga em águas rasas. Esta região tem uma amplitude de maré de aproximadamente 3 m durante os períodos de quadratura e 4 m nos de sizígia, caracterizando uma região de meso-maré (Davies, 1964).

<sup>1</sup> 1 Sv = 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>

Segundo Fontes (2000), devido sua grande extensão, a Plataforma Norte é um lugar apropriado para que ocorra amplificações significativas das componentes semi-diurnas da maré (Tabela 01). Comparações entre observações de maré feitas por Beardsley *et al.* (1995) indicaram que a maior parte da dissipação de energia da componente M2 ocorre nas proximidades da plataforma interna, em profundidades menores que 20 metros (Figura 04).

Tabela 1: Períodos de amplitudes propostas por BEARDSLEY *et al.* (1995), baseadas em cartas cotidais de CARTWRIGHT (1991).

| Componentes Astronômicas Semidurnas | Período (h) | Intervalo de Amplitude (m) |
|-------------------------------------|-------------|----------------------------|
| Lunar Principal - M2                | 12,42       | 0,70 a 0,85                |
| Solar Principal - S2                | 12,00       | 0,20 a 0,28                |
| Lunar Elíptica Maior - N2           | 12,66       | 0,15 a 0,17                |
| Componentes Astronômicas Diurnas    |             |                            |
| Solilunar Declinacional - K1        | 23,93       |                            |
| Lunar Principal - O1                | 25,82       | 0,06 a 0,08                |

Fonte: Modificado de GABIOUX (2002).

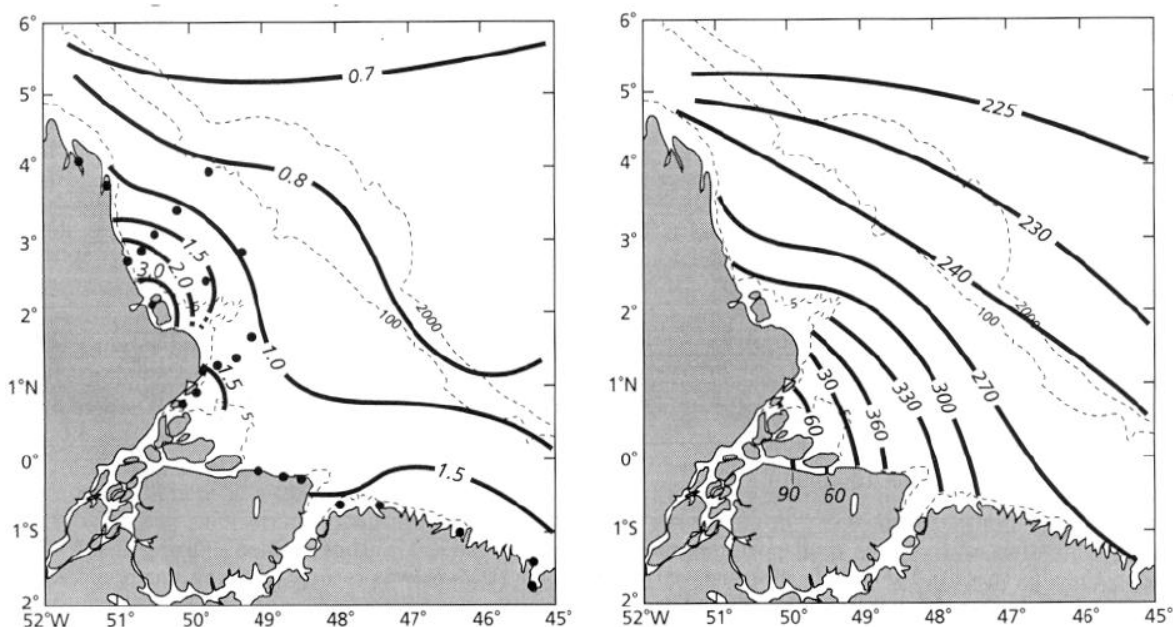


Figura 04: Amplitude e fase da componente astronômica principal M2 na plataforma Amazônica. Nível do mar (estações em pontos pretos) calculados a partir de resultados altimétricos das cartas cotidais de CARTWRIGHT (1991), somados a informações do projeto AmasSeds. À esquerda apresentam-se as curvas de amplitude (em metros) e a direita as curvas de fase (em graus Greenwich) do nível do mar. Fonte: BEARDSLEY *et al.*, (1995).

A corrente de maré na região é da ordem de 1 m/s e voltadas no sentido perpendicular às isóbatas locais (BEARDSLEY *et al.*, 1995). Essas correntes incidem e fluem perpendicularmente sobre as isóbatas, durante os períodos de maré alta e baixa. Nas regiões mais rasas (sul da PCA), a maré se comporta como ondas progressivas, se propagando em direção à foz do rio Amazonas. Ao norte, as mesmas se propagam como ondas quase estacionárias (BEARDSLEY *et al.*, 1995). Há também uma significativa variação quinzenal, sizíguas e quadraturas, e mensal de níveis e velocidades. As máximas (sizíguas) chegam até 2m/s e as mínimas (quadraturas) de 0,8 m/s (GEYER E KINEKE, 1995).

As marés influenciam diretamente na mistura da coluna d'água próximo à região litorânea, favorecendo as estratificações de salinidade na área da PCA adjacente, principalmente na maré baixa (GEYER *et al.*, 1996). O ciclo quinzenal da maré e a variação sazonal da vazão fluvial influenciam a localização e as variações da frente salina (GEYER e KINEKE, 1995). Geyer (1996) caracterizou a circulação sobre a plataforma como típica de estuários de cunha salina nas quadraturas e de estuários bem misturados nas sizíguas.

O ingresso da vazão fluvial dos rios Amazonas e Pará gera uma pluma de baixa salinidade que se estende vários quilômetros no sentido noroeste sobre a Plataforma Continental. A pluma tem aproximadamente 3 a 10 m de espessura e 80 a 200 km de largura (LENTZ e LIMBURNER, 1995). O encontro da pluma de água doce com a água salgada forma-se uma intensa frente salina a ~ 150 km da foz dos rios, que se estende por 400 km ao longo da plataforma entre as isóbatas de 10 e 20 m. A localização e as variações da frente salina estão associadas ao ciclo quinzenal (sizíguas e quadraturas) da maré e a variação sazonal da vazão fluvial (GEYER E KINEKE, 1995).

A extensão da pluma estuarina formada é superior a 1000 km em direção Noroeste, penetrando o oceano atlântico norte, e centenas de quilômetros em direção ao oceano aberto (GIBBS, 1970). A profundidade da pluma apresenta uma variação espaço-temporal, com médias de 7,3 e 2,9 m. Segundo Lentz (1995), de janeiro a julho a pluma desloca-se em direção ao Caribe (cerca de 5°N e 52° W) e, entre agosto a dezembro, 70% das águas de baixas salinidades são transportadas para leste (atuação da Corrente Norte Brasileira) e os 30% restantes para o Caribe.

Em 1988, Muller-Karger *et al.* utilizaram imagens de satélites para evidenciar um padrão sazonal da distribuição espacial da pluma do Rio Amazonas, o que confirmou sua relação com a variação da descarga continental. Segundo Geyer *et al.* (1991), mais afastados da foz, dados hidrográficos da região mostram que a estrutura e extensão da pluma podem variar substancialmente ao longo do tempo numa escala de semanas.

A área de interesse situa-se ao leste da Plataforma Continental Amazônica, setor mais próximo à desembocadura do rio Pará, entre os paralelos  $0^{\circ} 10.50' S - 1^{\circ} 14.6' N$  e meridianos  $48^{\circ} 12' W - 46^{\circ} 32.4' W$ . Totalizando cerca de 260 km de extensão, teve como ponto de saída o extremo do Cabo Maguari (ilha do Marajó) até quebra da plataforma (Figura 05).

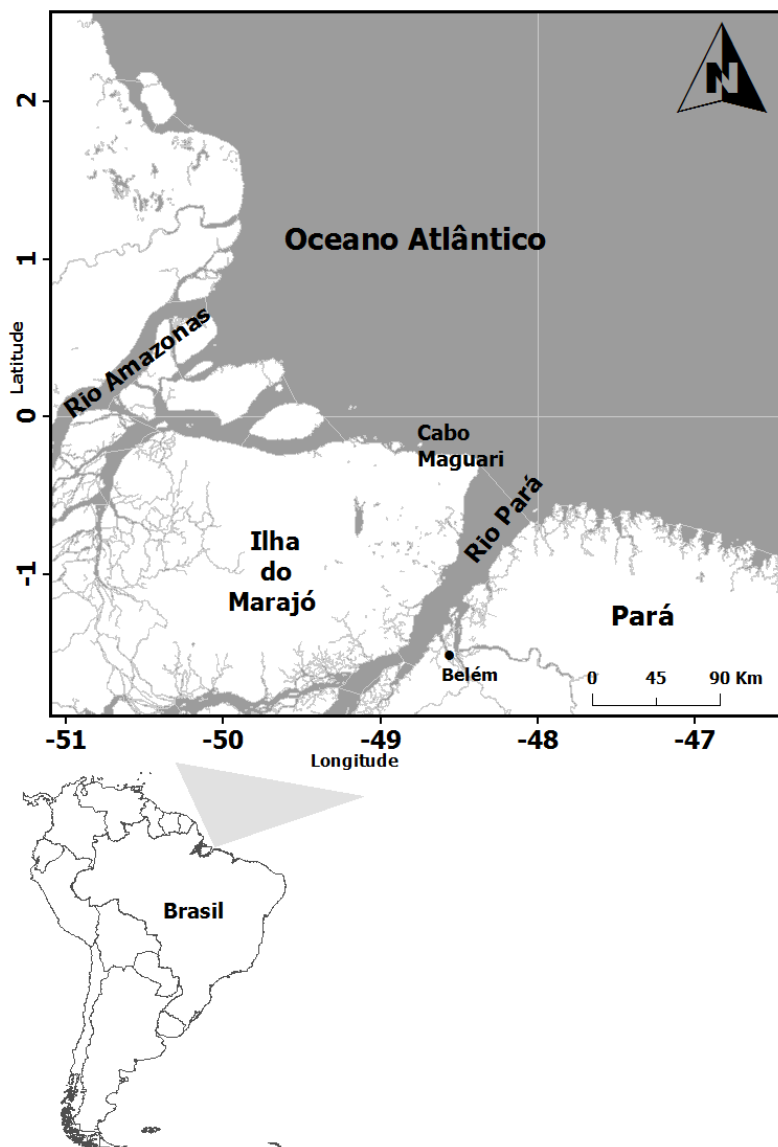


Figura 05: Mapa de localização da área de estudo.

