

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA



**DISTRIBUIÇÃO DOS NUTRIENTES (FÓSFORO E NITROGÊNIO)
NA PLATAFORMA CONTINENTAL DO AMAZONAS**

MARIA DE LOURDES SOUZA SANTOS

RECIFE
2004

MARIA DE LOURDES SOUZA SANTOS

DISTRIBUIÇÃO DOS NUTRIENTES (FÓSFORO E NITROGÊNIO)
NA PLATAFORMA CONTINENTAL DO AMAZONAS

Tese apresentada ao Curso de Doutorado em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Ciências, na área de Oceanografia Abiótica.

Orientadora: Dra. Kátia Muniz da Costa

Co-Orientador: Dr. Benício de Barros Neto

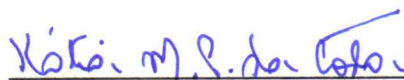
Co-Orientador: Dr. Moacyr Araújo Filho

RECIFE
2004

MARIA DE LOURDES SOUZA SANTOS
DISTRIBUIÇÃO DOS NUTRIENTES (FÓSFORO E NITROGÊNIO)
NA PLATAFORMA CONTINENTAL DO AMAZONAS

Tese aprovada pela seguinte banca examinadora em 20 de Outubro de 2004:

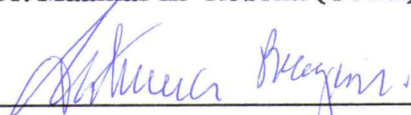
▪ **Titulares:**



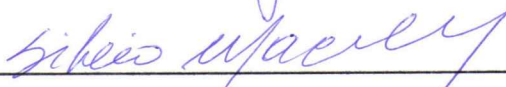
Dra. Kátia Muniz da Costa (Orientadora/ UFPE)



Dr. Maâmar El- Robrini (UFPA)



Dra. Fátima Miranda Brayner (ITEP-PE)



Dr. Silvio José de Macedo (UFPE)



Dr. Fernando Antônio do Nascimento Feitosa (UFPE)

▪ **Suplentes:**

Dr. Manuel de Jesus Flores Montes (UFPE)

Dra. Valdinete Lins da Silva (UFPE)

RECIFE
2004

S237

Santos, Maria de Lourdes Souza

**Distribuição dos nutrientes (fósforo e nitrogênio) na
Plataforma Continental do Amazonas. Recife: O Autor,
2004.**

xx, 136 f., figs., gráfs., tabs.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Oceanografia, 2004.

Inclui bibliografia e anexos.

1. Amazonas – Plataforma Continental. 2. Fósforo- ambiente
marinho. 3. Nitrogênio – ambiente marinho. I. Título.

551.46 CDD (21. ed.)

BCTG/UFPE/2004-45

Aos meus pais,

Walter Jovah Watrin Santos

e

Maria de Lourdes Souza Santos, pelo
amor e incentivo, que me encorajaram a
percorrer este longo caminho.

AGRADECIMENTOS

- Aos meus irmãos (Socorro Teixeira, Walter Filho, Otaciano Carlos, Antônio Jovah, Luis Jovah e Helena El-Robrini), pelo o apoio recebido durante este longo caminho.
- Aos meus sobrinhos, em especial ao Patrick Teixeira, Karla do Socorro Santos, Yuri Santos e Gabriela El-Robrini, por suas amizades.
- À Anneliese Fischer, que me acolheu como membro de sua família (uma filha), bem como às suas filhas Andréa e Alessandra Fischer, por se tornarem minhas “irmãs” pernambucanas.
- À Dra. Kátia Muniz, pela valiosa orientação, amizade e constante apoio durante o desenvolvimento deste trabalho.
- Ao Dr. Benício de Barros Neto, pela excelente co-orientação, atenção e paciência no tratamento estatístico.
- Ao Dr. Moacyr Araújo Filho, pelo o apoio e brilhante co-orientação no modelo matemático.
- Ao MSc. Marcus da Silva, pela ajuda no desenvolvimento do modelo matemático.
- Ao Dr. Silvio Macêdo, pela atenção recebida em momentos imprescindíveis.
- Ao Dr. Fernando Antônio do Nascimento Feitosa, pela atenção dispensada e análises de clorofila *a* realizadas no Laboratório de Produtividade Primária do Departamento de Oceanografia da UFPE.
- Ao Sr. Mark Burr, pela ajuda na tradução para o inglês do resumo deste trabalho.
- Ao Dr. Maâmar El-Robrini, pela oportunidade de participação na Subárea de Oceanografia Química do Programa REVIZEE da região Norte do Brasil, através do qual foi possível desenvolver este trabalho.
- Aos Oceanógrafos da 1º turma do Curso de Graduação em Oceanografia da UFPA, pela ajuda prestada no desenvolvimento dos trabalhos em campo e em laboratório, e também pelos momentos de descontração, em especial a André de Lima Saraiva, Samara Eschrique, Ismayli Delfino e Diogo Oliveira, e também à aluna do Curso de Engenharia Química da UFPA, Valéria Botelho.
- À amiga Lilianne Barbosa, por seu apoio e constante torcida durante este meu crescimento profissional e à sua família, por sua amizade.

- Ao amigo Alex Costa da Silva, por sua ajuda em momentos difíceis e apoio no desenrolar deste trabalho.
- À amiga Poliana Gualberto, por seu apoio e constantes incentivos.
- Aos amigos que conheci no Departamento de Oceanografia da UFPE, pelo apoio e momentos de descontração, em especial à Juciene Andrade, Iara Lins, Joaquim Alves, Jesi Pontes (*in memorian*), Flávia Rocha do Nascimento, Zinaldo Ferreira dos Santos, Dr. Manuel Flores Montes, Dra. Tâmara Almeida da Silva, Héliida Silva, Antonio Santana de Melo, Felipe Amancio, Carlos Esteban, Rysoaurya Keyla Travassos, Maristela Oliveira.
- Aos Professores do Departamento de Oceanografia da UFPE, pela transmissão de valiosos conhecimentos, em especial à Dra. Carmem Medeiros, Dra. Sigrid Neumann Leitão, Dr. José Zanon de Oliveira Passavante, Dra. Glória da Silva Cunha.
- Às bibliotecárias Cristina de Assis Carvalho e Paula Rejane da Silva, da Biblioteca Central da UFPE, pela ajuda na revisão da formatação da tese e correção das referências bibliográficas.
- À amiga Ana Rosicler Ferreira, pela revisão gramatical.
- Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de doutorado indispensável, para a finalização deste curso.
- Ao Departamento de Oceanografia, na pessoa da Dra. Tereza Araújo, cujas instalações facilitaram o desenvolvimento deste trabalho.
- À tripulação do Navio Oceanográfico ANTARES (H40), pelo o apoio e atenção recebidos no trabalho de campo, durante a Operação Norte IV (2001).
- A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

"Só existem dois dias no ano em que nada pode ser feito. Um se chama ontem e o outro se chama amanhã, portanto, hoje é o dia certo para amar, acreditar, fazer e, principalmente, viver!"

Dalai Lama

RESUMO

No âmbito do Programa “Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva” Brasileira, foram realizadas 41 estações oceanográficas na Plataforma Continental do Amazonas, no período da diminuição da descarga do rio Amazonas. Foram coletadas amostras hidrológicas para determinações de: material particulado orgânico (MPO) e inorgânico (MPI), fósforo orgânico dissolvido (POD), fosfato (PID), fósforo total particulado (PTP), nitrogênio orgânico dissolvido (NOD) e inorgânico dissolvido (NID), nitrogênio total particulado (NTP), clorofila *a* (Clor *a*). Esses dados foram integrados aos valores obtidos a bordo de temperatura, salinidade, pH, transparência da água, oxigênio dissolvido (OD) e sua taxa de saturação. Os valores de mediana na camada eufótica foram mais elevados para a temperatura (28,08°C), OD (5,10 mL.L⁻¹) e sua taxa de saturação (112,03%). Na camada afótica, foram encontrados os maiores valores de mediana para nitrato (3,32 µM), nitrito (0,18 µM), PID (0,30 µM), MPI (26,60 µM) e MPO (46,80 µM). A distribuição da salinidade demonstrou a presença de águas fluviais (mínimo de 0,00) e marinhas (mediana na camada eufótica de 36,01 e na afótica de 36,18). O valor da mediana da Clor *a* foi de 1,67 mg.m⁻³, mostrando uma área de alta fertilidade. A relação N:P nas camadas eufótica (13,09) e afótica (13,61) indicaram que o sistema não é limitado pelo PID. A análise de componentes principais com os dados abióticos dos períodos da diminuição e da máxima descarga permitiu observar uma separação entre eles e uma divisão mais nítida entre as camadas eufótica e afótica no período de descarga máxima, devido a maior influência das águas fluviais que abrangem toda a plataforma continental. Foram estudadas no período da diminuição as seguintes fases do fósforo: POD, PID e PTP. Os valores das medianas do POD nas camadas eufótica (0,07 µM) e afótica (0,09 µM) foram menores que os verificados para o PID (camada eufótica 0,20 µM, e camada afótica 0,31 µM). O POD representou uma pequena fração da forma total dissolvida e o PTP, uma fração importante, devido principalmente à liberação para a forma de PID. Na camada eufótica, a descarga fluvial proveniente do Amazonas favoreceu a distribuição do PID (40%), PTP (44%) e POD (16%). Na camada afótica, o percentual do PID (44%) aumentou, devido à liberação a partir do POD (19%) e do PTP (37%) e da ausência do processo fotossintético. Nesse período as seguintes fases do nitrogênio foram estudadas: NOD, NTP, amônia, nitrito, nitrato. O resultado percentual dos compostos nitrogenado nas camadas eufótica e afótica indicou como a maior fração o NOD (68,88%), seguido do NTP (28,75%) e NID (2,37%), este último tendo o nitrato (2,21%) como forma dominante. Com base nos dados de nitrato e amônia (valores de amônia na camada eufótica: mínimo de 0,02 µM e máximo de 0,29 µM, e na camada afótica: mínimo de 0,02 µM e máximo de 0,30 µM) a área pode ser considerada como não impactada por essas formas nitrogenadas. Na camada eufótica, a concentração de Clor *a* foi favorecida pela disponibilidade do nitrato, aumentando conseqüentemente o pH e OD. Na camada afótica, novamente a maior fração foi de NOD (64,78%), seguido do NTP (31,71%) e NID (3,51%). Para representar a distribuição superficial do PID e nitrato durante a descarga máxima e da diminuição, foi desenvolvido e aplicado o Modelo Analítico Bidimensional (2D) para análise de Águas Costeiras (MAAC-2D). Os resultados das simulações reproduziram as principais características da distribuição desses nutrientes conforme a sazonalidade da descarga do Amazonas. Diferenças mínimas foram observadas no período da diminuição e as mais acentuadas na descarga máxima. Não foi possível reproduzir as variações que ocorrem na Corrente Norte do Brasil, o que demonstra a complexidade da dinâmica dos processos oceanográficos na Plataforma Continental do Amazonas.

ABSTRACT

In the Program, "Evaluation of the Sustainable Potencial of the Living Resources of the Brazilian Economic Exclusive Zone", 41 oceanographic stations were carried out on the Amazon Continental Shelf, during the period of falling of the Amazon waters. Hydrological samples were collected to determine: particulate organic matter (POM) and inorganic matter (PIM), dissolved organic phosphorus (DOP), phosphate (DIP), total particulate phosphorus (PTP), dissolved organic nitrogen (DON), dissolved inorganic nitrogen (DIN), total particulate nitrogen (PTN), and chlorophyll *a* (Chl *a*). This data was used in this study, as well as field results regarding temperature, salinity, pH, water transparency, dissolved oxygen (DO) and saturation rate. The mean values in the euphotic layer were higher for temperature (28,08°C), DO (5,10 mL.L⁻¹) and saturation rate (112,03%). In the aphotic layer, the higher mean values were found in nitrate (3,32 µM), nitrite (0,18 µM), DIP (0,30 µM), PIM (26,60 µM) and POM (46,80 µM). The salinity distribution demonstrated the presence of fluvial (minimum of 0,00) and marine waters (mean of 36,01 in the euphotic layer and 36,18 in the aphotic layer). The mean of Chlor *a* was 1,67 mg.m⁻³, indicating an area of high fertility. The N:P ratios in the euphotic (13,09) and aphotic (13,61) layers, showed that the system is not limited by the DIP. The Principal Component Analysis (PCA), carried out with the abiotic data using data from the falling and peak discharge periods, showed a separation between them, and a division between the euphotic and aphotic layers, which was more distinct in the period of maximum discharge due to higher influence of the fluvial waters that spread throughout the continental shelf. The study the following phosphate conditions were analyzed in the falling period: DOP, DIP and PTP. The mean values of DOP in the euphotic (0,07 µM) and aphotic (0,09 µM) layers were lower than those for DIP (euphotic layer 0,20 µM, and aphotic layer 0,31 µM). The DOP presented a small fraction of the total dissolved phosphorus, and the PTP an important fraction of the phosphorus, due principally to the liberation of the DIP. In the euphotic layer, the fluvial discharge from the Amazon River favored the distribution of DIP (40%), PTP (44%) and DOP (16%). In the aphotic layer, the DIP percentage (44%) increased, due to the liberation of DOP (19%) and of PTP (37%), and the absence of the photosynthetic process. Similarly to phosphorus, the following phases of nitrogen were studied during this period: DON, PTN, amonium, nitrite, nitrate. The percentage results of the nitrogen compounds in the euphotic and aphotic layers, indicated the DON (68,88%) as the highest fraction, followed by PTN (28,75%) and DIN (2,37%), this last one having nitrate (2,21%) as dominant. Based on nitrate and ammonia data (ammonia values in the euphotic layer: minimum of 0,02 µM and maximum of 0,29 µM, and in the aphotic layer: minimum of 0,02 µM and maximum of 0,30 µM) the area can be considered as not impacted by these forms of nitrogen. In the euphotic layer, the concentration of Chlor *a* was favored by the availability of nitrate, increasing consequently the pH and DO. In the aphotic layer, there is again a higher fraction of DON (64,78%), followed by PTN (31,71%) and DIN (3,51%). To illustrate the surface distribution of DIP and nitrate, during the peak discharge and falling periods, the Bi-dimensional (2D) Analytical Model for Coastal Waters' analysis (MAAC-2D), was developed and applied. The results of the simulations reproduced the principal characteristics of those nutrients according to the Amazon's seasonal discharge. The smallest differences were observed in the transition period, while the greater differences were seen during maximum discharge. The variations that occur in Brazil's Northern Current were impossible to reproduce, which demonstrates the complexity of the dynamics of oceanographic processes in the Amazon's Continental Shelf.

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Principais afluentes dos rios Amazonas e Pará (mapa modificado de CUNHA & GUERRA, 2001).	6
Figura 2: Plataforma Continental do Amazonas com as isóbatas de 20m, 40m, 80m e 100 m (mapa modificado de SILVA, 1998).	7
Figura 3: Mapa de localização das estações oceanográficas (Programa REVIZEE/ Operação Norte IV).	11
Figura 4: Pesos das variáveis nas duas primeiras componentes principais dos parâmetros abióticos, com dados obtidos no período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas.	20
Figura 5: Escores nas duas primeiras componentes principais, na análise feita com os parâmetros abióticos durante o período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas, com estratificação entre as camadas eufótica e afótica.	21
Figura 6: Distribuição dos valores autoescalonados para a temperatura e a salinidade.	23
Figura 7: Distribuição superficial de salinidade na Plataforma Continental do Amazonas, períodos (a) da diminuição e (b) da máxima descarga do rio Amazonas.	25
Figura 8: Distribuição superficial de (a) nitrato (μM) e (b) PID (μM) na Plataforma Continental do Amazonas, período da diminuição da descarga do rio Amazonas.	26
Figura 9: Distribuição dos valores autoescalonados para o nitrito, o nitrato, a amônia e o PID.	27
Figura 10: Distribuição dos valores autoescalonados para o pH e o OD.	28
Figura 11: Distribuição dos valores autoescalonados para o MPI e o MPO.	30
Figura 12: Pesos das variáveis nas duas primeiras componentes principais com os dados obtidos na camada eufótica, período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas.	32

- Figura 13: Escores nas duas primeiras componentes principais, na análise feita com os dados abióticos e Clor *a* da camada eufótica, período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas, com estratificação entre as profundidades de coleta (superfície, 50% de penetração de luz, 1% de penetração de luz). 33
- Figura 14: Distribuição dos valores autoescalonados para a Clor *a*, o OD, o nitrato e o PID. 33
- Figura 15: Distribuição superficial de Clorofila *a* (mg.m^{-3}) na Plataforma Continental do Amazonas (período da diminuição da descarga do rio Amazonas). 35
- Figura 16: Pesos das variáveis nas duas primeiras componentes principais com os dados obtidos na camada afótica, período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas. 37
- Figura 17: Escores nas duas primeiras componentes principais, na análise feita com os dados abióticos da camada afótica, período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas, com estratificação entre as profundidades de coleta. 37
- Figura 18: Dados superficiais obtidos durante o período da diminuição da descarga do rio Amazonas, em função da salinidade: (a) nitrato (μM), (b) PID (μM), (c) Clor *a* (mg.m^{-3}). 40
- Figura 19: Relação N:P nas camadas (a) eufótica e (b) afótica, na Plataforma Continental do Amazonas, período da diminuição da descarga do rio Amazonas. 42
- Figura 20: Pesos das variáveis nas duas primeiras componentes principais dos dados superficiais dos parâmetros abióticos e Clor *a* obtidos nos períodos da diminuição e da máxima descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas. 44
- Figura 21: Escores nas duas primeiras componentes principais, na análise feita com os dados superficiais dos parâmetros abióticos e Clor *a*, na Plataforma Continental do Amazonas, com estratificação entre os períodos da diminuição e da máxima descarga do rio Amazonas. 45
- Figura 22: Pesos das variáveis nas duas primeiras componentes principais dos dados abióticos na coluna de água, obtidos nos períodos da diminuição e da máxima descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas. 46

- Figura 23: Escores nas duas primeiras componentes principais, na análise dos dados abióticos na coluna de água, obtidos nos períodos da diminuição e da máxima descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas, com estratificação entre os períodos e as camadas eufótica e afótica. 47
- Figura 24: Estações oceanográficas com (□) e sem (■) influência fluvial, através da análise de agrupamentos realizada com os dados abióticos e Clor *a* obtidos nos períodos da (a) diminuição e da (b) máxima descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas. 49
- Figura 25: Estações oceanográficas com (□) e sem (■) influência fluvial na camada de 1% de penetração de luz, através da análise de agrupamentos realizada com os dados abióticos obtidos nos períodos da (a) diminuição e da (b) máxima descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas. 50
- Figura 26: Ciclo do fósforo (modificado de DAY *et al.*, 1989). 56
- Figura 27: Pesos das variáveis nas duas primeiras componentes principais com os dados obtidos na camada eufótica, período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas. 58
- Figura 28: Escores nas duas primeiras componentes principais, na análise feita com os dados abióticos e Clor *a* da camada eufótica, com estratificação entre as profundidades de coleta (superfície, 50% de penetração de luz, 1% de penetração de luz). 59
- Figura 29: Pesos das variáveis nas duas primeiras componentes principais com os dados obtidos na camada afótica, período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas. 60
- Figura 30: Escores nas duas primeiras componentes principais, na análise feita com os dados abióticos da camada afótica, período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas, com estratificação entre as profundidades de coleta. 61
- Figura 31: Distribuição dos valores autoescalados do PID, PTP e POD, nas camadas eufótica e afótica. 64
- Figura 32: Valores percentuais para PID, POD, PTP na camada eufótica (a) e 66

afótica (b), obtidos no período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas.

Figura 33: Dados superficiais obtidos durante o período da diminuição da descarga do rio Amazonas em função da salinidade: (a) PID (μM), (b) PTP (μM), (c) POD (μM), e (d) Clor *a* (mg.m^{-3}). 67

Figura 34: Distribuição superficial do (a) PID (μM), (b) PTP (μM) e (c) POD (μM) na Plataforma Continental do Amazonas. 69

Figura 35: Valores de $\log(K_D)$ para os dados superficiais na Plataforma Continental do Amazonas, durante o período da diminuição da descarga do rio Amazonas. 70

Figura 36: Ciclo do nitrogênio (modificado de DAY *et al.*, 1989). 75

Figura 37: Pesos das variáveis nas duas primeiras componentes principais com os dados obtidos na camada eufótica, período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas. 77

Figura 38: Escores nas duas primeiras componentes principais, na análise feita com os dados abióticos e Clor *a* da camada eufótica, período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas, com estratificação entre as profundidades de coleta (superfície, 50% de penetração de luz, 1% de penetração de luz). 78

Figura 39: Pesos das variáveis nas duas primeiras componentes principais com os dados obtidos na camada afótica, período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas. 79

Figura 40: Escores nas duas primeiras componentes principais, na análise feita com os dados abióticos da camada afótica, período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas, com estratificação entre as profundidades de coleta. 80

Figura 41: Distribuição dos valores autoescalonados de nitrito, nitrato, amônia, NOD, NTP, nas camadas eufótica e afótica. 85

Figura 42: Valores percentuais para NOD, NTP, NID (nitrogênio inorgânico dissolvido) nas camadas eufótica e afótica, obtidos no período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas. 86

- Figura 43: Dados superficiais obtidos durante o período da diminuição da descarga do rio Amazonas em função da salinidade: (a) NOD (μM), (b) amônia (μM), (c) nitrito (μM), (d) nitrato (μM), (e) NTP (μM), e (f) Clor *a* (mg.m^{-3}). 88
- Figura 44: Distribuição superficial de anomalia para o NID observada durante o período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas. 90
- Figura 45: Valores percentuais de anomalia obtidos com dados do NTP versus (a) amônia e (b) nitrato. 91
- Figura 46: Mapa das estações de amostragem do Programa REVIZEE (ZEE Norte), o domínio de integração e o sistema de eixos cartesianos utilizados nas simulações com o MAAC-2D. 100
- Figura 47: Distribuição da concentração de PID na superfície da área de estudo no período da diminuição da descarga rio Amazonas. Comparação entre os (a) dados experimentais (Operação Norte IV), e (b) o resultado da simulação (modelo MAAC-2D). 104
- Figura 48: Distribuição da concentração de nitrato na superfície da área de estudo no período da diminuição da descarga rio Amazonas. Comparação entre os (a) dados experimentais (Operação Norte IV), e (b) o resultado da simulação (modelo MAAC-2D). 105
- Figura 49: Distribuição da concentração de PID na superfície da área de estudo no período da máxima descarga do rio Amazonas. Comparação entre (a) os dados experimentais (Operação Norte III), e (b) o resultado da simulação (modelo MAAC-2D). 106
- Figura 50: Distribuição da concentração de nitrato na superfície da área de estudo no período da máxima descarga do rio Amazonas. Comparação entre (a) os dados experimentais (Operação Norte III), e (b) o resultado da simulação (modelo MAAC-2D). 107

LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 1: Formas de fósforo, abreviações e métodos.	13
Tabela 2: Formas dos compostos nitrogenados, abreviações e métodos.	13
Tabela 3: Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais da análise dos parâmetros abióticos com dados obtidos no período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas. Os valores mais significativos estão em negrito.	20
Tabela 4: Estatística descritiva (número de valores (N ^o), mínimo, máximo, mediana, quartil superior (Q. Sup.), quartil inferior (Q. Inf.)) dos dados abióticos (temperatura, salinidade, OD, taxa de saturação do oxigênio dissolvido (OD %), pH, MPO, MPI, nitrato, nitrito, amônia, PID) nas camadas eufótica e afótica, e de Clor <i>a</i> na camada eufótica, obtidos no período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas.	22
Tabela 5: Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais da análise dos dados da camada eufótica obtidos no período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas. Os valores mais significativos estão em negrito.	31
Tabela 6: Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais da análise dos dados da camada afótica obtidos no período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas. Os valores mais significativos estão em negrito.	36
Tabela 7: Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais da análise dos parâmetros abióticos e Clor <i>a</i> superficiais obtidos nos períodos da diminuição e da máxima descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas. Os valores mais significativos estão em negrito.	43
Tabela 8: Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais da análise dos parâmetros abióticos na coluna de água obtidos nos períodos da diminuição e da máxima descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas. Os valores mais significativos estão em negrito.	46

Tabela 9: Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais da análise dos dados da camada eufótica obtidos no período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas. Os valores mais significativos estão em negrito.	58
Tabela 10: Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais da análise dos dados da camada afótica obtidos no período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas. Os valores mais significativos estão em negrito.	60
Tabela 11: Estatística descritiva para o PID, PTP, POD, e fósforo total dissolvido (PTD) na camada eufótica e afótica, dos dados obtidos no período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas.	62
Tabela 12: Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais da análise dos dados da camada eufótica obtidos no período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas. Os valores mais significativos estão em negrito.	76
Tabela 13: Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais da análise dos dados da camada afótica, obtidos no período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas. Os valores mais significativos estão em negrito.	79
Tabela 14: Estatística descritiva para o nitrito, nitrato, amônia, NOD e NTP e nitrogênio total dissolvido (NTD) nas camadas eufótica e afótica, dados obtidos no período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas.	81
Tabela 15: Condições de contorno, taxas e coeficientes utilizados nas simulações com o modelo MAAC-2D.	101

SUMÁRIO

	Pág.
AGRADECIMENTOS	III
EPIÍGRAFE	V
RESUMO	VI
ABSTRACT	VII
LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABELAS	XIV
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	4
2.1 Objetivo Geral	4
2.2 Objetivos Específicos	4
3 DESCRIÇÃO DA ÁREA	5
3.1 Sistema amazônico de drenagem	5
3.2 Plataforma Continental do Amazonas	6
3.2.1 Cobertura Sedimentar	8
3.2.2 Processos Oceanográficos	8
4 MATERIAL E MÉTODOS	10
5 CONDIÇÕES OCEANOGRÁFICAS DA PLATAFORMA CONTINENTAL DO AMAZONAS: PARÂMETROS HIDROLÓGICOS E CLOROFILA <i>a</i>	16
5.1 Introdução	16
5.2 Material e Métodos	18
5.2.1 Parâmetros abióticos e clorofila <i>a</i>	18
5.2.2 Tratamento dos dados	18
5.3 Resultados e Discussões	19

5.3.1 Período da diminuição da descarga do rio Amazonas	19
<u>5.3.1.1 Análise das camadas eufótica e afótica</u>	31
<u>5.3.1.2 Diagrama de mistura</u>	38
<u>5.3.1.3 Relação N:P</u>	41
5.3.2 Períodos da diminuição e da máxima descarga do rio Amazonas	43
<u>5.3.2.1 Análise de agrupamentos (cluster)</u>	48
5.4 Conclusões	51
6 ESTUDO DAS DIFERENTES FORMAS DE FÓSFORO NAS ÁGUAS DA PLATAFORMA CONTINENTAL DO AMAZONAS, DURANTE O PERÍODO DA DIMINUIÇÃO DA DESCARGA DO RIO AMAZONAS	52
6.1 Introdução	52
6.2 Fundamentos Teóricos	54
6.2.1 Ciclo do fósforo	55
6.3 Material e Métodos	56
6.3.1 Parâmetros abióticos e clorofila <i>a</i>	56
6.3.2 Tratamento dos dados	57
6.4 Resultados e Discussões	57
6.5 Conclusões	71
7 ESTUDO DOS COMPOSTOS NITROGENADOS NO AMBIENTE PELÁGICO DA PLATAFORMA CONTINENTAL DO AMAZONAS, NO PERÍODO DA DIMINUIÇÃO DA DESCARGA DO RIO AMAZONAS	72
7.1 Introdução	72
7.2 Fundamentos Teóricos	74
7.2.1 Ciclo do Nitrogênio	74
7.3 Material e Métodos	76
7.3.1 Parâmetros abióticos e clorofila <i>a</i>	76
7.3.2 Tratamento dos dados	76

7.4 Resultados e Discussões	76
7.5 Conclusões	93
8 MODELO ANALÍTICO BIDIMENSIONAL PARA DISTRIBUIÇÃO DO FOSFATO E NITRATO NA PLATAFORMA CONTINENTAL DO AMAZONAS	94
8.1 Introdução	94
8.2 Material e Métodos	97
8.3 Resultados e Discussões	100
8.3.1 Condições de contorno. Calibração e validação do modelo MAAC-2D	100
8.3.2 Distribuição espacial de PID e nitrato na Plataforma Continental do Amazonas	102
8.4 Conclusões	108
9 CONSIDERAÇÕES FINAIS	109
10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	110
ANEXOS	124

1 INTRODUÇÃO

Vários aspectos do ciclo dos nutrientes em ecossistemas pelágicos são importantes para compreender como é controlada a sua produtividade, assim como para prever o efeito da atividade humana em áreas costeiras, que recebem aportes continentais de origem antropogênica (COSTA, 1996).

O fósforo e o nitrogênio, nutrientes considerados essenciais para a produtividade primária, possuem uma importância que não se limita apenas à forma inorgânica dissolvida, principal forma assimilada pelo fitoplâncton. Vários autores discutiram o valor nutricional das diversas formas desses elementos e a relevância do estudo da dinâmica dos seus respectivos ciclos biogeoquímicos (FROELICH *et al.*, 1982; BLACKBURN & HENRIDSEN, 1983; SANDERS *et al.*, 1997; MARINELLI *et al.*, 1998; FANG, 2000), possibilitando uma maior visão da disponibilidade desses elementos para a vida marinha e, mais especificamente, à estuarina e à costeira.

Os processos biogeoquímicos na zona de mistura rio/oceano foram estudados nos grandes rios do mundo, a exemplo, do Amazonas e do Zaire (MILLIMAN & BOYLE, 1975; VAN BENNEKOM *et al.*, 1978; EDMOND *et al.*, 1981; DeMASTER *et al.*, 1986; DeMASTER *et al.*, 1996).

A descarga hídrica do rio Amazonas, segundo KINEKE *et al.* (1996), é da ordem de 100.000 a 220.000 m³s⁻¹. A descarga sólida é de 11 a 13 x 10⁸ tons/ano. O Amazonas é responsável pelo estabelecimento da maior zona estuarina do mundo. Aproximadamente 16% da água doce e 10% dos sedimentos lançados anualmente nas águas do Oceano Atlântico são oriundos desse rio (MULLER-KARGER *et al.*, 1986).

A literatura registra vários trabalhos oceanográficos a respeito do rio Amazonas: RYTHER *et al.* (1967) determinaram o tamanho e a localização da área influenciada pelo rio Amazonas e os níveis dos nutrientes e das populações planctônicas.

TEIXEIRA & TUNDISI (1967) verificaram uma diminuição progressiva na produção primária, no número de organismos por litro entre as áreas costeira e a oceânica e também uma mudança dos diferentes grupos fitoplanctônicos; MAGLIOCCA (1971) descreveu a distribuição da salinidade, temperatura, oxigênio dissolvido e fosfato inorgânico dissolvido na área entre os rios Amazonas e Pará.

DIÉGUES (1972) descreveu a extensão da influência do rio Amazonas sobre o Oceano Atlântico. GIBBS (1972) estudou a composição química dos sais dissolvidos, com base em resultados analíticos obtidos durante o ciclo sazonal do rio Amazonas. EDMOND *et*

al. (1981) observaram a distribuição dos nutrientes e do material em suspensão na pluma do Amazonas, durante um *bloom* de diatomáceas.

Entre junho e setembro de 1987, foi realizada a campanha oceanográfica, PAVASAS I a bordo do Navio Oceanográfico “Almirante Saldanha”, com a finalidade de realizar um levantamento das condições oceanográficas e meteorológicas ao largo do Estado do Maranhão e da Barra Norte do rio Amazonas. Contando com a participação da DHN e de Universidades Brasileiras, essa campanha visou a atender ao projeto “Pontos Anfidrômicos e Variações Sazonais do Atlântico Sul”, desenvolvido pelo Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo.

O Projeto “A Multidisciplinary Amazon Shelf Sediment Study” (AMASSEDS) realizou quatro cruzeiros oceanográficos entre 1989 e 1991, com a participação da Universidade Federal do Pará (Centro de Geociências), Universidade Federal Fluminense (Departamento de Geologia), State University of New York (Marine Sciences Research Center), University of Washington e Woods Hole Oceanographic Institute, para investigar detalhadamente o processo oceanográfico na Plataforma Continental Norte na desembocadura do rio Amazonas.

Devido ao compromisso assumido pelo Brasil, quando da ratificação da Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (CNUDM), que atribui aos países costeiros direitos e responsabilidades quanto à exploração, conservação e gestão dos recursos vivos de sua Zona Econômica Exclusiva (ZEE) e à dinâmica interna e evolução da atividade pesqueira nacional, foi criado o Programa “Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva” - REVIZEE. Este Programa teve como objetivo central proceder ao levantamento dos potenciais sustentáveis de captura dos recursos vivos na ZEE, que compreende uma faixa que se estende das 12 às 200 milhas marítimas, a partir das linhas de base que servem para medir a largura do mar territorial.

O Programa REVIZEE na Plataforma Continental Norte do Brasil abrangeu a área entre o Cabo Orange/AP e a Foz do rio Parnaíba/PI, e realizou as Operações Norte I (1995), Norte II (1997) e Norte III (1999), a bordo do Navio Oceanográfico “ANTARES” da Marinha do Brasil, durante os períodos de descarga máxima (Operações Norte I e Norte III) e mínima (Operação Norte II) do rio Amazonas. A partir dos dados físicos e químicos da Operação Norte III, SANTOS (2000) realizou um trabalho sobre a influência dos rios Amazonas e Pará na distribuição da biomassa fitoplanctônica superficial da área costeira e oceânica. Em 2001, o Programa REVIZEE deu continuidade às pesquisas na região Norte, com a realização da Operação Norte IV, durante o período da diminuição da descarga do rio Amazonas.

As amostras de água coletadas durante a Operação Norte IV, na Plataforma Continental do Amazonas, foram utilizadas na presente pesquisa com o objetivo de estudar a dinâmica dos ciclos do fósforo e do nitrogênio, a sua influência na biomassa primária e sua relação com outros parâmetros abióticos, aprofundando assim o estudo inicial de Santos (2000).

Este trabalho foi dividido em capítulos para melhor discussão da dinâmica ocorrente na Plataforma Continental do Amazonas. Primeiramente são apresentados os objetivos e uma breve descrição da área em estudo, em seguida a metodologia empregada em campo e em laboratório. O capítulo 5 aborda as condições oceanográficas, descrevendo as distribuições dos parâmetros hidrológicos e da clorofila *a*. Nos capítulos 6 e 7 são estudados, respectivamente, as formas de fósforo e de nitrogênio. No capítulo 8, é apresentado um modelo analítico bidimensional para a distribuição superficial do fosfato e nitrato. Finalizando, são descritas considerações para pesquisas futuras na plataforma.

Este estudo das várias formas do fósforo e do nitrogênio na Plataforma Continental do Amazonas é de grande importância, devido à imensa descarga de água doce transportada do rio Amazonas para a área costeira, que provoca um intenso dinamismo na reatividade dos elementos essenciais à vida marinha.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do presente trabalho foi determinar as várias formas dos nutrientes nitrogenados (nitrogênio orgânico dissolvido, nitrogênio total particulado, nitrito, amônia e nitrato) e fosfatados (fósforo orgânico dissolvido, fosfato e fósforo total particulado) na Plataforma Continental do Amazonas.

2.2 Objetivos Específicos

- Estudar a distribuição dos parâmetros abióticos (salinidade, temperatura, pH, oxigênio dissolvido, taxa de saturação de oxigênio dissolvido, transparência da água, material particulado orgânico, material particulado inorgânico, nitrato, nitrito, amônia, fosfato) e da clorofila *a*, durante o período da diminuição da descarga do rio Amazonas.
- Avaliar a influência da sazonalidade da descarga do rio Amazonas (máxima e diminuição) na distribuição dos parâmetros abióticos e da clorofila *a*.
- Utilizar análise de componentes principais para relacionar as formas de fósforo e do nitrogênio na coluna de água (período da diminuição da descarga do rio Amazonas) com os parâmetros abióticos (salinidade, temperatura, pH, oxigênio dissolvido, material particulado orgânico, material particulado inorgânico) e com a clorofila *a*.
- Analisar, no período da diminuição da descarga do rio Amazonas, as distribuições das formas do fósforo e do nitrogênio através da mistura das massas de água fluvial e salina.
- Comparar as presenças de cada forma dos ciclos do fósforo e do nitrogênio nas camadas eufótica e afótica, a fim de melhor visualizar a distribuição no ambiente pelágico da Plataforma Continental do Amazonas.
- Determinar a relação N:P (inorgânico dissolvido) e nas demais fases do ciclo no período da diminuição da descarga do rio Amazonas.
- Desenvolver e aplicar um modelo matemático para representar a distribuição do fosfato e do nitrato na camada superficial da Plataforma Continental do Amazonas, utilizando-se os dados de campo obtidos durante os períodos da diminuição e da máxima descarga do rio Amazonas.

3 DESCRIÇÃO DA ÁREA

3.1 Sistema amazônico de drenagem

O sistema amazônico de drenagem consiste segundo MILLIMAN *et al.* (1974), em dois sistemas de rios dissimilares: o Amazonas e o Pará (figura 1). Estes rios são separados pela ilha de Marajó, incluindo também, pequenos rios, canais, igarapés, furos e ilhas (PALMA, 1979).

O rio Pará foi definido por LIMA *et al.* (2001) como um conjunto hidrográfico sem nascente própria, formado por inúmeros rios cujas águas nele desembocam. Os principais formadores desse rio, com mais de 300 km de extensão e média de 20 km de largura, são os rios Araguaia, Tocantins, Capim, Acará, Moju, Guamá, Anapu, Jacundá, Pacajás e Araticum. De acordo com GABIOUX (2002), o canal principal do rio Pará apresenta profundidades maiores do que 20 m.

O rio Amazonas é a calha-mestra dos rios da região amazônica, nasce no Peru, com o nome de Vilcanota, chama-se Solimões quando entra no Brasil e, ao se confluir com o rio Negro, nas proximidades de Manaus, recebe o nome de Amazonas. Em alguns trechos, tem largura de 10 km com profundidade de 100 m e, em outros, a média é de 5 km (LIMA *et al.*, 2001). Entre os principais afluentes da margem esquerda encontram-se o Japurá, o Negro e o Trombetas; na margem direita, o Juruá, o Purus, o Madeira, o Xingu e o Tapajós.

As estações do ano na região amazônica distinguem-se pelas épocas chuvosas e secas, porém, o período de ocorrência e a intensidade dessas épocas dependem da localização geográfica (FERREIRA DA COSTA *et al.*, 1988). SIOLI (1991) descreveu que na parte meridional do estuário do Amazonas, encontra-se uma zona onde a precipitação anual atinge mais de 2.600 mm; no noroeste da Amazônia, as precipitações anuais alcançam mais de 3.600 mm. De permeio estende-se, do norte até além do médio e baixo Amazonas, uma faixa na qual as precipitações, em certos anos, ficam abaixo de 2.000 mm.

A descarga hídrica do rio Amazonas entra no Oceano Atlântico através dos Canais Norte e Sul, com o máximo da descarga em 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 (RICHEY *apud* GEYER *et al.*, 1996).

GIBBS (1967) descreveu que 80% da carga anual de material em suspensão existente no rio Amazonas é derivada dos Andes, com uma variação na distribuição conforme as estações. Nos meses chuvosos, a média de material em suspensão próximo à foz do rio atinge 125 mg.L^{-1} , enquanto na estação menos chuvosa a concentração fica em torno de 22 mg.L^{-1} .



Figura 1: Principais afluentes dos rios Amazonas e Pará (mapa modificado de CUNHA & GUERRA, 2001).

3.2 Plataforma Continental do Amazonas

A Plataforma Continental do Amazonas (figura 2) situa-se entre o estuário do rio Pará e o Cabo Orange, e a isóbara de 100 m delimita a quebra dessa plataforma (NITTROUER & DeMASTER, 1986). A largura varia consideravelmente ao longo de sua extensão e, aumenta em direção à desembocadura do rio Amazonas, onde alcança 320 km, e então diminui em direção ao norte, medindo 210 km em frente ao Cabo Norte e 125 km junto ao Cabo Orange (CASTRO & MIRANDA, 1998). Apresenta três subdivisões: (i) Plataforma Continental Interna, com gradiente de 1:4.000, compartimentada entre a linha de costa e a isóbara de 20 m; (ii) Plataforma Continental Intermediária, representando a porção mais inclinada, com um gradiente de 1:400, situada entre as isóbaras de 20 m e 40 m; e (iii) Plataforma Continental Externa, localizada entre as isóbaras de 40 m e 80 m, com um gradiente de 1:2.000 (SILVA, 1998).