Fonte: Autora.

## 1.1 IMPORTÂNCIA DE TRABALHO

O elevado aporte de águas doces, sobretudo provenientes dos rios Amazonas e Pará, aliam-se à um ambiente como o da Plataforma Continental, que apresenta uma série de características oceanográficas únicas, resultado da interação de diversos fatores. Isso leva à necessidade de aprofundamento dos conhecimentos hidrodinâmicos, aprimorando o embasamento científico sobre o meio em questão.

Devido à grande importância da Plataforma Continental Norte Brasileira nas interações das águas do Oceano Atlântico, estudos já foram realizados na área, como exemplo de Gabioux *et al.* (2005), que estudou a hidrodinâmica associada à propagação de maré sobre a Plataforma Amazônica e Nittrouer e DeMaster (1996), que analisaram o ambiente da Plataforma Amazônica em um cenário tropical, energético e influenciado por um grande rio.

O monitoramento da pluma gerada pelo aporte de água doce do rio Amazonas nos permite ter conhecimento mais abrangente sobre os fenômenos da região e as influências que ela exerce. Contudo, estudos focados mais ao leste, o setor da foz do rio Pará e sua influência e contribuição na Plataforma adjacente ainda são escassos, fato que não condiz com a importância do rio citado.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Gerais

Determinar as variações sazonais da pluma do rio Amazonas, com foco no setor leste, próximo à foz do rio Pará.

- Analisar a variação espacial dos parâmetros abióticos (salinidade, temperatura, turbidez) ao longo da área estudada na plataforma;
- Avaliar e comparar os efeitos dos períodos de máxima e mínima descarga fluvial na Pluma do rio Amazonas;
- Determinar o alcance vertical dos parâmetros citados na pluma nos períodos de baixa descarga, transição e alta descarga.

## CAPÍTULO 2

### 2. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 2.1 SALINIDADE

A salinidade do meio aquático é de suma importância como indicador da influência em diversas variáveis, como o exemplo de remoção/liberação de elementos na coluna d'água ou do volume de contribuição fluvial. Além de ser um parâmetro de caracterização ecológica de estuários, está intimamente ligada ao cálculo de densidade de uma massa de água estuarina (MIRANDA, CASTRO e KJERFVE, 2002).

A salinidade nos estuários apresenta um comportamento espaço-temporal muito variado, devido principalmente aos processos advectivo e difusivo e à descarga fluvial.

Em sua definição mais simples, a salinidade é a quantidade total de sais dissolvidos em um determinado volume de água do mar. Anteriormente considerava-se a salinidade como uma quantidade adimensional, ou seja, não possuía unidade representativa. Sua definição inicial não se mostrou eficaz, uma vez que, na prática, o material dissolvido é quase impossível de ser medido.

Já no final do século XIX metodologias eram testadas para a definir o parâmetro e buscar sua estimativa. Em 1884, após a análise na expedição *Challenger*, constatou-se que a proporção dos maiores constituintes permanecia constante, apesar da concentração de sal variar no espaço e no tempo, logo, a determinação da salinidade poderia se dar através da análise de apenas um elemento. O Cloro, o elemento mais presente, foi adotado.

Em 1901, Knudsen propôs a salinidade a partir do cálculo de determinação da clorinidade (Cl), por titulação química em g/kg (‰). Essa conversão era realizada a partir de uma equação, denominada de Equação de Knudsen e válida apenas para salinidade de 2 a 4‰:

$$S = 0,03 + 1,805 \times Cl$$

Posteriormente, na década de 1960, outro meio para obtenção da salinidade foi proposto pela comunidade científica: a escala indutiva. O parâmetro passou a ser calculado a partir da condutividade elétrica ( $R_t$ ), método mais rápido e de melhor precisão. Ele se baseia na capacidade da água de conduzir elétrons, sendo uma função direta de sua temperatura e salinidade. O método deu continuidade ao proposto pela equação de Knudsen (resulta no mesmo valor de salinidade,  $S = 35,0$ ). Na mesma escala clássica de Knudsen, porém, com precisão de  $\pm 0,003 \text{ ‰}$  no cálculo (UNESCO, 1966).

A definição através da Escala Prática de Salinidade, em 1978 (EPS-78), teve como desígnio eliminar qualquer problema inerente às definições anteriores. Ela é definida pela razão entre a condutividade de uma amostra de água e de uma solução de cloreto de potássio (KCl), de concentração 32,4356 g/kg (a 15°C e pressão atmosférica). Para calcular a salinidade com medidas da condutividade *in situ*, as medidas devem ser reduzidas ao valor correspondente à pressão atmosférica. Tal redução é realizada por meio de um conjunto de equações, os algoritmos da EPS-78, de acordo com os dados contidos nos relatórios da UNESCO (UNESCO, 1981).

Antes adimensional, a salinidade absoluta, em g/kg, é uma unidade de concentração do sistema internacional (SI). As propriedades termodinâmicas da água do mar, tais como densidade e entalpia, agora são expressas corretamente como salinidade absoluta. As variações espaciais na composição da água do mar significam que a salinidade absoluta não é proporcional ao método de salinidade prática. Mesmo que a recomendação da UNESCO siga a linha de não atribuir uma unidade nos valores de salinidade, ela é uma grandeza física, logo, é composta por um número e sua respectiva unidade. Para evitar quaisquer problemas de interpretação, os valores de salinidade prática devem ser relatados expressos pelo símbolo  $S_p$  (PSU – unidade práticas de salinidade).

As diversas formas de determinação da salinidade funcionam bem quando analisamos águas oceânicas, já que a salinidade, em geral, não varia consideravelmente com a localização. Apenas em águas costeiras e estuarinas que há um alto índice de variação e significativas mudanças.

## 2.2 TURBIDEZ

Souza (2006) determinou o parâmetro turbidez como o termo aplicado à uma matéria de qualquer natureza suspensa na coluna d'água. De forma geral, representa a dificuldade que um feixe de luz possui ao atravessar uma certa quantidade de água, conferindo uma aparência turva à mesma. Os materiais sólidos em suspensão estão entre os fatores de maior causa da turbidez da água.

A turbidez pode ser caracterizada também como uma propriedade física dos fluidos. A interação óptica entre a luz incidente e as propriedades dos materiais em suspensão a tornam uma propriedade subjetiva. É o principal fator, no âmbito oceanográfico, da determinação da zona eufótica (MOREIRA *et al.*, 2001).

Uma grande quantidade de partículas em suspensão é uma característica bastante geral nos ecossistemas estuarinos (BIGGS, 1970; EISMA, 1993). Águas estuarinas são naturalmente mais ricas em material em suspensão do que as águas marinhas, devido às maiores intensidades das fontes e maior produtividade primária e secundária (BAUMGARTEN e POZZA, 2001).

A região estuarina possui fundamental papel como elementos reguladores da transferência de material derivado do intemperismo continental e aportado às regiões costeiras e oceânicas através dos rios. Em função das características de suas águas, sua morfologia e dinâmica, os estuários podem atuar como filtros, retendo sedimentos fluviais ou marinhos em seu interior, como exportadores, facilitando seu transporte até a costa/oceano, ou mesmo atuando como importadores, quando favorecem a entrada de sedimentos marinhos para seu interior (FERREIRA, 2013).

No que diz respeito aos parâmetros de medição, há a necessidade de validação baseada em padrões previamente estabelecidos por normas técnicas e suas escalas de unidade. Para regiões costeiras e estuarinas, a unidade FTU (Formazin Turbidity Units) é, em geral, a adotada para baixas concentrações.

## CAPÍTULO 3

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 AQUISIÇÃO DOS DADOS

Adjacente à zona costeira norte brasileira encontra-se a PCA no oceano Atlântico Tropical, que chega a atingir em torno de 330 km de extensão próximo da foz do rio Amazonas (FLOOD e DAMUTH, 1987). A largura varia consideravelmente ao longo de sua extensão, sendo mais larga também na porção próxima à desembocadura do rio Amazonas. Situa-se entre o estuário do Rio Pará e o Cabo Orange, com a isóbata de 100 m delimitando sua quebra (NITTROUER e DEMASTER, 1986). Silva (1998) subdividiu-a em três porções: Plataforma Interna, Intermediária e Plataforma Externa.

A região proposta para o estudo é a porção leste da PCA, nas proximidades da foz do rio Pará, que se estende desde a linha de costa do Cabo Maguari (Ilha do Marajó) e segue um percurso transversal sob a plataforma até cerca de 260 km *offshore*. O último ponto do *transect* ultrapassa um pouco a quebra da plataforma, delimitada pela isóbata de 100 m (Figura 06). Abrange os paralelos 0° 10.50' S - 1° 14.6' N e meridianos 48° 12' W - 46° 32.4' W.

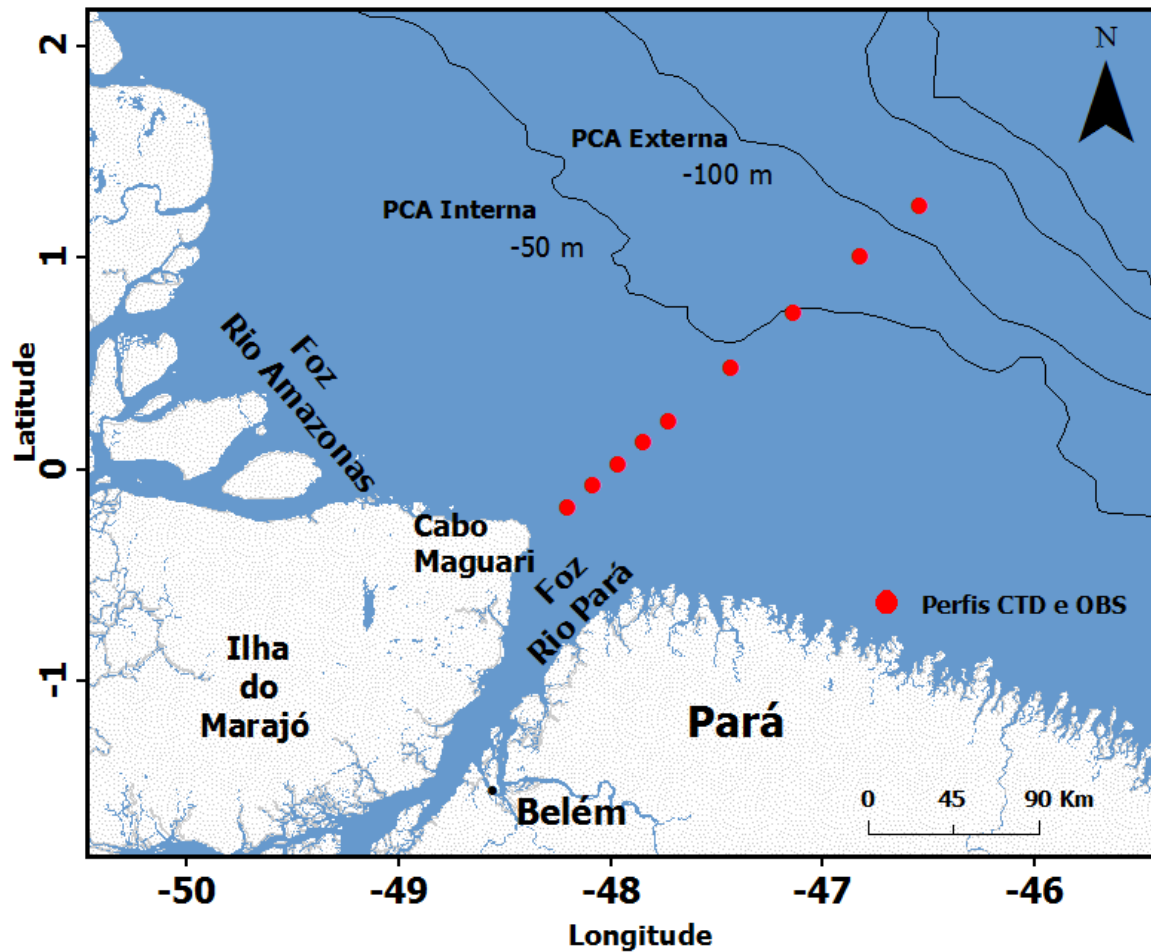


Figura 06: Mapa da área de estudo evidenciando os pontos de coleta georreferenciados. Isóbatas delimitando as divisões existentes na PCA.

Fonte: Autora.

Os dados demonstrados no presente trabalho foram coletados durante campanhas oceanográficas na PCA e oceano Atlântico adjacente. As campanhas oceanográficas de coleta fizeram parte de um projeto proposto pelo Instituto de Ciências e Tecnologias (INCT), entre os anos de 2013 e 2014.

O projeto titulado Ambientes Marinheiros Tropicais: Heterogeneidade Espaço-Temporal e Respostas à Mudanças Climáticas (*AmbTropic*), financiado pelo INCT, é resultado de uma coordenação que objetiva a avaliação da heterogeneidade no espaço e no tempo dos ambientes tropicais marinhos, resultando na determinação dos padrões das regiões norte e nordeste do Brasil. O *AmbTropic* é um trabalho conjunto das Universidades Federais da Bahia e de Pernambuco, além de contar com o auxílio científico de mais de 200 pesquisadores de instituições brasileiras de ensino.

As amostragens foram realizadas em cinco campanhas ao longo da Plataforma, seguindo pontos de coleta previamente propostos. As medições foram realizadas pela equipe do Laboratório de Oceanografia Física (LOF), em períodos sazonais distintos e em um intervalo interanual: máxima descarga de água dos rios, meses de abril de 2013 e maio de 2014; mínima descarga de águas fluviais, meses de outubro de 2013 e 2014; período considerado de transição no mês de julho de 2014. A Tabela 02 apresenta informações gerais das campanhas realizadas.

Tabela 02: Informações dos cruzeiros oceanográficos realizados, com coordenadas geográficas dos *transects*.

| <b>Data</b>       | <b>Período</b> |  |
|-------------------|----------------|--|
| <b>9/4/2013</b>   | Chuvoso        |  |
| <b>7/10/2013</b>  | Seco           |  |
| <b>4/5/2014</b>   | Chuvoso        |  |
| <b>5/7/2014</b>   | Transição      |  |
| <b>24/10/2014</b> | Seco           |  |

| <b>Pontos</b> | <b>Latitude (°)</b> | <b>Longitude (°)</b> |
|---------------|---------------------|----------------------|
| <b>P1</b>     | -0,175              | -48,2                |
| <b>P2</b>     | -0,073              | -48,08               |
| <b>P3</b>     | 0,027               | -47,96               |
| <b>P4</b>     | 0,131               | -47,84               |
| <b>P5</b>     | 0,229               | -47,72               |
| <b>P6</b>     | 0,483               | -47,43               |
| <b>P7</b>     | 0,741               | -47,13               |
| <b>P8</b>     | 1,007               | -46,82               |
| <b>P9</b>     | 1,244               | -46,54               |

Fonte: Autora.

Adotando como ponto inicial o Cabo Maguari, foi realizado um *transect* com nove perfis verticais de condutividade, temperatura, pressão e turbidez. O espaçamento entre os pontos seguiu intervalos diferentes, sendo os primeiros cinco pontos com distâncias de ~20 km e os quatro últimos, 40 km. Para os perfis de salinidade, um CTD (Conductivity, Temperature, Depth), modelo *Microcat SBE-37*, operando a uma frequência amostral de

5 segundos, foi utilizado. O equipamento possui sensores para registrar os parâmetros requeridos e, através das medidas de condutividade, pode-se obter a salinidade. Os registros de turbidez foram obtidos a partir de um sensor OBS (Optical Backscatter Sensor) modelo *Infinity-turbi ATU75W-USB* (Figura 07), registrando em uma frequência de 1 segundo. Ambos os equipamentos foram programados e acoplados à uma gaiola de aço (Figura 08) e posteriormente, à uma estrutura da embarcação para o fundo.

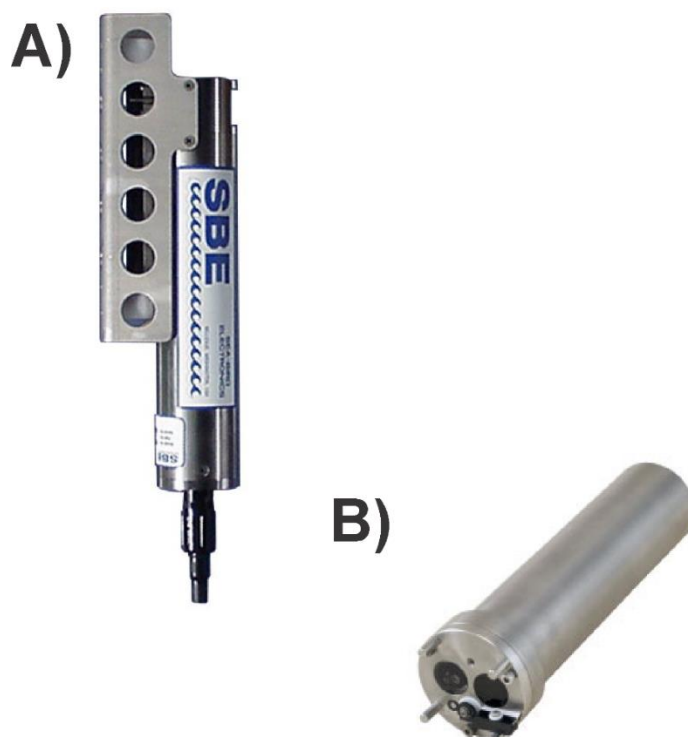


Figura 07: Imagem dos equipamentos utilizados na obtenção dos dados. A) CTD - *Conductivity, Temperature, Depth*; B) OBS - *Optical Backscatter Sensor*.

Fonte: Sea-Bird Electronics (2016); JFE Advantech Co. (2016).