A Plataforma Continental do Amazonas apresenta um clima caracterizado por instabilidade ocasionada pela baixa pressão atmosférica, alta nebulosidade com chuvas associadas e altos índices de umidade atmosférica, que identificam a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Observa-se também, sobre o Atlântico equatorial a passagem de ondas

de leste, com comprimento de onda médio de 2000 a 3000 km, período de 3 a 4 dias e velocidade de fase de 6° de longitude/dia (REED *et al.* apud PAIVA, 2002).

Os ventos alísios sopram durante todo o ano sobre a plataforma e são caracterizados por terem variação sazonal associada à migração da ZCIT. 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 *apud* GABIOUX, 2002).

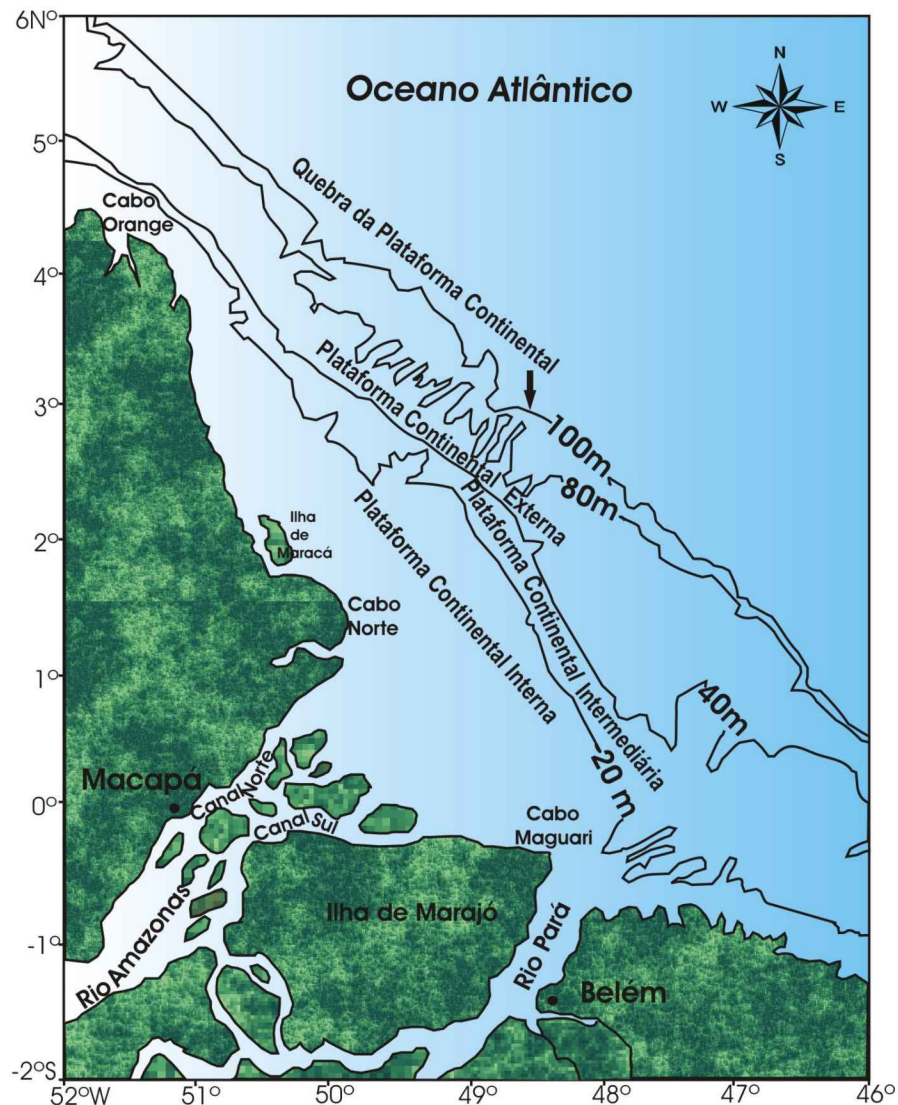


Figura 2: Plataforma Continental do Amazonas com as isóbatas de 20m, 40m, 80m e 100 m (mapa modificado de SILVA, 1998).

3.2.1 Cobertura Sedimentar

A Plataforma Continental Interna é constituída predominantemente por sedimentos finos, silte, silte-argiloso e argila síltica (SILVA, 1998). Os processos que favorecem a sedimentação do material fino, principalmente nas proximidades da foz do rio Amazonas, podem favorecer também a ressuspensão e conseqüentemente redeposição de sedimentos através de correntes de fundo, geradas pelas interações entre rio/oceano (NITTROUER *et al.*, 1995).

SILVA (1998) descreveu a Plataforma Continental Intermediária formada por sedimentos siltosos, com uma pequena predominância de material síltico/arenoso, mas com variações, como argila/síltica, silte/argiloso, silte e silte/arenoso.

A porção externa da plataforma 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 sedimentos mais finos em suspensão por longas distâncias (KOWSMAN & COSTA *apud* SILVA, 1998).

A circulação estuarina na plataforma ocasiona um transporte de sedimento nas águas superficiais em direção ao mar aberto, e um retorno à costa nas águas de fundo (GIBBS, 1976). Altas concentrações de material em suspensão estendem-se ao longo da costa em direção ao noroeste e a observação de muita lama na costa das Guianas sugere que os sedimentos do Amazonas são advectados em direção noroeste (MILLIMAN *et al.*, 1974; GIBBS, 1976).

3.2.2 Processos Oceanográficos

Os processos oceânicos operantes na Plataforma Continental do Amazonas 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 de água e sedimentar provenientes do rio Amazonas (NITTROUER & DeMASTER, 1996).

Na região equatorial, a força de Coriolis é fraca e a circulação responde a outros fatores, como a força dos ventos e os gradientes de pressão, que direcionam a Corrente Norte do Brasil (LENTZ, 1995). O reduzido efeito da aceleração de Coriolis permite que a circulação estenda-se na coluna de água até a profundidade de 60 m (GEYER *et al.*, 1996).

As correntes de maré no estuário do Amazonas e em suas cercanias podem exceder a 250 cm.s^{-1} . As marés influenciam diretamente na mistura da coluna d'água próximo à região

litorânea, favorecendo as estratificações da salinidade na Plataforma Continental adjacente, principalmente na maré baixa (GEYER *et al.*, 1996). O ciclo quinzenal da maré (sizígia e quadratura) e a variação sazonal da vazão fluvial influenciam a localização e as variações da frente salina (GEYER & KINEKE, 1995). GEYER (1995) caracterizou a circulação sobre a plataforma como típica de estuários de cunha salina nas quadraturas e de estuários bem misturados nas sizíguas.

A Corrente Norte do Brasil flui entre 100 e 200 km de extensão e 500 m de profundidade, com variabilidade sazonal e transporte na ordem de 10 a 30 Sv (NITTROUER & DeMASTER, 1996). De acordo com NITTROUER *et al.* (1991), esta corrente sofre retroflexão no período de maio a outubro, e transporta a pluma do rio Amazonas para leste, fato também observado por CURTIN & LEHECKIS (1986) através de imagens de satélites.

Os processos físicos e a concentração de material em suspensão na Plataforma Continental do Amazonas influenciam no destino de muitos elementos químicos como, por exemplo, o Si, que é afetado por mecanismo de remoção biológica e está indiretamente ligado ao material em suspensão (DeMASTER *et al.*, 1986). Segundo estes autores, a assimilação do Si por diatomáceas na Plataforma Continental do Amazonas ocorre onde a concentração do material em suspensão na água superficial está abaixo de 20 mg.L⁻¹ e 10 mg.L⁻¹.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A Operação Norte IV foi realizada a bordo do Navio Oceanográfico “ANTARES”, pertencente à Marinha do Brasil, com a finalidade de obter informações de natureza biótica e abiótica na ZEE Norte, entre o Cabo Orange/AP e a Foz do rio Parnaíba/PI. Essa operação foi efetuada no período da diminuição da descarga do rio Amazonas entre 11 de julho e 10 de setembro de 2001.

Para o desenvolvimento da presente pesquisa, foram utilizadas as estações localizadas na Plataforma Continental do Amazonas, realizadas em agosto de 2001 durante a Operação Norte IV e distribuídas ao longo de 11 perfis, totalizando 41 estações (figura 3). Os seguintes parâmetros físicos e químicos foram determinados a bordo do navio: temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido, taxa de saturação de oxigênio dissolvido, pH e transparência da água.

Posteriormente, no Laboratório de Oceanografia da Universidade Federal do Pará, foram realizadas as análises para a determinação de fósforo orgânico particulado, fósforo orgânico dissolvido, fosfato, fósforo total particulado, nitrogênio total particulado, nitrogênio orgânico dissolvido, amônia, nitrato, nitrito, material particulado orgânico e inorgânico. Para clorofila *a*, a análise foi feita no Laboratório de Produtividade Primária do Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco.

As amostras de água para as análises hidrológicas e biológicas foram coletadas através de garrafas de Niskin de 5 litros, em uma Rosette acoplada ao CTD (*Conductivity, Temperature, Depth*). As profundidades das coletas foram: (i) superfície, 50% de penetração de luz, e 1% de penetração de luz, da camada eufótica; (ii) início, meio, e fim, da camada afótica.

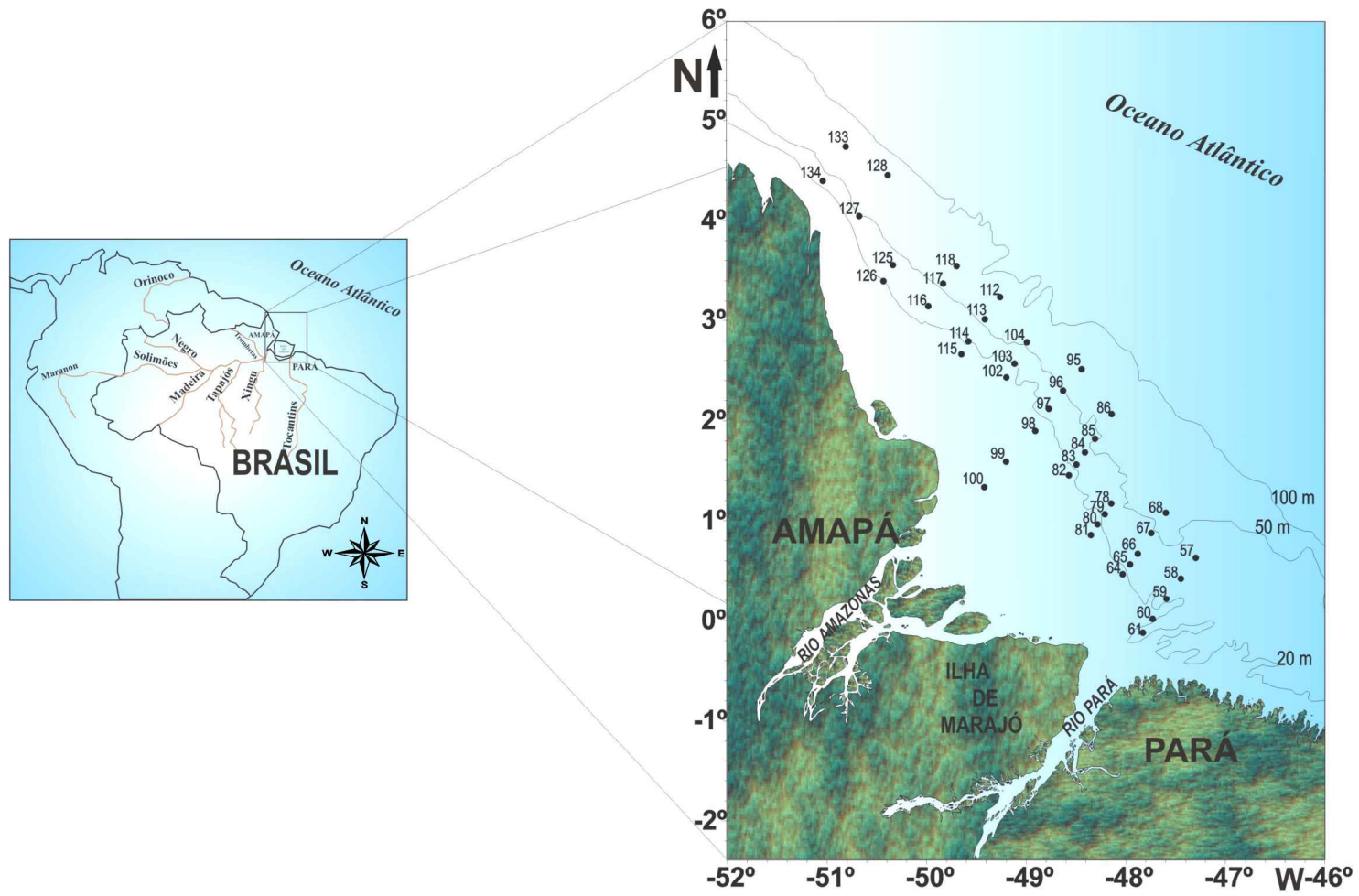


Figura 3: Mapa de localização das estações oceanográficas (Programa REVIZEE/ Operação Norte IV).

Os métodos de análises e os tratamentos de dados utilizados foram:

↪ **Temperatura e salinidade**

Os dados de temperatura e os de salinidade da água do mar foram registrados durante a comissão através de um CTD SeaBird SBE 9-plus ligado à unidade de bordo SBE 11 acoplado a uma Rosette, o que permitiu a monitoração em tempo real dos dados.

↪ **Transparência da água**

A transparência da água foi determinada através da profundidade do disco de Secchi (m), no horário entre as 10h e 16 h.

↪ **Oxigênio dissolvido e taxa de saturação de oxigênio dissolvido**

O método utilizado para a determinação do teor do oxigênio dissolvido (OD) na coluna de água foi o de Winkler, descrito por STRICKLAND & PARSONS (1972).

A taxa de saturação do oxigênio dissolvido na água foi obtida posteriormente, utilizando a International Oceanographic Tables (UNESCO, 1973).

↪ **pH**

Para a medida do potencial hidrogeniônico foi utilizado um pHmetro da marca Hanna.

↪ **Compostos fosfatados**

A tabela 1 mostra as diversas formas de fósforo determinadas na coluna de água, as abreviações e os métodos. Todas as análises químicas foram realizadas em duplicatas no laboratório, e a metodologia empregada encontra-se descrita em GRASSHOFF *et al.* (1983).

As amostras para a determinação do fósforo total (não filtradas), fósforo total dissolvido (filtradas) e do fosfato foram estocadas em frascos plásticos de 500 mL e mantidas no freezer. As amostras foram filtradas através de filtros de GF/F de 0,45 µm a bordo do navio para as duas últimas determinações. A quantidade de fósforo orgânico dissolvido foi estimada pela diferença entre o fósforo total dissolvido e o fosfato. A diferença entre o fósforo total (amostra não filtrada) e o fósforo total dissolvido (amostra filtrada) permitiu estimar o fósforo total particulado.

Tabela 1: Formas de fósforo, abreviações e métodos.

Formas	Abreviações	Métodos
Fósforo Total	PT	Oxidação com persulfato de potássio
Fósforo Total Dissolvido	PTD	Oxidação com persulfato de potássio
Fósforo Total Particulado	PTP	PT – PTD
Fosfato	PID	Ácido ascórbico
Fósforo Orgânico Dissolvido	POD	PTD – PID

↪ Compostos nitrogenados

As formas de nitrogênio determinadas na coluna de água, abreviações e métodos encontram-se na tabela 2. Todas as análises químicas foram realizadas em duplicatas no laboratório, e a metodologia empregada encontra-se descrita em GRASSHOFF *et al.* (1983).

Para a determinação do nitrogênio inorgânico dissolvido (nitrato, nitrito, amônia), nitrogênio total dissolvido e nitrogênio total as amostras foram estocadas em frascos plásticos de 500 mL e mantidas em freezer. As amostras foram filtradas a bordo do navio para as duas primeiras determinações, com filtros GF/F de 0,45 µm. Através da diferença entre o nitrogênio total dissolvido (amostra filtrada) e nitrogênio inorgânico dissolvido (amônia+nitrato+nitrito), foi obtida a quantidade de nitrogênio orgânico dissolvido. A diferença entre o nitrogênio total (amostra não filtrada) e o nitrogênio total dissolvido (amostra filtrada) permitiu avaliar o nitrogênio particulado presente na amostra.

Tabela 2: Formas dos compostos nitrogenados, abreviações e métodos.

Formas	Abreviações	Métodos
Nitrogênio Total	NT	Oxidação com persulfato de potássio
Nitrogênio Total Dissolvido	NTD	Oxidação com persulfato de potássio
Nitrogênio Total Particulado	NTP	NT – NTD
Nitrato	NO ₃ ⁻	Redução: coluna de cádmio
Nitrito	NO ₂ ⁻	Formação do íon diazótico
Amônia	NH ₄ ⁺	Formação do indofenol
Nitrogênio Orgânico Dissolvido	NOD	NTD - (NO ₃ ⁻ +NO ₂ ⁻ +NH ₄ ⁺)

↪ **Material particulado orgânico e inorgânico**

Para a determinação do material particulado total, os filtros foram secos na estufa a 50°C e para determinação do material particulado inorgânico, foram calcinados na mufla a 600°C. O material particulado orgânico foi determinado por diferença de peso (PARANHOS, 1996).

↪ **Clorofila *a***

As amostras para a determinação da concentração de pigmentos fotossintetizantes foram filtradas através de filtro Whatman GF/F, com volume variando entre 0,3 e 4,0 L. O método empregado foi o espectrofotométrico publicado por UNESCO (1966) e TEIXEIRA (1973).

↪ **Tratamento de dados**

Os dados anexos de salinidade, de temperatura, de pH, de oxigênio dissolvido (OD) e sua taxa de saturação de oxigênio dissolvido, do material particulado orgânico (MPO) e inorgânico (MPI), das formas de fósforo (PID, fósforo total dissolvido, fósforo total particulado, fósforo orgânico dissolvido) e de nitrogênio (nitrogênio orgânico dissolvido, nitrogênio total particulado, nitrogênio total dissolvido, nitrato, nitrito e amônia) e da clorofila *a* (Clor *a*), obtidos durante o período da diminuição da descarga do rio Amazonas, foram analisados através de métodos de estatística descritiva e da análise de componentes principais.

Os valores estatísticos característicos das variáveis foram descritos em termos de sua mediana, quartil inferior (25%), quartil superior (75%), valores máximos e mínimos.

Na análise de componentes principais (ACP) as variáveis originais são linearmente combinadas com o objetivo de projetar o máximo de informação no menor número de dimensões. A informação total contida no conjunto de dados de partida é quantificada pela matriz de covariância. A primeira componente principal (PC1) é a direção de máxima variância e, portanto, de máxima informação no espaço multidimensional original. A segunda componente (PC2) é ortogonal a PC1 e corresponde ao eixo que explica o máximo possível da informação que não pôde ser representada pela primeira componente. Juntas, PC1 e PC2 definem o plano de máxima informação no espaço multidimensional. Se as variáveis apresentarem muitas correlações significativas, é possível que esse plano já contenha informação suficiente para permitir inferir os padrões de associação existentes nos dados de partida (MASSART *et al.*, 1998).

Cada eixo, numa análise de componentes principais, é caracterizado por três tipos de parâmetros: (i) a percentagem de variância/informação explicada, (ii) os pesos das variáveis originais, que indicam a sua importância relativa na definição da direção daquela componente principal, e (iii) os escores dos vetores de dados, que localizam as projeções desses vetores sobre os eixos PC.

Como os dados foram registrados em diferentes escalas, não poderiam ser combinados nos seus valores originais. Antes da PCA, foi necessário reprocessá-los através de um autoescalamento a variância unitária, definido pela transformação:

$$x_{ij}^{auto} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{s_j}$$

onde x_{ij} = valor da variável j determinado para o objeto i (“objeto”, nesse contexto, significa simplesmente uma linha da matriz de dados), e \bar{x}_j e s_j são a média e o desvio padrão da variável j no conjunto de dados analisado. Com o autoescalamento, as variáveis passam a ser expressas numa escala adimensional onde todas elas têm variância unitária, isto é, a mesma informação.

5 CONDIÇÕES OCEANOGRÁFICAS DA PLATAFORMA CONTINENTAL DO AMAZONAS: PARÂMETROS HIDROLÓGICOS E CLOROFILA *a*

5.1 Introdução

Os nutrientes considerados essenciais para as funções metabólicas do fitoplâncton são o nitrogênio, o fósforo e a sílica, os quais são transportados através dos rios, e, juntamente com a disponibilidade de luz, favorecem o desenvolvimento desses organismos. No caso das águas costeiras e estuarinas, onde a quantidade de material em suspensão costuma ser freqüente e elevada, é comum ocorrer uma grande atenuação da luz na coluna de água, tornando-a um fator limitante do processo fotossintético (SMAYDA, 1983; CLOERN *et al.*, 1985; PENNOCK, 1985; DeMASTER *et al.*, 1986).

CLOERN (1987) aplicou dados de vários sistemas estuarinos em um modelo e concluiu que a disponibilidade de luz controla a produção do fitoplâncton em muitos estuários. Contudo, TURNER *et al.* (1990) verificaram que a limitação de nutrientes foi grande em águas com baixa salinidade no rio Huanghe (China). Embora luz e nutrientes sejam fatores limitantes no crescimento do fitoplâncton próximo da confluência de rios e oceanos, não está claro qual o parâmetro tem o papel mais dominante (DeMASTER *et al.*, 1996).

Segundo SMAYDA (1983), o material em suspensão nas águas estuarinas contém partículas orgânicas e inorgânicas, capazes de competir com o fitoplâncton, absorvendo parte da luz de determinadas faixas do espectro. Outras substâncias dissolvidas, conhecidas como “yellow substances” ou “gelbstoff”, muito comuns nas águas ricas em húmus, que chegam aos estuários e às águas costeiras adjacentes através da drenagem terrestre, também influenciam na incidência de luz na água, além do material em suspensão, que reflete parte da luz que penetra na água (MOREIRA, 1994).

De acordo com DeMASTER & POPE (1996), a circulação na plataforma continental também pode ser uma importante fonte de nutrientes em áreas influenciadas por grandes rios a exemplo, o Amazonas. A Plataforma Continental do Amazonas é um ambiente altamente dinâmico, onde a circulação é o resultado da complexa interação entre as descargas do rio Amazonas, fortes correntes de maré, ventos alísios e a Corrente Norte do Brasil, que flui ao longo da costa (NITTROUER *et al.*, 1991).

Estudos realizados na Plataforma Continental do Amazonas por SMITH & DeMASTER (1996) revelaram a existência de regiões onde a biomassa fitoplancônica é dependente da disponibilidade de luz e nutrientes. Tal fato também foi observado por SANTOS (2000) em trabalho realizado no período de descarga máxima do rio Amazonas,

onde a distribuição da concentração de clorofila *a* foi relacionada com os nutrientes, a transparência da água e o transporte da Corrente Norte do Brasil.

Tendo em vista os resultados obtidos no trabalho de SANTOS (2000), este capítulo tem como proposta estudar a distribuição dos parâmetros abióticos (salinidade, temperatura, pH, oxigênio dissolvido (OD), taxa de saturação de oxigênio dissolvido, transparência da água, material particulado orgânico (MPO), material particulado inorgânico (MPI), nitrato, nitrito, amônia, fosfato (PID)) e da clorofila *a* (Clor *a*), durante o período da diminuição da descarga do rio Amazonas, a fim de verificar o grau de eutrofização e a disponibilidade de nutrientes na Plataforma Continental do Amazonas. Em termos comparativos, será também avaliada a influência da sazonalidade da descarga (máxima e diminuição) na distribuição dos parâmetros abióticos e da clorofila *a*.

5.2 Material e Métodos

5.2.1 Parâmetros abióticos e clorofila *a*

A metodologia empregada em campo e em laboratório no período da diminuição da descarga do rio Amazonas encontra-se descrita no capítulo 4.

Os dados utilizados para o período de descarga máxima do rio Amazonas são de SANTOS (2000), que abordou a interação entre os parâmetros oceanográficos nas áreas costeira e oceânica da ZEE Norte.

5.2.2 Tratamento dos dados

A descrição geral da metodologia utilizada no tratamento dos dados também encontra-se no capítulo 4.

Para avaliar a influência da maré durante o período estudado, foi realizada uma análise de componentes principais (*Principal Component Analysis – PCA*) com os dados das tábuas das marés do Banco Nacional de Dados Oceanográficos, do Centro de Hidrografia da Marinha, da Diretoria de Hidrografia e Navegação (medidos na Barra Norte do rio Amazonas - Ponta do Céu, no Estado do Amapá), visto que a presente pesquisa foi desenvolvida no contexto do Programa REVIZEE, o qual não tinha como meta a medição da maré na ZEE Norte. Essa avaliação estatística não revelou nenhuma influência nítida da maré nos padrões de associação dos dados analisados, mas isto não significa que a maré não influencie na distribuição dos parâmetros abióticos e bióticos. Apenas não foi possível discernir essa influência na presente análise, possivelmente pela ausência de um padrão de coleta das amostras em função da maré, o que fez com que 46% das coletas tenham sido realizadas durante a maré vazante. Portanto, o parâmetro maré foi excluído das análises de componentes principais subsequentes.

Inicialmente foi realizada uma PCA para o período da diminuição da descarga do rio Amazonas, com todos os parâmetros abióticos obtidos nas diferentes profundidades de coleta. A transparência da água não foi inserida, por falta de dados na matriz de trabalho. Em determinados horários de coleta, não foi possível a detecção da profundidade do disco de Secchi. No entanto, foi levada em consideração a separação entre as camadas eufótica e afótica, obtida através do disco de Secchi. Essas camadas foram estudadas separadamente, acrescentando-se na PCA da camada eufótica os dados de Clor *a*.

Na última etapa dos tratamentos dos dados, para efeito de comparação, foi realizada uma PCA agrupando os dados dos períodos da diminuição e da máxima descarga do rio Amazonas, estratificados em dois conjuntos: (i) um somente com os dados superficiais,

incluindo a concentração de Clor *a*, (ii) e outro com os dados obtidos em toda a coluna de água (sem a Clor *a*).

Dentro do estudo comparativo, foram realizadas análise de agrupamentos (cluster) com os dados superficiais e da camada de 1% de penetração de luz, tanto para o período de descarga máxima, quanto para o da diminuição do rio Amazonas. Essa análise visou delimitar regiões da Plataforma Continental do Amazonas que apresentassem comportamentos homogêneos em termos das variáveis consideradas.

5.3 Resultados e Discussões

5.3.1 Período da diminuição da descarga do rio Amazonas

A análise de componentes principais com todos os parâmetros abióticos obtidos nas diferentes profundidades de coleta mostra que as duas primeiras componentes (PC1 e PC2) juntas descrevem cerca de 48,7% da variância original (tabela 3 e figura 4). A PC1 explicou 31,3% da variância total e pode ser interpretada como um contraste entre, de um lado, nitrato (0,86), fosfato - PID (0,86), material particulado orgânico (0,66) e amônia (0,51) e, de outro lado, oxigênio dissolvido (-0,57), pH (-0,49) e temperatura (-0,48). Esses sinais contrários indicam uma correlação negativa ao longo da PC1 entre esses dois grupos, que são a principal fonte de variação no conjunto de amostras.

Para os nutrientes, a relação inversa com o oxigênio dissolvido (OD) indica reações de oxidação que ocorrem no ciclo do fósforo e do nitrogênio, como a amonificação e nitrificação para esse último. O material particulado orgânico (MPO) também apresentou correlação inversa ao OD e ao pH, o que pode ser associado à degradação da matéria orgânica.

A salinidade, o material particulado inorgânico (MPI) e o nitrito não apresentaram uma forte influência na primeira componente, mas destacaram-se na segunda (PC2), que explicou 17,4% da variância total. Isso indica que, em determinadas profundidades, a temperatura diminuiu e a salinidade aumentou, por causa da intrusão de massas de águas oceânicas. A correlação negativa entre o nitrito e a amônia ressalta os processos ocorrentes no ciclo do nitrogênio.

Tabela 3: Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais da análise dos parâmetros abióticos com dados obtidos no período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas. Os valores mais significativos estão em negrito.

<i>Variável</i>	<i>PC1</i>	<i>PC2</i>
Temperatura (°C)	-0,48	-0,70
Salinidade	-0,22	0,67
MPI (mg.L ⁻¹)	0,15	-0,46
MPO (mg.L ⁻¹)	0,66	0,12
pH	-0,49	-0,05
OD (ml.L ⁻¹)	-0,57	-0,12
Nitrito (µM)	0,22	-0,40
Nitrato (µM)	0,86	-0,26
Amônia (µM)	0,51	0,47
PID (µM)	0,86	-0,25
Variância explicada (%)	31,3	17,4

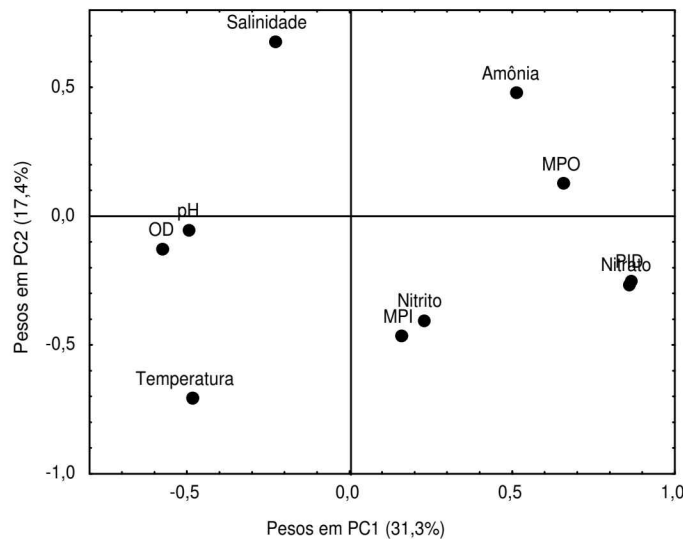


Figura 4: Pesos das variáveis nas duas primeiras componentes principais dos parâmetros abióticos, com dados obtidos no período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas.

Os escores para os dados da coluna de água em PC1 e PC2, estratificados de acordo com as camadas eufótica e afótica, estão plotados na figura 5. Pode-se observar uma

separação parcial das amostras das duas camadas, na direção que vai aproximadamente do 3º quadrante (predominância da camada eufótica) para o 1º quadrante (predominância da camada afótica). Não se observa uma separação total entre as duas camadas, consequência da dinâmica na área, que é influenciada por diversas variáveis oceanográficas. Isto produz um ambiente altamente complexo, com uma mistura na coluna de água, não só devido à zona de mistura entre águas oriundas do rio e do oceano, mas também por presença de processos físicos, como as marés e as turbulências.

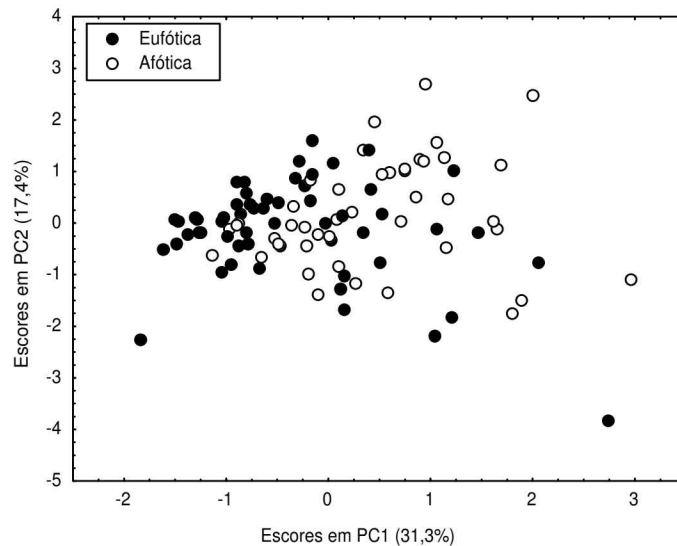


Figura 5: Escores nas duas primeiras componentes principais, na análise feita com os parâmetros abióticos durante o período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas, com estratificação entre as camadas eufótica e afótica.

Comparando-se as camadas eufótica e afótica, em relação aos seus valores estatísticos (tabela 4), os valores da mediana na primeira foram mais elevados para temperatura, OD e taxa de saturação do oxigênio dissolvido. Na segunda, maiores valores foram encontrados para nitrato, nitrito, PID, MPI e MPO. A salinidade, o pH e a amônia apresentaram valores medianos próximos em ambas as camadas.

A diferença verificada entre as camadas indica que o processo fotossintético na camada eufótica favorece o aumento do OD, enquanto, na camada afótica, a remineralização da matéria orgânica libera os nutrientes em sua forma inorgânica (nitrato e PID). O aumento do MPO na camada afótica indica a liberação de matéria orgânica de origem detrítica, formada por pelotas fecais, fragmentos de tecidos animais e vegetais, etc. Para o MPI, esse aumento pode ser devido ao processo de ressuspensão dos sedimentos de fundo.

Tabela 4: Estatística descritiva (número de valores (N°), mínimo, máximo, mediana, quartil superior (Q. Sup.), quartil inferior (Q. Inf.)) dos dados abióticos (temperatura, salinidade, OD, taxa de saturação do oxigênio dissolvido (OD %), pH, MPO, MPI, nitrato, nitrito, amônia, PID) nas camadas eufótica e afótica, e de Clor *a* na camada eufótica, obtidos no período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas.

	Camada Eufótica						Camada Afótica					
	N°	Mínimo	Máximo	Mediana	Q. Sup.	Q. Inf.	N°	Mínimo	Máximo	Mediana	Q. Sup.	Q. Inf.
Temperatura (°C)	79	25,55	28,96	28,08	27,39	28,53	53	23,72	28,95	27,51	26,17	28,49
Salinidade	79	0,00	36,42	36,01	33,70	36,30	53	0,00	36,42	36,18	35,01	36,29
OD (ml.L ⁻¹)	79	3,43	7,31	5,10	4,93	5,46	52	3,58	5,84	4,85	4,65	5,03
OD (%)	79	73,68	153,75	112,03	108,82	121,7	52	80,71	122,37	104,92	100,88	109,82
pH	78	7,38	8,14	7,74	7,71	7,99	52	7,32	8,12	7,72	7,69	7,760
Clor <i>a</i> (mg.m ⁻³)	79	0,13	41,45	1,67	0,86	3,73	-	-	-	-	-	-
MPO (mg.L ⁻¹)	62	4,80	94,30	34,10	29,80	47,20	49	1,20	81,34	46,80	35,00	53,55
MPI (mg.L ⁻¹)	62	1,00	106,40	23,10	13,00	30,00	49	0,40	114,67	26,60	12,30	46,80
MPT (mg.L ⁻¹)	62	29,20	158,00	58,2	55,00	60,80	49	47,60	188,00	61,20	56,55	90,35
Nitrato (μM)	78	0,72	8,59	2,12	1,36	3,80	50	1,60	13,48	3,32	2,67	4,65
Nitrito (μM)	78	0,01	0,59	0,05	0,03	0,13	50	0,01	0,88	0,18	0,05	0,41
Amônia (μM)	76	0,02	0,29	0,10	0,06	0,13	50	0,02	0,31	0,12	0,10	0,17
PID (μM)	78	0,06	0,77	0,18	0,12	0,30	50	0,12	0,89	0,30	0,20	0,39

O gráfico de caixa da figura 6 permite uma comparação visual das distribuições da temperatura e da salinidade nas camadas eufótica e afótica. Nesse gráfico, a altura das caixas representa a distância interquartílica; o ponto central, a mediana e as extremidades das duas linhas, os valores máximo e mínimo. Para permitir comparar, numa única figura, variáveis com unidades ou distribuições diferentes, realizou-se um autoescalonamento prévio da matriz de dados, isto é, uma transformação linear que torna todas as variáveis adimensionais com média zero e variância unitária.

A dispersão da temperatura na camada eufótica foi relativamente assimétrica, com mediana próxima aos valores máximos e com uma cauda inferior longa. Na camada afótica, a assimetria mostrou-se mais suave, a mediana foi menor e o valor mínimo mais acentuado, indicando a diminuição da temperatura com o aumento da profundidade (figura 6). O valor da mediana nessa camada foi de 27,51°C, enquanto na camada eufótica foi de 28,08°C (tabela 4). A distribuição desse parâmetro corrobora os trabalhos desenvolvidos na ZEE Norte (RYTHER *et al.*, 1967; SANTOS, 2000; SANTOS & SILVA, 2000; DELFINO *et al.*, 2003; ESCHRIQUE *et al.*, 2003), os quais descrevem uma estabilidade térmica na camada superficial, uma diminuição da temperatura com o aumento da profundidade e a presença da termoclina na área oceânica.

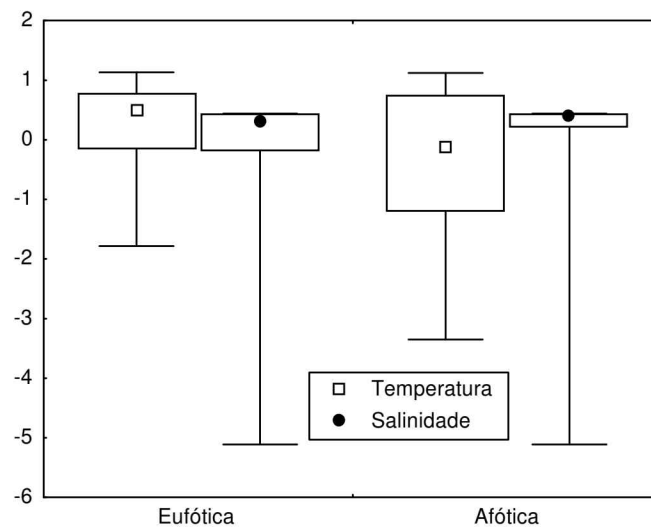


Figura 6: Distribuição dos valores autoescalados para a temperatura e a salinidade.

A presença das águas oriundas do rio Amazonas foi evidenciada pelo valor mínimo de salinidade (0,00), observado nas camadas eufótica (mediana de 36,01) e afótica (mediana de 36,18), e também pela assimetria das respectivas caixas, com cauda inferior bastante longa. Porém, as águas oceânicas predominaram em ambas as camadas, com a mediana localizada próximo aos valores máximos destas camadas. Na camada afótica, a distância interquartílica é significativamente menor, indicando uma distribuição mais estreita dos valores de salinidade (tabela 4 e figura 6).

As características de baixa salinidade oriundas do rio Amazonas são observadas na direção noroeste, em função do transporte realizado pela Corrente Norte do Brasil, que tem variação de fluxo sazonal, com máximo de 35 Sv ($1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) entre julho e agosto, e mínimo de 10 Sv entre abril e maio (GEYER *et al.*, 1996). LENTZ (1995) verificou que, entre agosto e outubro, aproximadamente 70% da pluma do Amazonas é transportada para leste durante a retroflexão da Corrente Norte do Brasil, enquanto os 30% restantes são advectados em direção noroeste para o Caribe. A zona de mistura entre o rio e o oceano ocorre na plataforma, devido à imensa descarga do rio Amazonas (DeMASTER *et al.*, 1996).

Durante o período da diminuição da descarga do rio Amazonas, a distribuição superficial de salinidade na Plataforma Continental do Amazonas refletiu a influência da Corrente Norte do Brasil no transporte de massas de águas fluviais em direção noroeste e demonstrou a existência da zona de mistura na plataforma continental interna, com a presença de águas fluviais e marinhas, fato também observado com os dados superficiais do período de descarga máxima quando a massa de água fluvial dominou a plataforma (figura 7). Isto corrobora o descrito por SANTOS (2000), GEYER & KINEKE (1995), LENTZ & LIMEBURNER (1995) e GIBBS (1970), que descreveram as massas de águas oriundas do rio Amazonas na Plataforma Continental do Amazonas e um aumento do teor salino em direção ao mar aberto.