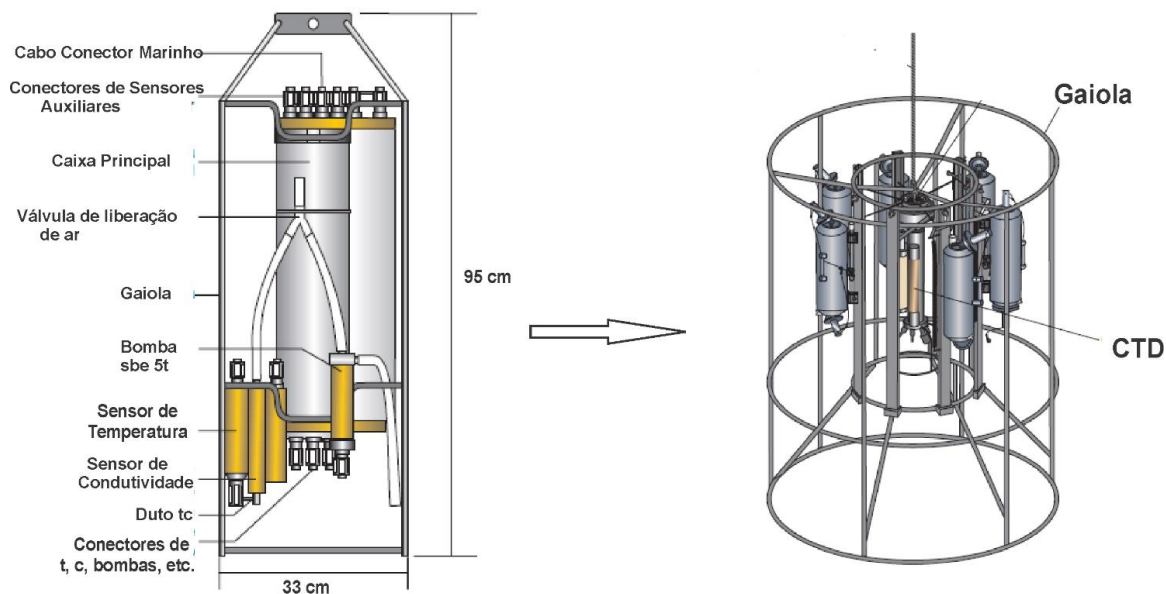


Figura 08: Ilustração das especificações de um equipamento como o CTD e a gaiola, a qual os equipamentos são acoplados para fundeio nas campanhas oceanográficas (Adaptado do catálogo da *Sea-Bird's Electronics Inc*).

Fonte: Calazans (2011).

Durante todas as campanhas do projeto, o CTD foi operado a uma profundidade máxima de registro de 60 metros e o OBS, da camada superficial até 30 metros, seguindo as limitações de cada equipamento.

Os mapas da área de estudo, utilizando as isóbatas para a delimitação da Plataforma Norte Brasileira, além dos pontos de fundeio nos cruzeiros, foram todos confeccionados e elaborados em software específico, a partir de shapes adquiridos para livre download no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

## 3.2 TRATAMENTO DOS DADOS

Após a aquisição dos dados brutos em campo, os mesmos foram previamente visualizados por meio de softwares especializados e processados por programas específicos no gerenciamento de dados.

No cálculo para o monitoramento da distância da pluma, os valores de salinidade inferiores à 30 PSU e de turbidez superiores a 10 FTU foram adotados como referência no trabalho.

### 3.2.1 Salinidade

O equipamento utilizado dispõe de um software próprio, o *SBE Data Processing*®, que proporciona a visualização prévia dos dados adquiridos e conversão de parâmetros.

A conversão de salinidade prática (PSS-78) foi realizada utilizando um pacote computacional seawater (Morgan, 1994), com algoritmos práticos adotados pela UNESCO em termos de condutividade elétrica, temperatura e pressão (UNESCO, 1981).

O cálculo de conversão é referenciado em uma amostra de água do mar (razão K), que é a medida da condutividade elétrica à uma de uma amostra a 15°C e pressão atmosférica, dividida pela condutividade de uma solução de cloreto de potássio (32,4356 g/kg), representado pela seguinte equação:

$$S = 0.0080 - 0.1692 K^{1/2} + 25.3853 K + 14.0941 K^{3/2} - 7.0261 K^2 + 2.7081 K^{5/2}$$

Alguns perfis apresentando picos (*spikes*) em seu registro foram submetidos à uma etapa de correção e interporlação dos dados em ambiente MatLab®, utilizando-se preferencialmente os perfis de descida do CTD.

### 3.2.2 Turbidez

O sensor utilizado no registro da turbidez é calibrado com um algoritmo interno e seu funcionamento é dado através da relação entre a quantidade de luz retroespalhada no infravermelho pela água com as concentrações equivalentes de partículas calibradas pela fábrica.

A precisão do aparelho é dada para altas e baixas concentrações; para baixas concentrações é aconselhável usar o FTU, *Formazine Turbidity Unit*, (precisão de  $\pm 0.3$  FTU ou  $\pm 2\%$  e intervalo de medição 0-1000 FTU), e para altas concentrações é aconselhável utilizar parte por milhão (ppm, com precisão de  $\pm 10$  ppm ou  $\pm 5\%$  e intervalo de medição 0-100.000). No presente trabalho, foi utilizada a unidade FTU para a turbidez.

Ao final do tratamento dos dados do CTD, pôde-se gerar gráficos das medidas termodinâmicas nos últimos pontos de coleta, mais distantes da costa. Um diagrama T/S, que é a relação entre temperatura e salinidade na coluna d'água, foi gerado para possibilitar observar se houve ou não a presença de massas de água e qual a influência da CNB nas mesmas.

## CAPÍTULO 4

### 4. RESULTADOS

Os resultados gerados pelo presente estudo encontram-se expostos no artigo a seguir, que foi submetido e posteriormente publicado pelo *Journal of Coastal Research*, SI 75, Vol. 1. Apresentado no XIV *Internacional Coastal Symposium*. Sidney, Austrália.

|                             |    |    |         |                        |      |
|-----------------------------|----|----|---------|------------------------|------|
| Journal of Coastal Research | SI | 75 | 532-536 | Coconut Creek, Florida | 2016 |
|-----------------------------|----|----|---------|------------------------|------|

## Seasonal Variations of the Amazon River Plume with Focus on the Eastern Sector

Angela C.C. Mascarenhas<sup>†\*</sup>, Gabriela S. Gomes<sup>‡</sup>, Antônia P.Y. Lima<sup>‡</sup>, Heriton K.N. da Silva<sup>‡</sup>, Leandro S. Santana<sup>‡</sup>, Renan P. Rosário<sup>‡</sup>, and Marcelo Rollnic<sup>†‡</sup>

<sup>†</sup>Physical Oceanography Laboratory, Oceanography Faculty  
Federal University of Pará  
Belém, Brazil

<sup>‡</sup>Marine Geophysical Laboratory, CPGF  
Federal University of Pará  
Belém, Brazil



www.cerf-jcr.org



www.JCRonline.org

### ABSTRACT

Mascarenhas, A.C.C.; Gomes, G.S.; Lima, A.P.Y.; Silva, H.K.N.; Santana, L.S.; Rosário, R.P., and Rollnic, M., 2016. Seasonal variations of the Amazon River Plume with Focus on the Eastern Sector. *In: Vila-Concejo, A.; Bruce, E.; Kennedy, D.M., and McCarroll, R.J. (eds.), Proceedings of the 14th International Coastal Symposium (Sydney, Australia). Journal of Coastal Research, Special Issue, No. 75, pp. 532-536. Coconut Creek (Florida), ISSN 0749-0208.*

The Amazon Continental Shelf (ACS) is a highly dynamic environment as a result of physical processes (tidal, current and wind) and the large river discharge from Amazon and Pará Rivers. This research aims to determine seasonal variations of the plume of the Amazon River in the eastern sector, near the Pará River mouth. Five oceanographic campaigns were conducted on the ACS: April and October 2013; May, July and October 2014. The sampling line followed the shape of the Cape Maguari (Marajo Island) to 260 km in the shelf break. Nine vertical profiles of conductivity, temperature and pressure and turbidity were collected. It reaches a perpendicular distance up to 200 km from the coast during period of maximum rivers discharge (April and May). During low river discharge (October 2013 and 2014), the plume was restricted to 30 km and presented relative high levels of salinity (20 PSU). The Coastal Water, characterized by high temperatures and low salinity was limited to about -15 m deep. The Tropical Surface Water, which is considered a high value of salinity and water temperature, was identified in the last sample point to 260 km from the coast in 2014. This water body characteristics is commonly found in the North Brazil Current, then it can be concluded that water mass invades the Amazon continental shelf. Even in low discharge conditions, adjacent ocean water do not invade the the Amazon River mouth, only the Pará River estuary. Because of that, these estuaries present different physical and biological processes.

**ADDITIONAL INDEX WORDS:** *Amazon Continental Shelf, Cabo Maguari, CTD.*

### INTRODUCTION

The Amazon Continental Shelf (ACS) is a highly energetic environment due to both variation in intensity of the physical processes (tides, currents, and winds) acting in the region, and the large water supply laden with suspended particulate matter, deriving from the discharge of the Amazon and Pará Rivers (Gabioux *et al.*, 2005). The shelf is approximately 330 km long next to the mouth of the Amazon River and the -100 m isobath outlines its break (Nittrouer and DeMaster, 1986). It also has three subdivisions: inner, intermediate, and outer ACS (Silva, 2006).

In a global scale, the Amazon River corresponds to approximately 16% to 20% of the total continental waters discharged into the ocean (Molinier *et al.*, 1996); it has a minimum water discharge of  $100,000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  and a maximum of  $220,000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (Geyer *et al.*, 1996) and a sedimentary load ranging from  $22 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  to  $125 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  (Gibbs, 1967). Estimates

of freshwater supply to the Atlantic Ocean through the Amazon River might be calculated based on the sum of its outflow in Óbidos and two main rivers, Tapajós and Xingu. Tapajós and Xingu rivers combined tend to average 10% of the Amazon River flow, also resulting in the low-salinity plume present in the shelf (Gabioux, 2002). During the maximum discharge season of the Amazonian fluvial system, around 85% of the sediments discharged onto the shelf are comprised of silt and clay, resulting from highly energetic coastal dynamics (Nittrouer and DeMaster, 1986). The Pará River, in turn, is comprised of a hydrographic system formed by the confluence of several of its tributaries, and its main source is the Tocantins River (Martins, 2010; Prestes *et al.*, 2014). The Tocantins River discharge (resulting transport) ranges from  $10,828 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  to  $74,391 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (Prestes *et al.*, 2014).

The region has high rainfall rates, and the presence of the Intertropical Convergence Zone (ITCZ), typical of low latitude regions, in addition to a trade-wind regime throughout the year. Together, these two forcings show seasonal variations. When ITCZ is located near the equator (between March and April), the shelf is subject to the action of northeast trade winds. When ITCZ migrates north ( $\cong 5^\circ \text{N}$ ), in August and September, the region is

DOI: 10.2112/SI75-107.1 received 15 October 2015; accepted in revision 15 January 2016

\*Corresponding author: carolinacidon@gmail.com

©Coastal Education and Research Foundation, Inc. 2016

under the predominant influence of southeast trade winds (Fontes, 200).

Previous studies indicate that the main astronomic forcing in the ACS region, classified as a meso- to macrotidal region, is the semidiurnal tide regime, with ranges of up to 1.5 (next to the mouth of the Amazon and Pará Rivers) and 3.5 m along the coast. In the upper Pará River, the tide has a nearly stationary wave behavior (Beardsley *et al.*, 1995). Levels and velocities change both monthly and fortnightly, with maximum spring of  $\approx 2 \text{ m.s}^{-1}$  and minimum neap tides of  $\approx 0.7 \text{ m.s}^{-1}$  (Geyer and Kineke, 1995). The North Brazil Current (NBC) works as the main contour current near the shelf, predominantly towards the northwest, with velocities between 0.5 and 1.0  $\text{m.s}^{-1}$  and seasonal variations (Richardson and McKee, 1984).

Hydro-sedimentary supply from these rivers interferes directly with physical, chemical, geological, and biological aspects across the entire ACS due to the formation of estuarine plume in the Amazon and Pará Rivers (Santos *et al.*, 2008). The patterns observed in the ACS for physico-chemical parameters such as salinity and turbidity are determined by the spatio-temporal dynamics of the plume; consequently, the levels of primary production in the region shall also be influenced by this variation (Dagg *et al.*, 2004).

In addition to hydrodynamic processes, meteorological factors also control the Amazon drainage system. Hence, the seasonality of rainfall levels, which defines two distinct seasons throughout the year, the wet season from December to May and the dry season from July to October, with a transitional season in June and November, is also a determining agent in the plume dynamics (Figueroa and Nobre, 1990). In the adjacent ocean there is the North Brazil Current (NBC), which flows along the Amazon shelf break, always towards the northeast (Richardson *et al.*, 1994). This current intensifies in the period ranging from July to August (35 Sv,  $\text{Sv} = 10^6 \text{ m.s}^{-1}$ ) and weakens (13 Sv) from May to April (Johns *et al.*, 1998).

Fluvial/oceanic interaction in the ACS makes it an environment with unique characteristics, vital for its understanding, which raises interest and encourages several studies in its western portion (area of greater influence from the Amazon River), as shown by Gabioux *et al.* (2005) and Nittrouer and DeMaster (1995). However, few studies have focused the mouth of the Pará River. Therefore, this study aimed to check spatio-temporal variations of the Amazon and Pará River plume in the eastern portion, near the mouth of the Pará River.

## METHODS

Five oceanographic campaigns were carried out on the ACS: April and October, 2013; May, July, and October, 2014. The sampling line started at the Cape Maguari (Marajó Island), 260 km from the shelf break (Figure 1). Nine vertical conductivity, temperature, pressure (CTD SBE-37SM), and turbidity profiles (from the surface layer to a 30-m depth) were collected.

Practical Salinity (PSS-78) was converted using the computer package seawater (Morgan, 1994), with algorithms adopted by UNESCO in terms of electrical conductivity, temperature, and pressure ratio (UNESCO, 1981). Profiles underwent peak (spikes) correction and interpolation, preferably using descending CTD profiles.

Turbidity was obtained together with hydrographic parameters, using an OBS sensor (Optical Backscatter Sensor), Infinity-turbi ATU75W-USB model. This sensor is calibrated using an internal algorithm, which relates the amount of retro-reflected infrared light through the water to equivalent concentrations of factory calibrated particles. Device accuracy is given for high and low concentrations; for low concentrations, it is advisable to use FTU, Formazine Turbidity Unit, (accuracy of  $\pm 0.3 \text{ FTU}$  or  $\pm 2\%$  and measurement interval of 0-1000 FTU), and for high concentrations, part per million is advisable (ppm, with accuracy of  $\pm 10 \text{ ppm}$  or  $\pm 5\%$  and measurement interval of 0-100.000). In this study, FTU will be used as turbidity unit.

To calculate the distance from the plume, salinity values lower than 30 and turbidity values higher than 10 FTU were adopted as reference.

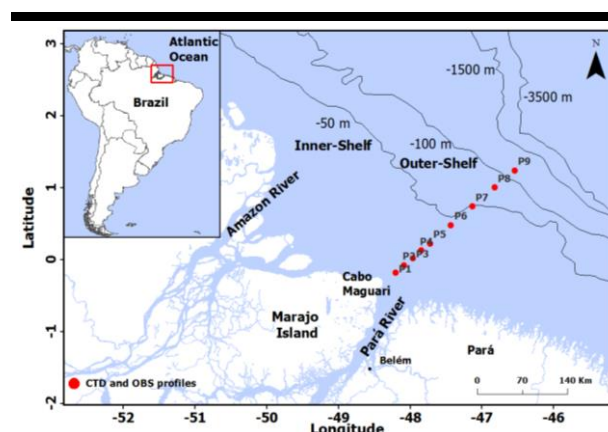


Figure 1. Location of the study area with georeferenced points. Northern Continental Shelf, Coast of Pará State, Brazil.

## RESULTS

Salinity values indicated a plume range of up to 130 km during April 2013, related to high fluvial discharge season, and when turbidity was analyzed as indicator of plume, the range was 65 km (Figure 2 A/B). In October, 2013, in the low fluvial discharge season, plume range retracted, with maximum ranges of 50 km for salinity and 70 km for turbidity (Figure 2 C/D). Overall, 2014 showed larger distances compared to 2013. In May (Figure 2 E/F) and July (Figure 2 G/H), 2014 (high discharge and transitional seasons), the distances between sampling months were the largest. Salinity values indicated a distance of up to 230 km in May, while it reached 120 km from the coast in July. Turbidity analyses recorded a lower variation in range, of 90 km (May) and 45 km (July). In October 2014, the plume reached distances of up to 70 km from the coast with salinity values and 60 km with turbidity values (Figure 2I/J). Finally, estuarine plume obtained the highest distances with salinity values and the lowest with turbidity values in high fluvial discharge seasons, following the opposite pattern in low fluvial discharge seasons.

Analyzing vertical variation of salinity values in the plume, we noticed that the influence of the plume reaches -26 m of depth ( $\approx 115 \text{ km}$ ) in high discharge seasons in 2013, while there was a marked retraction in low discharge season, reaching only the

superficial layer of the water column to a -4 m depth ( $\cong 40$  km). Maximum vertical influence of salinity was also observed in the high discharge season of 2014, with -28 m depth ( $\cong 100$  km), and -3 m depth ( $\cong 35$  km) in the low discharge season. Analyzing vertical turbidity profile, we observed that the plume influence on the water column in high discharge months extended from the surface layer to -30 m depth  $\cong 90$  km off the coast, differing from the low discharge season, which reached the maximum depth of -20 m.

Regarding tide influence, plume reached the highest distances from the coast during neap tide compared to spring tide. Considering salinity values, the months of neap tide (May and July, 2014) reached the maximum distance of 230 km from the coast, while plume range was restricted to 130 km in spring tide. Regarding turbidity values, the maximum distance reached by the plume was 90 km from the coast.