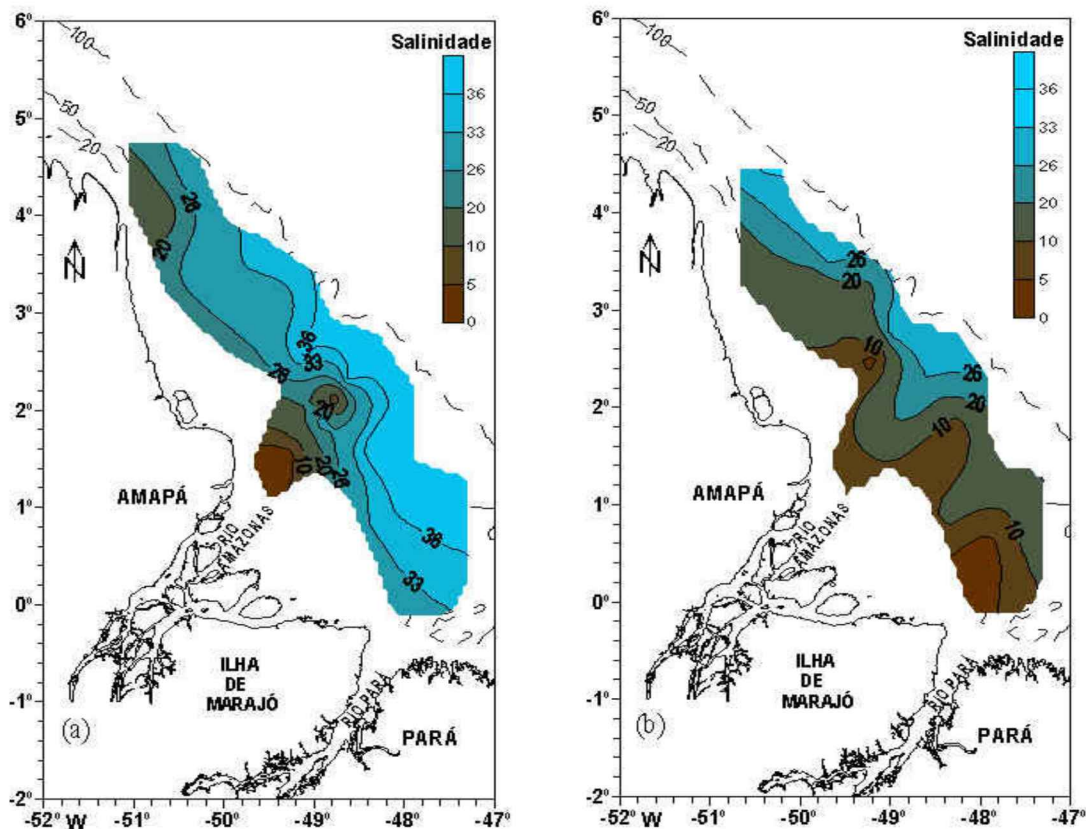


Figura 7: Distribuição superficial de salinidade na Plataforma Continental do Amazonas, períodos (a) da diminuição e (b) da máxima descarga do rio Amazonas.

A influência fluvial durante o período da diminuição da descarga também foi observada na distribuição superficial dos nutrientes em sua fase inorgânica dissolvida, destacando-se principalmente o nitrato e o fosfato (PID), que apresentaram valores elevados nas estações localizadas próximo à costa, entre a foz do rio Amazonas e o Cabo Orange, devido ao transporte da Corrente Norte do Brasil (figura 8). As concentrações superficiais máximas de nitrato e PID foram de $8,59 \mu\text{M}$ (estação 127) e $0,67 \mu\text{M}$ (estação 100), respectivamente.

SANTOS (2000), durante o período de descarga máxima do rio Amazonas, verificou altas concentrações de nitrato, fosfato e silicato nas estações localizadas próximas à costa na Plataforma Continental do Amazonas e uma diminuição em direção ao mar aberto. Observou também uma variação acentuada na concentração desses nutrientes na costa do Amapá, caracterizando águas ricas em nitrato (mínimo de $2,21 \mu\text{M}$ e máximo de $9,28 \mu\text{M}$), fosfato (mínimo de $0,22 \mu\text{M}$ e máximo de $0,65 \mu\text{M}$) e silicato (mínimo de $10,10 \mu\text{M}$ e máximo de $92,19 \mu\text{M}$). Tal variação foi atribuída ao transporte da Corrente Norte do Brasil. Os valores elevados para o silicato são esperados, já que, de acordo com DeMASTER *et al.* (1983), o

suprimento de sílica para o ambiente marinho na Plataforma Continental do Amazonas é de aproximadamente $4,9 \times 10^{13}$ g SiO_2 por ano.

No presente trabalho, as distribuições superficiais de nitrato e PID (figura 8) apresentaram variações perto da costa do Amapá (mínimo de $3,2 \mu\text{M}$ e máximo de $8,59 \mu\text{M}$ para o nitrato, e mínimo de $0,30 \mu\text{M}$ e máximo de $0,63 \mu\text{M}$ para o PID), valores estes próximos aos encontrados por SANTOS (2000). DeMASTER & POPE (1996), através de dados obtidos durante quatro cruzeiros realizados no âmbito do Programa “A Multidisciplinary Amazon Shelf Sediment Study” (AmasSeds), abrangendo distintos períodos de descarga do rio (vazante, mínima, enchente, e máxima), descreveram como pequena a variação sazonal nas concentrações dos principais nutrientes (concentrações médias para nitrato de $16 \mu\text{M}$, PID de $0,70 \mu\text{M}$, amônia de $0,40 \mu\text{M}$ e silicato de $144 \mu\text{M}$). Esses autores enfatizaram que, devido à complexidade e ao tamanho da bacia de drenagem do Amazonas, variações espaciais e temporais nas concentrações dos nutrientes não são inesperadas.

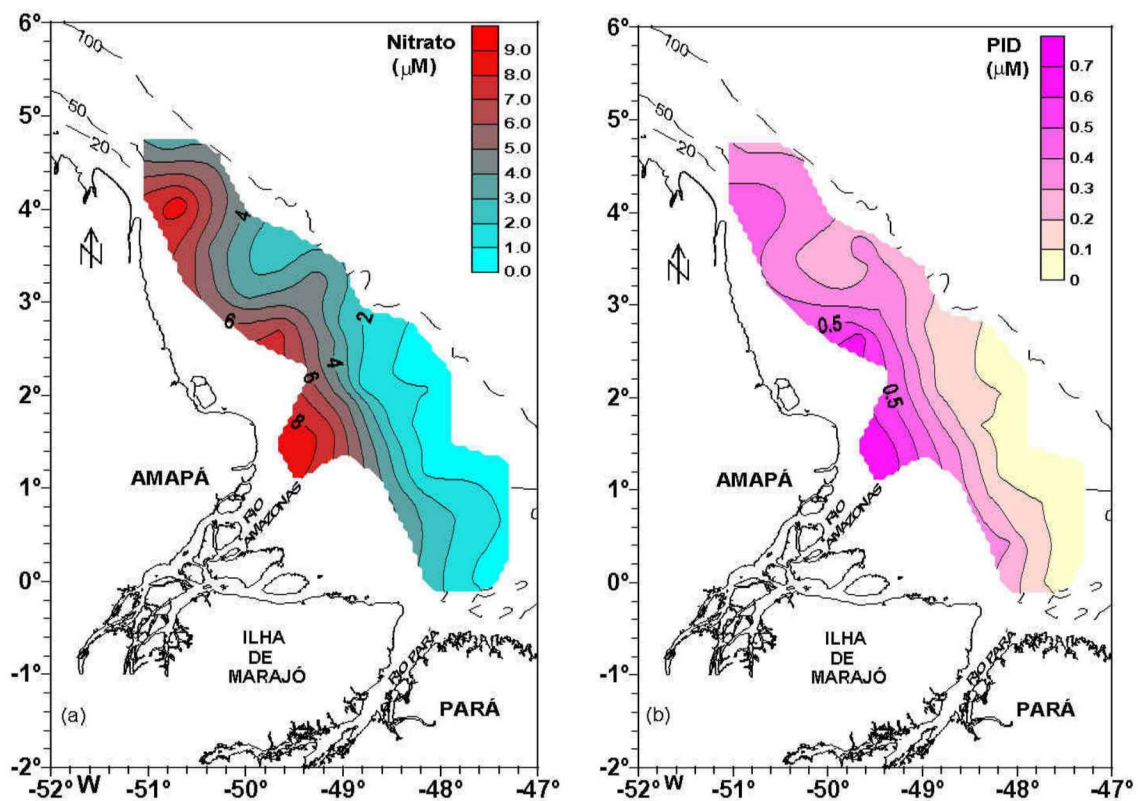


Figura 8: Distribuição superficial de (a) nitrato (μM) e (b) PID (μM) na Plataforma Continental do Amazonas, período da diminuição da descarga do rio Amazonas.

Na figura 9, observam-se os valores autoescalados dos nutrientes, com uma distribuição assimétrica, caudas superiores bastante longas, indicando valores máximos destacados, e valores de medianas inferiores na camada eufótica (valores de medianas para nitrato = 2,12 μM , nitrito = 0,05 μM , amônia = 0,10 μM e PID = 0,18 μM , tabela 4). Para as formas nitrogenadas, a amplitude interquartílica indica haver uma variação na distribuição das concentrações desses nutrientes em ambas as camadas. O nitrato e o nitrito apresentaram, na camada eufótica, valores de mediana próximos aos valores mínimos, indicando uma assimetria orientada no sentido do quartil inferior. Isto pode estar relacionado a um lento processo de nitrificação, visto que os valores medianos de amônia, deslocados no sentido oposto, estiveram próximo ao quartil superior. Na camada afótica, a distribuição destas formas nitrogenadas foi diferenciada pelo valor da mediana da amônia, que ficou mais próximo ao valor do quartil inferior, indicando que o processo de nitrificação nessa camada está sendo favorecido (valores de medianas para nitrato = 3,32 μM , nitrito = 0,18 μM e amônia = 0,12 μM na camada afótica, tabela 4). Em relação ao PID, as amplitudes interquartílicas foram semelhantes em ambas as camadas, com maiores valores da mediana encontrados na camada afótica (medianas para PID = 0,30 μM , tabela 4).

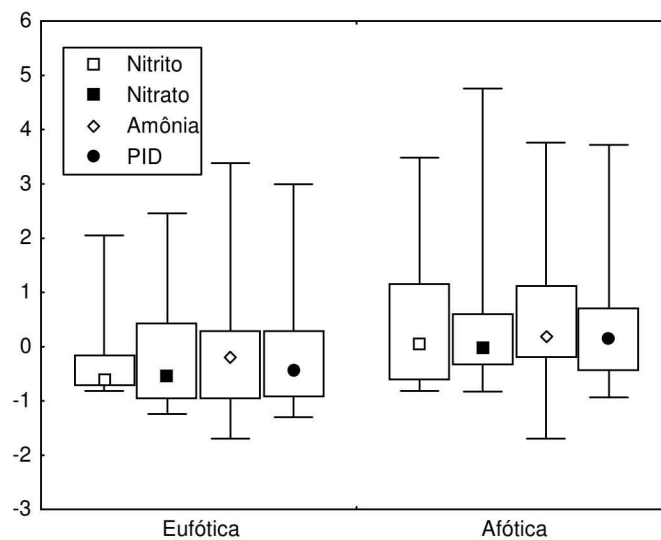


Figura 9: Distribuição dos valores autoescalados para o nitrito, o nitrato, a amônia e o PID.

No ambiente marinho, o pH é controlado pelo sistema CO_2 , que funciona como tamponador, mantendo o equilíbrio ácido-básico, o que favorece a vida marinha. Valores alcalinos do pH foram observados em toda a coluna de água, com os valores das medianas próximos nas camadas eufótica (mediana de 7,74) e afótica (mediana de 7,72). A camada eufótica apresenta uma maior amplitude interquartílica, com a mediana próxima ao quartil inferior, em contraste com uma distribuição mais estreita na camada afótica (tabela 4 e figura 10).

Analisando-se a distribuição de OD e sua taxa de saturação na coluna de água, a mediana foi de $5,10 \text{ mL.L}^{-1}$ (112,03%) na camada eufótica e de $4,84 \text{ mL.L}^{-1}$ (104,90%) na afótica, caracterizando um ambiente de saturado a supersaturado (tabela 4).

A distribuição de OD na camada eufótica foi levemente assimétrica, com valores máximos e de mediana superiores aos da camada afótica. Nesta última, observa-se uma amplitude interquartílica menor, indicando uma menor variação na distribuição desse parâmetro (figura 10).

SANTOS (2000) na Plataforma Continental do Amazonas, encontrou o valor mínimo de OD na área costeira de $2,23 \text{ mL.L}^{-1}$ na camada eufótica e de $2,05 \text{ mL.L}^{-1}$ na camada afótica, durante o período de descarga máxima do rio Amazonas, concentrações inferiores quando comparadas às verificadas no período estudado, mínimo de $3,43 \text{ mL.L}^{-1}$ na camada eufótica e de $3,58 \text{ mL.L}^{-1}$ na camada afótica (tabela 4).

SANTOS (2000) relacionou o decréscimo na concentração de OD à influência da descarga fluvial, que transporta elevadas concentrações de matéria orgânica tanto particulada como dissolvida, o que ocasiona intensos processos de decomposição por oxidação.

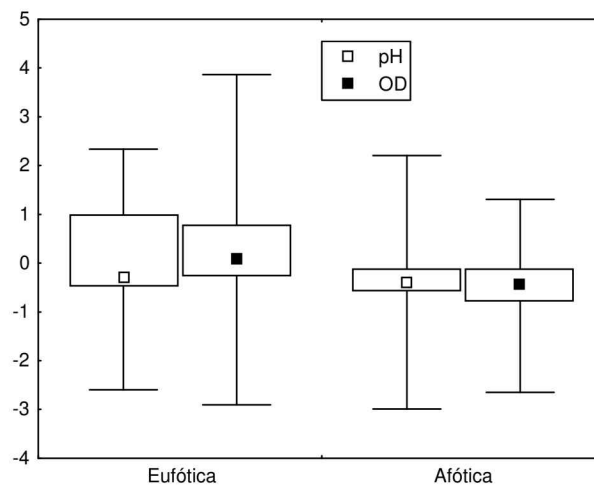


Figura 10: Distribuição dos valores autoescalados para o pH e o OD.

De acordo com CARVALHO & CUNHA (1998), a Cordilheira dos Andes (nascentes dos rios Solimões e Madeira) constitui a principal fonte natural de sedimentos para o rio Amazonas. A distribuição da concentração de material em suspensão na bacia amazônica não ocorre de forma uniforme. No rio Acre (Rio Branco), a concentração medida foi de 454 mg.L⁻¹, no rio Solimões (São Paulo de Olivença), de 358 mg.L⁻¹, no rio Madeira (Porto Velho), de 388 mg.L⁻¹, em Óbidos, de 235 mg.L⁻¹ e em Manacapuru, de 200 mg.L⁻¹.

Durante o período de descarga máxima do rio Amazonas em 1983, CURTIN & LEGECKIS (1986) encontraram valores de aproximadamente 200 mg.L⁻¹ perto da foz do rio. Porém, altas concentrações de sedimentos em suspensão (> 544 mg.L⁻¹) foram verificadas por esses autores na costa em direção noroeste (aproximadamente até a isóbata de 10 m), como também concentrações significantes (>10 mg.L⁻¹) nas águas superficiais até aproximadamente 200 km em direção ao mar aberto.

FOX *et al.* (1986) descreveram valores de concentrações de sedimento em suspensão em dezembro (período de mínima descarga fluvial do rio Amazonas) entre 100 e 600 mg.L⁻¹ a partir da desembocadura do rio até a salinidade de 20. Acima de 22 de salinidade, a concentração de sedimentos em suspensão baixou, variando entre 10 e 70 mg.L⁻¹, com exceção de locais onde as concentrações permaneceram acima de 100 mg.L⁻¹.

No presente trabalho, a concentração do material particulado total (MPT), durante o período da diminuição da descarga do rio Amazonas, oscilou entre 29,20 mg.L⁻¹ e 158,00 mg.L⁻¹ na camada eufótica e entre 47,60 mg.L⁻¹ e 188,00 mg.L⁻¹ na camada afótica (tabela 4). As elevadas concentrações de material em suspensão encontradas podem ser relacionadas ao processo de ressuspensão durante as operações de amostragens. Esse processo foi descrito por DeMASTER *et al.* (1996) como uma fonte de silicato e nitrogênio inorgânico na plataforma externa, decorrente das correntes de marés, ondas e turbulência vertical.

No estuário de Changjiang (China), EDMOND *et al.* (1985) descreveram alta variação de maré, o que resulta em um ambiente energético, no qual as partículas são mantidas em suspensão na camada superficial com salinidade maior que 20 e concentrações variando entre 20 mg.L⁻¹ e 5.000 mg.L⁻¹. RENDELL *et al.* (1997), no estuário Great Ouse (Inglaterra), observaram grande variação na carga do material em suspensão (9 mg.L⁻¹ a 1.020 mg.L⁻¹) durante período dominado por maré, quando comparado ao período com forte fluxo fluvial (13 mg.L⁻¹ a 132 mg.L⁻¹).

MILLIMAN *et al.* (1974), em estudo realizado entre fevereiro e março de 1973 (período da elevação da descarga do rio Amazonas), relataram valores de material orgânico em suspensão maiores do que 4 mg.L⁻¹, próximo à desembocadura do Amazonas e menores

do que $0,20 \text{ mg.L}^{-1}$ nas águas oceânicas. Em relação à fração do material inorgânico em suspensão, esses autores descreveram que ela é composta tanto de grãos terrígenos como de material biogênico não combustível.

Neste trabalho, os valores encontrados para o MPO foram maiores que os descritos por MILLIMAN *et al.* (1974). Porém, a dinâmica na Plataforma Continental do Amazonas é diferenciada por vários processos físicos, além da sazonalidade da descarga do rio Amazonas.

A distribuição do MPO mostrou-se assimétrica em ambas as camadas, com valores de mediana menores na camada eufótica (mediana de $34,10 \text{ mg.L}^{-1}$). O limite superior nessa camada indica a concentração máxima de 94 mg.L^{-1} , verificada na estação 100 (próximo à foz do rio Amazonas). Apesar da concentração máxima ter sido detectada na camada eufótica, os teores de MPO na camada afótica foram mais elevados, como indicam a posição relativa das respectivas caixas e o valor de mediana de $46,80 \text{ mg.L}^{-1}$ (tabela 4 e figura 11).

O MPI apresentou uma distribuição menos assimétrica, com valores medianos nas camadas eufótica ($23,10 \text{ mg.L}^{-1}$) e afótica ($26,60 \text{ mg.L}^{-1}$) bastante próximos, o que pode estar relacionado ao equilíbrio entre os processos de ressuspensão e deposição (tabela 4 e figura 11).

Comparando-se os valores das medianas do MPI e do MPO obtidos nas camadas eufótica e afótica, observam-se os maiores valores para o MPO, o que pode ser consequência de uma maior produção autóctone, do que a partir das águas do rio Amazonas.

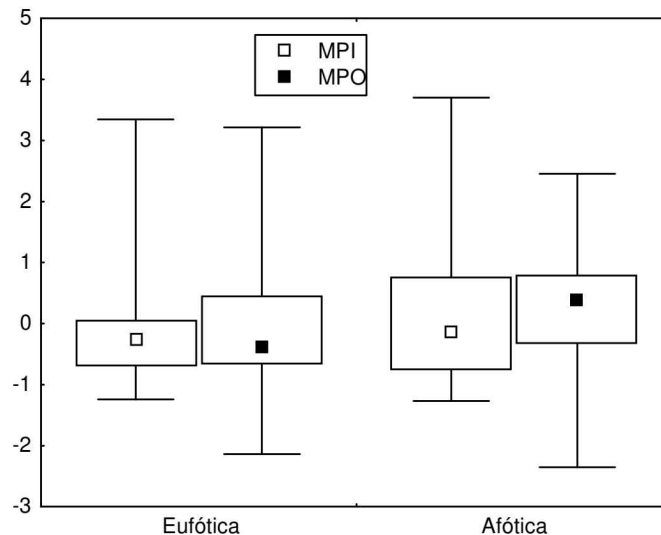


Figura 11: Distribuição dos valores autoescalados para o MPI e o MPO.

5.3.1.1 Análise das camadas eufótica e afótica

Em uma segunda etapa, foi realizada a análise de componentes principais das camadas eufótica e afótica em separado, já que foi observada uma diferenciação entre essas camadas.

Na camada eufótica, as duas primeiras componentes (PC1 e PC2) explicaram 48,2% da variância original (tabela 5 e figura 12). Na primeira componente, que explica cerca de 29% da variância total, foi observado um contraste entre o nitrato (0,80), o PID (0,85) e o MPO (0,70), com o OD (-0,55), a Clor *a* (-0,54), o pH (-0,51) e a salinidade (-0,45). Essa correlação negativa demonstra o aumento na concentração desses nutrientes em águas com baixa salinidade, embora isto não favoreça diretamente o crescimento fitoplanctônico, por causa do elevado teor de material particulado transportado pelo rio Amazonas para a Plataforma Continental do Amazonas.

A segunda componente explica cerca de 19,2% da variância total e apresenta como principais elementos a salinidade (-0,70), em contraste com a temperatura (0,70), a Clor *a* (0,50), o OD (0,56) e o nitrato (0,47), mostrando que o desenvolvimento da biomassa fitoplanctônica foi favorecido pelo aumento na concentração de nitrato. O material particulado não teve influência nessa segunda componente.

Tabela 5: Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais da análise dos dados da camada eufótica obtidos no período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas. Os valores mais significativos estão em negrito.

<i>Variável</i>	<i>PC1</i>	<i>PC2</i>
Temperatura (°C)	-0,33	0,72
Salinidade	-0,45	-0,70
MPI (mg.L ⁻¹)	0,03	0,15
MPO (mg.L ⁻¹)	0,70	-0,11
pH	-0,51	0,21
Clor <i>a</i> (mg.m ⁻³)	-0,54	0,50
OD (ml.L ⁻¹)	-0,55	0,56
Nitrito (μM)	0,23	0,26
Nitrato (μM)	0,80	0,47
Amônia (μM)	0,31	-0,19
PID (μM)	0,85	0,35
Variância explicada (%)	29	19,2

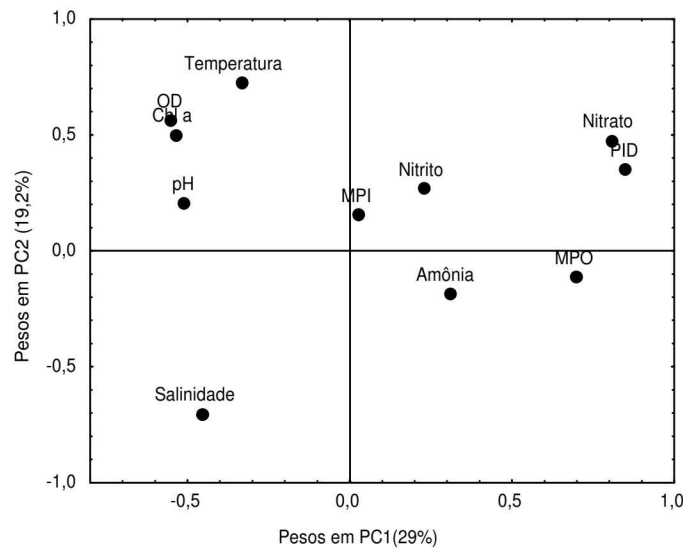


Figura 12: Pesos das variáveis nas duas primeiras componentes principais com os dados obtidos na camada eufótica, período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas.

A figura 13 apresenta os escores, nas duas primeiras componentes principais, estratificados de acordo com a profundidade de coleta. Não se observa estratificação nítida na PC1. Ao longo da PC2, verifica-se uma separação parcial, com os dados da superfície associados a escores mais positivos, e com os dados da profundidade de 1% de penetração de luz a escores mais negativos. Isso indica maiores concentrações de Clor *a*, OD, nitrato e temperatura na camada superficial e maiores teores de sais dissolvidos a 1% de penetração de luz. As estações 133 e 99 destacam-se com escores mais elevados na PC2. Para a estação 133, a explicação é o elevado valor de OD e de Clor *a* e, para a estação 99, elevadas concentrações de nitrato e de PID.

Na figura 14, observa-se a distribuição dos valores autoescalados para Clor *a*, OD, nitrato e PID, nas diferentes profundidades de coleta realizadas na camada eufótica para melhor visualizar a relação entre esses parâmetros intrínsecos ao processo fotossintético. A dispersão dos valores de Clor *a* apresentou-se assimétrica em todas as profundidades, com a cauda superior bastante longa na superfície, mostrando que o valor máximo foi detectado nessa camada. Os valores medianos apresentaram-se próximos nas três profundidades de coleta, com pequena amplitude interquartílica, o que mostra variações similares da Clor *a*. Em relação ao OD, a distribuição também foi assimétrica, com o maior valor detectado na superfície e o menor, na camada de 1% de penetração de luz. As concentrações medianas diminuíram com o aumento da profundidade de coleta. Quanto aos nutrientes, na superfície,

os valores medianos e máximos foram superiores aos observados na camada de 50% de penetração de luz, sugerindo que na superfície, apesar da remoção através do processo fotossintético, um processo de adição está favorecendo o aumento nos teores desses nutrientes. A distribuição desses parâmetros (Clor *a*, OD, nitrato e PID) reforça a mistura existente na camada eufótica verificada através da figura 13.

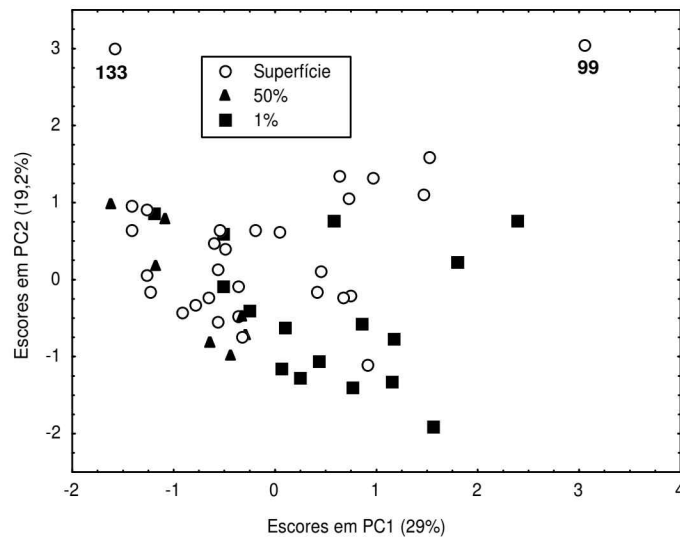


Figura 13: Escores nas duas primeiras componentes principais, na análise feita com os dados abióticos e Clor *a* da camada eufótica, período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas, com estratificação entre as profundidades de coleta (superfície, 50% de penetração de luz, 1% de penetração de luz).

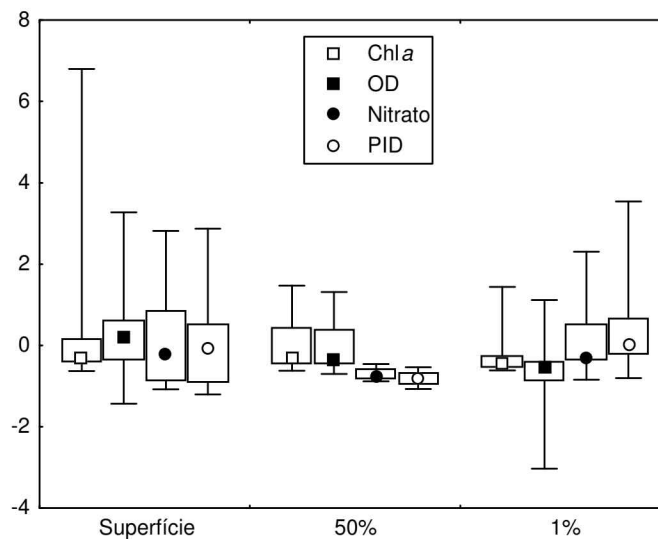


Figura 14: Distribuição dos valores autoescalados para a Clor *a*, o OD, o nitrato e o PID.

SMITH & RUSSEL (1995) relataram que o crescimento do fitoplâncton é determinado por três características na pluma do Amazonas: transparência, estratificação e a disponibilidade de nutrientes. Estudos na Plataforma Continental mostraram a importância da concentração de sedimentos na limitação da penetração de luz e do conteúdo de nutrientes (MILLIMAN & BOYLE, 1975; EDMOND *et al.*, 1981; DeMASTER *et al.*, 1983, 1986). A transparência da água influencia a penetração de luz na coluna de água e conseqüentemente o crescimento do fitoplâncton. A estratificação na área costeira do Amazonas reflete a importância da zona entre a água fluvial e a oceânica, onde os sedimentos floculam, os nutrientes são abundantes e o crescimento fitoplanctônico é favorecido (SMITH & DeMASTER, 1996).

HUMBORG (1997) realizou uma comparação da produção primária no estuário do Danúbio ($0,20 - 4,40 \text{ g.C.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$), com os dados de CADEE (1975) para o Amazonas ($0,10 - 1,00 \text{ g.C.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$), e constatou a similaridade da produtividade em ambos os estuários, onde as condições luminosas e as altas concentrações de nutrientes são suficientes para a produtividade.

A distribuição superficial da Clor *a*, no período da diminuição da descarga do rio Amazonas (figura 15), foi influenciada pela dinâmica dos processos oceanográficos atuantes como, por exemplo, o transporte de massas na Plataforma Continental do Amazonas em direção noroeste, através da Corrente Norte do Brasil, que favorece a disponibilidade do nitrato e fosfato.

Áreas de Pernambuco foram caracterizadas como ambiente eutrófico através dos valores da biomassa fitoplanctônica a exemplo de Carne de Vaca ($0,75 \text{ mg.m}^{-3}$ a $18,91 \text{ mg.m}^{-3}$, CAMPELO *et al.*, 1999), estuário do rio Formoso ($2,45 \text{ mg.m}^{-3}$ a $70,22 \text{ mg.m}^{-3}$, HONORATO DA SILVA, 2003) e, em estudo realizado num perfil perpendicular à costa, em frente ao Porto do Recife, RESSURREIÇÃO *et al.* (1996) registraram uma biomassa de $0,05 \text{ mg.m}^{-3}$ a $32,29 \text{ mg.m}^{-3}$. Por outro lado, COSTA (1991), verificou através dos dados da produtividade primária, obtidos na camada superficial, na plataforma externa e área oceânica entre Recife (Pernambuco) e Macau (Rio Grande do Norte), uma região com características de oligotrófica a mesotrófica, com o valor médio de Clor *a* de $0,31 \text{ mg.m}^{-3}$.

SANTOS (2000) caracterizou a Plataforma Continental do Amazonas como um ambiente eutrófico, com base em dados de clorofila *a* entre $0,03 \text{ mg.m}^{-3}$ e $9,79 \text{ mg.m}^{-3}$, mediana de $1,64 \text{ mg.m}^{-3}$. No presente trabalho, a mediana da Clor *a* foi de $1,67 \text{ mg.m}^{-3}$, o valor mínimo foi de $0,13 \text{ mg.m}^{-3}$ e o máximo de $41,45 \text{ mg.m}^{-3}$ (tabela 4). A fertilidade da área foi favorecida durante a época da diminuição da descarga do rio Amazonas, com o valor da

mediana próximo ao verificado por SANTOS (2000) e com os máximos valores acentuados verificados em direção noroeste da desembocadura do rio Amazonas. Portanto, ratifica o descrito por HUMBORG (1997) e SANTOS (2000), ou seja, na Plataforma Continental do Amazonas o aumento da produtividade primária é pontual e ocorre onde a concentração de nutrientes e a penetração de luz são favoráveis ao desenvolvimento fitoplanctônico.

MELO (2004), em estudo da distribuição dos organismos zooplancônicos na Plataforma Continental do Amazonas, realizado com amostras coletadas durante o mesmo período do presente trabalho, observou uma maior densidade das espécies em estações oceânicas localizadas ao norte, relacionando-a ao processo de retroflexão da Corrente Norte do Brasil.

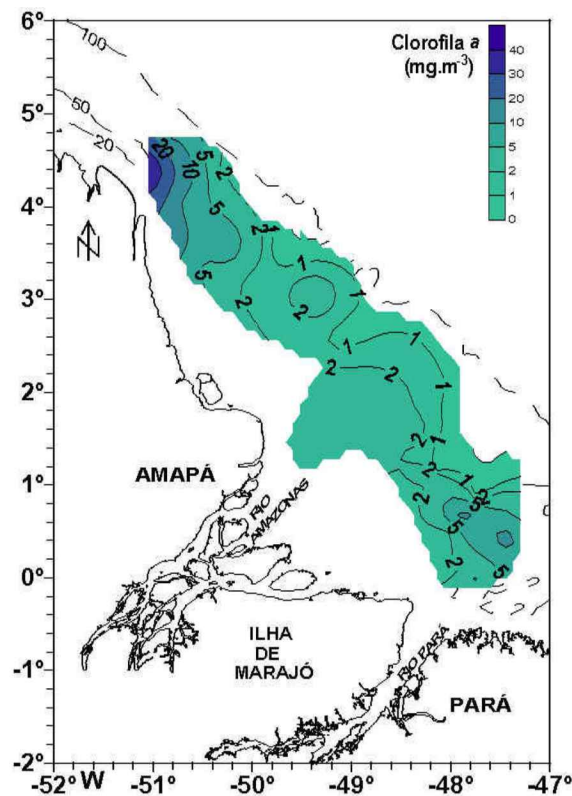


Figura 15: Distribuição superficial de Clorofila *a* (mg.m⁻³) na Plataforma Continental do Amazonas (período da diminuição da descarga do rio Amazonas).

Na camada afótica, as duas primeiras componentes explicaram cerca de 55,4% da variância original (tabela 6 e figura 16). A primeira componente explicou 30,4% da variância total e apresentou como principais elementos a temperatura (-0,64) e o pH (-0,48) em contraste com o nitrato (0,86), o PID (0,79), a amônia (0,67) e o MPO (0,58). A correlação positiva entre o nitrato, o PID, amônia e MPO pode ser atribuída à oxidação da matéria orgânica.

A segunda componente (PC2) explicou cerca de 25% da variância total, apresentando um contraste entre temperatura (0,60), MPI (0,66), nitrito (0,64), salinidade (0,68) e o OD (-0,63). A correlação inversa entre estes parâmetros indica a presença de massas de águas mais frias e salinas, com baixos teores de OD, devido também ao processo de degradação da matéria orgânica na camada afótica.

Na figura 17, estão plotados os escores dos dados abióticos em PC1 e PC2 para as diferentes profundidades de coleta na camada afótica. Observa-se uma dispersão nos pontos, sem uma separação nítida entre as profundidades de coleta, ou seja, uma camada de água bastante misturada.

Tabela 6: Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais da análise dos dados da camada afótica obtidos no período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas. Os valores mais significativos estão em negrito.

<i>Variável</i>	<i>PC1</i>	<i>PC2</i>
Temperatura (°C)	-0,64	0,60
Salinidade	0,26	-0,68
MPI (mg.L ⁻¹)	0,07	0,66
MPO (mg.L ⁻¹)	0,58	0,07
pH	-0,48	-0,11
OD (ml.L ⁻¹)	-0,34	-0,63
Nitrito (µM)	-0,16	0,64
Nitrato (µM)	0,86	0,29
Amônia (µM)	0,67	-0,37
PID (µM)	0,79	0,39
Variância explicada (%)	30,4	25

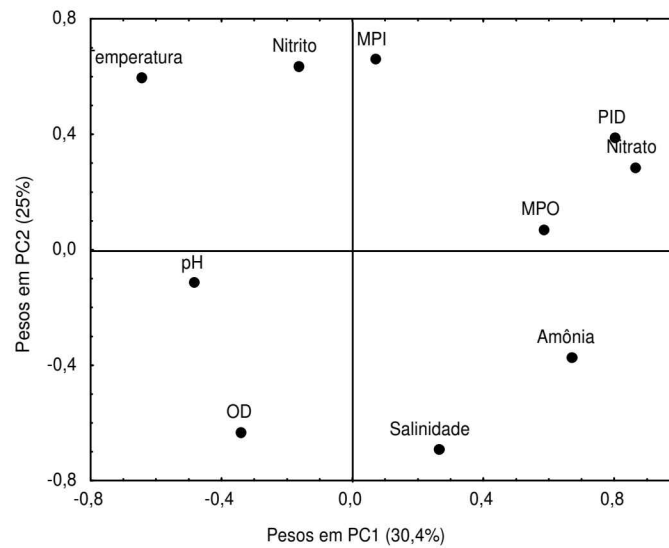


Figura 16: Pesos das variáveis nas duas primeiras componentes principais com os dados obtidos na camada afótica, período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas.

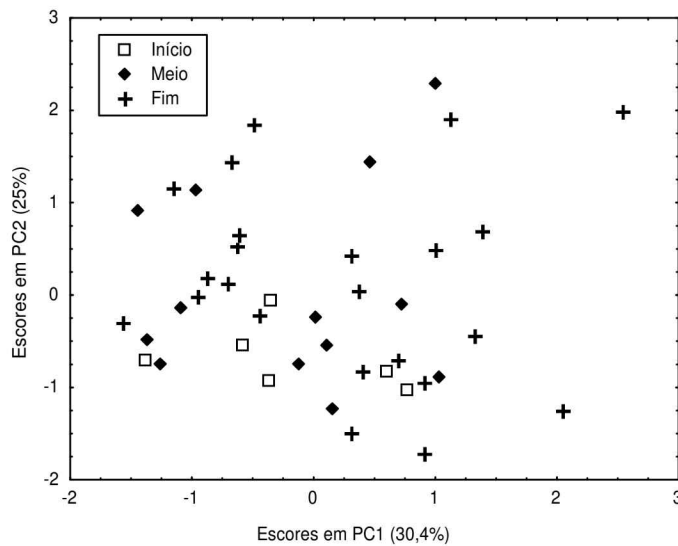


Figura 17: Escores nas duas primeiras componentes principais, na análise feita com os dados abióticos da camada afótica, período da diminuição da descarga rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas, com estratificação entre as profundidades de coleta.

5.3.1.2 Diagrama de mistura

A reatividade estuarina é representada, em geral, através dos diagramas ou gráficos de mistura, os quais são utilizados principalmente para os componentes dissolvidos (CHESTER, 1993). De acordo com CIFUENTES *et al.* (1990), as variações das concentrações dos componentes, que ocorrem em escala de tempo curto nos estuários, podem causar uma aparente reatividade no diagrama de mistura. Conseqüentemente, segundo LEBO *et al.* (1994), é importante estar ciente das variações químicas durante a interpretação do comportamento conservativo (quando a distribuição de um componente é controlada somente pelo processo físico de mistura) ou não conservativo (quando o componente é envolvido ou participa de reações estuarinas que resultam na adição ou na subtração do mesmo).

Em áreas estuarinas, o principal mecanismo para explicar a remoção do fósforo tem sido a adsorção ao material particulado nas regiões de baixa salinidade (KEMP & BOYNTON, 1984; FOX, 1990; BALLS, 1992, 1994; EYRE, 1994). Outros mecanismos para a remoção do fósforo são: a assimilação biológica, as reações de floculação e de precipitação com ferro e material húmico (MEYBECK *et al.*, 1988; SMITH & LONGMORE, 1980; LEBO, 1991).

Para o nitrogênio, estes processos são mais complexos, devido às transformações existentes entre as espécies de nitrogênio, às perdas através da desnitrificação, à remoção biológica e à regeneração (KEMP & BOYNTON, 1984; BALLS, 1992; NIELSEN *et al.*, 1995).

EYRE & TWIGG (1997) associaram a remoção do fosfato em regiões de baixa salinidade no estuário do rio Richmond (Austrália) à adsorção ao ferro e ao alumínio, os quais são agregados e sofrem sedimentação. Para o nitrato, a remoção foi descrita como sendo conseqüência da assimilação pelo fitoplâncton e ao processo de desnitrificação. PAKULSKI *et al.* (2000), em trabalho realizado nos rios Mississipi e Atchafalaya, relacionaram a remoção tanto do nitrato quanto do fosfato à utilização fotossintética.

Em estudo sazonal no Great Ouse estuário (Inglaterra), RENDELL *et al.* (1997) descreveram um comportamento não conservativo em regiões de baixa salinidade para o nitrato, durante os períodos de primavera e verão, sugerindo que a assimilação biológica favorece a remoção desse nutriente. No entanto, foi observada uma mudança no comportamento durante os meses de inverno. Neste período, esses autores detectaram uma diminuição nos níveis de atividade biológica, sendo então observado um comportamento conservativo do nitrogênio. Para o PID, o comportamento foi não conservativo durante todo o ano. Nos meses de inverno, processos inorgânicos foram responsáveis pela remoção e,

durante o crescimento sazonal, o desenvolvimento fitoplanctônico foi o fator mais importante na remoção desse nutriente.

No caso em estudo, a figura 18 mostra a distribuição dos dados superficiais obtidos durante o período da diminuição da descarga do rio Amazonas, para o nitrato, o PID, e a Clor *a* em função da salinidade. Através do diagrama de mistura, foi possível visualizar um comportamento não conservativo para esses nutrientes. SANTOS (2000) no período de descarga máxima, também observou um comportamento não conservativo, com remoção desses nutrientes entre as salinidades de 10 a 20. Durante o período da diminuição da descarga, foi observada, dentro do comportamento não conservativo, uma remoção do PID entre as salinidades de 0 e 20 (ressalta-se haver poucos dados abrangendo tais valores de salinidade), provavelmente devido ao processo de adsorção ao material particulado. Para o nitrato, nessa faixa de salinidade, foi observada uma adição, indicando a relevância do processo de nitrificação ou a presença de águas oriundas do rio Amazonas.

A partir do valor de salinidade de 20, observam-se, para aqueles nutrientes, processos de remoção e adição. Destaca-se a assimilação biológica como importante fator para a remoção de ambos os nutrientes. A distribuição superficial da Clor *a*, em função da salinidade, apresentou o máximo valor entre a salinidade de 10 e 20, e a continuação do crescimento fitoplanctônico a partir dessa última salinidade (figura 18).

DeMASTER & POPE (1996), durante desenvolvimento de trabalho na Plataforma Continental do Amazonas (período de descarga máxima do rio Amazonas, maio de 1990), verificaram que as concentrações de nitrato permaneceram quase constantes entre as salinidades de 0 e 6, indicando uma fonte adicional de nitrato para o sistema. Uma tendência similar também foi notada por EDMOND *et al.* (1981) durante o mesmo período de descarga do rio Amazonas (maio/junho de 1976).

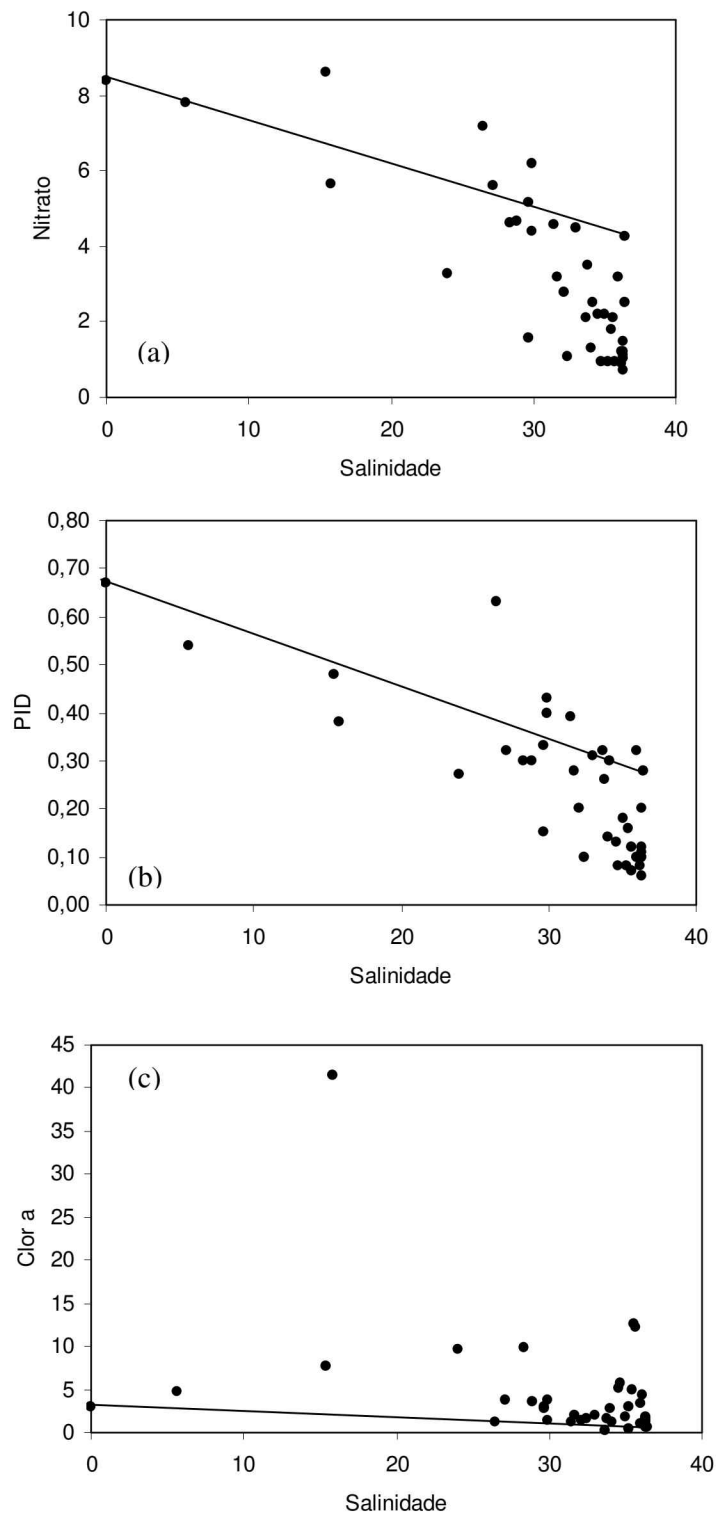


Figura 18: Dados superficiais obtidos durante o período da diminuição da descarga do rio Amazonas, em função da salinidade: (a) nitrato (μM), (b) PID (μM), (c) Clor *a* ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$).

5.3.1.3 Relação N:P

REIGSTAD *et al.* (1999) descreveram que tanto o nitrogênio quanto o fósforo podem ser limitantes da produção primária durante diferentes estágios do ciclo sazonal em várias regiões costeiras. A limitação do fósforo pode ocorrer em áreas altamente influenciadas pelo fluxo de água doce, enquanto a limitação do nitrogênio é comum em muitas regiões costeiras. Porém, em muitas áreas costeiras, a variabilidade da limitação do nitrogênio versus fósforo está fortemente relacionada à sazonalidade dos sistemas pelágicos (KIVI *et al.*, 1993).

O paradigma que sustenta todos os estudos da limitação de nutrientes é a relação de Redfield, a qual estabelece as taxas de carbono, nitrogênio e fósforo na água como sendo de 106:16:1, respectivamente. Contudo, JORDAN & JOINT (1998) consideraram a variação sazonal na relação de nitrato: fosfato dependente da assimilação dos nutrientes e dos processos heterotróficos na reciclagem dos nutrientes.

A relação N:P nas camadas eufótica e afótica, realizada com a soma das formas de nitrogênio inorgânico dissolvido (nitrato+nitrato+amônia), durante o período da diminuição da descarga do rio Amazonas, indicou valores de 13,09 e de 13,61, respectivamente (figura 19).

Estes valores, apesar de estarem abaixo da taxa de Redfield, estão dentro da faixa que permite condições para o desenvolvimento fitoplanctônico em áreas estuarinas e costeiras (AIDAR *et al.*, 1993; DeMASTER & POPE, 1996; SANTOS, 2000). As formas de nitrogênio inorgânico dissolvido, porém, podem ser limitantes na área em estudo em determinadas condições do ciclo desse nutriente. Isto ratifica o verificado por DeMASTER & POPE (1996), os quais observaram, na Plataforma Continental do Amazonas, que o sistema não é limitado pelo fosfato.

Comparando-se os valores obtidos para as duas camadas, foi possível observar o maior valor na camada afótica (13,61), devido ao aumento das fontes de nitrogênio nesta camada, como a regeneração da matéria orgânica nitrogenada e a ausência do processo fotossintético.

SANTOS (2000) encontrou valores mais próximos da relação de Redfield na plataforma (período de descarga máxima) para as camadas eufótica (14,44) e afótica (16,67). O maior fluxo de água fluvial neste período provocou um aumento na disponibilidade do nitrogênio.

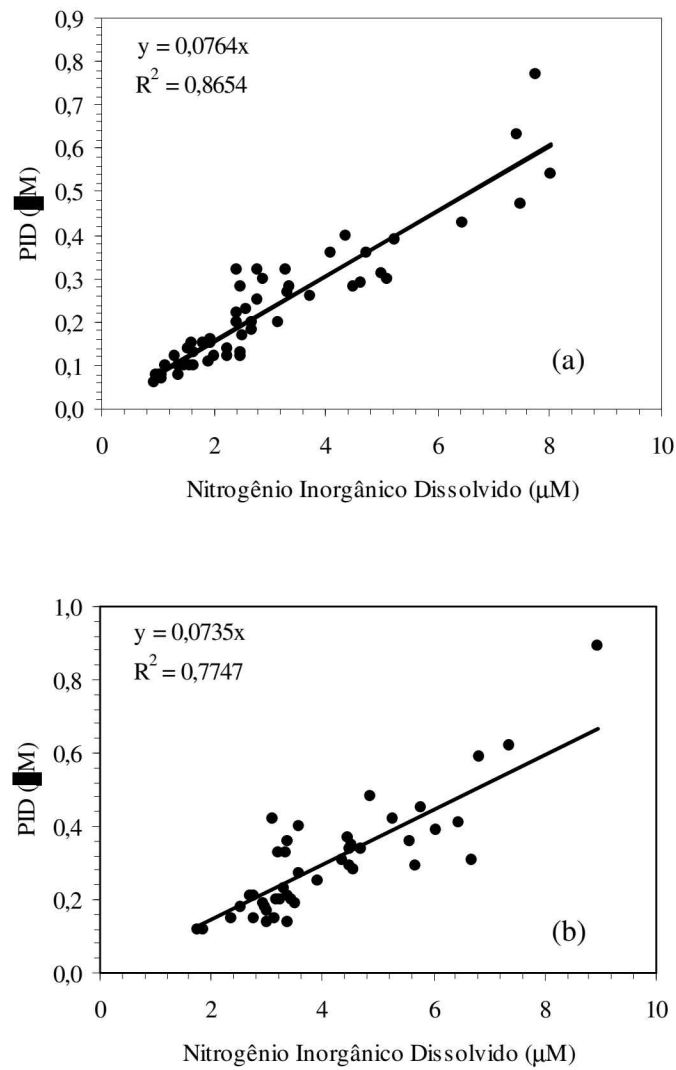


Figura 19: Relação N:P nas camadas (a) eufótica e (b) afótica, na Plataforma Continental do Amazonas, período da diminuição da descarga do rio Amazonas.

5.3.2 Períodos da diminuição e da máxima descarga do rio Amazonas

Com os resultados de SANTOS (2000), obtidos durante o período de descarga máxima do rio Amazonas, e os dados da presente pesquisa, coletados no período da diminuição, foram realizadas duas análises de componentes principais, para avaliar a influência sazonal deste rio na distribuição dos parâmetros abióticos e da Clor *a*.

Na primeira etapa, foi realizada uma análise de componentes principais só com os dados superficiais. As duas primeiras componentes (PC1 e PC2) juntas explicaram cerca de 46,4% da variância original (tabela 7 e figura 20). A primeira componente (PC1) explicou 28% da variância total, destacando-se a salinidade (0,84), em contraste com o nitrato (-0,87), o PID (-0,92) e a amônia (-0,56). A correlação negativa entre a salinidade e o nitrato e o PID indica uma diminuição na concentração destes nutrientes em águas mais salinas.

A segunda componente (PC2) explicou cerca de 18,4% da variância total, apresentando um contraste entre o pH (0,67), a Clor *a* (0,46), o OD (0,54), a amônia (0,46) e o nitrito (-0,67). A correlação entre os três primeiros parâmetros está relacionada com o processo fotossintético, o qual libera OD para o meio e consome CO₂, aumentando os valores do pH. Em relação ao nitrito (estado de oxidação intermediário do ciclo do nitrogênio), devido ao processo de oxidação que ocorre na nitrificação, a correlação é inversa aos teores de OD.

Tabela 7: Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais da análise dos parâmetros abióticos e Clor *a* superficiais obtidos nos períodos da diminuição e da máxima descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas. Os valores mais significativos estão em negrito.

<i>Variável</i>	<i>PC1</i>	<i>PC2</i>
Temperatura (°C)	0,14	-0,19
Salinidade	0,84	-0,37
Clor <i>a</i> (mg.m ⁻³)	0,14	0,45
pH	0,13	0,67
OD (ml.L ⁻¹)	0,28	0,54
Nitrito (µM)	0,16	-0,67
Nitrato (µM)	-0,87	-0,15
Amônia (µM)	-0,56	0,46
PID (µM)	-0,92	-0,17
Variância explicada (%)	28	18,4

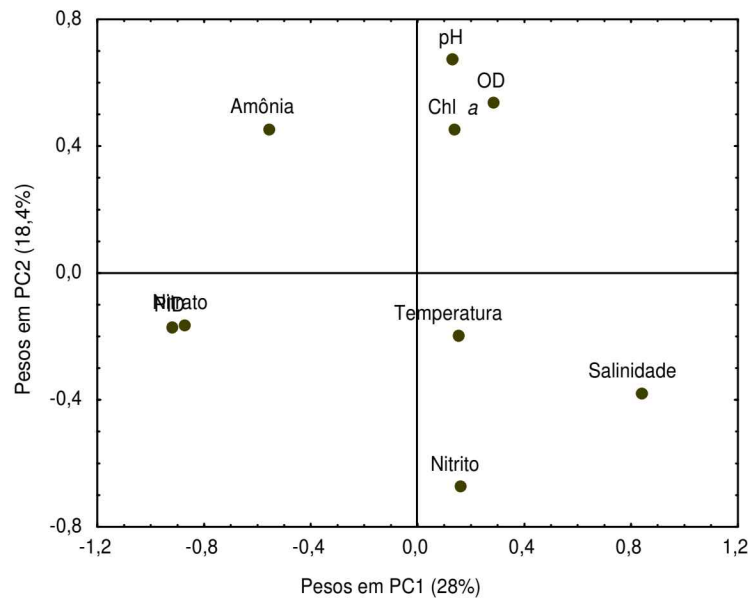


Figura 20: Pesos das variáveis nas duas primeiras componentes principais dos dados superficiais dos parâmetros abióticos e Clor *a* obtidos nos períodos da diminuição e da máxima descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas.

Na figura 21, estão plotados os escores para os dados superficiais dos períodos estudados, com uma nítida divisão entre esses. Os valores da descarga máxima se localizaram à esquerda do gráfico na PC1, indicando maiores concentrações de nitrato, amônia e PID e/ou menores valores de salinidade. Em relação à PC2, os dados se localizaram mais no quadrante superior, com maiores valores de Clor *a*, OD e pH. Isso mostra que nesse período as concentrações do nitrato e do PID favoreceram o desenvolvimento da biomassa fitoplanctônica.

No período da diminuição, os dados ficaram à direita do gráfico na PC1, demonstrando um aumento nos teores de salinidade e/ou menores valores de nitrato e PID em relação ao período de descarga máxima. Na PC2, foram observados maiores valores de nitrito e menores valores de amônia, indicando a relevância do processo de nitrificação. No período da diminuição, a estação 134, localizada próximo ao Cabo Orange (sentido noroeste da foz do rio Amazonas), ficou destacada na PC2, por causa do valor máximo de Clor *a* ($41,45 \text{ mg.m}^{-3}$).

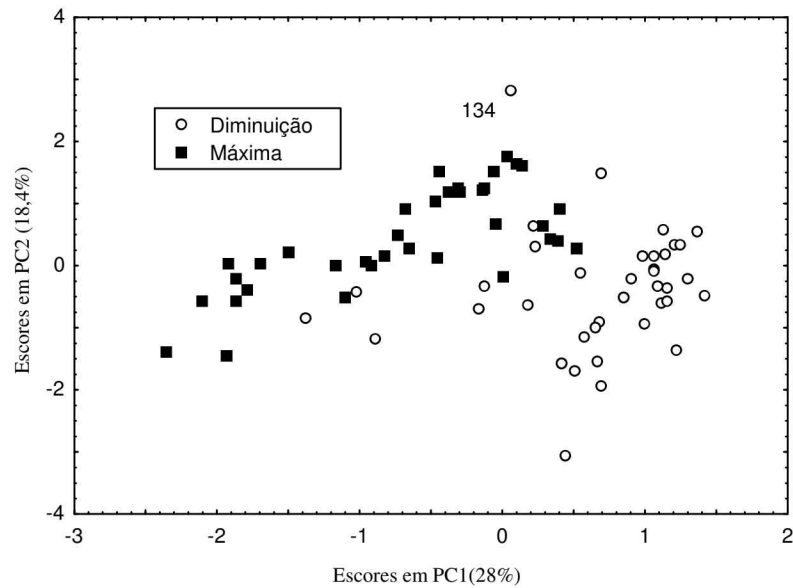


Figura 21: Escores nas duas primeiras componentes principais, na análise feita com os dados superficiais dos parâmetros abióticos e Clor *a*, na Plataforma Continental do Amazonas, com estratificação entre os períodos da diminuição e da máxima descarga do rio Amazonas.

Em uma segunda etapa, foi realizada a análise de componentes principais com dados de toda a coluna de água (sem Clor *a*), em ambos os períodos, para avaliar a separação entre as camadas eufótica e afótica. As duas primeiras componentes explicaram juntas cerca de 43,7% da variância original (tabela 8 e figura 22). A primeira componente (PC1) explicou 25,2% da variância total e apresentou um contraste entre o OD (-0,78) e o nitrato (0,86), PID (0,91) e amônia (0,48), indicando o consumo desses nutrientes através do processo fotossintético que libera OD para o meio.

A segunda componente (PC2) explicou cerca de 18,5% da variância total e apresentou como principais elementos a temperatura (0,51), o pH (0,66) e a amônia (0,64), em contraste com a salinidade (-0,70) e o nitrito (-0,44). A correlação negativa entre a temperatura e a salinidade indica massas de águas quentes e fluviais de baixa salinidade.

Tabela 8: Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais da análise dos parâmetros abióticos na coluna de água obtidos nos períodos da diminuição e da máxima descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas. Os valores mais significativos estão em negrito.

<i>Variável</i>	<i>PC1</i>	<i>PC2</i>
Temperatura (°C)	-0,24	0,51
Salinidade	-0,08	-0,70
pH	0,12	0,66
OD (mL.L ⁻¹)	-0,78	0,07
Nitrito (μM)	-0,10	-0,44
Nitrato (μM)	0,86	0,12
Amônia (μM)	0,48	0,64
PID (μM)	0,91	0,14
Variância explicada (%)	25,2	18,5

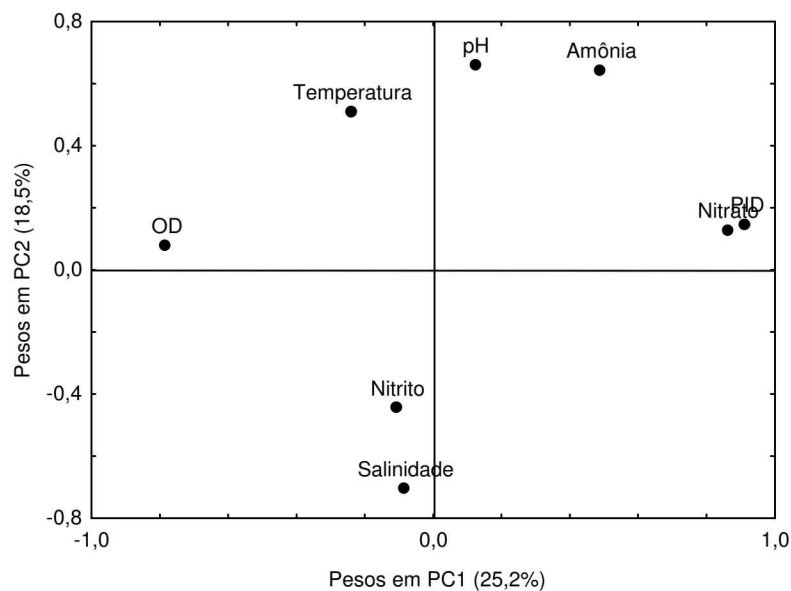


Figura 22: Pesos das variáveis nas duas primeiras componentes principais dos dados abióticos na coluna de água, obtidos nos períodos da diminuição e da máxima descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas.

Na figura 23, estão plotados os escores dos dados abióticos em PC1 e PC2 para os períodos da diminuição e da máxima descarga, com estratificação em relação às camadas eufótica e afótica. Observa-se uma separação entre os períodos, fato também verificado com os dados superficiais. Porém, a divisão entre as camadas eufótica e afótica foi mais nítida no período de descarga máxima, localizado à direita do gráfico na PC1 devido a uma maior influência das águas oriundas do rio Amazonas, que abrange toda a plataforma continental na camada eufótica. A dinâmica na coluna de água, portanto, muda de acordo com o período sazonal da descarga do rio, que transporta uma maior ou menor concentração de material em suspensão, influenciando diretamente na profundidade da camada eufótica e da afótica.

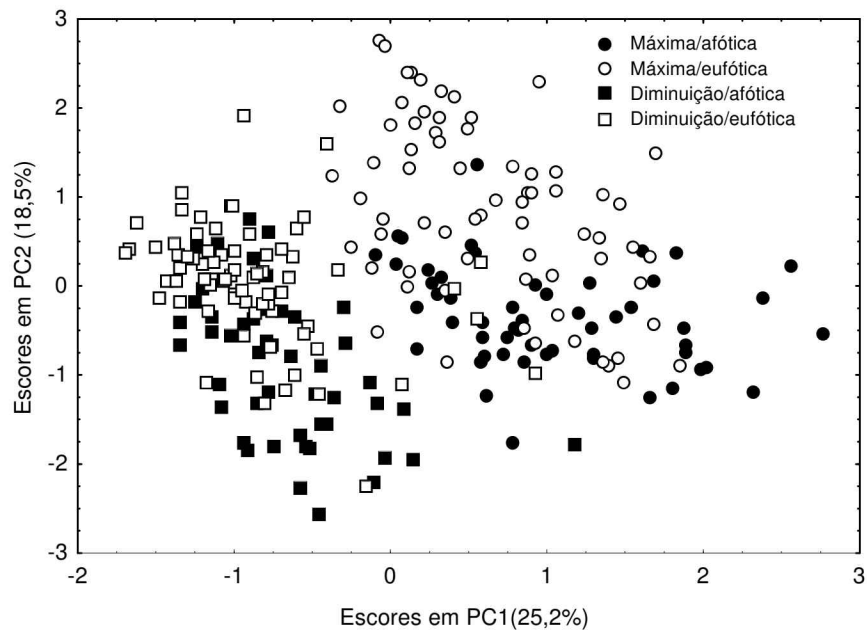


Figura 23: Escores nas duas primeiras componentes principais, na análise dos dados abióticos na coluna de água, obtidos nos períodos da diminuição e da máxima descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas, com estratificação entre os períodos e as camadas eufótica e afótica.

5.3.2.1 Análise de agrupamentos (cluster)

A análise de agrupamentos, realizada com os dados superficiais dos parâmetros abióticos (temperatura, salinidade, pH, OD, nitrito, nitrato, amônia e PID) e da Clor *a*, para os períodos da diminuição e da máxima descarga do rio Amazonas, permitiu separar as estações com e sem influência fluvial. As estações com influência fluvial apresentaram altas concentrações de Clor *a* e de nitrato.

A figura 24 mostra que as estações com influência fluvial e, conseqüentemente, alta produtividade, mudam de localização conforme a sazonalidade do rio Amazonas. No período de máxima descarga, a área com elevada produtividade primária é maior (próximo à desembocadura do rio) quando comparada ao período da diminuição.

Foi realizada também uma análise de agrupamentos para a camada de 1% de penetração de luz somente com os parâmetros abióticos (temperatura, salinidade, pH, OD, nitrito, nitrato, amônia, PID), obtidos durante os dois períodos de coleta. O resultado mostrou também a influência fluvial, porém delimitando uma área bem menor que aquela observada na camada superficial (figura 25).

A redução da influência fluvial na camada de 1% de penetração de luz também foi verificada por SANTOS (2000), através de análise de agrupamentos dos mesmos parâmetros. Porém, esse autor utilizou também estações oceânicas, delimitando duas diferentes grandes áreas em comparação com o presente trabalho: a primeira sem influência fluvial em direção ao mar aberto, e a outra próximo à costa com influência fluvial alcançando 100 km e 50 km para a camada superficial e de 1% de penetração de luz, respectivamente.

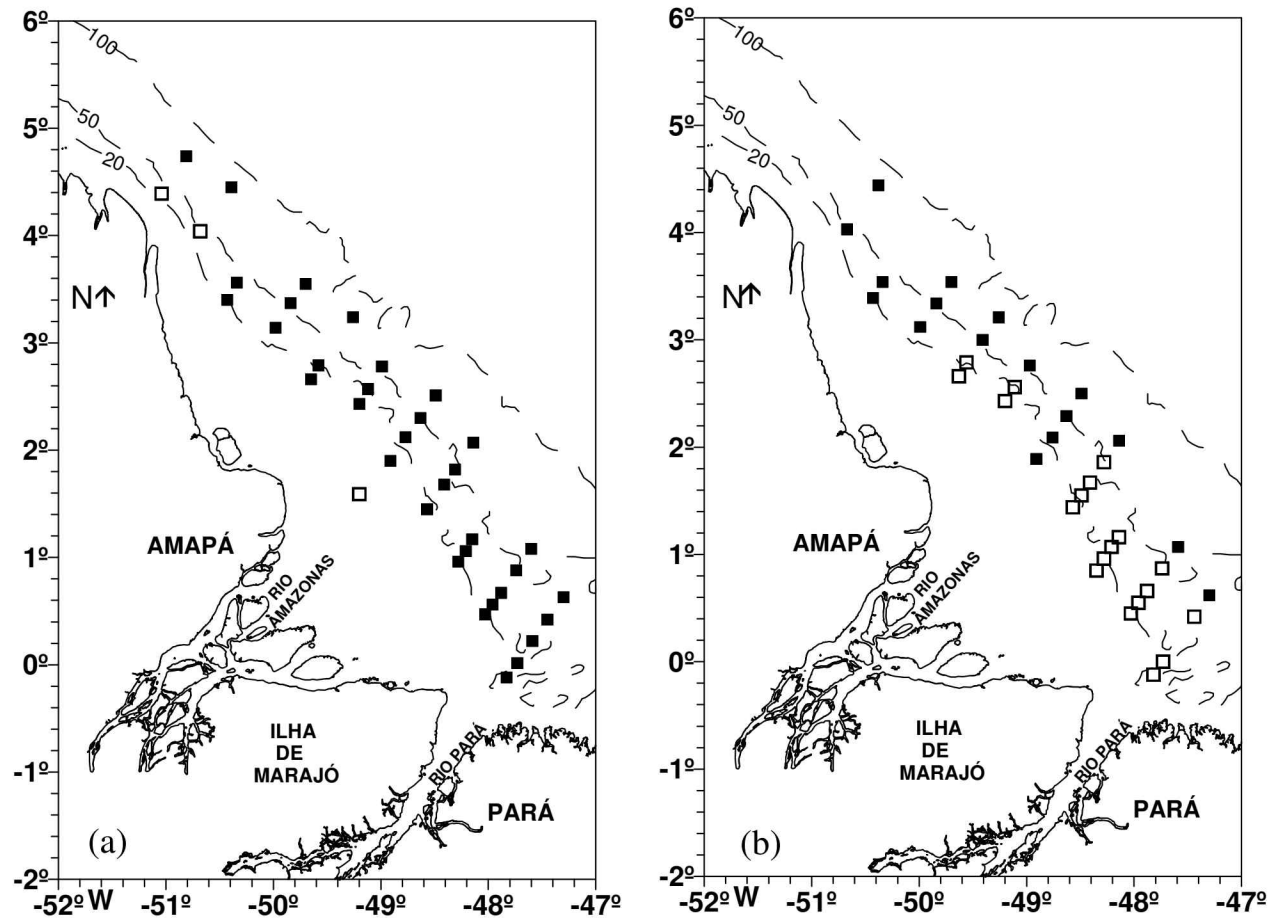


Figura 24: Estações oceanográficas com (□) e sem (■) influência fluvial, através da análise de agrupamentos realizada com os dados abióticos e de Clor *a* obtidos nos períodos da (a) diminuição e da (b) máxima descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas.

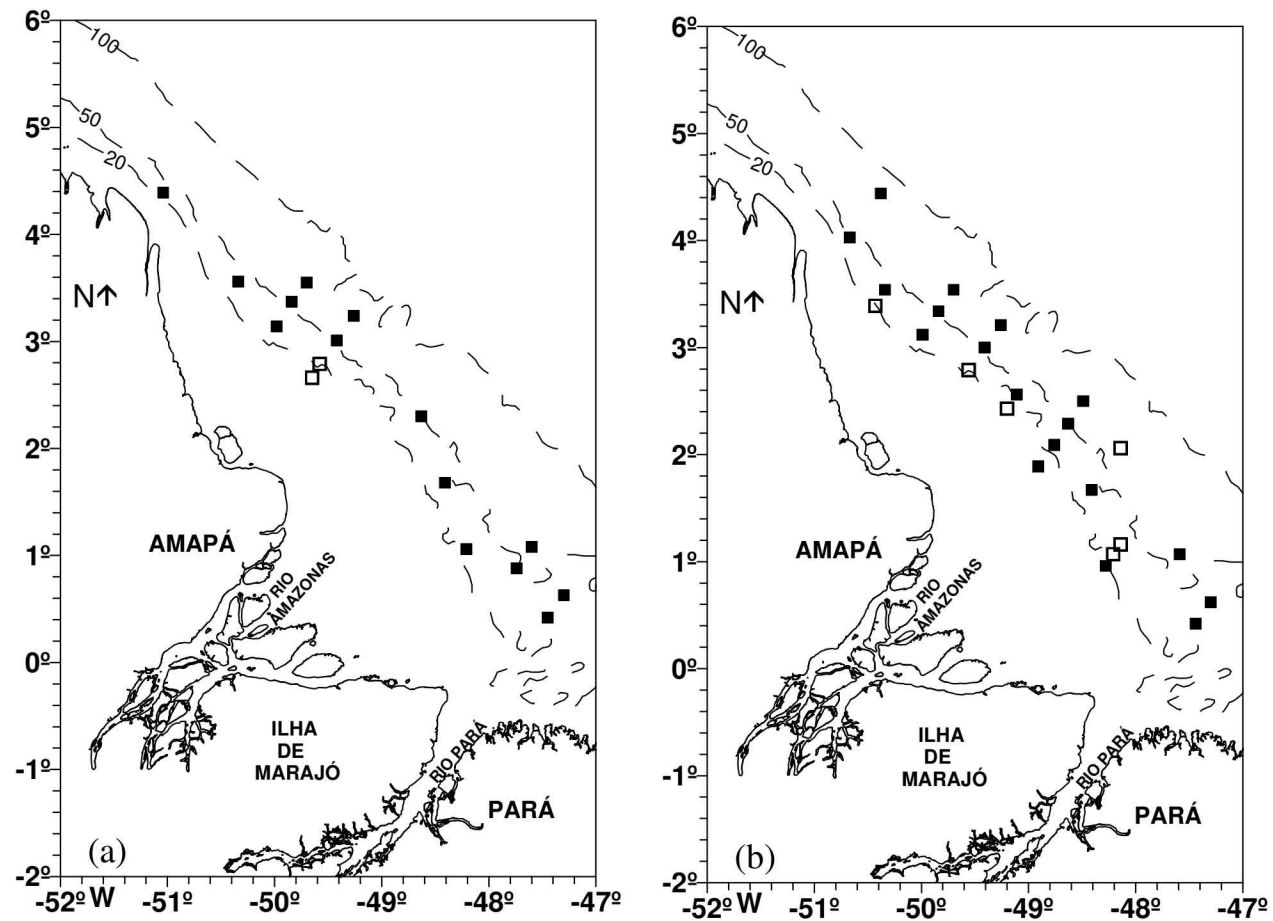


Figura 25: Estações oceanográficas com (□) e sem (■) influência fluvial na camada de 1% de penetração de luz, através da análise de agrupamentos realizada com os dados abióticos obtidos nos períodos da (a) diminuição e da (b) máxima descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas.

5.4 Conclusões

- No período da diminuição da descarga do rio Amazonas, a distribuição superficial da salinidade na Plataforma Continental do Amazonas demonstrou a existência da zona de mistura na plataforma com a presença de águas fluviais e marinhas, e refletiu a influência da Corrente Norte do Brasil no transporte de massas de águas fluviais em direção noroeste. Fato também verificado através da distribuição superficial do nitrato e PID, com valores elevados nas estações localizadas próximo à costa, entre a foz do rio Amazonas e o Cabo Orange.
- As distribuições dos dados superficiais obtidos durante o período da diminuição, para o nitrato e PID em função da salinidade, apresentaram um comportamento não conservativo e uma forte relação com a distribuição superficial de Clor *a*, indicando o processo fotossintético como um dos principais fatores de remoção desses nutrientes a partir da salinidade de 20.
- A relação N:P nas camadas eufótica e afótica, durante o período da diminuição da descargado rio Amazonas, ficou abaixo da taxa de Redfield, indicando que o sistema não é limitado pelo fosfato.
- Foram detectadas diferenças na distribuição dos dados abióticos na Plataforma Continental do Amazonas, devido à sazonalidade da descarga do rio Amazonas (períodos de descarga máxima e de diminuição). A separação entre as camadas eufótica e afótica foi clara no período de descarga máxima, devido às diferenças bem marcantes das características hidrológicas entre as massas das águas fluvial e marinha. Enquanto no período de diminuição da descarga a entrada de águas marinhas na plataforma torna-se um fator preponderante no processo de mistura.
- Em relação à concentração de clorofila *a*, em ambos os períodos estudados, foi verificado características de ambiente eutrofizado, com áreas de maior produtividade variando ao longo da plataforma. Durante a máxima descarga, as maiores concentrações foram localizadas próximas à costa do Amapá e a foz do rio Pará. Enquanto no período da diminuição da descarga, o aumento da biomassa ocorreu em direção noroeste da foz do rio Amazonas, próximo ao Cabo Orange.
- A análise de agrupamentos, realizada com os dados superficiais e da camada de 1% de penetração de luz, com os parâmetros abióticos (temperatura, salinidade, pH, OD, nitrito, nitrato, amônia, PID) e clorofila *a*, para os períodos da diminuição e da máxima descarga do rio Amazonas, permitiu separar as estações com e sem influência fluvial. Esta influência muda de localização na plataforma continental conforme a sazonalidade do rio Amazonas. Para a camada superficial, no período de descarga máxima, a produtividade primária é maior quando comparada ao período de diminuição.

6 ESTUDO DAS DIFERENTES FORMAS DE FÓSFORO NAS ÁGUAS DA PLATAFORMA CONTINENTAL DO AMAZONAS, DURANTE O PERÍODO DA DIMINUIÇÃO DA DESCARGA DO RIO AMAZONAS

6.1 Introdução

Os rios são as principais fontes de fósforo para os oceanos. A quantidade de fósforo inorgânico dissolvido introduzido nos oceanos oscila de 3×10 a 15×10 mol por ano aproximadamente (DELANEY, 1998). A estimativa da deposição de fósforo proveniente da atmosfera que é solúvel nas águas é significativamente menor, entre 1 e 2×10 mol por ano (DUCE, 1986). Apesar de ser baixa, a deposição atmosférica é cada vez mais reconhecida como um fator importante para os oceanos (BENITEZ- NELSON, 2000).

O fósforo transportado através das águas dos rios para os oceanos passa pelos estuários onde consideráveis processos ocorrem, alterando a disponibilidade biológica e o fluxo do fósforo para a área costeira e oceânica. O fósforo é assimilado pelo fitoplâncton, bactérias e plantas bênticas, e é remineralizado por atividades heterotróficas dos animais e microorganismos, em processos biológicos essencialmente idênticos aos dos lagos (GROBBELAAR & HOUSE, 1995; MELACK, 1995). Por outro lado, a mistura da água do rio com a água do mar nos estuários cria algumas características químicas únicas, que afetam a adsorção do fosfato inorgânico nas partículas (HOWARTH *et al.*, 1995).

BERNER & RAO (1994) destacaram a importância do estudo do fósforo transportado pelo rio Amazonas para o oceano, devido à magnitude de descarga de água e por ser um rio relativamente não poluído. FOX *et al.* (1986), FOX (1989), BERNER & RAO (1994) examinaram a sistemática do fosfato no Amazonas e em vários outros ecossistemas, concluindo que 50% do fosfato liberado para o oceano a partir do rio Amazonas é resultado da dissociação dos sedimentos em suspensão, existindo um equilíbrio entre as fases particuladas e dissolvidas (principalmente o fosfato férrico/mineral hidróxido férrico), controlando a concentração de fosfato nas águas de baixa salinidade na plataforma.

O estudo do fósforo na área da Plataforma Continental do Amazonas tem sido principalmente restrito à forma inorgânica dissolvida e às diversas formas existentes nos sedimentos. Pesquisas com fósforo orgânico dissolvido (POD) e fósforo total particulado (PTP) são escassas nessa região. Recentes trabalhos têm indicado que o POD pode ser uma fração significativa do fósforo total dissolvido nos estuários e oceanos (SMITH *et al.*, 1985; ORRETT & KARL, 1987; ORMAZA-GONZALEZ & STATHAM, 1991; CONLEY *et al.*, 1995; KARL & YANAGI, 1997). O transporte fluvial do fósforo ocorre principalmente na fase sólida, sendo, portanto, o fósforo particulado a fração mais importante nos estuários

(MARTIN & MEYBECK, 1979; MEYBECK, 1982). Este fato também foi observado por CONLEY *et al.* (1995), os quais descreveram o fósforo particulado como a forma dominante na Baía de Chesapeake, assim como por LEBO & SHARP (1993) para o estuário de Delaware. No entanto, FANG (2000) ressaltou que o comportamento e a geoquímica do fósforo no sistema estuarino não podem ser compreendidos apenas com as informações do fósforo particulado e orgânico.

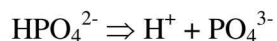
Como existem lacunas de trabalhos científicos para as diversas formas do ciclo do fósforo no ambiente pelágico da Plataforma Continental do Amazonas, foi desenvolvido este capítulo com os seguintes objetivos específicos:

- Utilizar análise de componentes principais para relacionar todas as formas do fósforo na coluna de água: fósforo orgânico dissolvido (POD), fosfato (PID), fósforo total particulado (PTP) com os parâmetros abióticos (salinidade, temperatura, pH, oxigênio dissolvido (OD), transparência da água, material particulado orgânico (MPO), material particulado inorgânico (MPI)) e clorofila *a* (Clor *a*);
- Analisar a distribuição das referidas formas do ciclo do fósforo através da mistura das massas de água fluvial e salina (diagrama de mistura);
- Comparar as presenças de cada forma do ciclo do fósforo nas camadas eufótica e afótica, a fim de melhor visualizar a distribuição no ambiente pelágico.

6.2 Fundamentos Teóricos

O fósforo (P) é o décimo primeiro elemento mais abundante na crosta terrestre, sendo essencial à vida tanto para a constituição estrutural de animais e plantas, como para o seu metabolismo (LEE, 1991). O fósforo dissolvido embora presente em pequenas quantidades na água do mar, em torno de 1,00 μM , destaca-se como um dos constituintes mais importantes dos oceanos, devido à sua função de nutriente primário para os organismos marinhos (AMINOT & CHAUSSEPIED, 1983).

O fósforo inorgânico em solução existe como produto ionizado do ácido fosfórico (H_3PO_4):



O pH e a composição da água controlam a distribuição do H_3PO_4 , fosfato diácido (H_2PO_4^-), fosfato monoácido (HPO_4^{2-}) e ortofosfato (PO_4^{3-}). Esta última forma considerada como sendo a forma estável do fósforo, de acordo com EMSLEY *apud* FERREIRA (1992).

O fosfato presente em ecossistemas aquáticos continentais tem origem natural e artificial. Dentre as fontes naturais, as rochas da bacia de drenagem constituem a fonte básica para os ecossistemas aquáticos continentais. A liberação do fosfato a partir da forma cristalina dos minerais primários da rocha ocorre através da desagregação desta pela intemperização. O fosfato liberado da rocha é carregado pelas águas de escoamento superficial e pode alcançar os diferentes ecossistemas aquáticos sob duas formas principais: solúvel (menos provável) e adsorvido às argilas. Esta última é sem dúvida, a via mais importante de acesso de fosfato aos ecossistemas aquáticos tropicais, devido à frequência de solos argilosos (solos antigos e muito intemperizados) nesta região (ESTEVES, 1998).

Outros fatores naturais que permitem o aporte de fosfato são: o material particulado presente na atmosfera e o fosfato resultante da decomposição de organismos alóctones. As fontes artificiais de fosfato mais importantes são os esgotos domésticos e industriais e os fertilizantes agrícolas. Em muitas regiões, notadamente nas industrializadas e com elevada densidade populacional, as fontes artificiais de fosfato são mais importantes do que as naturais (ESTEVES, 1998).