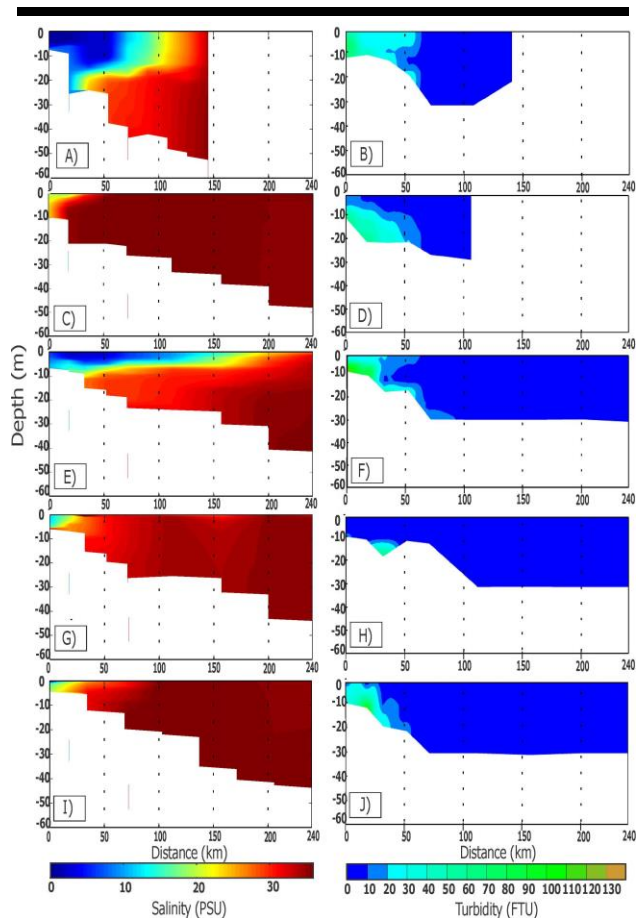


Figure 2. Demonstration of range of the estuarine plume from the parameters analyzed: Salinity (left) and Turbidity (right). April and October, 2013 (A/B, C/D); May, July and October, 2014 (E/F, G/H, I/J).

The dry season had the highest salinity averages and the lowest turbidity averages, while the lowest salinity averages and the highest turbidity averages were observed in the wet season (Table 1).

Table 1: Salinity and turbidity average values of the sampling months.

| Season          | Tide   | Salinity (PSU)  |       |                    |                     |
|-----------------|--------|-----------------|-------|--------------------|---------------------|
|                 |        | Max             | Min   | Average (offshore) | Average (nearshore) |
| 2013 Wet        | Spring | 35.18           | 1     | 33                 | 5.9                 |
| 2013 Dry        | Spring | 36.48           | 20.17 | 35.5               | 28.8                |
| 2014 Wet        | Neap   | 35.77           | 2.5   | 34                 | 8.85                |
| 2014 Transition | Neap   | 35.33           | 11.5  | 35                 | 18                  |
| 2014 Dry        | Spring | 36.27           | 17.7  | 35.39              | 26                  |
| Season          | Tide   | Turbidity (FTU) |       |                    |                     |
|                 |        | Max             | Min   | Average (offshore) | Average (nearshore) |
| 2013 Wet        | Spring | 130             | 0.2   | 0.2                | 135                 |
| 2013 Dry        | Spring | 35              | 0.2   | 0.7                | 75                  |
| 2014 Wet        | Neap   | 53              | 0     | 0.1                | 86                  |
| 2014 Transition | Neap   | 40              | 0     | 0.9                | 78                  |
| 2014 Dry        | Spring | 25              | 0     | 0.6                | 80                  |

Water masses are defined by the diagram that correlates temperature (T) and salinity ( $S_p$ ) (Figure 3). The T-S diagram of the last vertical profile (P9) identified the presence of Coastal Water (CW) and a tendency for Tropical Water (Tropical Surface Water - TSW) inflow.

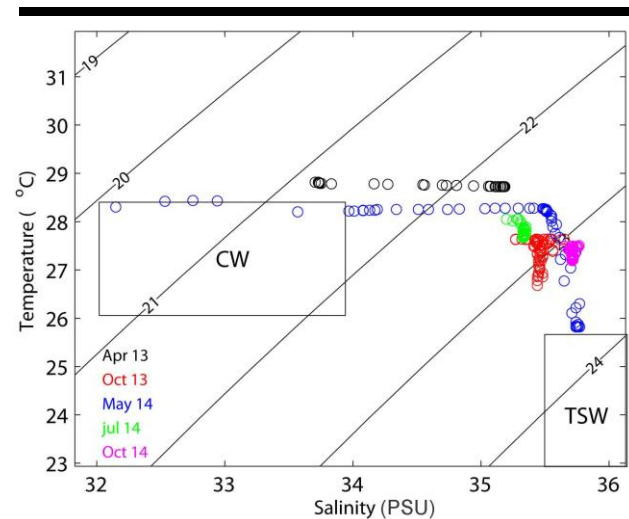


Figure 3. T-S diagram based on data of the vertical profile 9 for April and October, 2013; and May, July, and October, 2014. The termohaline indices of two water masses are identified in the diagram: Coastal Water (CW) and Tropical Surface Water (TSW).

## DISCUSSION

Considering only salinity in the eastern portion, plume range reached up to approximately 150 km in April, 2013, during the high discharge season of the Pará River; while the plume extended for approximately 250 km from the coast during the high discharge season of the Amazon River in May, 2014. Analyzing the plume, Lentz (1995) also observed the seasonal variability of the water discharge and its influence, corroborated by the data obtained. Therefore, even in the portion closer to the Pará River estuary, the Amazon River has a great influence, and although river discharge peaks are not the same (Figure 4), the sum of the Pará and Amazon River regimes makes the plume reach large distances over the continental shelf.

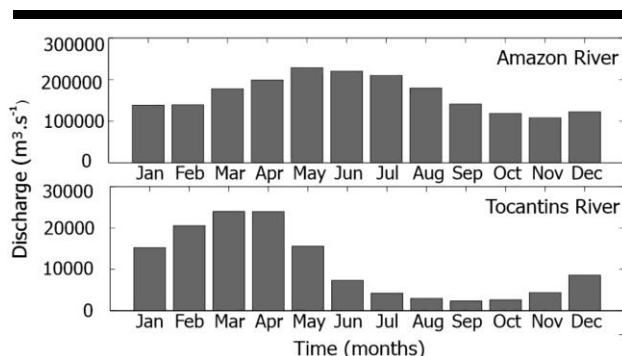


Figure 4. Historical average discharge of Amazonas and Pará rivers demonstrating the difference between them, obtained from hydrographic basin of the Amazon and Tocantins provided by the National Water Agency (NWA).

Turbidity values in April, 2013, and May, 2014, seem to be related to plume advection directly into the river. On the other hand, in transitional and low discharge seasons, turbidity seems to be more linked to a bottom resuspension process, which is better observed in July, 2014, when the discharge of the Amazon River is more effective compared to Pará River. According to Torres (1997), the surface of the Amazon River and tributaries has the highest turbidity values in the high discharge season and the lowest values in the low discharge season. The values obtained by Torres (1997) show a coastal zone pattern ( $\approx 35$  FTU) when compared to studies in continental areas, such as Hughes *et al.*, (1998) in Hawkesbury River, Australia, where they found maximum values of 280 FTU.

Geyer *et al.* (1996) also observed that the tidal regime on the shelf has a fortnightly periodicity (spring and neap) and contributes to the variability of parameters along the shelf, as observed in our study, which recorded a quite higher plume range in neap tides (lower intensity) than in spring tides. According to the study conducted by Soares (1977), this might be explained by the fact that it is relatively easy to penetrate river waters in the oceanic region in periods with lower tide intensity, except for spring tide periods. When salinity values were considered, May and July (neap) reached large depths (25 m), as well as large distances. Checking turbidity values, larger plume distances were also observed ( $\approx 140$  km) in neap tide.

Even though wind regime wasn't checked for the region in our study, its influence might be inferred in the spatial variation of the plume. According to Lentz and Limeburner (1995), wind is an intermittent phenomenon in plume blocking, and its width might or might not increase depending on the direction of the winds.

On that matter, a study conducted by Silva *et al.* (2005) identified the presence of water masses in the outer ACS, possibly transported by the North Brazil Current, which proves the influence of the current on the shelf region, agreeing with the data obtained in our study. Unlike the above-mentioned study, which identified four water masses, two water masses were recorded in the present study: Coastal Water (CW), characterized by high temperature and low salinity values, and Tropical Surface Water (TSW), with milder temperatures and relatively higher salinity values. Silva *et al.*, (2005) also identified the characteristic of no saltwater intrusion Amazon River mouth from the adjacent oceanic region, with measurements in the low river discharge period. Feitosa (1988) consider salinity an important factor in the distribution of aquatic organisms, thus becoming an ecological barrier for certain species, which may explain the biological difference between the said rivers (Amazon and Pará). Furthermore, in a summarized analysis of current measurements carried out by AMASSEDS Project (An Interdisciplinary Investigation of a Complex Coastal Environment) (Johns *et al.*, 1998), following a sampling line that is quite similar to the one in our study, a great seasonal influence of NBC was indicated in the region, nearly restricted to the continental slope in high fluvial discharge seasons, and broader and deeper in low discharge seasons.

## CONCLUSIONS

Data were analyzed with the purpose of monitoring plume behavior in the Amazon and Pará Rivers on the continental shelf under different conditions. Among the results, salinity was pointed out as the most effective qualitative parameter for plume monitoring, both seasonally and spatially, due to the fact that turbidity is subject to the influence of external factors (biological and geomorphological) in the measurement regions.

Data evidenced a seasonal variation in the distance reached by the plume, possibly connected to the rainfall regime in the study years. Another factor is tidal component, generating significant differences in the order of kilometers between neap and spring tides. Due to the lower momentum of oceanic water inflow in the Amazon and Pará Rivers, neap tide proved to be more active in spreading plume along the shelf.

Waters with high salinity values and low temperatures were identified, making it possible to infer the presence of water masses typical of the North Brazil Current at points farther from the coast, near the shelf break, especially in conditions of low fluvial discharge. Furthermore, we also observed that even in low discharge conditions, oceanic waters do not penetrate the Amazon River mouth; they only penetrate the Pará River estuary, thus attributing several of its physical processes. This suggests the need for greater attention by studies related to this area.