As cargas de nutrientes presentes no sistema aquático aumentaram bastante ao longo do tempo como consequência das atividades humanas. Parte do excesso de fósforo nos sistemas aquáticos impactados é proveniente do trifosfato de sódio, utilizado em detergentes

desde 1954 (EMSLEY, 1986). Ao longo de seu percurso nos estuários, os polifosfatos são hidrolisados a ortofosfatos, aumentando ainda mais a quantidade do nutriente no sistema (ZWOLMAN, 1994). Em sistemas costeiros e estuarinos, essas ações antropogênicas podem provocar processo de eutrofização ou alterar de forma acentuada os mecanismos da reciclagem biogeoquímica do fósforo (AGUIAR, 2002).

6.2.1 Ciclo do fósforo

O ciclo do fósforo é relativamente simples quando comparado ao do nitrogênio (figura 26). As três principais formas de fósforo são: fosfato (PID), o qual é assimilado pelas algas e bactérias dentro da matéria orgânica celular; fósforo orgânico particulado (POP), excretado na forma de PID ou como fósforo orgânico dissolvido (POD), este último pode ser decomposto pela ação da bactéria liberando PID (DAY *et al.*, 1989).

De acordo com BENITEZ-NELSON (2000), não existem compostos gasosos de fósforo estáveis, portanto, a remoção do nutriente na coluna d'água ocorre principalmente por incorporação do fósforo nos sedimentos de fundo, além de processos biológicos e químicos que são responsáveis pela absorção e precipitação do fósforo, respectivamente. No entanto, através desse processo de sedimentação, apenas 1% do fósforo que alcança o sedimento é incorporado a esse e removido totalmente do ciclo biogeoquímico.

A forma orgânica do fósforo poderá ser carregada para as camadas mais profundas através da adsorção aos sólidos em suspensão, ou mesmo através da formação de compostos particulados, como no caso do ortofosfato de ferro. Os mecanismos de arraste de fósforo inorgânico às camadas inferiores estarão sujeitos à ação de processos de mistura vertical decorrentes da ação do vento, resfriamento convectivo, mecanismos de ressurgência/subsidência, etc. Conseqüentemente, isso poderá provocar ou não uma ressuspensão à zona eufótica, tornando-o novamente passível de absorção pela comunidade fitoplanctônica (FLORES MONTES, 2003).

Caso o fósforo carregado alcance o fundo, o mesmo poderá ficar acumulado no sedimento ou voltar à coluna de água. Em condições de anaerobiose, o fósforo será liberado do sedimento, podendo novamente ser transportado por ação física às camadas superiores. Análises de campo e de laboratório confirmam a hipótese de que sedimentos anóxicos se comportam como uma fonte constante de nutrientes para a coluna de água de sistemas rasos. Isto os torna fundamentais à compreensão dos mecanismos de sedimentação e liberação aneróbica de fósforo inorgânico, através do estudo da evolução do estado trófico de sistemas

naturais, sujeitos às elevadas demandas bentônicas de oxigênio (HENDERSON- SELLERS *apud* FLORES MONTES, 2003).

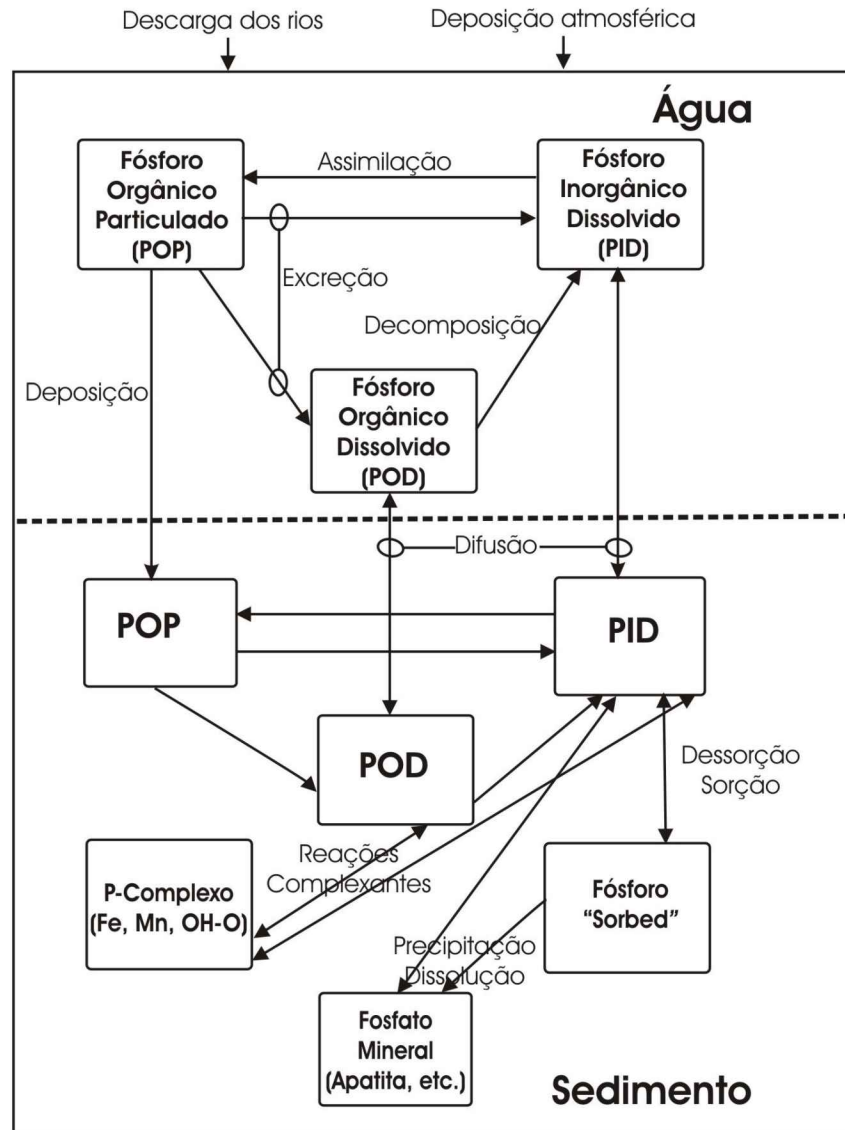


Figura 26: Ciclo do fósforo (modificado de DAY *et al.*, 1989).

6.3 Material e Métodos

6.3.1 Parâmetros abióticos e clorofila *a*

A metodologia empregada em campo e em laboratório no período da diminuição da descarga do rio Amazonas encontra-se descrita no capítulo 4.

6.3.2 Tratamento dos dados

A descrição geral dos tratamentos dos dados encontra-se no capítulo 4. Para relacionar as formas de fósforo (fósforo orgânico dissolvido (POD), fosfato (PID), fósforo total particulado (PTP)) na coluna de água com os parâmetros abióticos (salinidade, temperatura, pH, oxigênio dissolvido (OD), material particulado orgânico (MPO), material particulado inorgânico (MPI)) e a clorofila *a* (Clor *a*), obtidos durante o período da diminuição da descarga do rio Amazonas, foi realizada uma análise de componentes principais, empregando-se as mesmas regras utilizadas no capítulo 5 para o desenvolvimento dessa análise.

6.4 Resultados e Discussões

Inicialmente foram realizadas análises de componentes principais para as camadas eufótica e afótica. Na camada eufótica, as duas primeiras componentes (PC1 e PC2) explicaram 52,4% da variância original, com 29,4% para a primeira componente e 23% para a segunda componente (tabela 9 e figura 27).

Na primeira componente, foi observado um contraste entre o MPO (0,62), PID (0,84), PTP (0,74), POD (0,44), e a salinidade (-0,63), pH (-0,49), Clor *a* (-0,49), OD (-0,45). Esta correlação negativa sugere que a concentração de Clor *a* foi favorecida pela disponibilidade do PID, aumentando conseqüentemente o pH e o OD, em áreas com salinidade elevada. A correlação positiva entre o PTP, POD e PID demonstra a ligação existente entre as diversas formas do fósforo, com a transformação do PTP para o POD ou PID, e também do POD para o PID. A relação inversa desses parâmetros com o oxigênio dissolvido ratifica este processo de transformação. A correlação negativa entre a salinidade e o MPO demonstra que a composição deste material particulado orgânico está sendo favorecida pelas águas oriundas do rio Amazonas.

A segunda componente apresenta como principais elementos a temperatura (-0,74), Clor *a* (-0,59), OD (-0,66), PTP (-0,48), em contraste com a salinidade (0,64), mostrando a influência da água fluvial na distribuição de Clor *a* e do PTP.

Tabela 9: Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais da análise dos dados da camada eufótica obtidos no período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas. Os valores mais significativos estão em negrito.

<i>Variável</i>	<i>PC1</i>	<i>PC2</i>
Temperatura (°C)	-0,19	-0,74
Salinidade	-0,63	0,64
MPI (mg.L ⁻¹)	0,08	-0,18
MPO (mg.L ⁻¹)	0,62	0,32
pH	-0,49	-0,25
Clor <i>a</i> (mg.m ⁻³)	-0,49	-0,59
OD (ml.L ⁻¹)	-0,45	-0,66
PID (μM)	0,84	-0,15
PTP (μM)	0,74	-0,48
POD (μM)	0,44	-0,32
Variância explicada (%)	29,4	23

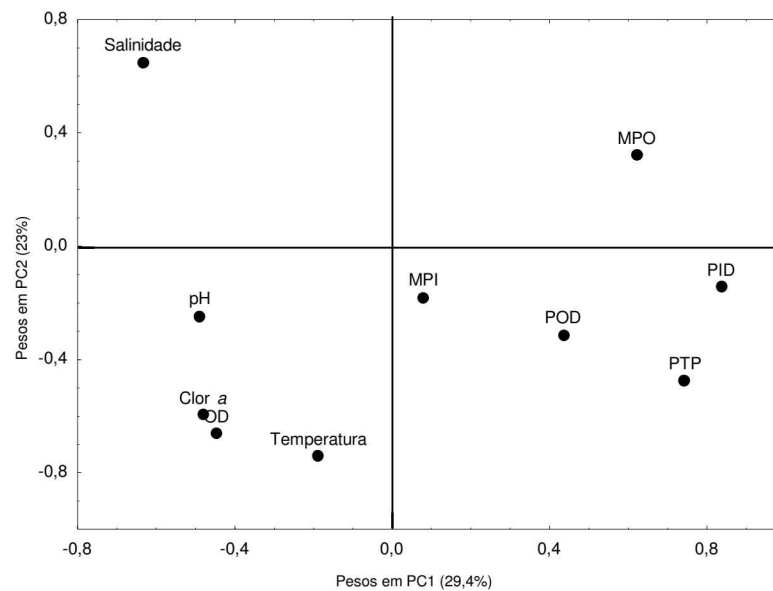


Figura 27: Pesos das variáveis nas duas primeiras componentes principais com os dados obtidos na camada eufótica, período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas.

A figura 28 apresenta os escores nas duas primeiras componentes principais, estratificados de acordo com as profundidades de coleta. A coluna de água apresenta-se

bastante misturada, porém com pequena separação entre a superfície e a camada de 1% de penetração de luz na PC2. Os dados superficiais ao longo da PC2 apresentaram escores mais negativos, indicando maiores valores de temperatura, OD e Clor *a*, enquanto na camada de 1% de penetração de luz os escores mais positivos indicam maiores valores de salinidade. Na PC1 não se observa uma separação nítida, mas as estações 133 e 99 novamente se destacam das demais. A primeira, devido ao elevado valor de OD e Clor *a* e a segunda, as elevadas concentrações de PID e de PTP.

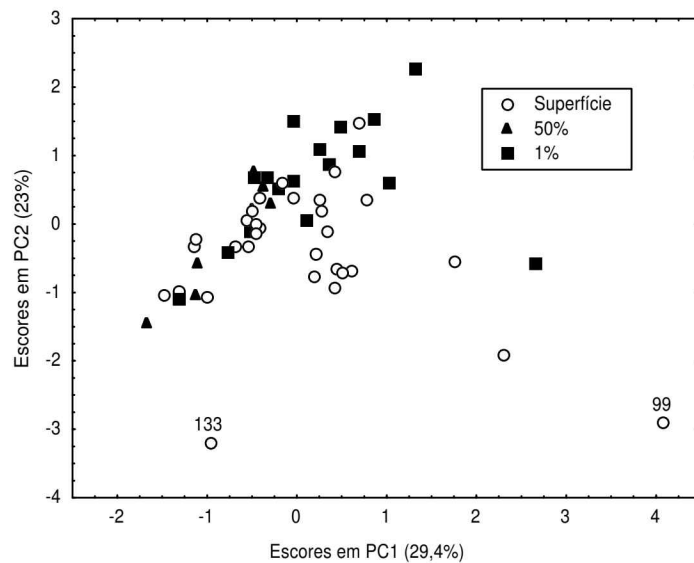


Figura 28: Escores nas duas primeiras componentes principais, na análise feita com os dados abióticos e Clor *a* da camada eufótica, com estratificação entre as profundidades de coleta (superfície, 50% de penetração de luz, 1% de penetração de luz).

Na camada afótica as duas primeiras componentes explicaram cerca de 47,5% da variância original (tabela 10 e figura 29). A primeira componente explicou 27,5% e apresentou como principais elementos o pH (-0,42) e o OD (-0,57) em contraste com o MPI (0,66), MPO (0,44), PID (0,79), PTP (0,68) e POD (0,63). A correlação negativa do MPO, PID, PTP, POD com OD pode ser explicada pelo processo de degradação da matéria orgânica.

A segunda componente (PC2) explicou cerca de 20% da variância total, apresentando um contraste entre temperatura (-0,88), MPI (-0,48) e a salinidade (0,69) e MPO (0,51). A correlação positiva entre o MPO e a salinidade, sugere a liberação de matéria orgânica com o aumento da profundidade.

Na figura 30, estão plotados os escores dos dados abióticos em PC1 e PC2 para as diferentes profundidades de coleta da camada afótica. Não se observa uma separação nítida entre as profundidades de coleta.

Tabela 10: Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais da análise dos dados da camada afótica obtidos no período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas. Os valores mais significativos estão em negrito.

<i>Variável</i>	<i>PC1</i>	<i>PC2</i>
Temperatura (°C)	0,07	-0,88
Salinidade	-0,37	0,69
MPI (mg.L ⁻¹)	0,66	-0,48
MPO (mg.L ⁻¹)	0,44	0,51
pH	-0,42	-0,36
OD (ml.L ⁻¹)	-0,57	-0,01
PID (μM)	0,79	0,35
PTP (μM)	0,68	0,02
POD (μM)	0,63	-0,05
Variância explicada (%)	27,5	20

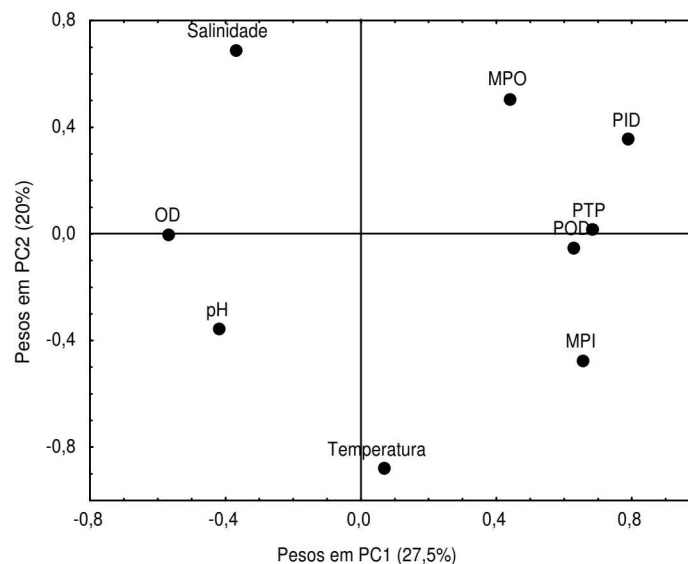


Figura 29: Pesos das variáveis nas duas primeiras componentes principais com os dados obtidos na camada afótica, período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas.

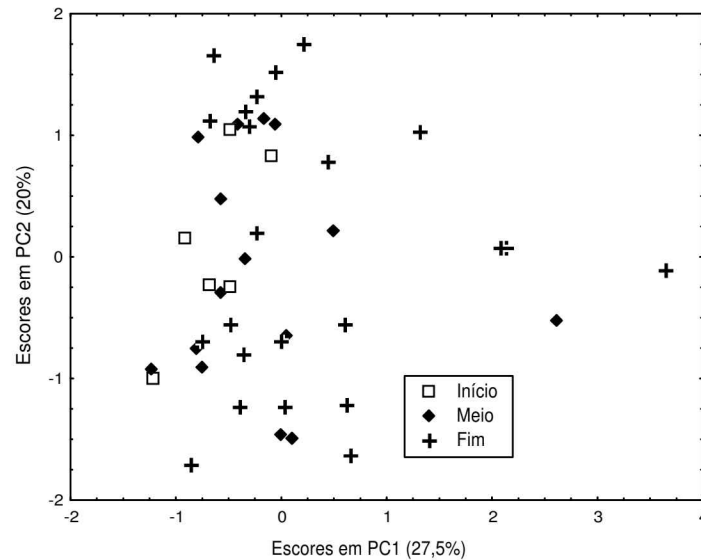


Figura 30: Escores nas duas primeiras componentes principais, na análise feita com os dados abióticos da camada afótica, período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas, com estratificação entre as profundidades de coleta.

Os valores estatísticos descritivos das distribuições do fosfato (PID), fósforo total particulado (PTP) e fósforo orgânico dissolvido (POD) encontram-se na tabela 11. As concentrações de PID (camada eufótica: mínimo de $0,06 \mu\text{M}$ e máximo de $0,77 \mu\text{M}$, e camada afótica: mínimo de $0,12 \mu\text{M}$ e máximo de $0,89 \mu\text{M}$), obtidas no presente trabalho, foram baixas quando comparadas às de sistemas estuarinos que sofrem influências antropogênicas como em Hudson ($2,0 - 6,5 \mu\text{M}$, CLARK *et al.*, 1992), Baía de São Francisco ($3,1 - 13,7 \mu\text{M}$, FLEGAL *et al.*, 1991), Tanshui ($0,35 - 5,46 \mu\text{M}$, FANG, 2000) e no rio Paraíba do Sul ($0,43 - 1,66 \mu\text{M}$, SILVA *et al.*, 2001). Isto permite caracterizar a área em estudo como um ambiente não impactado em relação a esse nutriente.

No ambiente marinho, o POD é considerado como sendo o maior reservatório de fósforo e uma importante fonte de fósforo biologicamente disponível para os microorganismos auto e heterotróficos no ecossistema marinho (JACKSON & WILLIAMS, 1985; SMITH *et al.*, 1986; KARL & YANAGI, 1997). No ambiente costeiro, o POD também tem sido reconhecido como uma fração significativa do fósforo e como uma fonte potencial de fósforo para os organismos marinhos costeiros (SUZUMURA & KAMATANI, 1995; BROCKMANN *et al.*, 1999).

Na Plataforma do rio Eel (Califórnia), MONAGHAN & RUTTENBERG (1999) verificaram a relação nas variações sazonais do POD, PID e atividade biológica. Elevadas concentrações de POD e baixas concentrações de PID no verão coincidiram com alta produtividade nas águas superficiais, sugerindo que o POD foi utilizado como fonte de P para a comunidade biológica, devido à presença da enzima fosfatase alcalina (APase). RUTTENBERG *et al.* (1998) descreveram que a presença desta enzima (APase), nas algas e bactérias, indica limitação do PID e sugere que os organismos estão hidrolizando POD para satisfazer sua demanda nutricional de fosfato.

Tabela 11: Estatística descritiva para o PID, PTP, POD e fósforo total dissolvido (PTD) nas camadas eufótica e afótica, dos dados obtidos no período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas.

		PID (μM)	PTP (μM)	POD (μM)	PTD (μM)
Camada Eufótica	Nº de valores	70	70	70	70
	Mínimo	0,06	0,04	0,01	0,10
	Máximo	0,77	1,78	0,40	0,94
	Mediana	0,20	0,13	0,07	0,27
	Quartil superior	0,12	0,10	0,04	0,20
	Quartil inferior	0,32	0,25	0,12	0,40
Camada Afótica	Nº de valores	50	50	50	50
	Mínimo	0,12	0,01	0,01	0,15
	Máximo	0,89	1,58	1,43	2,32
	Mediana	0,31	0,13	0,09	0,37
	Quartil superior	0,20	0,05	0,04	0,29
	Quartil inferior	0,40	0,31	0,14	0,50

BENITEZ-NELSON & BUESSELER (1999) destacaram que a bactéria e o picoplâncton podem obter não apenas P adicional, mas também C e N através da quebra do POD. Contudo, a biodisponibilidade do POD representa uma pequena fração do estoque POD no ambiente costeiro.

A média da concentração de POD nas águas superficiais encontrada por MONAGHAN & RUTTENBERG (1999) foi de 0,49 μM e para o PID, de 0,12 μM . No presente trabalho os valores das medianas do POD nas camadas eufótica (0,07 μM) e afótica (0,09 μM) foram menores que os verificados para o PID (camada eufótica 0,20 μM , e camada afótica 0,31 μM), sugerindo que o PID não está sendo limitante para os organismos marinhos costeiros (tabela 11).

WESTON *et al.* (2003) reportaram as concentrações médias de POD para os rios Altamaha (0,50 μM), Ocmulgee (0,60 μM), Oconee (0,90 μM), Ohoopsee (0,60 μM) e Little Ocmulgee (0,80 μM), localizados na Geórgia. Esses autores consideraram que o POD contribui de forma significativa para o reservatório de P total dissolvido nesses rios, com concentrações próximas ao PID (Altamaha (0,60 μM), Ocmulgee (0,70 μM), Oconee (0,80 μM), Ohoopsee (0,70 μM) e Little Ocmulgee (0,30 μM)).

Na Plataforma Continental do Amazonas, os valores da mediana de POD, conforme descrito acima, foram inferiores ao PID, indicando uma pequena contribuição do POD no fósforo total dissolvido (PTD) na área em estudo, o qual apresentou mínimo de 0,10 μM e máximo de 0,94 μM na camada eufótica e, mínimo de 0,15 μM e máximo de 2,32 μM na camada afótica (tabela 11).

AGUIAR (2002) estudou a variabilidade sazonal dos teores de fósforo no sistema estuarino de Santos/ São Vicente e descreveu o fósforo particulado (PP) como sendo predominante sobre as formas dissolvidas tanto no inverno (maré de quadratura variou de 8,65 μM a 34,65 μM e, na maré de sizígia, de 2,71 μM a 103,86 μM) como no verão (maré de quadratura variou de 6,54 μM a 35,65 μM e, na maré de sizígia, de 34,65 μM a 23,51 μM), caracterizando o ambiente como impactado em relação ao fósforo.

No estuário de Tanshui, a concentração de fósforo particulado (PP) variou de 0,28 μM a 9,47 μM , apresentando uma diminuição da concentração em direção ao mar aberto (FANG, 2000). Comparando-se os valores descritos para o Canal de Santos e do estuário de Tanshui, com os encontrados no presente estudo, pode-se concluir não haver um incremento acentuado de PTP na Plataforma Continental do Amazonas (para a camada eufótica o mínimo foi de 0,04 μM e o máximo de 1,78 μM e, para a camada afótica, o mínimo foi de 0,01 μM e máximo de 1,58 μM , tabela 11).

Destaca-se, no entanto, que na área da Plataforma Continental do Amazonas os sedimentos em suspensão liberam quantidades significantes de fósforo inorgânico para as águas estuarinas (FOX *et al.*, 1986). JORDAN *et al.* (1991) verificaram no rio Rhode a

liberação do fosfato a partir dos sedimentos terrígenos e descreveram como sendo característica comum para muitos estuários. Isto poderia explicar parcialmente porque o nitrogênio, e não o fósforo é usualmente limitante em águas costeiras.

Para melhor visualizar e comparar a distribuição do PID, PTP e POD nas camadas eufótica e afótica, foram produzidos gráficos de caixa, com valores autoescalados. Observa-se na figura 32 uma distribuição assimétrica em ambas as camadas para as formas de fósforo.

Na camada eufótica observa-se uma cauda superior maior para o PTP, seguido do PID e POD. A presença de água fluvial favoreceu o aumento na concentração do material em suspensão. As medianas ficaram próximas aos valores mínimos tanto do PTP quanto do POD. Em relação ao PID, a mediana ficou centralizada entre o quartil superior e o quartil inferior, indicando que, apesar do processo fotossintético remover o fósforo em sua forma inorgânica dissolvida, outros processos como a liberação a partir do POD ou do PTP aumenta os valores do PID nesta camada (figura 31).

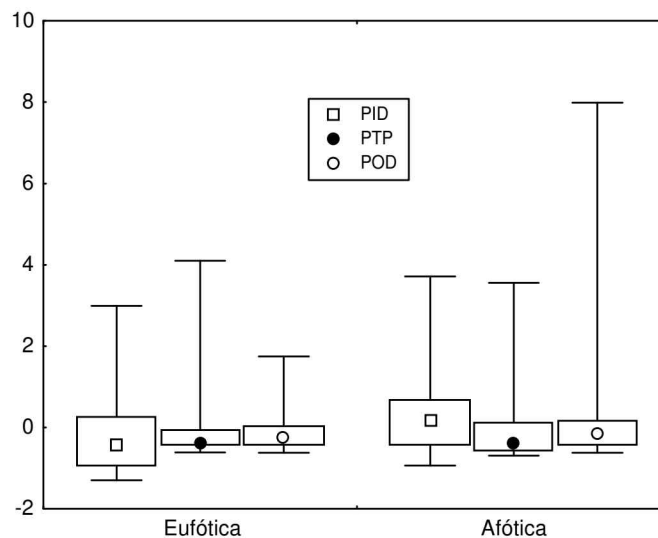


Figura 31: Distribuição dos valores autoescalados do PID, PTP e POD, nas camadas eufótica e afótica.

Na camada afótica, o PID registrou a maior mediana, seguido do PTP e POD, indicando que a degradação da matéria orgânica está liberando o fósforo em sua forma inorgânica. Destaca-se também, nesta camada, uma cauda superior bastante acentuada do POD (máximo valor detectado de 1,43 μM , na estação 115 na profundidade de 12 m), sendo observado nesta mesma profundidade um valor de PTP de 0,06 μM e de PID de 0,89 μM .

Ressalta-se que as amplitudes interquartílicas do PTP e POD foram menores, mostrando variações mais limitadas em suas distribuições, o que reforça a idéia de que estas formas de uma forma geral estão sofrendo rápidas transformações dentro do ciclo do fósforo, o que favorece o aumento da concentração do PID, tanto na camada eufótica quanto na camada afótica (figura 32).

De acordo com DAY *et al.* (1989), o fosfato (PID) é assimilado pelas algas e bactérias e o fósforo orgânico particulado pode ser liberado na forma de PID ou como fósforo orgânico dissolvido, o qual pode ser decomposto pela ação das bactérias liberando PID. Segundo VALIELLA *apud* AIDAR *et al.*, (1993), os processos de regeneração do íon fosfato, através da remineralização do fosfato orgânico dissolvido e da excreção do zooplâncton, bem como os processos de sua absorção pelo fitoplâncton, são muito rápidos. Assim, o seu tempo de residência em águas oligotróficas na forma dissolvida é de apenas alguns minutos. Portanto, o fósforo presente na água pode ser encontrado principalmente sob a forma particulada.

Na figura 32, observa-se os valores percentuais do PID, POD e PTP. Na camada eufótica, o POD (16%) apresentou menor valor percentual que o PID que teve um percentual elevado de 40%. O PID é utilizado pela biomassa fitoplanctônica, ou retido através do processo de adsorção ao material em suspensão, e tem como principal fonte a liberação a partir do PTP. Esta última forma apresentou o maior percentual (44%), e é originada das águas fluviais, dos organismos marinhos, incluindo os diversos elos da cadeia trófica (primária, secundária e terciária), além do processo de ressuspensão, com perdas devido às transformações para o PID e POD.

Além do processo acima citado como fonte para o POD, vários autores (SHARP, 1977; LAMPERT, 1978; WILLIAMS, 1990; SANDERS & JICKELL, 2000) descreveram que na zona eufótica os nutrientes orgânicos dissolvidos (nitrogênio e fósforo orgânico dissolvido) são produzidos por diferentes mecanismos biológicos, incluindo a exudação pelo fitoplâncton, que pode promover a retenção dos nutrientes nas águas superficiais; *grazing* do zooplâncton; e a solubilização do material orgânico particulado.

Na camada afótica, o percentual do PID (44%) aumentou devido à liberação a partir do POD (19%) e do PTP (37%), e por não haver mais o consumo por parte da biomassa fitoplanctônica. O PTP apresentou uma diminuição em seu percentual, o que pode estar relacionado também ao processo de deposição. O POD apresentou um leve aumento percentual, podendo ser explicado também pela liberação a partir da excreção dos organismos.

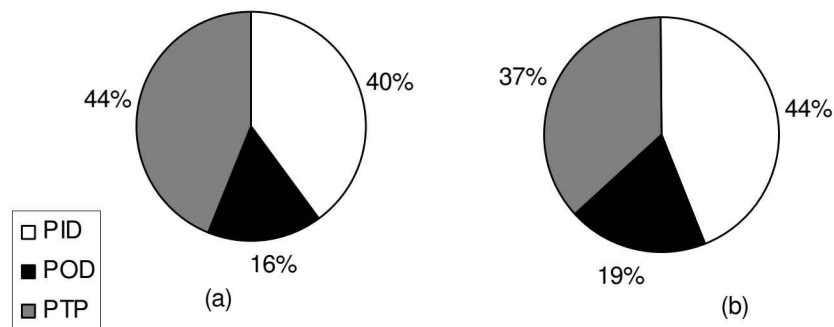


Figura 32: Valores percentuais para PID, POD, PTP nas camadas (a) eufótica e (b) afótica, obtidos no período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas.

Para avaliar a distribuição das formas de fósforo estudadas em função da salinidade foram construídos diagramas de mistura para os dados superficiais. Ressalta-se que os pontos alinhados sobre a linha teórica obedecem à diluição física para os componentes conservativos, enquanto os que apresentam anomalias positivas e negativas sugerem adição e remoção de fósforo. Na figura 33, observa-se para o PID, PTP e POD um comportamento não conservativo.

A remoção do PID é controlada através do processo fotossintético e de reações químicas. Dois mecanismos regem a remoção inorgânica do fosfato: (1) adsorção do fosfato durante a floculação e precipitação de colóides; e (2) a adsorção de fosfato em partículas em suspensão (SHOLKOVITZ, 1976; FROELICH, 1988). Em alguns estuários a remoção do fosfato através do material em suspensão é o processo dominante, como por exemplo, no rio Tamar (MORRIS *et al.*, 1981) e Forth (BALLS, 1992). Porém, em grandes rios como o Amazonas (EDMOND *et al.*, 1981; DeMASTER & POPE, 1996), Mississippi (LOHRENZ *et al.*, 1999), Changjiang (EDMOND *et al.*, 1985; TIAN *et al.*, 1993) e Zaire (VAN BENNEKOM *et al.*, 1978), a remoção dos nutrientes é explicada através da assimilação biológica.

A distribuição do PID e de Clor *a*, em função da salinidade, indica ser o processo fotossintético responsável por parte da remoção desse nutriente na área em estudo (figuras 33a e 33d).

No estuário do rio Amazonas, de acordo com FOX *et al.* (1986), o fósforo solúvel é controlado pelo balanço entre o aporte fluvial, a liberação a partir do sedimento em suspensão, a remoção em regiões de baixa salinidade e a diluição com a água do mar com

baixa concentração desse elemento. Os processos biológicos são significantes em alguns locais do estuário.

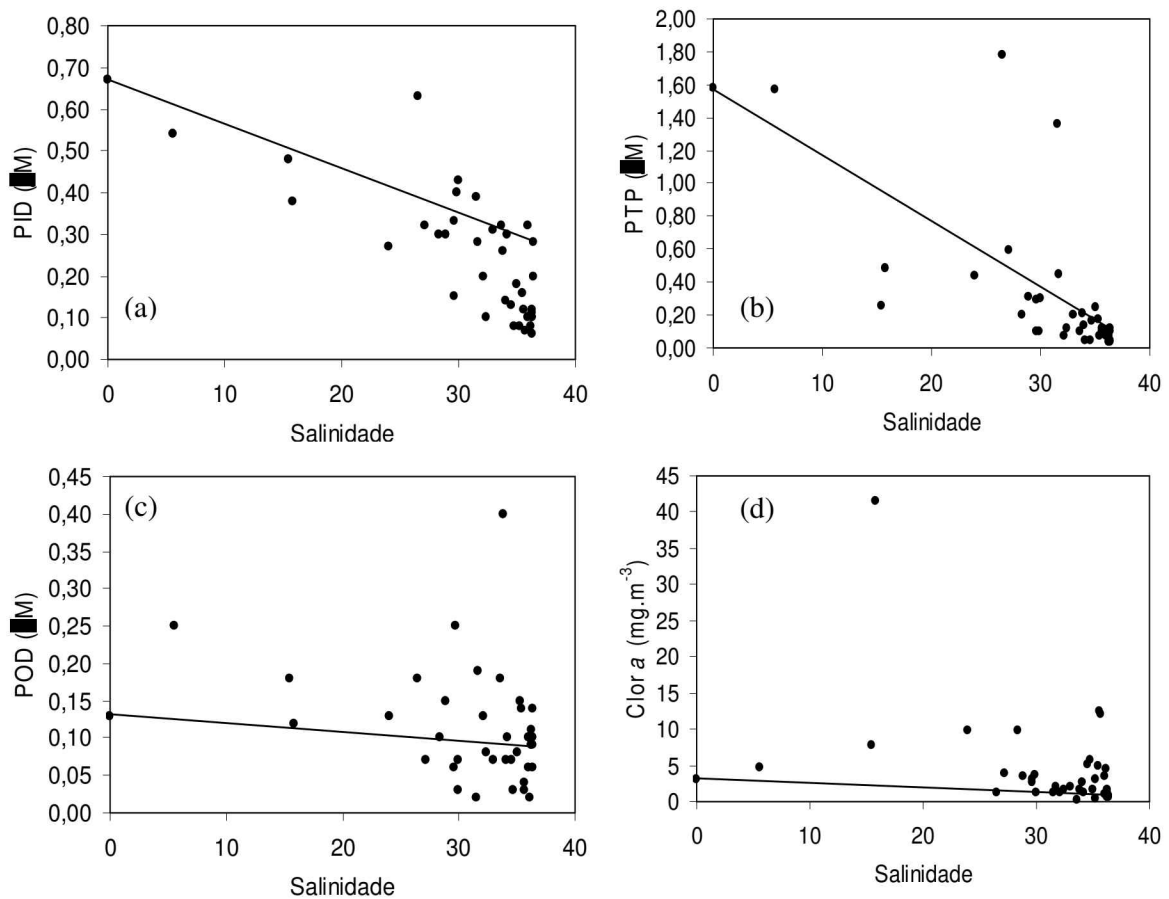


Figura 33: Dados superficiais obtidos durante o período da diminuição da descarga do rio Amazonas em função da salinidade: (a) PID (μM), (b) PTP (μM), (c) POD (μM), e (d) Clor *a* ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$).

O processo de ressuspensão no estuário do Danúbio foi responsável pelos desvios a partir da linha teórica de diluição, ou seja, processos de remoção e adição foram verificados por HUMBORG (1997) para o PID e PTP. No estuário do rio Richmond (Austrália), EYRE & TWIGG (1997) observaram uma variação no comportamento do PTP em função da salinidade, com o aumento na concentração relacionado ao aumento da concentração do material em suspensão.

O fósforo nos estuários pode estar associado a um mecanismo de tamponamento no sedimento, de forma que a sua concentração permanece relativamente estável apesar de

mudanças de salinidade. Os processos de adsorção/dessorção são responsáveis por este mecanismo, os quais são influenciados pela salinidade, pH e concentração do fosfato. A faixa ótima de pH para que ocorra a adsorção de fosfato nos sedimento se situa entre 3 e 7. Por causa das misturas de águas doce ($\text{pH} < 8$) e salgada ($8,0 < \text{pH} < 8,2$) que ocorrem nos estuários, a eficiência da remoção será maior na porção menos salina do estuário. Para um pH fixo, o aumento de salinidade provoca a diminuição da adsorção do fosfato no sedimento (BREPHOL, 2000; BRAGA *apud* AGUIAR, 2002).

Na área em estudo, conforme verificado, o pH manteve-se sempre alcalino ($\text{pH} > 7$), podendo-se verificar a influência das águas oriundas do rio Amazonas na distribuição do PID e PTP, com as maiores concentrações localizadas nas estações próximas à costa e uma diminuição em direção ao mar aberto (figura 34), indicando o equilíbrio entre os processos de adsorção e dessorção, como se verifica na figura 34b (diagrama de mistura do PTP).

O processo de dessorção do fosfato a partir das partículas em suspensão e ressuspensão dos sedimentos de fundo em estuários pode ser uma importante contribuição para o fluxo do P total para o oceano (FOX *et al.* *apud* SUNDBY *et al.*, 1992).

A concentração do PTP na coluna de água não apresentou um aumento na região de remoção do PID, sugerindo que a adsorção ao sedimento em suspensão não foi um mecanismo importante na região de salinidade a partir de 30 (figura 33).

O POD apresentou dispersão nos dados superficiais em função da salinidade e as maiores concentrações próximas à foz do rio Amazonas (figuras 33 e 34). EYRE & TWIGG (1997) descreveram uma variação na distribuição do POD no estuário do rio Richmond (Austrália) em função da salinidade, relacionando as altas concentrações do POD à descarga fluvial e à produção primária. AGUIAR (2002), no Canal de São Vicente (SP/Brasil), observou uma maior adição de POD na coluna de água do que remoção. Por ser uma área impactada, o aumento foi relacionado com a carga de material orgânico na água proveniente da presença de palafitas na região.

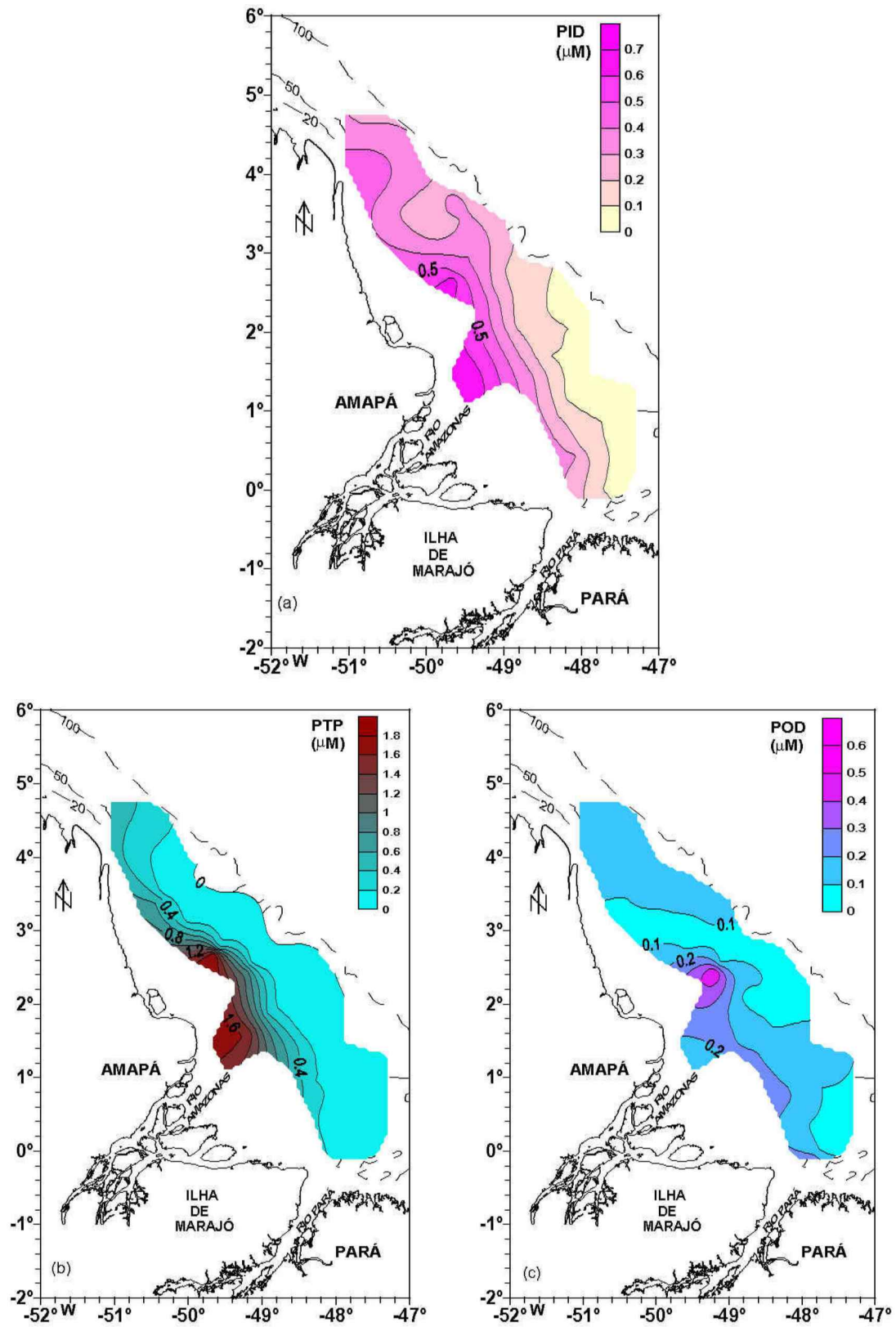


Figura 34: Distribuição superficial do (a) PID (μM), (b) PTP (μM) e (c) POD (μM) na Plataforma Continental do Amazonas.

FANG (2000) utilizou o log do coeficiente de distribuição (K_D) para os dados obtidos de fósforo no estuário de Tanshui. O valor de K_D é dado por P/C , onde P (w/w) e C (w/v) são as concentrações do fósforo particulado e dissolvido, respectivamente. Esse coeficiente de distribuição pode prever o valor quantitativo da partição da concentração particulada e dissolvida. De acordo com esse autor, os valores de K_D para o fósforo na literatura são limitados, porém, com grande aplicação em estudos de modelos de metais traços em estuários.

PRASTKA *et al.* (1998) realizaram uma simulação com o modelo K_D com dados da literatura para vários estuários. O modelo sugeriu que os níveis de PID fluviais e a concentração de sólidos em suspensão nos estuários (baseados em simulações com variações de 100 a 2000 mg.L⁻¹) são importantes reguladores do comportamento do PID nos estuários.

FANG (2000) encontrou valores de log de K_D independente da salinidade. Nas regiões de salinidade entre 2 e 5 foi observada a adição de fósforo (log de K_D variando de 4,43 a 5,01) e entre 5 e 15, a remoção (valores de log de K_D oscilando entre 4,45 e 5,30). Outros fatores podem influenciar nos valores de K_D , como a natureza do material em suspensão, o pH da solução, o método analítico empregado e os processos físico-químicos.

No presente trabalho, os valores de log (K_D) para o fósforo foram calculados conforme descrito em FANG (2000). Apesar de poucos dados na região de salinidade abaixo de 25, os valores de K_D oscilaram entre 4,22 e 4,95, a partir desse valor de salinidade foi verificado o mínimo de 3,72 e o máximo de 5,03. Observa-se que a mistura entre as águas oriunda do rio Amazonas e do mar faz com que ocorra uma variação no valor de K_D . Com seus valores elevados indicando remoção, e os baixos, adição de fósforo (figura 35). Desta forma, devido a este equilíbrio na disponibilidade do fósforo, pode-se enfatizar que a assimilação desse nutriente por produtores primários não é limitada na área em estudo.

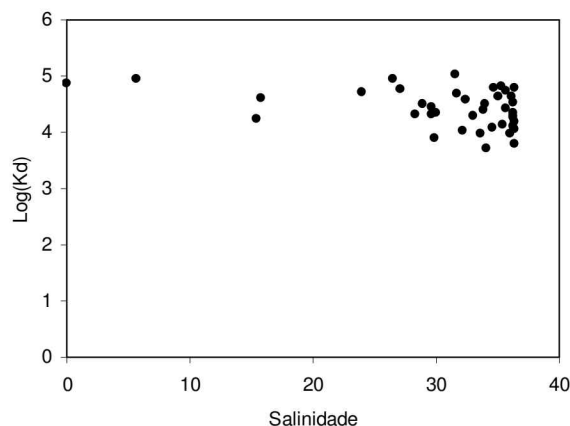


Figura 35: Valores de log (K_D) para os dados superficiais na Plataforma Continental do Amazonas, durante o período da diminuição da descarga do rio Amazonas.

6.5 Conclusões

- Os resultados das formas do fósforo na coluna de água na Plataforma Continental do Amazonas sugeriram não ser um ambiente impactado por esse elemento. O POD representou uma pequena fração da forma total dissolvida na coluna de água e o PTP, uma fração importante desse elemento, devido principalmente à liberação para a forma do PID.
- Os valores de pH sempre alcalino não apresentaram uma forte influência nos processos de adsorção e dessorção do fósforo na coluna de água. Por outro lado, a variação de salinidade existente na Plataforma Continental do Amazonas exerce forte influência no mecanismo tamponante nos processos de liberação do fósforo para a coluna de água.
- Na camada eufótica, a descarga fluvial proveniente do rio Amazonas favoreceu a distribuição do PID, PTP e POD.
- Na camada afótica, o percentual do PID aumentou, com consequência da liberação a partir do POD e do PTP e da ausência do processo fotossintético. O PTP apresentou uma diminuição em seu percentual, o que pode ser relacionado ao processo de deposição.
- O diagrama de mistura permitiu avaliar um comportamento não conservativo para o PID, PTP e POD.

7 ESTUDO DOS COMPOSTOS NITROGENADOS NO AMBIENTE PELÁGICO DA PLATAFORMA CONTINENTAL DO AMAZONAS, NO PERÍODO DA DIMINUIÇÃO DA DESCARGA DO RIO AMAZONAS

7.1 Introdução

O nitrogênio é importante na avaliação da produção primária, de acordo com BRAGA (1989), porque o crescimento celular resulta principalmente da síntese de aminoácidos. O nitrogênio inorgânico dissolvido (NID), que engloba as formas de nitrato, nitrito e amônia, foi considerado como a maior biodisponibilidade de nitrogênio (N) por BUTLER *et al.* (1979). No entanto, recentes estudos sugerem que certos componentes do reservatório de nitrogênio orgânico dissolvido (NOD) são também disponíveis como fontes de N para utilização de organismos microheterotróficos e fotoautotróficos (KIRCHMAN *et al.*, 1989; BRONK *et al.*, 1994).

De acordo com FLORES MONTES (2003), o nitrogênio orgânico encontra-se na composição dos organismos vivos do ecossistema, bem como no material orgânico ainda não mineralizado. Esse pode ser regenerado a nitrogênio amoniacal tanto através de processos relacionados com a excreção de seres nectônicos e do zooplâncton, como a partir da decomposição bacteriológica de plantas e animais mortos.

Muitos estudos da matéria orgânica na água do mar têm focalizado principalmente o carbono (C), contudo a inclusão de formas orgânicas de nitrogênio e fósforo nos estudos da composição da matéria orgânica é importante para avaliar a disponibilidade do potencial biológico (BENNER *et al.*, 1992; KARL *et al.*, 1993; DRUFFEL *et al.*, 1996; BAUER *et al.*, 1998; CLARK *et al.*, 1998).

Na zona eufótica, o NOD pode constituir um reservatório de nitrogênio total dissolvido no oceano aberto, porém a forma inorgânica predomina (> ~90%) nas águas profundas (WILLIAMS *et al.*, 1980; SMITH *et al.*, 1986; KARL *et al.*, 1993). De acordo com LOH & BAUER (2000), não há medidas publicadas simultaneamente de carbono, nitrogênio e fósforo nas fases dissolvidas e particuladas.

Para BRAGA (1989), é importante a determinação e o tratamento de cada uma das fases nitrogenadas dissolvidas no meio marinho, para melhor compreensão do ciclo do nitrogênio e de sua atuação como elemento limitante. Esta limitação não pode ser determinada apenas a partir da disponibilidade momentânea das formas inorgânicas como amônia e nitrato, mas também devem ser consideradas as demais formas de ocorrência desse elemento, as quais atuam, de maneira já comprovada, como fontes de nitrogênio para a produção primária.

Este capítulo foi desenvolvido com o objetivo geral de quantificar as seguintes formas do nitrogênio no ambiente pelágico da Plataforma Continental do Amazonas (período da diminuição da descarga do rio Amazonas): nitrato, nitrito, amônia, nitrogênio orgânico dissolvido (NOD) e nitrogênio total particulado (NTP).

Ressalta-se que o termo amônia está sendo utilizado como resultado das análises realizadas de acordo com a metodologia descrita em GRASSHOFF *et al.* (1983), na qual o resultado obtido é a soma da forma não ionizada (NH_3) com a forma ionizada (NH_4^+), uma vez que não é possível a distinção entre as duas formas.

Os principais objetivos deste capítulo são:

- Estudar as várias formas do nitrogênio (nitrogênio orgânico dissolvido (NOD), nitrogênio total particulado (NTP), amônia, nitrito, nitrato), para avaliar a concentração desse elemento na área da plataforma na coluna de água;
- Utilizar análise de componentes principais para relacionar as formas do nitrogênio com os parâmetros abióticos (salinidade, temperatura, pH, oxigênio dissolvido (OD), material particulado orgânico (MPO), material particulado inorgânico (MPI)) e Clor *a*, a fim de avaliar os processos de intercâmbio entre esses parâmetros;
- Analisar a distribuição das formas do nitrogênio através da mistura das massas de água fluvial e salina (diagrama de mistura);
- Determinar a relação N:P (inorgânico dissolvido) acessível para o fitoplâncton, bem como avaliar a disponibilidade de N e P nas demais formas do ciclo.

7.2 Fundamentos Teóricos

De acordo com LIBES (1992), a química marinha do nitrogênio é largamente controlada por reações redox mediadas por fitoplâncton e bactérias. Como resultado, o nitrogênio está presente na água do mar e nos sedimentos em muitos estados de oxidação (-3 a +5). Contudo, os efeitos físicos, como a deposição dos organismos mortos e a circulação da água, tendem a influir na redistribuição dessas fases do nitrogênio na coluna de água.

As formas de nitrogênio comumente encontradas nas águas dos rios, segundo MEYBECK (1982), são nitrato, nitrito, amônia, nitrogênio orgânico dissolvido e nitrogênio orgânico particulado. As fontes dessas formas inorgânicas e orgânicas são o fluxo terrestre, os aportes antropogênicos e a produção biológica no ecossistema aquático.

A forma mais abundante do nutriente nitrogenado em águas costeiras é o nitrato, que é a forma mais estável do nitrogênio em solução aquosa, e é regenerado por via bacteriana (nitrificação) a partir do nitrogênio orgânico. Nas águas costeiras, as concentrações normais variam de 10 μM a 15 μM (AMINOT & CHAUSSEPIED *apud* BAUMGARTEN *et al.*, 1996).

Os valores de nitrito normalmente são baixos e raramente excedem 5% do teor de nitrato (McCARTHY, KAMYKOWSKI *apud* BRAGA, 1989). De acordo com BAUMGARTEN *et al.* (1996) as concentrações são da ordem de 0,01 μM a 1,00 μM nas águas costeiras. Em baixas concentrações de oxigênio, pode haver redução do nitrato (desnitrificação), elevando, portanto, as concentrações de nitrito.

7.2.1 Ciclo do Nitrogênio

De acordo com ESTEVES (1998), em nenhum ciclo biogeoquímico os microorganismos têm maior participação do que no ciclo do nitrogênio e encontram-se representantes de praticamente todos os grupos fisiológicos (autotróficos, heterotróficos, aeróbios, anaeróbios, etc.).

As bactérias dominam os processos de regeneração, nos quais os compostos orgânicos do nitrogênio são convertidos em espécies inorgânicas e finalmente em nitrato. O fitoplâncton normalmente sintetiza suas proteínas de nitrato, nitrito e amônia, porém as bactérias só utilizam estas formas de nitrogênio se o nitrogênio orgânico não estiver disponível. A contribuição direta dos animais vivos ao ciclo do nitrogênio é a excreção da amônia na água, e em menor quantidade, de seus compostos primários como uréia, aminoácidos, óxidos de trimetilamina e peptídeos (RILEY & CHESTER, 1989).

A figura 36 representa as fases do ciclo do nitrogênio nos estuários. O processo da decomposição do nitrogênio orgânico particulado (NOP) em nitrogênio orgânico dissolvido (NOD) é denominado de remineralização. Outro processo é a amonificação, que consta da degradação do NOD por bactérias heterotróficas, liberando amônia (LIBES, 1992).

Na água do mar, a amônia é oxidada para nitrito e depois para nitrato pelas bactérias marinhas *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*, respectivamente. Esse processo é denominado de nitrificação, que é predominantemente aeróbio e, como tal, ocorre somente nas regiões onde há oxigênio disponível, geralmente na coluna d'água e na superfície do sedimento (ESTEVES, 1998).

Outra fase do ciclo do nitrogênio, descrita por ESTEVES (1998), é a reação do nitrato, que apresenta duas variações: (i) a desnitrificação, que é a redução do nitrato a nitrogênio molecular, ocorre principalmente em condições anaeróbias. Nos ecossistemas aquáticos, o principal local de sua ocorrência é no sedimento, pois, além das baixas condições de oxigenação, há disponibilidade de grande quantidade de substrato orgânico; (ii) amonificação do nitrato, que consta da redução do nitrato a amônia e ocorre também em condições anaeróbias.

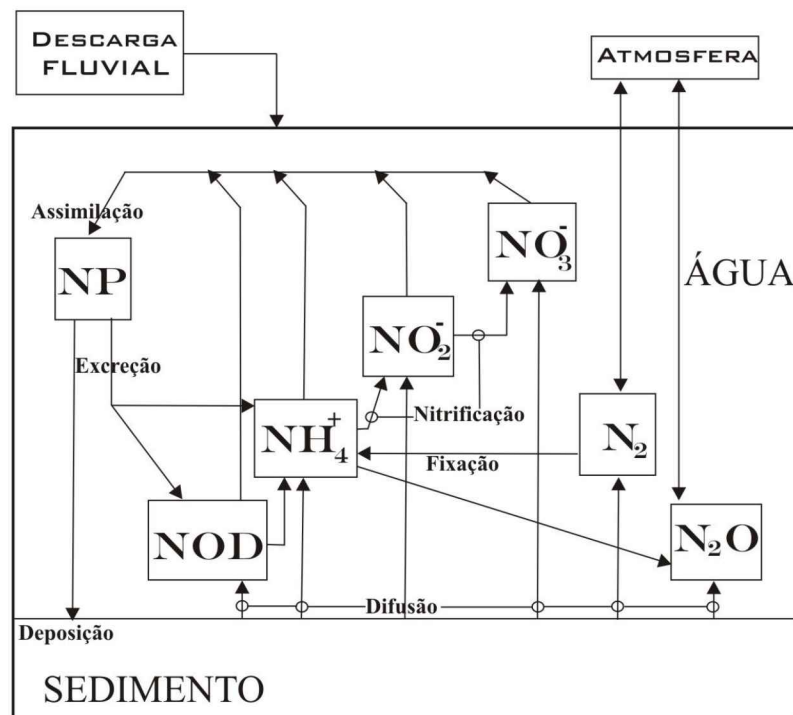


Figura 36: Ciclo do nitrogênio (modificado de DAY *et al.*, 1989).

7.3 Material e Métodos

7.3.1 Parâmetros abióticos e clorofila *a*

A metodologia empregada em campo e em laboratório no período da diminuição da descarga do rio Amazonas encontra-se descrita no capítulo 4.

7.3.2 Tratamento dos dados

A descrição geral dos tratamentos dos dados também se encontra no capítulo 4. A análise de componentes principais seguiu as mesmas regras utilizadas no capítulo 5. Os parâmetros utilizados foram: nitrogênio orgânico dissolvido (NOD), nitrogênio total particulado (NTP), amônia, nitrito, nitrato, salinidade, temperatura, pH, oxigênio dissolvido (OD), material particulado orgânico (MPO), material particulado inorgânico (MPI) e Clor *a*.

7.4 Resultados e Discussões

Primeiramente foi realizada uma análise de componentes principais (PCA) para a camada eufótica. Nessa camada, as duas primeiras componentes (PC1 e PC2) explicaram 39,7% da variância original, com 22,2% para a primeira componente e 17,5% para a segunda (tabela 12 e figura 37).

Tabela 12: Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais da análise dos dados da camada eufótica obtidos no período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas. Os valores mais significativos estão em negrito.

<i>Variável</i>	<i>PC1</i>	<i>PC2</i>
Temperatura (°C)	-0,62	0,48
Salinidade	-0,10	-0,83
MPI (mg.L ⁻¹)	-0,03	0,12
MPO (mg.L ⁻¹)	0,70	0,23
pH	-0,58	-0,15
Clor <i>a</i> (mg.m ⁻³)	-0,70	0,18
OD (ml.L ⁻¹)	-0,74	0,23
Nitrito (µM)	0,08	0,36
Nitrato (µM)	0,45	0,73
Amônia (µM)	0,38	-0,03
NOD (µM)	-0,19	0,56
NTP (µM)	0,14	0,13
Variância explicada (%)	22,2	17,5

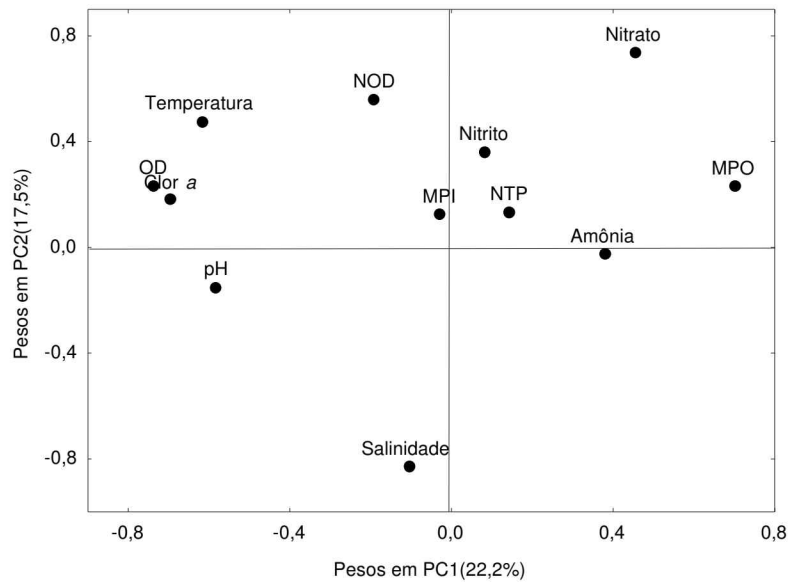


Figura 37: Pesos das variáveis nas duas primeiras componentes principais com os dados obtidos na camada eufótica, período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas.

Na primeira componente, que explica cerca de 22,2% da variância total, foi observado um contraste de OD (-0,74), pH (-0,58), Clor *a* (-0,70), temperatura (-0,62), com o MPO (0,70) e o nitrato (0,45). Esta correlação negativa demonstra que a concentração de Clor *a* foi favorecida pela disponibilidade do nitrato, aumentando conseqüentemente o pH e o OD. A correlação negativa entre a Clor *a* e o MPO indica que o teor de MPO não aumenta com a concentração de Clor *a* e que a composição do MPO está associada principalmente ao material em suspensão originado da ressuspensão do sedimento, do aporte de água proveniente do rio Amazonas ou pela presença de outros organismos como o zooplâncton.

A segunda componente explica cerca de 17,5% da variância total e apresenta como principais elementos o NOD (0,56), o nitrato (0,73) e a temperatura (0,48), em contraste com a salinidade (-0,83), sugerindo a influência das águas fluviais no aumento desses compostos nitrogenados.

A figura 38 apresenta os escores nas duas primeiras componentes principais, estratificados de acordo com as profundidades de coleta, mostrando uma camada de água bastante misturada. Destacam-se somente as estações 99 e 133 com os dados superficiais. A primeira com escore positivo, indicando elevada concentração de nitrato e a segunda com escore negativo, confirmando valores elevados de OD e Clor *a* em relação à primeira componente.

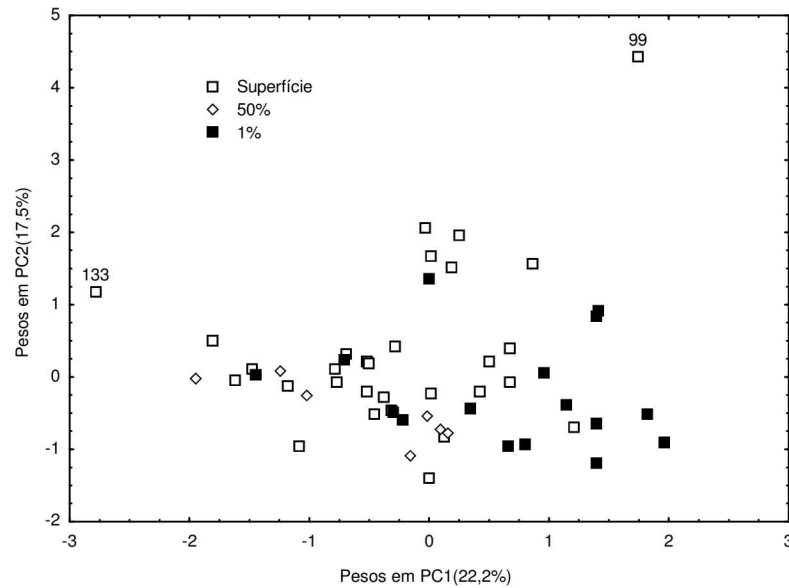


Figura 38: Escores nas duas primeiras componentes principais, na análise feita com os dados abióticos e $Clor\ a$ da camada eufótica, período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas, com estratificação entre as profundidades de coleta (superfície, 50% de penetração de luz, 1% de penetração de luz).

Na análise de componentes principais para a camada afótica, as duas primeiras componentes explicaram cerca de 50% da variância original (tabela 13 e figura 39). A primeira componente explicou 31% da variância total e apresentou como principais elementos, amônia (0,80), NTP (0,56), nitrato (0,57), MPO (0,54) e salinidade (0,53) em contraste com a temperatura (-0,86) e o NOD (-0,71). A correlação negativa entre amônia, NTP, nitrato, MPO, salinidade e a temperatura indica que a massa de água mais profunda apresenta menor temperatura, maior salinidade, MPO, NTP, amônia e nitrato. A diminuição na concentração de NOD nessa componente indica a transformação da forma orgânica para a forma inorgânica no ciclo do nitrogênio, através da amonificação. A correlação negativa entre o NTP, o MPO e o NOD sugere o processo de remineralização.

A segunda componente (PC2) explicou cerca de 19% da variância total, apresentando um contraste entre salinidade (0,46), OD (0,76) e o nitrato (-0,60), MPI (-0,59), nitrito (-0,55). A correlação inversa entre o OD e o nitrato e nitrito indica o processo de nitrificação e o contraste entre a salinidade e o MPI demonstra a influência fluvial na distribuição do material particulado na Plataforma Continental do Amazonas.

A análise de componentes principais permitiu comparar as camadas eufótica e afótica. Na primeira, destacou-se a influência fluvial favorecendo a distribuição da concentração do

nitrito e do NOD. Esta disponibilidade do nitrato aumentou o teor de *Clor a*. Na segunda camada, ressaltaram-se outros processos do ciclo do nitrogênio na área em estudo, como a nitrificação e a remineralização.

Tabela 13: Pesos e variância explicada pelas duas primeiras componentes principais da análise dos dados da camada afótica obtidos no período da diminuição, na Plataforma Continental do Amazonas. Os valores mais significativos estão em negrito.

<i>Variável</i>	<i>PC1</i>	<i>PC2</i>
Temperatura (°C)	-0,86	-0,20
Salinidade	0,53	0,46
MPI (mg.L ⁻¹)	-0,23	-0,59
MPO (mg.L ⁻¹)	0,54	-0,35
pH	-0,33	0,35
OD (ml.L ⁻¹)	-0,00	0,76
Nitrito (μM)	-0,36	-0,55
Nitrato (μM)	0,57	-0,60
Amônia (μM)	0,80	0,02
NOD (μM)	-0,71	0,15
NTP (μM)	0,56	-0,03
Variância explicada (%)	31	19

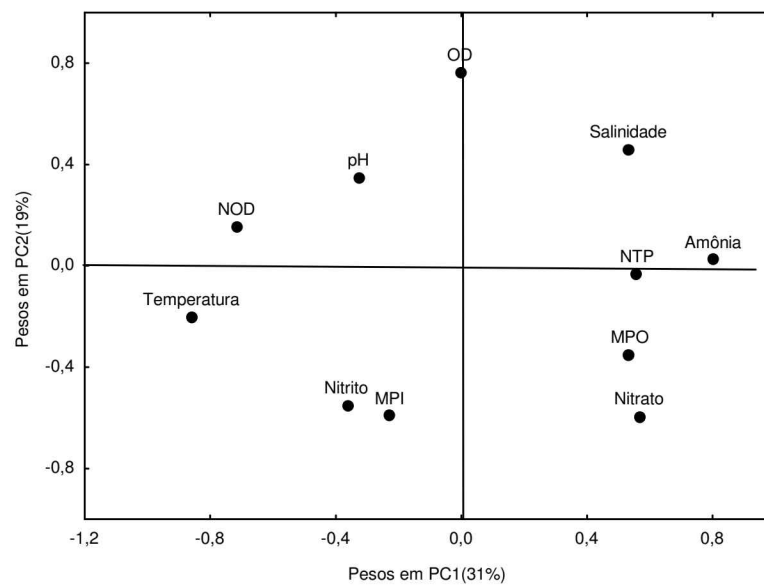


Figura 39: Pesos das variáveis nas duas primeiras componentes principais com os dados obtidos na camada afótica, período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas.

Na figura 40, estão plotados os escores dos dados abióticos em PC1 e PC2 para as diferentes profundidades de coleta na camada afótica. Observa-se uma dispersão nos dados, com uma pequena separação ao longo da PC2 entre as profundidades de coleta, sobressaindo-se o meio e o fim com as maiores salinidade e OD. Este aumento no OD pode ser consequência de uma diminuição no consumo por parte da degradação da matéria orgânica e à entrada de águas salinas oxigenadas no fundo.

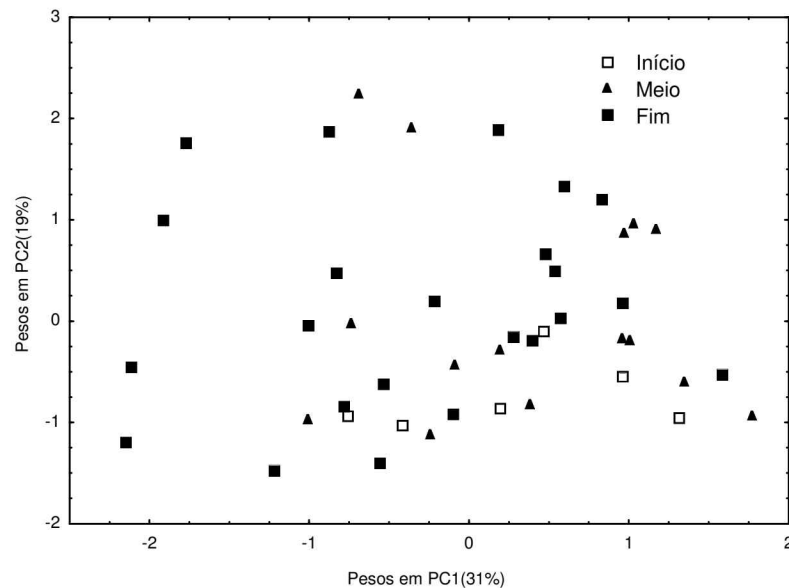


Figura 40: Escores nas duas primeiras componentes principais, na análise feita com os dados abióticos da camada afótica, período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas, com estratificação entre as profundidades de coleta.

Estudando os valores estatísticos das fases do ciclo do nitrogênio na coluna de água (tabela 14), observa-se que o NOD, seguido do NTP, nitrato, amônia e nitrito, apresentaram os maiores valores medianos tanto para a camada eufótica quanto afótica. Portanto, a forma dominante do nitrogênio na coluna de água é o NOD (camada eufótica: mínimo de 38,79 μM , máximo de 167,91 μM e mediana de 85,28 μM ; camada afótica: mínimo de 30,62 μM , máximo de 125,3 μM e mediana de 81,98 μM).

De acordo com SHARP *apud* TOPÇU & BROCKMANN (2004), a variação da concentração do NOD em águas estuarinas oscila entre 5,0 μM e 130,0 μM , estando, portanto, a maioria dos dados do presente trabalho dentro desse limite, com tendência para as concentrações mais elevadas. O valor máximo de 167,91 μM verificado na estação 134, onde

foi detectado a maior concentração da biomassa fitoplanctônica ($41,45 \text{ mg.m}^{-3}$), ficou acima desse limite.

Tabela 14: Estatística descritiva para o nitrito, nitrato, amônia, NOD e NTP e nitrogênio total dissolvido (NTD) nas camadas eufótica e afótica, dados obtidos no período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas.

		NTP (μM)	NOD (μM)	Amônia (μM)	Nitrito (μM)	Nitrato (μM)	NTD (μM)
	Número de valores	78	76	76	78	78	78
	Mínimo	12,14	38,79	0,02	0,01	0,72	40,38
Camada	Máximo	92,92	167,91	0,29	0,59	8,59	173,64
Eufótica	Mediana	34,03	85,28	0,11	0,05	2,12	87,23
	Quartil Superior	39,98	94,96	0,13	0,13	3,80	97,37
	Quartil Inferior	28,00	78,90	0,06	0,03	1,36	80,25
	Número de valores	50	50	50	50	50	50
	Mínimo	19,41	30,62	0,02	0,01	1,60	37,08
Camada	Máximo	97,10	125,30	0,30	0,88	13,50	128,02
Afótica	Mediana	34,27	81,98	0,12	0,19	3,33	84,95
	Quartil Superior	43,43	89,10	0,17	0,41	4,65	94,26
	Quartil Inferior	29,71	71,18	0,10	0,05	2,67	77,66

Segundo LUNSFORD (2002), são muitos os processos dentro da coluna de água que afetam a concentração e a constituição das formas dissolvidas. Os nutrientes inorgânicos assimilados pelos produtores primários e bactérias heterotróficas são transformados em matéria orgânica particulada e, por outro lado, esses mesmos produtores primários (fitoplâncton, microalga benthica e macroalga) excretam matéria orgânica por liberação passiva, morte, *lysis* celular e *grazing*. A liberação através do fitoplâncton é uma significativa fonte de NOD para a coluna de água. Em pesquisas em laboratório, de 25% a 45% do nitrogênio inorgânico dissolvido assimilado pelo fitoplâncton são novamente liberados como NOD. Similarmente, macroalgas também excretam significantes quantidades de NOD durante seu crescimento e decomposição (BRONK & GILBERT, 1993; BRONK *et al.*, 1994).

Em relação às formas de nitrogênio inorgânico dissolvido, o nitrato foi a forma dominante no presente trabalho, com mínimo de 0,72 μM e máximo de 8,59 μM na camada eufótica, e mínimo de 1,60 μM e máximo de 13,50 μM na camada afótica (tabela 14). Esses valores estão próximos aos descritos por SANTOS (2000) durante o período de máxima descarga do rio Amazonas (concentração de nitrato na camada eufótica: mínimo de 1,02 μM e máximo de 9,54 μM , e na camada afótica: mínimo de 2,19 μM e máximo de 10,21 μM).

DeMASTER & POPE (1996) em estudo realizado nos períodos da vazante, da enchente, da máxima e da mínima descarga do rio Amazonas, descreveram que a forma dominante do nitrogênio inorgânico dissolvido na foz do rio Amazonas é o nitrato (concentração média de 16 $\mu\text{mol.kg}^{-1}$), com concentrações que excederam as de amônia.

Em áreas impactadas, as concentrações de nitrato são elevadas como, por exemplo, nos estuários chineses (Yalujiang, 309,8 μM , Huanghe 121,0 μM , Changijiang, 32,9 μM , Minjiang 55,5 μM , ZHANG,1996), ou no rio Paraíba do Sul no Brasil (mínimo de 21 μM e máximo de 57 μM , SILVA *et al.*, 2001). BRANCO *apud* MENEZES (1999), descreveu que águas com concentrações mais elevadas de nitrogênio amoniacal são associadas à poluição recente e águas com teores mais altos de nitrato são consideradas poluídas há longo tempo. No caso dos estuários chineses, a concentração de amônia foi medida apenas no Changijiang, e o valor encontrado foi de 14,6 μM (ZHANG, 1996). No rio Paraíba do Sul a concentração de amônia oscilou entre 1,4 μM e 6,7 μM (SILVA *et al.*, 2001).

Com base nos dados de nitrato e amônia, mostrados na tabela 14 (o valor mínimo da concentração de amônia foi de 0,02 μM e máximo de 0,29 μM na camada eufótica, e mínimo de 0,02 μM e máximo de 0,30 μM na camada afótica), pode-se concluir que a área não se encontra impactada. Observa-se uma menor concentração para a amônia em relação ao nitrato, o que corrobora o verificado por DeMASTER & POPE (1996).

SANTOS (2000) encontrou valores de amônia mais elevados durante o período de descarga máxima do rio Amazonas (camada eufótica: mínimo de 0,01 μM e máximo de 0,91 μM ; na camada afótica: mínimo de 0,11 μM e máximo de 0,97 μM) do que os verificados no período de diminuição. A baixa concentração de amônia é o resultado do forte consumo dessa forma nitrogenada, que é de fácil assimilação pelo fitoplâncton, e também do processo de nitrificação.

O desenvolvimento do fitoplâncton marinho associa-se à reciclagem do nitrogênio amoniacal, tanto por excreção como por degradação da matéria orgânica morta. A preferência que grande maioria do fitoplâncton marinho tem pela assimilação da forma de amônia, de

acordo com BRAGA (1989), ocorre principalmente por causa do ganho energético envolvido no seu metabolismo. Sendo assim, em águas oligotróficas, a assimilação dessa forma nitrogenada pode atingir 80% do requerimento em nitrogênio para as populações locais.

O nitrito, que representa uma fase intermediária entre a amônia (forma mais reduzida) e o nitrato (forma mais oxidada), exibiu, na camada eufótica, o mínimo de 0,01 μM e o máximo de 0,59 μM e, na camada afótica, o mínimo de 0,01 μM e o máximo de 0,88 μM (tabela 14). Esses valores são mais elevados do que os descritos por SANTOS (2000), que encontrou o mínimo de 0,01 μM e máximo de 0,11 μM na camada eufótica, e mínimo de 0,01 μM e máximo de 0,09 μM na camada afótica.

Na Plataforma Continental do Amazonas, DeMASTER & POPE (1996) observaram as concentrações de nitrito em períodos distintos da descarga do rio Amazonas (média de 0,30 $\mu\text{mol.kg}^{-1}$). ZHANG (1996), no estuário de Changjiang, encontrou valor médio de 0,50 μM para o nitrito, com uma distribuição não associada aos valores de salinidade.

O nitrogênio total dissolvido (NTD) apresentou uma diminuição com o aumento da profundidade (camada eufótica: mínimo de 40,38 μM e máximo de 173,64 μM e, na camada afótica, mínimo de 37,08 μM e máximo de 128,02 μM), a distribuição dos valores do NTD nas camadas eufótica e afótica foi similar ao NOD, forma dissolvida dominante (tabela 14).

Por outro lado, o NTP apresentou os maiores valores com o aumento da profundidade (camada eufótica: mínimo de 12,14 μM e máximo de 92,92 μM , e na camada afótica: mínimo de 19,41 μM e máximo de 97,08 μM , tabela 14). Isto sugere que a ressuspensão do material particulado, o desenvolvimento fitoplanctônico e a sedimentação podem ter contribuído para os altos valores de NTP em maiores profundidades.

De acordo com WADA & HATTORI (1991), a fase orgânica do NTP, o nitrogênio orgânico particulado (NOP), inclui detritos orgânicos principalmente originados a partir do fitoplâncton das águas superficiais e a concentração de NOP nas águas abaixo da camada eufótica está relacionada com a produção primária.

No estuário do Danúbio, as concentrações do NOP oscilaram entre aproximadamente 2 μM e 46 μM , com os processos biológicos governando as distribuições dos nutrientes (HUMBORG, 1997). MULLER-KARULIS (1999) descreveu concentrações de nitrogênio particulado variando de 4 μM a 50 μM no rio Daugava e uma forte relação com a produção fitoplanctônica.

Na área em estudo, conforme verificado através da análise de componentes principais, o MPO não foi favorecido através do aumento da Clor *a* e o NTP não apresentou uma relação significativa com ambos os parâmetros na camada eufótica.

As distribuições de nitrato, nitrito, amônia, NOD e NTP nas camadas eufótica e afótica foram representadas através de gráficos de caixa com valores autoescalados (figura 41). Observa-se uma distribuição assimétrica e amplitudes interquartílicas com acentuadas variações em ambas as camadas, demonstrando a dinâmica entre as formas orgânica e inorgânica na coluna de água da Plataforma Continental do Amazonas.

Na camada eufótica, verifica-se uma cauda superior maior do NOD, seguido do NTP, amônia, nitrato e nitrito. Como descrito anteriormente, nessa camada a produção primária e/ou a descarga fluvial aumentaram as concentrações do NOD e NTP em alguns pontos da área estudada. Os valores da mediana de amônia e os do NOD são semelhantes e o aumento da amônia é favorecido pelo processo de amonificação. Os menores valores da mediana do nitrito e nitrato indicam que o processo de nitrificação parece estar ocorrendo de forma lenta.

Na camada afótica, observa-se uma diminuição no valor da mediana do NOD, próximo ao valor da mediana do NTP, indicando o processo de degradação da matéria orgânica e/ou a deposição dessas formas nos sedimentos. Os valores das medianas da amônia, nitrito e nitrato são semelhantes, sugerindo a importância do processo de nitrificação nessa camada.

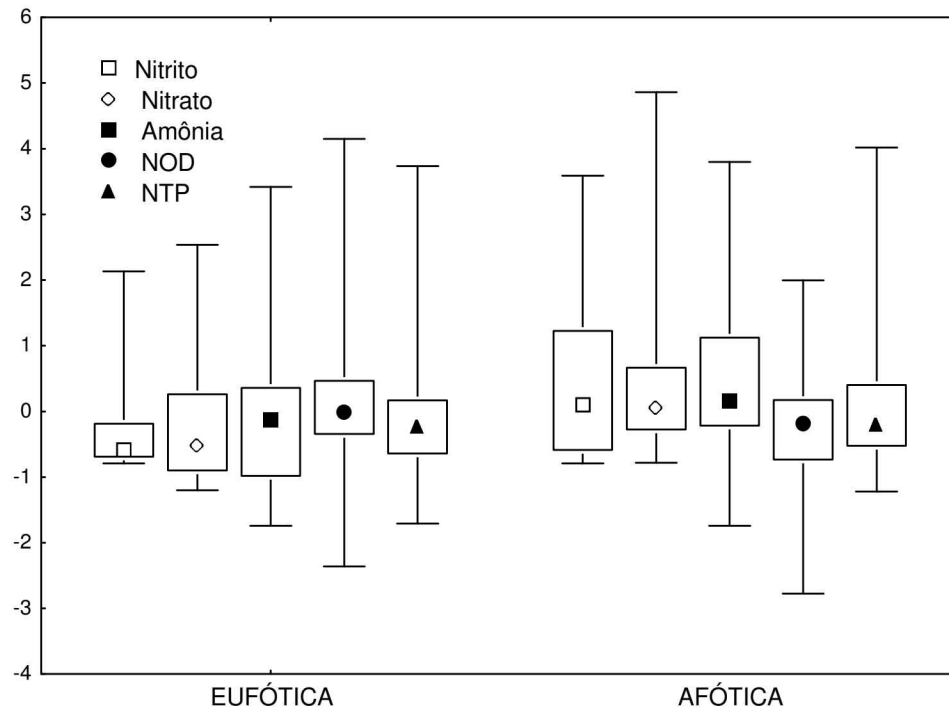


Figura 41: Distribuição dos valores autoescalados de nitrito, nitrato, amônia, NOD e NTP nas camadas eufótica e afótica.