## ACKNOWLEDGMENTS

This study is one of the results of the project "INCT AmbTropic-Environments Tropical Marine: Heterogeneity Spatial-temporal and Responses to Climate Change" financed by the National Institute of Science and Technology (NIST), which includes about 200 scientists distributed in more than 20 institutions teaching and research in the Brazilian north-northeast territory. The authors would like to acknowledge the Federal University of Pará for giving their premises, the Physical Oceanography Laboratory for providing all the necessary structure to carrying out this and the researchers from the Marine Geophysical Laboratory for all scientific support along this work.

## LITERATURE CITED

- Agência Nacional de Águas - ANA. <http://www.ana.gov.br>.
- Beardsley, R.C.; Candela, J.; Limeburner, R.; Geyer, W.R.; Lentz, S.J.; Belmiro, M.C.; Cacchione, D., and Carneiro, N., 1995. The M2 tide on the Amazon shelf. *Journal of Geophysical Research*, 100(2), 2283-2320. doi: 10.1029/94JC01688
- Dagga, M.; Benner, R.; Lohrenz, S., and Lawrence, D., 2004. Transformation of dissolved and particulate materials on continental shelves influenced by large rivers: plume processes. *Continental Shelf Research*, 24(7-8), 833-858. doi:10.1016/j.csr.2004.02.003
- Feitosa, F.A.N., 1998. Produção primária do fitoplâncton correlacionada com parâmetros bióticos e abióticos na Baía do Pina. Recife, Brasil: Universidade Federal de Pernambuco, Dissertação de Mestrado, 270p.
- Figueroa, S.N. and Nobre, C., 1990. Precipitation distribution over Central and Western Tropical South America. *Climanálise Boletim de Monitoramento e Análise Climática*, 5(6), 36-45.
- Filizola, N. and Guyot, J.L., 2011. Fluxo de sedimentos em suspensão nos rios da Amazônia. *Revista Brasileira de Geociências*, 41(4), 566-576.
- Fontes, C.R.F., 2000. Estudo numérico da circulação na Plataforma Continental Amazônica (PCA). São Paulo, Brasil: Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 138p.
- Gabioux, M., 2002. Influência da lama em suspensão na propagação da maré na plataforma Amazônica. Rio de Janeiro, Brasil: Universidade Federal do Rio de Janeiro, Tese de Doutorado, 109p.
- Gabioux, M.; Vinzon, S.B., and Paiva, A.M., 2005. Tidal propagation over fluid mud layers on the Amazon shelf. *Continental Shelf Research*, 25(1), 113-125. doi:10.1016/j.csr.2004.09.001
- Geyer, W.R. and Kineke, G.C., 1995. Observations of currents and water properties in the Amazon front zone. *Journal of Geophysical Research*, 100(2), 2321-2340. doi: 10.1029/94JC02657
- Geyer, W. R.; Beardsley, R.C.; Lentz, S.J.; Candela, J.; Limeburner, R.; Johns, W.E.; Castro, B.M., and Soares, I.D., 1996. Physical oceanography of the Amazon Shelf. *Continental Shelf Research*, 16(5-6), 575-616. doi:10.1016/0278-4343(95)00051-8
- Gibbs, R.J., 1967. The Geochemistry of the Amazon river system. Part I. The factor that control the salinity and the composition and concentration of the suspended solids. *Geological Society of American Bulletin*, 78(10), 1203-1232. doi: 10.1130/0016-7606(1967)78[1203:TGOTAR]2.0.CO;2
- Hughes, M.G.; Harris, P.T., and Hubble, T.C.T., 1998. Dynamics of the turbidity maximum zone in a micro-tidal estuary: Hawkesbury River, Australia. *Sedimentology*, 45(2), 397-410. doi: 10.1046/j.1365-3091.1998.0159f.x
- Johns, W.E.; Lee, T.N.; Beardsley, R.C.; Candela, J.; Limeburner, R., and Castro, B. 1998. Annual Cycle and Variability of the North Brazil Current. *Journal of Physical Oceanography*, 28(1), 103-128. doi: 10.1175/1520-0485(1998)028<0103:ACAVOT>2.0.CO;2
- Kuelh, S.A.; Nittrouer, C.A., and DeMaster, D.J., 1986. Distribution of sedimentary structures in the Amazon Subaqueous delta. *Continental Shelf Research*, 6(1-2), 311-336. doi: 10.1016/0278-4343(86)90066-X
- Lentz, S.J. and Limeburner, R., 1995. The Amazon river plume during AMASSEDS: spatial characteristics and salinity variability. *Journal of Geophysical Research*, 100(2), 2255--2375. doi: 10.1029/94JC01411
- Martins, S.E.M., 2010. Geomorfologia e Sedimentologia de depósitos sedimentares recentes da porção superior do Estuário do Rio Pará (Baía de Marajó, Amazônia). Porto Alegre, Brasil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, 119p.
- Prestes, Y.O.; Rollnic, M.; Sousa, M., and Rosario, R.P., 2014. Volume Transport in the Tidal Limit of the Para River, Brazil. *Proceedings of the 17th Physics of Estuaries and Coastal Seas* (Porto de Galinhas, Pernambuco), pp. 1-2.
- Richardson, P.L.; Arnault, S.; Garzoli, S., and Brown W.S., 1994. North Brazil Current retroflection eddies. *Journal of Geophysical Research*, 99(C3), 997-1014. doi: 10.1029/93JC03486
- Richardson, P.L. and Mckee, T.K., 1984. Average seasonal variations of the Atlantic Equatorial currents from historical ship drifts. *Journal of Physical Oceanography*, 14(7), 1226--1238. doi: 10.1175/1520-0485(1984)014<1226:ASVOTA>2.0.CO;2
- Santos, M.L.S.; Medeiros, C.; Muniz K.; Feitosa, F.A.N.; Schwaborn R., and Macedo, S.J., 2008. Influence of the Amazon and Para Rivers on Water Composition and Phytoplankton Biomass on the Adjacent Shelf. *Journal of Coastal Research*, 24(3), 585-593. doi: 10.2112/05-0538.1
- Soares, L.C., 1977. *Hidrografia*. In: *Galvão, M.V. (ed.), Geografia do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, pp. 73-119.
- Silva, A.C., 2006. An analysis of water properties in the western tropical Atlantic using observed data and numerical model results. Recife, Brasil: Universidade Federal de Pernambuco, Tese de Doutorado, 155p.
- Silva, A.C.; Santos, M.L.S.; Araujo, M.C., and E-ourles, B., 2009. Observações hidrológicas e resultados de modelagem no espalhamento sazonal e espacial da pluma de água Amazônica. *Acta Amazonica*, 39(2), 361-370. doi: 10.1590/S0044-59672009000200014.

## **CAPÍTULO 5**

### **5. SÍNTESE DOS RESULTADOS**

Os resultados apresentados no capítulo anterior confirmam que há um comportamento espacial e sazonal dos parâmetros analisados, salinidade e turbidez, na pluma estuarina ao longo da PCA, relacionando-os com os períodos de máxima e mínima descarga dos rios Amazonas e Pará.

Os parâmetros estudados variam em uma escala temporal de acordo com o regime pluviométrico da região amazônica. Levando em consideração apenas o parâmetro salinidade, têm-se uma visão mais nítida do comportamento da pluma. Nos períodos de alta vazão dos rios, em associação com o período chuvoso da região, os baixos valores de salinidade característico da pluma estuarina são registrados em um alcance vertical de até 26 m de profundidade. Ainda no mesmo período, a salinidade apontou um distanciamento da pluma em até 250 km (maio 2014). Os menores alcances, tanto vertical como horizontal, foram registrados no período de menor descarga fluvial. Esta observação evidencia a influência que a variabilidade sazonal da vazão hídrica.

O parâmetro turbidez apresentou duas formas de comportamento, podendo ser associados à dois tipos de processos. Nos períodos de máxima descarga fluvial (maio e abril) a turbidez parece estar relacionada ao processo de advecção da pluma diretamente do rio, registrando também os maiores valores neste período. Já nos períodos de menor vazão dos rios e menores valores registrados, o processo de ressuspensão de fundo é o que parece influenciar mais a turbidez. O estudo também mostrou o parâmetro turbidez como sendo o mais propício a sofrer interferências e alterações, tanto de fatores biológicos como da geomorfologia da região de medição. Dessa forma, pode-se considerar o parâmetro salinidade mais eficaz no monitoramento da pluma estuarina.

O distanciamento da pluma segue um perfil de variação sazonal, estando ligado principalmente ao regime pluviométrico da região. O período chuvoso na região amazônica aumenta consideravelmente a vazão dos dois principais rios estudados: Amazonas e Pará. Isso faz com que o alcance da pluma seja superior em relação aos outros períodos. No processo inverso, há os períodos considerados secos na região, onde o índice pluviométrico é baixo e, conseqüentemente, a descarga fluvial é mínima. Isso é um fator limitante no espalhamento da pluma.

Comparando os dados *in situ* com o período de maré em qual foi coletado, nota-se também uma influência na ordem de quilômetros nas distâncias alcançadas pela pluma entre os períodos de quadratura e sizígia. No período da maré quadratura, onde há uma menor intensidade das águas, o alcance da pluma ao longo da plataforma adjacente é superior quando comparados a maré de sizígia (maior intensidade). Pode-se inferir também que o período de maré influencia de forma semelhante os dois parâmetros utilizados no trabalho: ambos possuem um maior alcance, tanto vertical como horizontalmente, nas marés de quadratura. Isso pode ser explicado pela relativa facilidade de penetração das águas rios nas regiões oceânicas em períodos de menor intensidade.