O resultado percentual (figura 42) das frações dos compostos nitrogenados na camada eufótica indicou como maior fração, o NOD (68,88%), seguido do NTP (28,75%) e NID (2,37%). Nesta última fração, o nitrato (2,21%) foi a forma dominante e o nitrito e a amônia apresentaram valores de 0,08%. Na camada afótica, novamente a maior fração foi de NOD (64,78%), seguido do NTP (31,71%) e do NID (3,51%). Este último, distribuído nas suas formas de nitrato representando 3,20%, nitrito 0,21%, e amônia 0,10%. O aumento nas porcentagens do NTP e do nitrato nesta última camada mostrou evidências dos processos de deposição do material particulado oriundo da camada eufótica e/ou ressuspensão, e a regeneração do nitrato via decomposição oxidativa da matéria orgânica, respectivamente.

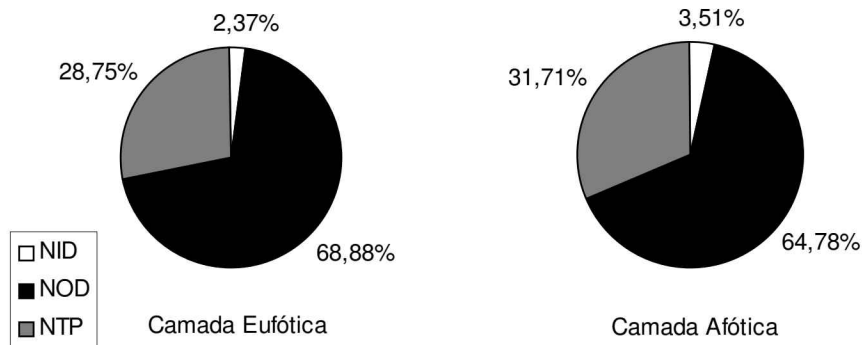


Figura 42: Valores percentuais para NOD, NTP, NID (nitrogênio inorgânico dissolvido) nas camadas eufótica e afótica obtidos no período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas.

BRAGA (1989), em estudo nas águas da Enseada das Palmas, Ilha Anchieta (Ubatuba, SP), verificou que a maior fração do nitrogênio total dissolvido encontrava-se na forma de NOD (aproximadamente 92%). Esse autor relatou que, devido às altas concentrações do nitrogênio orgânico em comparação ao NID, a população fitoplanctônica local não consumiu o NOD disponível no meio. Ele destacou que, nesse caso, a composição química do NOD não estaria ainda na forma assimilável pelo fitoplâncton, podendo por isso ser chamada de refratária. O NOD, em relação às suas transformações químicas, obedece a uma dinâmica própria bastante lenta em relação às demais formas nitrogenadas. Segundo WU *et al.* *apud* CHEN *et al.* (2004) na água do mar, o NOD é relativamente mais resistente à assimilação microbiana do que o fósforo orgânico dissolvido.

WADA & HATTORI (1991) descreveram o modelo para a distribuição do nitrogênio na parte central da Baía de Tóquio, observando-se uma variação entre o verão e o inverno. No verão, o NOP compreendeu mais de 70% do nitrogênio total na água do mar e o nitrogênio inorgânico menos de 2%, enquanto no inverno o NOP foi menos de 10% do nitrogênio total. A concentração do NOP foi correlacionada com a Clor *a*, sugerindo que a maior parte da matéria orgânica particulada era formada pelo fitoplâncton.

Variações foram verificadas por RAABE *et al.* (2004) na composição do nitrogênio total no Mar Bohai (China), durante um estudo entre 1998 e 1999. O nitrogênio total teve como forma dominante o nitrogênio orgânico dissolvido (55% - 69%), com algumas exceções, onde o nitrogênio inorgânico dissolvido apresentou valores entre 43% e 56%, e o nitrogênio particulado 46% do nitrogênio total.

A figura 43 (a, b, c, d, e) mostra as distribuições superficiais das formas de nitrogênio estudadas em função da salinidade. Observa-se um comportamento não conservativo para todas as fases.

O diagrama de mistura, para o nitrito, indicou intensa remoção, porém com alguns dados indicando adição, ambos devido ao processo de nitrificação (figura 43c).

Na região com valores de salinidades maiores que 20, a amônia apresentou equilíbrio entre a adição e a remoção. O primeiro processo pode estar relacionado à liberação a partir do NOD, que apresentou processo de remoção nessa faixa de salinidade, enquanto a remoção da amônia deve estar relacionada aos processos de nitrificação e fotossintético (figuras 43a e 43b).

De acordo com WADA & HATTORI (1991), a amônia tem como principais fontes no ambiente marinho a decomposição de nitrogênio orgânico por bactérias, a excreção a partir do zooplâncton e outros animais, a dissolução a partir dos sedimentos e a descarga fluvial. As perdas são à assimilação da amônia pelo fitoplâncton e oxidação para nitrito e nitrato por nitrificação.

FISHER *et al.* (1988), nas Baías de Chesapeake e Delaware e no estuário do rio Hudson, avaliaram uma distribuição de amônia não conservativa como consequência da combinação da influência fluvial, do *input* antropogênico, da assimilação algal e dos processos heterotróficos. No estuário do Great Ouse (Inglaterra), RENDELL *et al.* (1997) associaram as baixas concentrações de amônia aos períodos de crescimento algal (primavera e verão).

Na Baía de Chesapeake, FISHER *et al.* (1988) verificaram o máximo de nitrito (3 μM) associado à diminuição do nitrato, resultado provavelmente da excreção do nitrito pelo fitoplâncton durante a assimilação do nitrato. Os processos biológicos, com respeito ao metabolismo do nitrito no mar, ocorrem de uma maneira complexa, desde que grupos de microorganismos respondem aos fatores ambientais diferentemente (WADA & HATTORI, 1991).

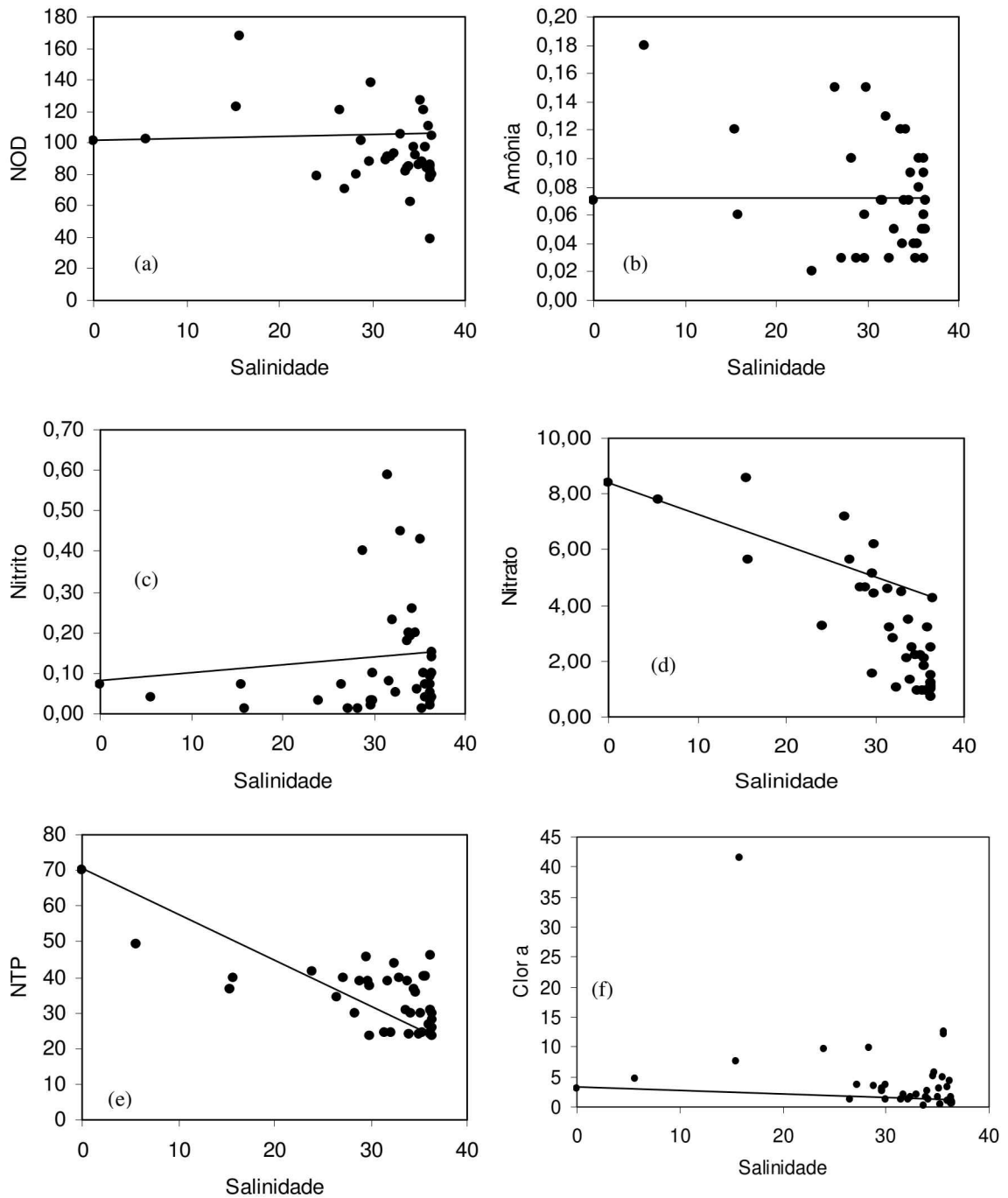


Figura 43: Dados superficiais obtidos durante o período da diminuição da descarga do rio Amazonas em função da salinidade: (a) NOD (μM), (b) amônia (μM), (c) nitrito (μM), (d) nitrato (μM), (e) NTP (μM), e (f) Clor *a* ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$).

Em relação ao NTP, na região de salinidade maior que 20, houve maior adição, que pode estar relacionada ao fitoplâncton que libera essa forma de nitrogênio, e remove o nitrato e a amônia. A remoção do NTP pode ser relacionada à transformação para o NOD ou amônia. A adição do nitrato pode ser explicada através do processo de nitrificação (figuras 43e e 43f).

Na região entre 0 e 20 de salinidade, apesar dos poucos dados, observa-se uma adição do NOD e amônia, sugerindo que a remoção verificada do NTP nessa região está favorecendo ambas as formas.

WONG *et al.* (2002), em um perfil localizado na costa de British Columbia (Canadá), encontraram altas concentrações de NOD na estação localizada próximo à costa devido à descarga de água fluvial. No verão e na primavera também foi observada alta produtividade biológica nessa estação, indicando que o NOD pode ter sido produzido *in situ* por produtores primários e/ou *grazers*.

No presente trabalho, não foi observada uma relação inversa entre a distribuição de nitrato e de NOD através das análises de componentes principais realizadas com os dados das camadas eufótica e afótica. Porém, foi possível observar a influência fluvial favorecendo o aumento da concentração do NOD e que nas maiores salinidades esta forma de nitrogênio também foi adicionada. Na estação onde foi detectado o máximo de Clor *a*, o valor de NOD foi elevado, indicando que esta forma nitrogenada também é favorecida pela produtividade primária (figuras 43a e 43f).

DeMASTER *et al.* (1996) descreveram como anomalia de nitrogênio inorgânico dissolvido (NID), na área da Plataforma Continental do Amazonas, a diferença entre a concentração real e a concentração teórica do diagrama de mistura. Os valores positivos indicariam a adição nitrogênio inorgânico e os negativos, a remoção desse nutriente. Os dados foram obtidos durante o desenvolvimento do Projeto “A Multidisciplinary Amazon Shelf Sediment Study” (AMASSEDS) e apresentaram maior assimilação do que regeneração, com anomalia negativa para esse nutriente.

Os valores da anomalia para o NID foram calculados como descrito em DeMASTER *et al.* (1996), utilizando-se apenas os dados superficiais. A anomalia do NID foi favorecida próximo à costa, entre a foz do rio Amazonas e o Cabo Orange, com valores positivos, sugerindo que nessa área a adição desse nutriente ocorre não somente através do *input* fluvial, mas também através de outros processos como, por exemplo, a nitrificação e a decomposição oxidativa da matéria orgânica (figura 44). Por outro lado, os valores negativos predominaram em grande área da Plataforma Continental do Amazonas, indicando uma maior remoção do nitrogênio inorgânico dissolvido do que adição.

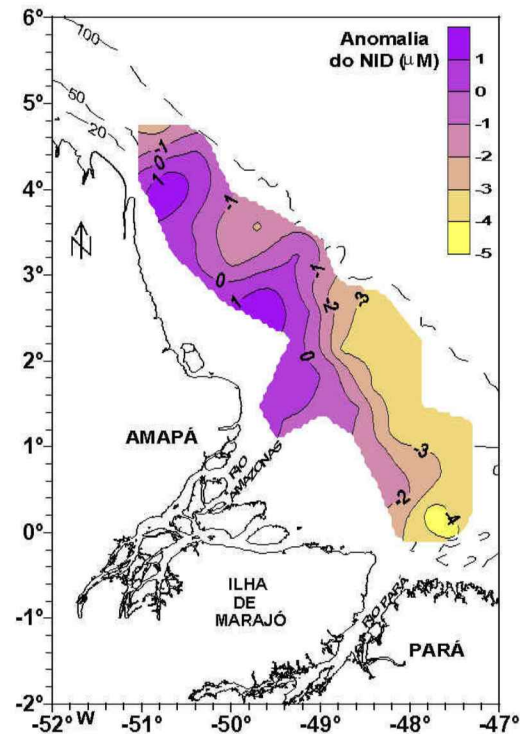


Figura 44: Distribuição superficial de anomalia para o NID observada durante o período da diminuição da descarga do rio Amazonas, na Plataforma Continental do Amazonas.

A remoção do NID observada, foi indicada primeiramente no capítulo 5 através da relação N:P realizada nas camadas eufótica (13,09) e afótica (13,61). Os vários processos existentes no ciclo do nitrogênio podem estar limitando as formas assimiladas pelo fitoplâncton: amônia e nitrato.

A figura 45 mostra os valores percentuais de anomalia obtidos com os dados superficiais do NTP versus as concentrações de amônia e nitrato. Observa-se excesso do NTP, com pequena remoção favorecendo a transformação para amônia e nitrato, sugerindo que o NTP está sofrendo lenta transformação para a forma inorgânica dissolvida na área em estudo.

Os dados de Clor *a* mostram uma área eutrofizada (mediana de 1,67 mg.m⁻³), indicando que existe nitrogênio suficiente na área para suportar a produtividade, contudo, com os processos de remoção do NID mais rápidos que os de regeneração ou mineralização. Observa-se que o nitrogênio encontra-se principalmente disponível nos dois primeiros compartimentos da fase do ciclo, nas formas do NTP e do NOD.

DeMASTER *et al.* (1996) destacaram, como uma das causas para a variabilidade no desenvolvimento do *bloom* fitoplanctônico na Plataforma Continental do Amazonas, o suprimento fluvial do nitrato e o tempo de residência das águas superficiais.

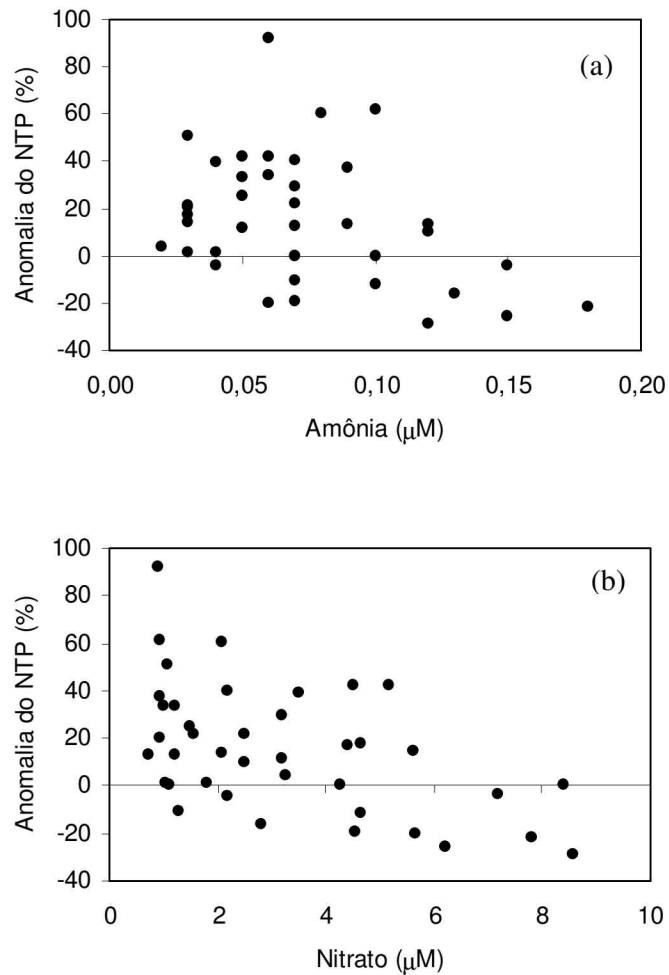


Figura 45: Valores percentuais de anomalia obtidos com dados do NTP versus (a) amônia e (b) nitrato.

A relação entre o nitrogênio orgânico dissolvido (NOD): fósforo orgânico dissolvido (POD) apresentou um valor médio elevado na camada eufótica (média de 1477,25) e na camada afótica (média de 1704,63), indicando grande disponibilidade dessa forma nitrogenada, lenta transformação para as outras formas dissolvidas e baixa concentração de POD, provavelmente devido à rápida remineralização e incorporação do fósforo no material particulado.

REIGSTAD *et al.* (1999), em estudo realizado no Golfo de Riga (Mar Báltico), verificaram, na camada de mistura, o valor médio da relação NOD:POD igual a 69 e, na camada de fundo, média da relação NOD:POD \gg 480, indicando a não disponibilidade do NOD para as algas ou bactérias nessa área. Na área oceânica, valores mais baixos para essa relação foram encontrados, no Pacífico Norte, com variação de 14 a 34 (LOH & BAUER, 2000), e de 24 a 55 no Georges Bank (HOPKINSON *et al.*, 1997).

A relação do nitrogênio total particulado (NTP): fósforo total particulado (PTP) nas camadas eufótica (média de 297,47) e afótica (média de 557,80) apresentou menores valores quando comparados às formas orgânicas.

De acordo com SANDERS & JICKELLS (2000), não há uma relação entre o nitrogênio orgânico total (NOT) e o fósforo orgânico total (POT), como existe para o NID e o fósforo inorgânico dissolvido (aproximadamente 15:1). A possibilidade é que ocorra acumulação ou regeneração na coluna de água em proporções anômalas, do NOT e POT.

7.5 Conclusões

- Durante o período estudado, o resultado percentual das frações dos compostos nitrogenados nas camadas eufótica e afótica indicou como maior fração o NOD, seguido do NTP e do NID, tendo este último o nitrato como forma dominante.
- Com bases nos dados de nitrato e amônia, a área pode ser considerada como não impactada por essas formas nitrogenadas.
- Através da análise de componentes principais, foi possível observar, na camada eufótica, que a concentração de Clor *a* foi favorecida pela disponibilidade do nitrato, aumentando consequentemente o pH e o OD. Porém, o MPO não apresentou uma relação direta com a Clor *a*, indicando que a composição do MPO pode estar associada principalmente ao material em suspensão, que é originado do sedimento do fundo e/ou do aporte de água proveniente do rio Amazonas. Nessa camada, o NOD e o nitrato estão relacionados negativamente com a salinidade, mostrando a influência das águas fluviais na distribuição desses compostos.
- Comparando-se as camadas eufótica e afótica, foi observado que a primeira mostrou influência fluvial favorecendo a distribuição da concentração do nitrato e NOD.
- As fases estudadas (NOD, NTP, amônia, nitrato e nitrito) apresentaram um comportamento não conservativo, observado através do diagrama de mistura. Através do cálculo da anomalia do NID, foi possível observar que esse nutriente está sendo mais removido que adicionado em grande parte da plataforma mais distante da costa.
- Os vários processos existentes no ciclo do nitrogênio podem estar limitando a amônia e o nitrato, formas assimiladas pelo fitoplâncton. Porém, devido à elevada biomassa primária na área, pode-se concluir que existe nitrogênio disponível em outros compartimentos para suportar esta produtividade, principalmente nas formas NTP e NOD.

8 MODELO ANALÍTICO BIDIMENSIONAL PARA DISTRIBUIÇÃO DO FOSFATO E NITRATO NA ÁREA DA PLATAFORMA CONTINENTAL DO AMAZONAS

8.1 Introdução

Ao utilizar-se de um modelo, buscam-se respostas a uma determinada situação possível de ser simulada. No entanto, a utilização de um modelo não dispensa que o usuário possua conhecimentos maiores a respeito dos processos e eventos que estão sendo simulados e, se necessário, sua intervenção para que a simulação seja a mais próxima possível da realidade (JAMES & HUNTLEY, 1990). Cabe lembrar que um modelo é uma abstração da realidade projetada para realizar uma tarefa específica.

Uma classificação geral para modelos foi proposta por JAMES (1978), sugerindo que os mesmos podem ser enquadrados de acordo com as finalidades de sua utilização. Dessa forma têm-se os modelos ilustrativos, processuais, de confiabilidade, econômicos e matemáticos. Estes últimos são utilizados quando existe a necessidade de uma estimativa quantitativa mais refinada do desempenho do sistema.

Os modelos matemáticos utilizam equações que simulam vários cenários e eventos e prevêm ou simulam impactos, sendo os mesmos uma hipótese sobre o sistema que representa, tanto pelo que é incluído como pelo que é excluído (PATTERN *apud* SILVA, 2003); o objetivo principal da modelagem não é produzir uma cópia exata do ecossistema, mas sim tentar reproduzir as características relevantes para o tratamento de uma determinada questão, podendo o ecossistema ser modelado de diferentes maneiras, de acordo com as informações disponíveis e os propósitos do projeto (SILVA, 2003).

É possível ainda classificar os modelos matemáticos de acordo com a forma de descrever o sistema e a maneira como as equações são resolvidas (TEIXEIRA, 1980). Neste caso têm-se os modelos: (a) analíticos (são aqueles em que é possível se obter soluções exatas para as equações diferenciais geradas); (b) analógicos (baseiam-se na utilização de fenômenos físicos, traduzidos através de equações diferenciais de soluções já conhecidas, para a representação de sistemas diferentes regidos por equações semelhantes); (c) determinísticos (quando se trata de relações matemáticas onde a variável dependente é exatamente conhecida ao se determinar o valor da variável independente); (d) estatísticos (quando em sua representação é levado em conta o efeito aleatório de uma ou mais variáveis consideradas); (e) estocásticos (trata-se de um modelo estatístico onde uma ou mais variáveis aleatórias são geradas durante o processo de formação do fenômeno, descrevendo-o em bases probabilísticas); (f) permanentes (baseiam-se na consideração que o sistema está em equilíbrio. Da solução de suas equações resultam quadros de comportamento do sistema num

determinado tempo e sob condições de contorno específicas); e (g) dinâmicos (nestes, a variável tempo é considerada, possibilitando uma análise da evolução do sistema, o que traz, nesse caso, a necessidade de se descreverem temporalmente as condições de contorno e as funções de força influentes). Neste parágrafo, foram propositalmente sublinhados os adjetivos analíticos, determinísticos e permanentes, por se tratarem das características do modelo adotado para a Plataforma Continental do Amazonas.

No caso específico de modelagem de sistemas estuarinos e costeiros, muitas são as ferramentas disponíveis e utilizadas. SARAIVA (2001) argumenta que a utilização de modelos matemáticos nestas regiões objetiva, da forma mais aproximada possível, descrever os processos envolvidos nos complexos ecossistemas. Estas ferramentas têm um papel importante na prevenção de uma evolução anormal dos processos naturais, uma vez que permitem uma previsão do comportamento do sistema quando sujeito a várias condições de contorno e forçantes. Da análise destes comportamentos resultam algumas conclusões que se revelam fundamentais, não só para o estabelecimento de um diagnóstico do sistema, mas também para própria gestão do recurso.

Para uma área estuarina, EISMA (1993) descreveu que a modelagem dos processos de transporte deve ser baseada no comportamento da estratificação, nos efeitos do vento, e por advecção e difusão. FERNANDES & NIENCHESKI (1998) desenvolveram um modelo de caixa para o estuário da Lagoa dos Patos, aplicando a equação da continuidade e o balanço da salinidade em camadas estabelecidas, obtendo assim resultados que indicaram a mudança dos fluxos advectivos e difusivos, conforme a mudança no período do vento (quadrante sul e quadrante norte).

Especificamente no estuário do Amazonas, FOX *et al.* (1986) desenvolveram um modelo de dispersão unidimensional, utilizando dados obtidos em três excursões (duas em dezembro de 1982, e uma em maio de 1983) e valores de misturas experimentais realizadas em laboratório. O modelo estimou o fluxo total de fósforo inorgânico como sendo de aproximadamente 15×10^6 moles/ dia para o mês de dezembro, e de 27×10^6 moles/ dia para o mês de maio. Com uma remoção de fosfato na região de salinidade entre 0 e 4, associada possivelmente com reações de ferro e substâncias húmicas. Posteriormente Berner e Rao (1994) calcularam o fluxo de fósforo total a partir do rio Amazonas para o Oceano Atlântico, verificaram que o fluxo de fósforo total (28×10^{10} mg P/ ano), oriundo do rio, é aproximadamente três vezes maior do que o transportado na forma dissolvida (fluxo de fósforo inorgânico dissolvido é igual a 7×10^{10} mg P/ ano, e o de fósforo orgânico dissolvido

de 3×10^{10} mg P/ ano) e sugeriram que os resultados obtidos poderiam ser utilizados para outros sistemas.

DITTMAR & LARA (2001), em uma área de mangue no Estado do Pará, calcularam a exportação anual da área (6.700 km^2) em mol por ano para: o carbono orgânico dissolvido $\approx 30 \times 10^9$, nitrogênio orgânico dissolvido $\approx 2 \times 10^9$, amônia $\approx 0,4 \times 10^9$, silicato $\approx 15 \times 10^9$ e PID $\approx 0,04 \times 10^9$. Estes autores compararam os resultados com a descarga do rio Amazonas descrita por RICHEY & VICTORIA (1993) e consideraram os fluxos pequenos (1–3% do fluxo do Rio Amazonas), concluindo que os ciclos dos nutrientes no ambiente costeiro são provavelmente dominados pelo mangue localizado a sudeste do estuário do Amazonas, ao contrário da região noroeste desse estuário, onde a influência fluvial predomina.

O objetivo do presente capítulo foi desenvolver e aplicar um modelo matemático para representar a distribuição horizontal do fosfato e nitrato, na camada superficial da Plataforma Continental do Amazonas, em dois períodos distintos da descarga do rio Amazonas (descarga máxima e de diminuição).

8.2 Material e Métodos

Os modelos matemáticos aplicados a sistemas naturais são normalmente formados por uma ou mais equações que representam as leis físicas, químicas e/ou biológicas que regem os mecanismos considerados. No caso específico deste estudo, foi utilizado o Modelo Analítico Bidimensional (2D) para análise de Águas Costeiras (MAAC-2D). O MAAC-2D foi desenvolvido no Laboratório de Oceanografia Física Estuarina e Costeira (LOFEC) do Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco (DOCEAN/UFPE).

O MAAC-2D é um modelo matemático determinístico, de solução analítica e temporalmente permanente. Sua concepção foi baseada na equação de transporte advectivo-difusivo de constituintes dinamicamente passivos e biogeoquimicamente ativos. Em outras palavras, os mecanismos físicos considerados no MAAC-2D são o transporte pela ação das correntes (advecção) e pelo efeito da turbulência (difusão), esta última modelizada através de uma aproximação de lei de gradiente para um coeficiente global de difusividade horizontal. A equação (1) traz o balanço de massa para cada constituinte C (também chamado de variável de estado) no MAAC-2D.

$$\underbrace{\frac{\partial C}{\partial t}}_{\text{VARIÇÃO TEMPORAL}} + v \underbrace{\frac{\partial C}{\partial y}}_{\text{TRANSPORTE ADVECTIVO}} = K \underbrace{\frac{\partial^2 C}{\partial y^2}}_{\text{TRANSPORTE DIFUSIVO}} - \underbrace{\psi C}_{\text{TRANSFORMAÇÕES BIOGEOQUÍMICAS}} + \underbrace{J(x, y)}_{\text{APORTE EXTERNO}} \quad (1)$$

onde:

C = concentração do constituinte C (μM)

v = velocidade da corrente na direção OY ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

K = coeficiente de difusão/dispersão horizontal ($\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$)

ψ = taxa de variação do constituinte C pela ação de mecanismos biogeoquímicos (s^{-1})

J(x, y) = aporte externo do constituinte C ($\mu\text{M}\cdot\text{s}^{-1}$)

Na situação permanente, ($\frac{\partial C}{\partial t} \cong 0$), a eq. (1) transforma-se em:

$$\underbrace{v \frac{\partial C}{\partial y}}_{\text{TRANSPORTE ADVECTIVO}} = K \underbrace{\frac{\partial^2 C}{\partial y^2}}_{\text{TRANSPORTE DIFUSIVO}} - \underbrace{\psi C}_{\text{TRANSFORMAÇÕES BIOGEOQUÍMICAS}} + \underbrace{J(x, y)}_{\text{APORTE EXTERNO}} \quad (2)$$

A eq. (2) admite solução analítica, quando se tem inicialmente para a situação simplificada $J(x, y) = 0$:

$$C_h = c_1 e^{r_1 y} + c_2 e^{r_2 y} \quad (3)$$

onde os valores de r_1 e r_2 são as raízes da equação característica (do segundo grau) dada por,

$$K r^2 + v r + \psi = 0 \quad (4)$$

e cujos coeficientes são os valores dos parâmetros K , v e ψ do modelo matemático proposto (eq. 2). A obtenção dos coeficientes c_1 e c_2 na eq. (3) se faz a partir da resolução de um sistema de duas equações de primeiro grau a duas incógnitas, com a utilização dos valores de C nos limites $y = 0$ e $y = y_{\max}$. (condições aos limites dados pelos dados de campo).

Para $J(x, y) \neq 0$, surge um termo fonte como solução da eq. (2). Este termo é uma solução particular $C_{\text{part.}} = J(x, y)/\psi$, que deve ser adicionado, a solução da equação homogênea. A solução completa da eq.(1) se apresenta, finalmente, como uma combinação linear das suas soluções homogênea e particular, quando se tem:

$$C = C_h + C_{\text{part.}} \quad (5)$$

Neste trabalho, o MAAC-2D foi aplicado à Plataforma Continental do Amazonas com o objetivo de representar a distribuição horizontal do fosfato (PID) e do nitrato na camada superficial. Duas situações hidrológicas distintas foram analisadas, associadas ao períodos da diminuição e da máxima descarga do rio Amazonas. O interesse em se trabalhar com a camada superficial é justificado tanto pela relativa homogeneidade vertical verificada para estes constituintes na área de estudo (não foram registradas diferenças significativas de concentração ao longo da coluna d'água), quanto por se tratar de um local potencialmente privilegiado para a ocorrência de processos biológicos (absorção fotossintética, degradação biológica, etc.).

A figura 46 traz um esquema da área de estudo, com as estações de amostragem do Programa REVIZEE (Costa Norte) realizadas durante as Operações Norte III (descarga máxima do rio Amazonas) e Norte IV (período da diminuição da descarga do rio Amazonas), e o domínio de integração utilizado nas simulações com o MAAC-2D. Trata-se da área da

plataforma compreendida dentro do retângulo alinhado paralelamente à linha de costa, e tendo seus vértices nas coordenadas geográficas ($50^{\circ}57,18'W-3^{\circ}52,56'N$), ($49^{\circ}58,52'W-4^{\circ}42,08'N$), ($46^{\circ}46,46'W-0^{\circ}58,32'N$) e ($47^{\circ}43,00'W-0^{\circ}10,00'N$). Os eixos cartesianos utilizados como referência nas simulações têm sua origem localizada no vértice inferior direito da área de estudo, com o eixo OX perpendicular à costa e apontando para o oceano. O eixo OY encontra-se orientado paralelo à costa, apontando para Noroeste ($\approx 311^{\circ}$ verdadeiros). Na figura 46, é representada também a velocidade v , correspondendo ao sentido predominante da Corrente Norte do Brasil- CNB (SCHOTT *et al.*, 1995, 1998).

O termo $J(x, y)$ na eq. (2) confere o caráter bidimensional ao modelo. Este termo está relacionado ao aporte externo do constituinte C, representando principalmente a contribuição continental (vazões dos rios, etc.) para a área de estudo. O termo $J(x, y)$ foi modelizado considerando-se que o aporte continental de nutrientes se reduz em direção ao mar aberto. Matematicamente este mecanismo foi levado em conta através de um decaimento exponencial da seguinte forma:

$$J(x, y) = J(0, y) \exp(-\lambda x') \quad (6)$$

onde $J(x, y)$ é o aporte nas coordenada (x, y) da área de estudo, $J(0, y)$ é o aporte verificado no limite inferior da área de estudo ($x' = 0$), situado mais próximo da linha de costa. λ é o coeficiente de extinção (m^{-1}) para o aporte continental ao longo do eixo OX, e x' é a distância no eixo OX a partir do limite inferior da área de estudo (m).

A taxa ψ na eq. (2) representa um balanço entre os mecanismos de remoção e produção de nutrientes (nitrato/PID) do meio líquido. Neste caso, como sumidouros, têm-se principalmente a absorção de nutrientes no processo de produção primária fotossintética e a sedimentação ao longo da coluna d'água (ex.: adsorção ao material particulado biogênico ou não). Já a produção (termos fontes) de nutrientes para o meio líquido está, sobretudo, relacionada ao processo de degradação da matéria orgânica (ex: amonificação e posterior nitrificação).

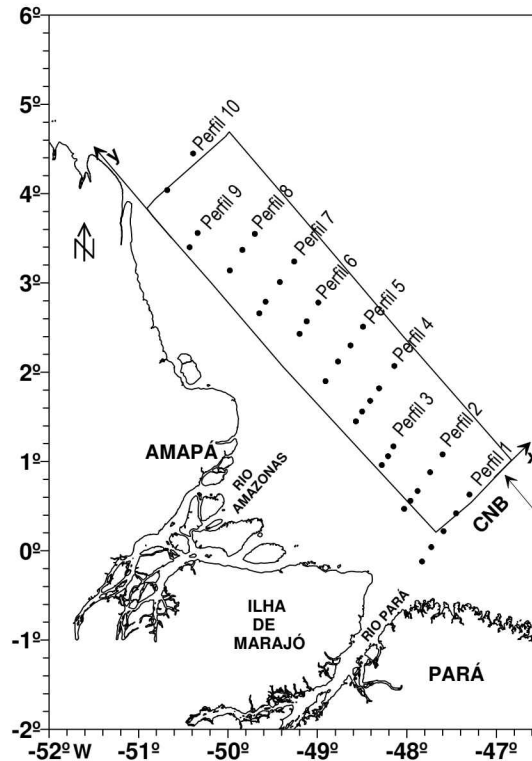


Figura 46: Mapa das estações de amostragem do Programa REVIZEE (ZEE Norte), o domínio de integração e o sistema de eixos cartesianos utilizados nas simulações com o MAAC-2D.

8.3 Resultados e Discussões

8.3.1 Condições de contorno. Calibração e validação do modelo MAAC-2D

Neste parágrafo são descritos os principais valores de condições de contorno e de taxas e parâmetros utilizados nas simulações. As condições de contorno na eq. (2) são dadas pelos valores de concentração de nutrientes nos extremos $y = 0$ e $y = y_{max}$, pela velocidade v , e o pelo termo $J(0, y)$ na eq. (6), este último representando o aporte externo do constituinte C na fronteira mais próxima à linha de costa.

As condições de contorno utilizadas nas simulações foram escolhidas e testadas de forma a representar as situações características dos períodos de descarga máxima do rio, e do período de diminuição da descarga. A velocidade média v da CNB, através da seção vertical sudeste da malha, foi estimada a partir das informações contidas em SCHOTT *et al.* (1998), que estudaram a hidrografia da costa norte brasileira em diferentes seções transversais (35°W, 44°W entre outras), utilizando um LADCP (*Lowered Acoustic Doppler Current Profiler*).

O coeficiente de difusão horizontal K e a taxa cinética ψ na eq. (2) representam respectivamente o fluxo turbulento e o balanço entre os mecanismos de remoção e produção de nutrientes (nitrato/PID) do meio líquido; e o coeficiente de extinção λ na eq. (3) está associado ao decaimento do aporte continental de nutriente ao longo do eixo OX . A tabela 15 traz os valores de condição de contorno e de taxas e coeficientes utilizados nas simulações com o modelo MAAC-2D.

Tabela 15: Condições de contorno, taxas e coeficientes utilizados nas simulações com o modelo MAAC-2D.

Condições de contorno	Período	
	Máxima	Diminuição
v ($m\ s^{-1}$)	0,294	0,350
$J(0, y) - \text{Nitrato}$ ($\mu M.s^{-1}$)	$(9,954 - 10,001) \times 10^{-5}$	$(9,958 - 10,001) \times 10^{-5}$
$J(0, y) - \text{PID}$ ($\mu M.s^{-1}$)	$(9,948 - 10,000) \times 10^{-5}$	$(9,946 - 10,000) \times 10^{-5}$
Taxas e coeficientes		
K ($m^2\ s^{-1}$)	$6,0 \times 10^4$	$6,0 \times 10^4$
ψ (s^{-1})	$1,15 \times 10^{-8}$	$1,15 \times 10^{-8}$
λ (m^{-1})	$5,0 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-2}$

Os valores de K e ψ foram estimados a partir de resultados teóricos/ experimentais (BOWIE *et al.*, 1985) e numéricos (FERREIRA, 2001; SILVA *et al.*, 2004). O valor do coeficiente de decaimento transversal λ , assim como os valores de $J(0, y)$ foram ajustados a partir da calibração do modelo às situações observadas em campo.

8.3.2 Distribuição espacial de PID e nitrato na Plataforma Continental do Amazonas

O modelo bidimensional apresentado para representar as distribuições espaciais de PID e nitrato na camada superficial da Plataforma Continental do rio Amazonas, apesar de simplificado, contempla os principais mecanismos influentes sobre o balanço de massa destes nutrientes na área de estudo (figuras 47, 48, 49 e 50). Do ponto de vista hidrodinâmico, sua concepção foi baseada na premissa da preponderância dos processos advectivos e difusivos ao longo do eixo situado paralelamente à costa norte do Brasil, resultante sobretudo da ação da Corrente Norte do Brasil. No que se refere aos processos biogeoquímicos, o modelo assume um fluxo de massa resultante do balanço entre os mecanismos de produção e consumo de constituintes.

As figuras 47 e 48 apresentam as distribuições dos dados das concentrações superficiais do PID e do nitrato na Plataforma Continental do Amazonas, obtidos durante a Operação Norte IV (2001), realizada no período de diminuição da descarga do rio Amazonas. Nestas figuras, estas distribuições são comparadas com os resultados das simulações com o modelo MAAC- 2D. De forma geral, as figuras indicam certa similaridade com as maiores concentrações próximas à costa, uma diminuição em direção ao mar aberto e um transporte da massa de água em direção noroeste ocasionado pela Corrente Norte do Brasil.

Observa-se na figura 47 que, entre o perfil 1 e o perfil 5 (representados na figura 46), ocorre uma área sem variação marcante e com baixas concentrações ($< 0,3 \mu\text{M}$) de PID em ambas distribuições. Neste caso, os dados de campo mostram a isolinha de $0,2 \mu\text{M}$ mais restringida a isóbata de 20 m, indicando uma diminuição mais acentuada deste nutriente, provavelmente ocasionada pelo avanço da massa de água oceânica na Plataforma Continental do Amazonas. Na simulação do modelo, a demarcação da isolinha de $0,2 \mu\text{M}$ abrangeu uma área mais significativa entre $0,46^\circ\text{N}-47,92^\circ\text{W}$ e $1,22^\circ\text{N}-47,76^\circ\text{W}$ (em frente a Ilha de Marajó), e entre $1,34^\circ\text{N}-48,65^\circ\text{W}$ e $2,35^\circ\text{N}-48,44^\circ\text{W}$ (em frente a foz do rio Amazonas), sugerindo uma maior dispersão deste nutriente na plataforma.

Na área entre o perfil 5 e o 10, notam-se as maiores concentrações e uma forte variação na distribuição do PID, tanto para os dados de campo como para os do modelo. No entanto, a diferença ocorre na forma da distribuição das isolinhas, havendo um certo paralelismo no modelo. As maiores concentrações ficaram em ambas distribuições localizadas entre $2,08^\circ\text{N}-49,32^\circ\text{W}$ e $3,03^\circ\text{N}-49,84^\circ\text{W}$, e entre $3,08^\circ\text{N}-50,15^\circ\text{W}$ e $3,98^\circ\text{N}-50,57^\circ$, confirmando, como descrito acima, o transporte deste nutriente em direção noroeste ocasionado pela Corrente Norte do Brasil (figura 47).