A geração do diagrama T/S, apresentado nos resultados do capítulo 4, a partir das medições realizadas nos últimos pontos da linha de amostragem, evidenciaram a presença de águas com valores altos de salinidade e de baixas temperaturas. As duas massas de água identificadas no presente trabalho são a *Coastal Water* (CW), caracterizada por altos valores de temperatura e baixo valor de salinidade, e *Tropical Surface Water* (TSW), com temperaturas menores e valores relativamente maiores de turbidez. A identificação desses corpos de água pode estar relacionado à presença da CNB na porção mais externa da Plataforma, inferindo desta forma, sua influência sazonal sobre ela.

O perfil sazonal da região e as variações que os parâmetros sofrem, salinidade e turbidez, influenciam diretamente no dinamismo do rio. Alguns processos são afetados por essa dinâmica, como a cadeia produtiva do estuário, a transferência de nutrientes, as correntes atuantes que auxiliam na distribuição e retrabalhamento dos sedimentos, alterando o leito e suas médias de profundidade – o que implica diretamente na navegação do mesmo. Considerando as análises realizadas, o trabalho gerou resultados satisfatórios na afirmação da importância da área proposta para o estudo, a foz do Rio Pará.

## REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas - ANA. <http://www.ana.gov.br>.

BAUMGARTEN, M. G. Z. & POZZA, S. A. P. Qualidade de águas - Descrição de parâmetros químicos referidos na legislação ambiental, Editora FURG, Rio Grande, Brasil, 164p. 2001.

BEARDSLEY, R.C., CANDELA, J., LIMEBURNER, R., GEYER, W.R., LENTZ S.J.; BELMIRO, M.C.; CACCHIONE D.; CARNEIRO N., “The M2 tide on the Amazon shelf”, Journal of Geophysical Research, USA, v.100, n. 2, p.2283-2319, feb. 1995.

BEMERGUY, R. L.; ROCHA, F. F. C.; COSTA, J. B. S.; SILVA JÚNIOR, O. G. Cartografia digital aplicada à integração dos elementos geomorfológicos da ilha de Marajó. X Simpósio brasileiro de geografia física aplicada. IESAM - PA. Departamento de Geologia/Centro de Geociências/UFPA, Belém. Apresentação em painel. Rio de Janeiro: UERJ, v. 1, p. 42-43. 2003.

BEZERRA, M. O. M.; FREITAS, P. P.; BALTAZAR, L. R. S.; ROLLNIC, M., PINHEIRO, L. Estuarine processes in macro-tides of Amazon estuaries: A Study of Hydrodynamics and Hidrometeorology in the Marajó Bay (Pará-Brazil). JournalofCoastalResearch, v. 65, p. 1176-1181.2013.

BIGGS, R. B. Sources and distribution of suspended sediment in Northern Cheseapeake Bay. v. 9. p. 187-324. 1970.

CORRÊA, I. C. S.; ÁVILA, M., D. Sedimentação da Desembocadura do canal sul do Rio Amazonas. Pesquisas em Geociências, 28 (2): 13-24. 2002. Disponível em:<http://seer.dev.ufrgs.br/index.php/PesquisasemGeociencias/article/viewFile/20265/pdf>. Acesso em 12 de novembro de 2013.

DAVIES, J. H. A Morphogenic Approach of World Shorelines. Z. Geomorphology, v.8, p.127-142, 1964.

EISMA, D. Suspended matter in the aquatic environment. Springer-Verlag, Berlin, 313p. 1993.

- FERREIRA, G. P. Caracterização hidrodinâmica e do transporte de sedimento na região fluvio-estuarina do rio Paracauari– Ilha de Marajó –Pará. Dissertação (Mestrado em Oceanografia). Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Recife. 2013.
- FIGUEIREDO, A.G. JR.; NITTROUER, C.A. New Insights to high-resolution Stratigraphy on the Amazon Continental Shelf. *Marine Geology* 125. 393-399. 1995.
- FLOOD, R.D & DAMUTH, J.E. Quantitative characteristics of sinuous distributary channels on the Amazon Deep-Sea Fan. *Geol.Soc.Amer. Bull*, 98:728-738. 1987.
- FONTES, C.R.F. Estudo numérico da circulação na Plataforma Continental Amazônica (PCA). Tese de D.Sc., Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. 2000.
- GABIOUX, M. Influência da lama em suspensão na propagação da maré na plataforma Amazônica. 2002. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2002.
- GABIOUX, M.; PAIVA, A. d. M.; VINZÓN, S. B. Estudo da circulação hidrodinâmica associada à propagação da maré sobre a plataforma Amazônica. *Recursos Hídricos: Jovem Pesquisador* 2005, p. 380–401, 2005.
- GEYER, W. R.; R. C. BEARDSLEY; S. J. LENTZ; J. CANDELA; R. LIMEBURNER; W. E. JOHNS; B. M. CASTRO & I. D. SOARES. Physical Oceanography of the Amazon shelf. *Continent Shelf Research*. 5/6(16):575–616. 1996.
- GEYER, W.R., KINEKE, G.C. Observations of currents and water properties in the Amazon frontal zone. *Journal of Geophysical Research*, v. 100, n. C2, p. 2321-2339, 1995.
- GIBBS, R. J. Circulation in the Amazon river estuary and adjacent Atlantic Ocean. *JOURNAL OF MARINE RESEARCH*, VOL 28, NO 2, P 113-123. 1970.
- GREGÓRIO, A. M. S.; MENDES, A. C. Batimetria e sedimentologia da baía de Guajará, Belém, Estado do Pará, Brasil. *Amazônia: Ciência & Desenvolvimento*, Belém, v. 5, n. 9. jul/dez. 2009.
- JOHNS, W. E.; LEE, T. N.; SCHOTT F.; ZANTOPP, R. J.; EVANS, R. H. The North Brazil Current retroflection: seasonal structure and eddy variability *Journal of Geophysical Research*. n. 95, p.22103–22120, 1990.

JOHNS, W. E.; T. N. LEE; R. C. BEARDSLEY; J. CANDELA; R. LIMEBURNER & B. M. CASTRO. Annual Cycle and Variability of the North Brazil Current. *Journal of Physical Oceanography*, n. 28, p.103–128, 1998.

KNUDSEN, M., *Hydrographische Tabellen* (1901).

LENTZ, S.J. Seasonal variations in the horizontal structure of the Amazon Plume inferred from historical hydrographic data. *Journal of geophysical research*, vol. 100, no. C2, pages 2391–2400, 1995.

LENTZ, S.J.; LIMEBURNER, R. The Amazon River plume during AMASSEDS: Spatial characteristics and salinity variability. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, VOL. 100, NO. C2, PAGES 2355–2376, 1995.

LIMA, R. R.; TOURINHO, M. M.; COSTA, J. P. C. *Várzeas flúvio- marinhas da Amazônia brasileira*. Belém: FCAP. 342 p. 2001.

MEADE, R.H., DUNNE, T., RICHEY, J.E., *et al.* Storage and remobilization of suspended sediment in the lower Amazon River of Brazil. *Science*, v. 228 (Apr), pp. 488-490. 1985.

MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. *Princípios de oceanografia física de estuários*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. p. 400. 2002.

MOREIRA, H.L.M *et al.* *Fundamentos da moderna aquicultura*. Canoas: Editora da ULBRA, p. 38. 2001

MULLER-KARGER, F. E.; McCLAIN, C. R.; RICHARDSON, P. L. The dispersal of the Amazon's waters. *Nature*, London, v.333, p. 56-69, 1986.

MULLER-KARGER, F.E.; McCLAIN, C.R.; RICHARDSON, P. The Dispersal of the Amazon's Water. Horn Point Environmental Laboratories, University of Maryland. *Nature* 333, 56 – 59. 1988.

NITTROUER, C. A., CURTIN, T. B.; DEMASTER, D. J. Concentration and flux of suspended sediment on the Amazon continental shelf. *Continental Shelf Research*, n. 6, p. 161-174. 1986.

NITTROUER, C.A., SHARARA, M.T., DeMASTER, D.J., 1983. Variations of sediments texture on the Amazon continental shelf”, *Journal Sediment Petrology*, v. 53, pp. 179-191.

NITTROUER, C.A.; DeMASTER. D.J. The Amazon shelf setting: tropical, energetic, and influenced by a large river. *Continental Shelf Research*. Vol. 16, No. 5/6. pp. 553-573, 1996.

NITTROUER, C.A.; KUEHL, S.A. *et al.*, Geological significance of sediment transport and accumulation on the Amazon continental shelf. *Marine Geology*. New York, v. 125, p. 177-192, 1995.

RICHARDSON, P. L.; MCKEE, T. K. Average seasonal variations of the Atlantic Equatorial currents from historical ship drifts. *Journal of Physical Oceanography*, n. 14, 1226–1238, 1984.

SILVA, I.O. Distribuição da vazão fluvial no estuário do Rio Amazonas. Pós-graduação e pesquisa de engenharia (COPPE). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ. 2009.

SILVA, M. G. L. 1998. Caracterização morfológica da cobertura sedimentar da plataforma continental do Amazonas/ Norte-Brasil. 112 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Geologia. Universidade Federal do Pará, Belém, 1998.

SIOLI, H., *Amazônia: Fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais*. Rio de Janeiro. 1985.

SOUZA, C.R. Sensor de Turbidez. Universidade Estadual De Campinas - Unicamp. EXTECAMP. 2008. Disponível em: <http://infobrasil.inf.br/userfiles/26-05-S3-4-65657-Sensor%20de%20Turbidez.pdf>. Acesso em: 16 de novembro de 2013.

VINZON, S.B. A preliminary examination of Amazon shelf sediment dynamics. Engineer Degree Thesis, University of Florida, Gainesville, USA. 1998.