Para o nitrato, a isolinha de $1,5 \mu\text{M}$ demarca a presença das altas concentrações entre o perfil 1 e o perfil 5, apresentando também uma diminuição nesta área em direção ao mar aberto. No modelo, esta isolinha ultrapassa a isóbata de 50 m. Entre os perfis 5 e 10, a distribuição obtida em campo demonstra o aumento deste nutriente em direção noroeste com as maiores concentrações entre $2,18^\circ\text{N}-49,13^\circ\text{W}$ e $3,10^\circ\text{N}-49,59^\circ\text{W}$ (próximo ao Cabo Orange), e entre $3,18^\circ\text{N}-50,2^\circ\text{W}$ e $4,66^\circ\text{N}-50,98^\circ\text{W}$ (próximo ao Cabo Norte). Este fato também foi observado a partir das simulações com o modelo MAAC-2D.

Uma diferença entre os resultados numéricos e experimentais na figura 48 é verificada na área próximo ao Cabo Norte com a isolinha de $3,5 \mu\text{M}$ menos destacada. Esta pequena diferença observada pode estar relacionada ao processo de retroflexão da Corrente Norte do Brasil, existente durante este período de diminuição, e que pode ser capaz de modificar de forma bem acentuada a distribuição dos nutrientes e da produtividade primária na direção noroeste do estuário. Esta recirculação localizada não é possível de ser devidamente reproduzida numericamente, tendo em vista as limitações inerentes à própria estrutura hidrodinâmica adotada para as simulações.

Os dados de superfície de PID e nitrato obtidos durante a Operação Norte III (1999), realizada no período de máxima descarga do rio Amazonas, são apresentados nas figuras 49 e 50, respectivamente. De forma análoga às figuras anteriores, foi possível comparar os dados de campo com os resultados das simulações do modelo MAAC-2D. Estas figuras mostram as diferenças nas distribuições destes nutrientes, conforme a sazonalidade da descarga do rio Amazonas, com concentrações elevadas em toda a Plataforma Continental do Amazonas, tanto para a distribuição dos dados de campo como para a distribuição do modelo.

Nas figuras 49 e 50, as distribuições do PID e do nitrato, com dados de campo mostram altas concentrações para ambos nutrientes na área entre $0,06^\circ\text{N}-47,65^\circ\text{W}$ e $0,64^\circ\text{N}-47,31^\circ\text{W}$, e $0,93^\circ\text{N}-47,94^\circ\text{W}$ e $0,80^\circ\text{N}-48,27^\circ\text{W}$ (próximo a foz do rio Pará), e entre $1,06^\circ\text{N}-48,41^\circ\text{W}$ e $1,59^\circ\text{N}-47,91^\circ\text{W}$, e $3,24^\circ\text{N}-50,32^\circ\text{W}$ e $3,62^\circ\text{N}-50,02^\circ\text{W}$ (próximo a foz do rio Amazonas e a Ilha de Maracá). Nas simulações, as áreas de maiores concentrações para o PID e nitrato coincidiram com as mesmas regiões verificadas a partir dos dados obtidos em campo. Durante este período, a velocidade da Corrente Norte do Brasil influente na Plataforma Continental do Amazonas é menos intensa, reduzindo bastante o processo de retroflexão da CNB na direção noroeste do estuário (SCHOTT *et al.*, 1995, 1998).

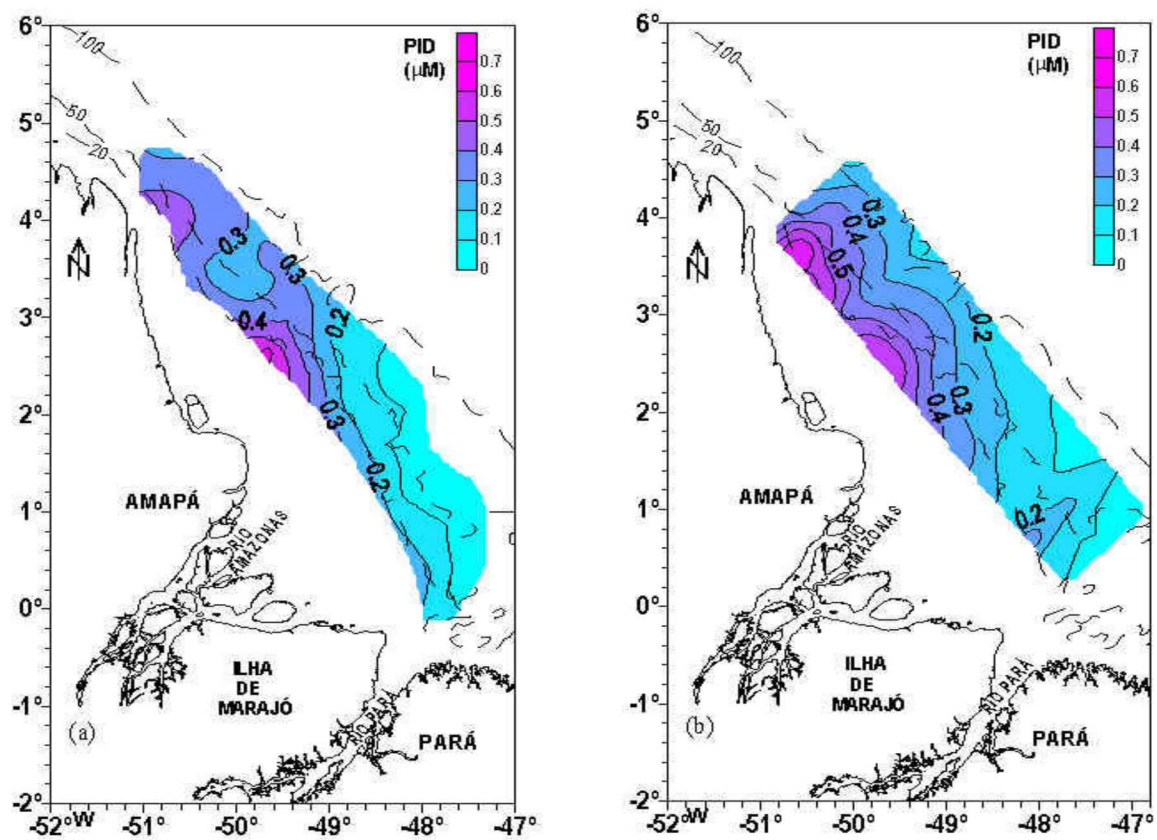


Figura 47: Distribuição da concentração de PID na superfície da área de estudo no período da diminuição da descarga do rio Amazonas. Comparação entre os (a) dados experimentais (Operação Norte IV), e (b) o resultado da simulação (modelo MAAC-2D).

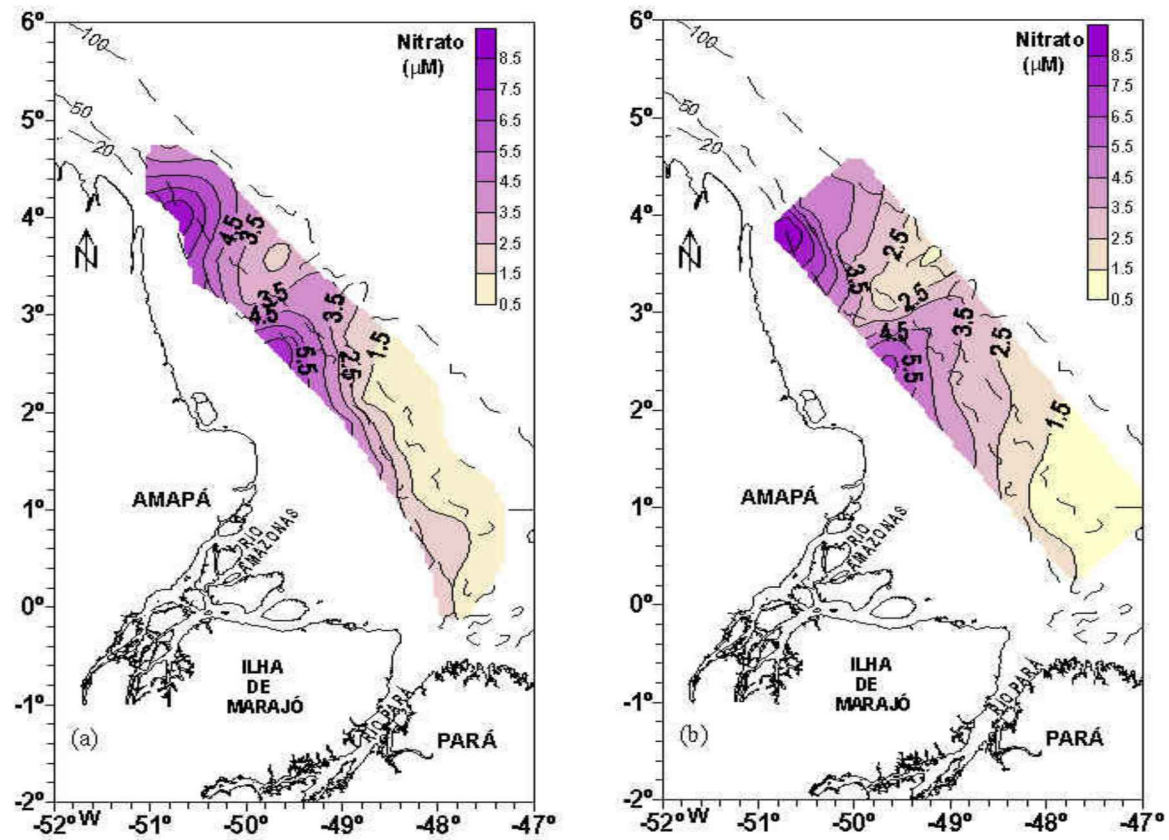


Figura 48: Distribuição da concentração de nitrato na superfície da área de estudo no período da diminuição da descarga do rio Amazonas. Comparação entre os (a) dados experimentais (Operação Norte IV), e (b) o resultado da simulação (modelo MAAC-2D).

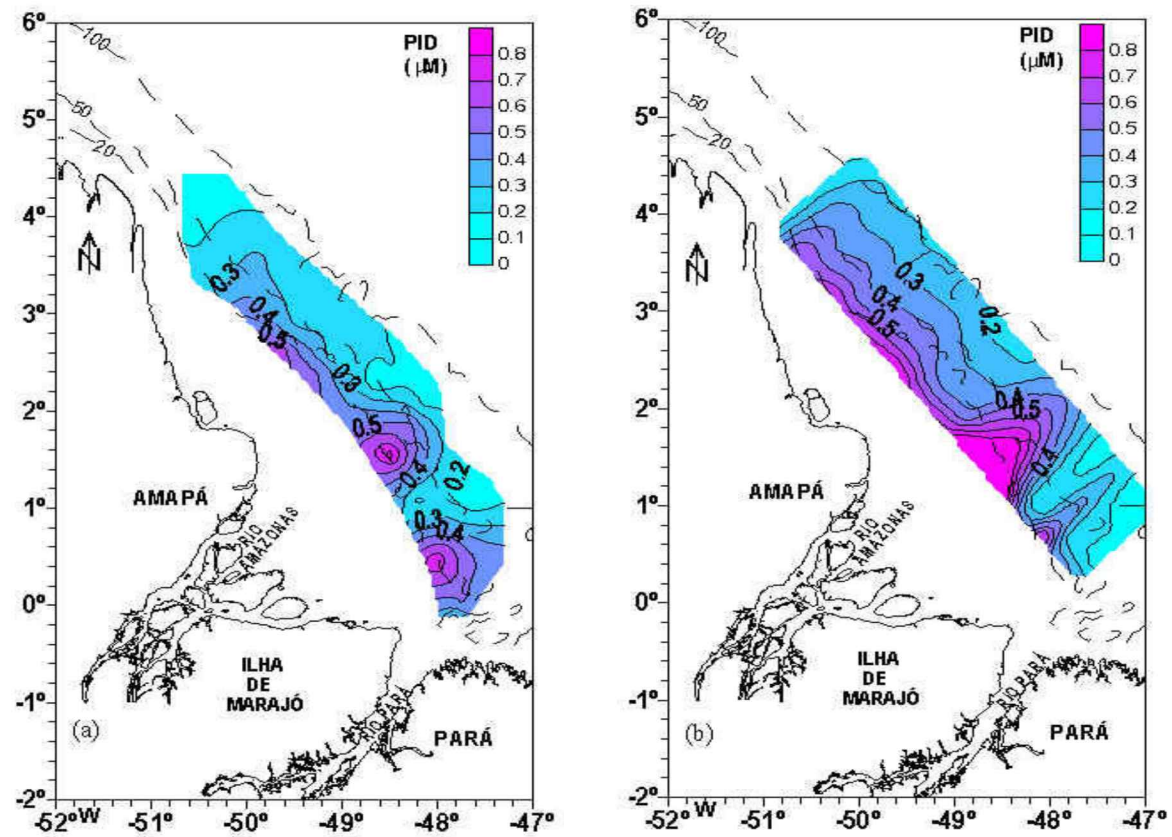


Figura 49: Distribuição da concentração de PID na superfície da área de estudo no período de vazão máxima do rio Amazonas. Comparação entre (a) os dados experimentais (Operação Norte III), e (b) o resultado da simulação (modelo MAAC-2D).

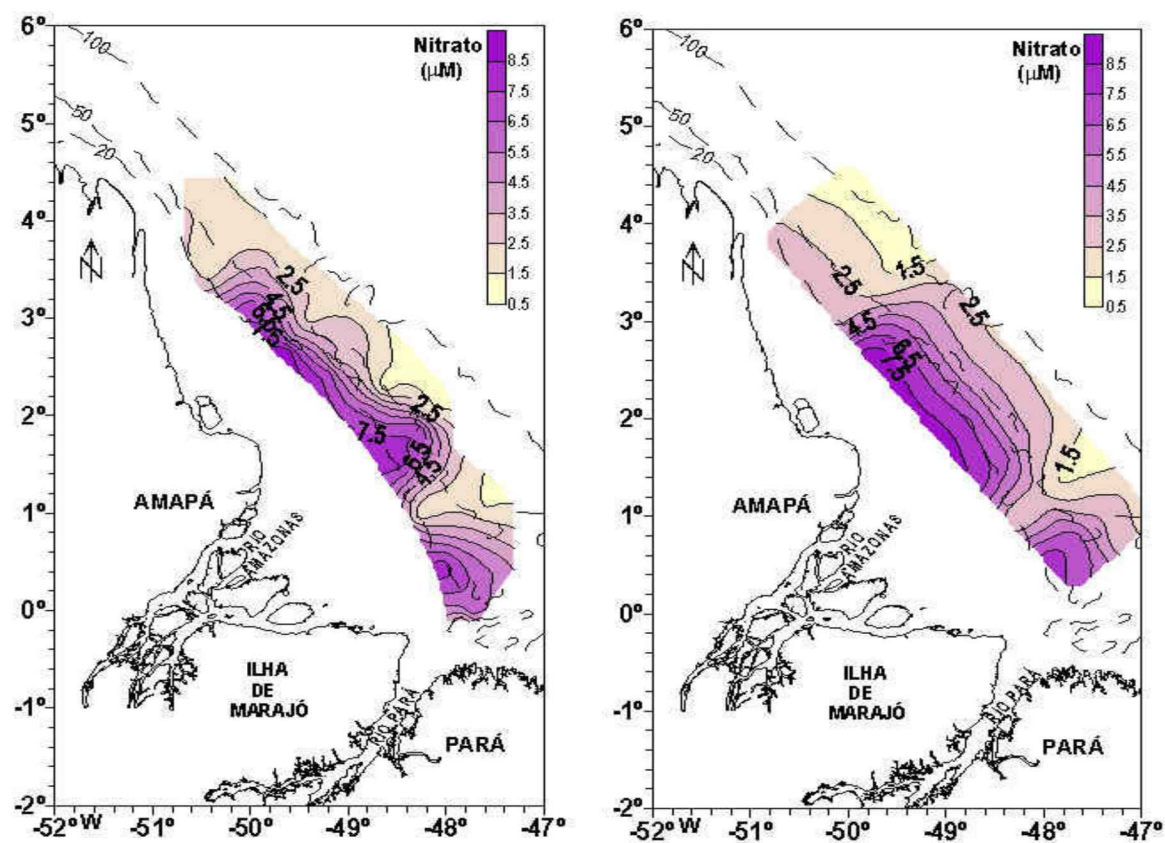


Figura 50: Distribuição da concentração de nitrato na superfície da área de estudo no período de vazão máxima do rio Amazonas. Comparação entre (a) os dados experimentais (Operação Norte III), e (b) o resultado da simulação (modelo MAAC-2D).

8.4 Conclusões

- Apesar de se tratar de um aproximação analítica e permanente, o modelo MAAC-2D mostrou-se adequado para a simulação da distribuição superficial do PID e nitrato na Plataforma Continental do Amazonas. Os resultados das simulações reproduziram corretamente as principais características da distribuição destes nutrientes conforme a sazonalidade da descarga do rio Amazonas;
- De forma específica, verificou-se que, durante o período de diminuição da descarga do rio Amazonas os resultados das simulações foram bastante similares às distribuições dos dados obtidos em campo, tanto para o caso do PID quanto para o nitrato. Diferenças mínimas foram observadas na porção noroeste da malha de cálculo, provavelmente devido à impossibilidade do modelo de reproduzir corretamente a circulação local resultante da ocorrência da retroflexão da Corrente Norte do Brasil;
- Para o período de máxima descarga do rio Amazonas, foi possível observar uma diferença mais acentuada entre as simulações e os dados obtidos em campo. Este fato pode estar relacionado à variação na velocidade da Corrente Norte do Brasil, que neste período possui menores intensidades na área da Plataforma Continental do Amazonas. Esta redução de intensidade induz a um transporte menos eficaz da massa de água (e conseqüentemente de material biótico e abiótico) em direção noroeste. Ao mesmo tempo, no período de máxima descarga, ocorrem os maiores aportes continentais de nutrientes e materiais em suspensão na área de estudo.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A complexidade na distribuição dos parâmetros oceanográficos na Plataforma Continental do Amazonas e forte interação entre eles (químicos, físicos, biológicos, geológicos), indicam a necessidade de um estudo mais completo, com ligações entre essas diversas áreas, levando-se em conta a sazonalidade da descarga do rio Amazonas, que influencia de forma marcante a dinâmica na plataforma.

Esta pesquisa serviu de base para uma melhor visão de como as águas fluviais e a distribuição das fases do ciclo do nitrogênio e fósforo exercem influência na produtividade primária. Vários estudos na área da Oceanografia Química são ainda requeridos para o melhor entendimento da dinâmica na Plataforma Continental do Amazonas como, por exemplo, o estudo das diversas formas de fósforo no sedimento, ou da fração orgânica do nitrogênio. O tempo de residência das águas nessa plataforma, as marés e o fluxo dos nutrientes são também informações importantes a serem consideradas em um trabalho futuro.

Apesar dos resultados promissores apresentados na modelagem matemática, é importante ressaltar alguns aspectos que devem ser considerados na continuidade dos estudos envolvendo a utilização do modelo MAAC-2D na região da Plataforma Continental do rio Amazonas. Primeiramente, seria interessante realizar simulações com dados que abranjam todos os períodos da descarga do rio Amazonas (máxima, vazante, mínima, enchente), o que permitiria uma avaliação mais completa da performance do modelo. Outro aspecto importante a ser considerado diz respeito à sensibilidade dos resultados numéricos aos parâmetros e condições de contorno utilizado nas simulações. Por exemplo, todos os resultados com o modelo se mostraram bastantes sensíveis às duas principais condições de contorno impostas à área de estudo, quais sejam: o valor da velocidade da Corrente Norte do Brasil (v) na fronteira SE e o aporte continental expresso através dos fluxos laterais de nutrientes através da fronteira SO do domínio de cálculo, situada mais próxima da costa ($J(0, y)$). Esta constatação traz consigo implicações interessantes tanto no campo da modelagem matemática da Plataforma Continental do Amazonas quanto ao que se refere ao aspecto operacional da obtenção de dados *in situ*.

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, V. M. C. **Estudo da dinâmica do fósforo no sistema estuarino de Santos/São Vicente em seu trajeto em direção à baía de Santos**. 2002. 166 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia)-Instituto de Oceanografia, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

AIDAR, E. et al. Ecossistema costeiro subtropical: nutrientes dissolvidos, fitoplâncton e clorofila-a e suas relações com as condições oceanográficas na região de Ubatuba, SP. **Boletim do Instituto Oceanográfico de São Paulo**, São Paulo, v.10, p. 9- 43, 1993.

ALLER, R. C., MACKIN, J. E., COX, R. T. Diagenesis of Fe and S in Amazon inner shelf muds: apparent dominance of reduction and implications for the genesis of ironstones. **Continental Shelf Research**, Oxford, v. 6, p. 263-289, 1986.

AMINOT, A.; CHAUSSEPIED, M. **Manuel des analyses chimiques em Milieu Marin**. 1. ed. [S. l.]: CNEXO: BREST CEDEX, 1983. 395 p.

BALLS, P. W. Nutrient behaviour in two contrasting scottish estuaries, the forth and tay. **Oceanologica Acta** .Paris, v. 15, p. 261- 277, 1992.

BALLS, P. W. et al. Dissolved oxygen and nitrification in the upper Forth Estuary during summer (1982- 92): patterns and trends. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. London, v. 38, p. 117- 134, 1994.

BAUER, J.E. et al. Temporal variability in dissolved organic carbon and radiocarbon in the eastern North Pacific Ocean. **Journal of Geophysical Research**. Washington, v. 103, n. C2, p. 2867- 2881, 1998.

BAUMGARTEN, M. G. Z. ; ROCHA, J.M.B.; NIENCHESKI, L.F.H. **Manual de análises em Oceanografia Química**. Rio Grande: FURG, 1996. 132p.

BENITEZ-NELSON, C. R. The biogeochemical cycling of phosphorus in marine systems. **Earth-Science Reviews**, Amsterdam, v. 51, p. 109-135, 2000.

BENITEZ-NELSON, C. R.; BUESSELER, K. O. Variability of inorganic and organic phosphorus turnover rates in the coastal ocean. **Nature**. London, v. 398, p. 502 – 505, 1999.

BENNER, R. et al. Bulk chemical characteristics of dissolved organic matter in the ocean. **Science**. [S. l.], v. 255, p. 1561- 1564, 1992.

BERNER, R. A.; RAO, J. L. Phosphorus in sediments of the Amazon River and estuary: Implications for the global flux of phosphorus to the sea. **Geochimica et Cosmochimica Acta**. London, v.58, p. 2333- 2339, 1994.

BLACKBURN, T. H.; HENRIKSEN, K. Nitrogen cycling in different types of sediments from Danish waters. **Limnol. Oceanography**, Baltimore, v. 28, n.3, p. 477- 493, 1983.

BOWIE, G. L. et al. **Rates, constants, and kinetics formulations in surface water quality modeling**. [S. l.: s. n.], 1985. 454 p. (U. S. EPA Report n. EPA/600/3-85/040)

BRAGA, E. S. **Estudo dos nutrientes dissolvidos nas águas da enseada das Palmas, Ilha Anchieta (Ubatuba, SP), com ênfase às formas nitrogenadas e contribuição por aportes terrestres e atmosféricos.** 1989. 207 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) - Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

BREPHOL, D. C. **Fósforo: intercâmbio entre a água e o sedimento de uma enseada rasa estuarina com aporte antrópico no estuário da Lagoa dos Patos (RS-Brasil).** 2000. 120 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Universidade Federal de Rio Grande, Rio Grande, 2000.

BRONK, D.A.; GLIBERT, P.M. Application of a ^{15}N tracer method to the study of dissolved organic nitrogen uptake during the spring and summer in Chesapeake Bay. **Marine Biology**, Berlin, v. 115, p. 501-508, 1993.

BRONK, D.A.; GILBERT, P.M.; WARD, G.B. Nitrogen uptake dissolved organic nitrogen release and new production. **Science**. [S. l.], v. 265, p. 1843- 1846, 1994.

BROCKMANN, U. et al. Conversion of nutrients in the Elbe river plume during drift experiments in the German Bight during spring 1995 and summer 1994. **Dt. hydrogr. Z.** [S. l.], v.51, p. 293-312, 1999.

BUTLER, E.I.;KNOX,S.; LIDDICOAT,M.I. The relation ship between inorganic and organic nutrients in seawater. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 59, p. 239- 250, 1979.

CADEE, G.C. Primary production of the Guyana Coast Netherlands. **Journal of Sea Research**, Texel, Holanda, v. 9, p. 128- 143, 1975.

CAMPELO, M.J.A.; PASSAVANTE, J.Z.O.; KOENING, M.L. Biomassa fitoplanctônica (Clorofila *a*) e parâmetros ambientais na praia de Carne de Vaca, Goiana, Pernambuco, Brasil. **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**. Recife, v. 27, n. 2, p. 27-41, 1999.

CARVALHO, N.O.; CUNHA, S.B. Estimativa da carga sólida do rio Amazonas e seus principais tributários para a foz e oceano: uma retrospectiva. **A água em revista. Rev. técnica e informativa da CPRM**. [S. l.], v. 4, n. 10, p. 44- 58, 1998.

CASTRO, B. M.; MIRANDA, L. B. Physical oceanography of the western Atlantic Continental shelf located between 4°N and 34°S coastal segment (4,W). [S. l.: s. n.], 1998. cap. 8, p.209- 251. (The Sea, v. 11)

CHEN, C.T.A. et al. Degree of nutrient consumption of upwelled water in the Taiwan Strait based on dissolved organic phosphorus or nitrogen. **Marine Chemistry**, Amsterdam, v. 87, p. 73- 86, 2004.

CHESTER, R. **Marine geochemistry**. 2.ed. Londres: Chapman e Hall, 1993. 698p.

CIFUENTES, L. A.; SCHEMEL, L. E.; SHARP, J. H. Qualitative and numerical analyses of the effects of river variation inflow variations on mixing diagrams in estuaries. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. London, v. 30, p. 411- 427, 1990.

CLARK, J. F. et al. Geochemistry and loading history of phosphate and silicate in the Hudson Estuary. **Estuarine, and Coastal Marine Science**. London, v. 34, p. 213- 233, 1992

CLARK, L.L.; INGALL, E.D.; BENNER, R. Marine phosphorus is selectively remineralized. **Nature**. London, n. 393, p. 426, 1998.

CLOERN, J. E. Turbidity as a control on phytoplankton biomass and productivity in estuaries. **Continental Shelf Research**. London, v. 7, p. 1367- 1381, 1987.

CLOERN, J.E. et al. Temporal dynamics of estuarine phytoplankton: a case study of San Francisco Bay. **Hydrobiologia**. Dordrecht, v. 129, p. 153- 176, 1985.

CONLEY, D. J. et al. Transformations of particle-bound phosphorus at the land-sea interface. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, London, v. 40, p. 393- 406, 1995.

COSTA, K.M.P. **Hidrologia e biomassa primária da região Nordeste do Brasil entre as latitudes de 08°00'00'' e 2°44'30''S e as longitudes de 35°56'30'' e 31°48'00'' W**. 1991. 217 f (Mestrado em Oceanografia)- – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1991.

COSTA, K. M. P. **Distribución de los nutrientes en el Mediterráneo Occidental (Golfo de León y Mar Catalán) influencia de los factores físicos**. 1996. 207 f. (Doutorado em Ciências do Mar)- Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 1996.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. 235p.

CURTIN, T. B., LEGECKIS, R. V. Physical observation in the plume region of the Amazon River during peak discharge- I. Surface variability. **Continental Shelf Research**, Oxford, v. 6, n. 1/2, p. 31-51, 1986.

DAY, J. W. et al. **Estuarine ecology**. New York: J. Wiley and Sons, 1989. 558 p.

DELANEY, M. L. Phosphorus accumulation in marine sediments and the oceanic phosphorus cycle. **Global Biogeochemical Cycles**. Washington, v.12, p. 562- 572, 1998.

DELFINO, I. B. et al. Estudo dos parâmetros físicos e químicos na Plataforma Continental do Maranhão e área oceânica adjacente. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 9., 2003, Belém. **Anais...** Belém: [s. n.], 2003. 1 CD-ROM.

DeMASTER, D. J.; KNAPP, G. B.; NITTROUER, C. A. Biological uptake and accumulation of silica on the Amazon continental shelf. **Geochimica et Cosmochimica Acta**. London, v. 47, p. 1713- 1723, 1983.

DeMASTER, D. J.; KUEHL, S. A.; NITTROUER, C. A. Effects of suspended sediments on geochemical processes near the mouth of the Amazon river: examination of biological silica uptake and the fate of particle-reactive elements. **Continental Shelf Research**, Oxford, v. 6, n. 1/2, p. 107-125, 1986.

DeMASTER, D. J.; POPE, R. H. Nutrient dynamics in Amazon shelf waters: results from AMASSEDS. **Continental Shelf Research**. Oxford, v.16, n.3, p.263- 289, 1996.

DeMASTER, D. J. et al. Biogeochemical processes in Amazon shelf waters: chemical distributions and uptake rate of silicon, carbon and nitrogen. **Continental Shelf Research**. Oxford, v.16, n. 5/6, p. 617- 643, 1996.

DIEGUES, F. M. F. Introdução à Oceanografia do estuário Amazônico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 26, 1972, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SBG, 1972. v. 2, p. 301- 317.

DITTMAR, T.; LARA, R.J. Do mangroves rather than rivers provide nutrients to coastal environments south of the Amazon River? Evidence from long-term flux measurements. **Marine Ecology.Progress Series**, Amelinghausen, v. 213, p. 67-77,2001.

DRUFFEL, E.R.M. et al. Seasonal variability of particulate organic radiocarbon in the northeast Pacific Ocean. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 101, n. C9, p. 20543 – 20552, 1996.

DUCE, R. A. The input of atmospheric nitrogen, phosphorus, and iron species on marine biological productivity. In: BUAT-MENAR, P.(Ed.) The role of air-sea exchange in geochemical cycling. Dordrecht: D. Reidael, 1986. p. 197- 529.

EDMOND, J. M. et al. Chemical mass balance in the Amazon Plume- I. The nutrientes. **Deep- Sea Research**. Oxford, v. 28, p. 1339- 1374, 1981.

EDMOND, J. M. et al. Chemical dynamics of the Changjiang estuary. **Continental Shelf Research**. Oxford, v. 4, p. 17- 36, 1985.

EISMA, D. **Suspended Matter in the Aquatic Environment**. Berlim: Springer Verlag, 1993. 315 p.

EMSLEY, J. **The natural environment and the biogeochemical cycles**. Berlim: Springer-Verlag, 1986. 258p.

ESCHIRQUE, S. A. et al. Sazonalidade na ZEE Norte: estudo de parâmetros abióticos (4°30'N e 6°46,2'N de latitude e 51°1,8'W e 49°21'W de longitude). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 9., 2003, Belém. **Anais...** Belém: [s. n.], 2003. 1 CD-ROM.

ESTEVEZ, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602p.

EYRE, B. Nutrient biogeochemistry in the tropical Moresby river estuary system north Queensland, Australia. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. London, v. 39, p. 15- 31, 1994.

EYRE, B.; TWIGG, C. Nutrient behaviour during post-flood recovery of the Richmond river estuary Northern NSW, Australia. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, London, v. 44, p. 311- 326, 1997.

FANG, T. H. Partitioning and behaviour of different forms of phosphorus in the Tanshui estuary and one of its tributaries, Northern Taiwan. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, London, v. 50, p. 689-701, 2000.

FERNANDES, E.H.L.; NIENCHESKI, L.F.H. Um modelo de caixas simplificado para o estudo dos processos de transporte na região estuarina da Lagoa dos Patos (RS- Brasil). **Atlântica**, Rio Grande, v. 20, p. 73-85, 1998.

FERREIRA DA COSTA, R. et al. Variabilidade diurna da precipitação em regiões de floresta e da pastagem na Amazônia. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 28, n. 2, p. 121- 126, 1997.

FERREIRA, F.F. **Estrutura termohalina e circulação no Atlântico tropical: caracterização experimental e simulação numérica**. 2001. 80 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) - Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2001.

FERREIRA, F. J. **Distribuição das formas de fósforo em amostras de sedimento da Lagoa Munadaú-Maceió / AL**. 1992. 109 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Departamento de Química, Rio de Janeiro, 1992.

FISHER, T. R. et al. Phytoplankton, nutrients and turbidity in the Chesapeake, Delaware, and Hudson estuaries. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, London, v. 27, p. 61- 93, 1988.

FLEGAL, A. R. et al. Dissolved trace element cycle in the San Francisco Bay estuary. **Marine Chemistry**. Amsterdam, v. 36, p. 329- 363, 1991.

FLORES MONTES, M. J. **Fatores que influenciam na produtividade dos oceanos: a importância do fluxo de difusão dos nutrientes para a biomassa do fitoplâncton na região oceânica do nordeste brasileiro**. 2003. 179 f. Tese (Doutorado em Oceanografia) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

FOX, L. E. A model for inorganic control of phosphate concentration in river waters. **Geochimica et Cosmochimica Acta**. London, v.53, p. 417 -428, 1989.

FOX, L. E. Geochemistry of dissolved phosphate in the Sepik river and estuary, Papua, New Guinea. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, London, v. 54, p. 1019- 1024, 1990.

FOX, L. E.; SAGER, S. L.; WOFSY, S. The chemical control of soluble phosphorus in the Amazon estuary. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, London, v. 50, p.783-794, 1986.

FROELICH, P.N. Kinetic control of dissolved phosphate in natural rivers and estuaries: a primer on the phosphate buffer mechanism. **Limnology and Oceanography**. Baltimore, v. 33, p. 649- 688, 1988.

FROELICH, P. N.; BENDER. M. L.; LUEDTKE, N. A. The marine phosphorus cycle. **American Journal of Science**, New Haven, v. 282, p. 474-511, 1982.

GABIOUX, M. **Influência da lama em suspensão sobre a propagação da maré na plataforma Amazônia**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) –Coordenação

dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

GEYER, W.R. Tide-induced mixing in the Amazon frontal zone. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 100, p. 2341- 2353, 1995.

GEYER, R. W.; KINEKE, G. C. Observations of currents and water properties in the Amazon frontal zone. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 100, n. C2, p. 2321-2339, 1995.

GEYER, W. R. et al. Physical oceanography of the Amazon shelf. **Continental Shelf Research**. Oxford, v. 16, n. 5/6, p. 575- 616, 1996.

GIBBS, R. J. 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 America Bulletin**, New York, v. 78, p. 3203-1232, 1967.

GIBBS, R. J. Circulation in the Amazon river estuary and adjacent Atlantic Ocean. **Journal of Marine Research**, New Haven, v. 28, p.113- 123, 1970.

GIBBS, R. J. Water chemistry of the Amazon river. **Geochimica et Cosmochimica Acta**. London, v.36, p. 1061-1066, 1972.

GIBBS, R. J. Amazon river sediment transport in the Atlantic Ocean. **Geology**, [S. l.], v. 4, p. 45-48, 1976.

GRASSHOFF, K.; EHRHARDT, M.; KREMLING, K. **Methods of seawater analysis**. 2. ed. Florida: Verlage Chemie, 1983. 417 p.

GROBBELAAR, J. U.; HOUSE, W. A. Phosphorus as a limiting resource in inland waters: interactions with nitrogen. In: TIESSEN, H. (Ed.). Phosphorus in the global environment: transfers, cycles and management executive summary. New York: J. Wiley and Sons, 1995. cap. 16, p. 255- 274.

HONORATO DA SILVA, M. **Fitoplâncton do estuário do rio Formoso (rio Formoso, Pernambuco, Brasil): biomassa, taxonomia e ecologia**. 2003. 131 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

HOPKINSON JUNIOR, C.; VALLINO, J.; NOLIN, A. Decomposition of dissolved organic matter from the continental margin. **Deep-Sea Research II**, Oxford, v. 49, p. 4461- 4478, 1997.

HOWART, R. W. et al. Transport to and processing of P in near-shore and oceanic waters. In: TIESSEN, H. (Ed.). Phosphorus in the global environment: transfers, cycles and management executive summary. New York: J. Wiley and Sons, 1995. cap. 19, p. 323- 346.

HUMBORG, C. Primary productivity regime and nutrient removal in the Danube estuary. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. London, v. 45, p. 579- 589, 1997.

JACKSON, G. A.; WILLIAMS, P. M. Importance of dissolved organic nitrogen and phosphorus to biological nutrient cycling. **Deep-Sea Research**, Oxford, v. 32, p. 223-235, 1985.

JAMES, A. **Mathematical models in water pollution control**. New York: J. Willey & Sons, 1978. 420 p.

JAMES, D.J.G.; HUNTLEY, I.D. Some aspects of the processes of mathematical models. In: **MATHEMATICAL MODELLING: a source book of case studies**. London, 1990. p. 1- 17.

JORDAN, M. B.; JOINT, I. Seasonal variation in nitrate: phosphate ratios English Channel. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. London, v. 46, p. 157- 164, 1998.

JORDAN, T. E. et al. Nutrients and chlorophyll at the interface of a watershed and an estuary. **Limnology and Oceanography**. Baltimore, v. 36, p. 251 – 267, 1991.

KARL, D.M. et al. Total dissolved nitrogen and phosphorus concentrations at US-JGOFS station ALOHA: Redfield reconciliation. **Marine Chemistry**. Amsterdam, v. 41, p. 203- 208, 1993.

KARL, M. D.; YANAGI, K. Partial characterization of the dissolved organic phosphorus pool in the oligotrophic North Pacific Ocean. **Limnology and Oceanography**. Baltimore, v. 42, p. 1398- 1405, 1997.

KEMP, M. W.; BOYNTON, W. R. Spatial and temporal coupling of nutrient inputs to estuarine primary production: the role of particulate transport and decomposition. **Bulletin of Marine Science**. Coral Gables, US, v. 35, p. 522- 535, 1984.

KINEKE, C. G. et al. Fluid-mud processes on the Amazon continental shelf. **Continental Shelf Research**, Oxford, v. 16, n. 5/6, p. 667-696, 1996.

KIRCHMAN, D.L. et al. Bacterial production in the Rhone River plume: effect of mixing on relationships among microbial assemblages. **Marine Ecology**. Progress Series, Amelinghausen, v. 53, p. 267- 275, 1989.

KIVI, K. et al. Nutrient limitation and grazing control of the Baltic plankton community during annual succession. **Limnology and Oceanography**. Baltimore, v. 38, p. 893- 905, 1993.

LAMPERT, W. Release of dissolved organic carbon by grazing zooplankton. **Limnology and Oceanography**. Baltimore, v. 23, p. 831- 834, 1978.

LEBO, M. E. Particle-bound phosphorus along an urbanized coastal plain estuary. **Marine Chemistry**. Amsterdam, v. 34, p. 225- 246, 1991.

LEBO, M. E.; SHARP, J. H. Distribution of phosphorus along the Delaware, an urbanized coastal plain estuary. **Estuaries**, Columbia, v. 16, p. 290- 301, 1993.

LEBO, M. E. ; SHARP, J. H. ; CIFUENTES, L. A. Contribution of river phosphate variations to apparent reactivity estimated from phosphate- salinity diagrams. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. London, v. 39, p. 583- 594, 1994.

LEE, J. D. **Concise inorganic chemistry**. 3. ed. London: Chapman e Hall, 1991. 520 p.

LENTZ, S. J. Seasonal variations in the horizontal structure of the Amazon plume inferred from historical hydrographic data. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 100, n.C2, p. 2391-2400,1995.

LENTZ, S. J., LIMBURNER, R. The Amazon river plume during AMASSEDS: spatial characteristics and salinity variability. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 100, n. C2, p. 2355 – 2375, feb. 1995.

LIBES, S. M. **An Introduction to marine biogeochemistry**. New York: J. Wiley e Sons, 1992. 734 p.

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

LOH, A. N.; BAUER, J. E. Distribution, partitioning and fluxes of dissolved and particulate organic C, N and P in the eastern North Pacific and Southern Oceans. **Deep-Sea Research I**, Oxford, v. 47, p. 2287 – 2316, 2000.

LOHRENZ, S.E. et al. Nutrients, irradiance, and mixing as factors regulations primary production in coastal waters impacted by the Mississippi river plume. **Continental Shelf Research**, Oxford, v. 19, p. 1113- 1141, 1999.

LUNSFORD, T.L. Comparison of the fate of dissolved organic matter in two coastal systems: Hog Island Bay, VA (USA) and Plum Island Sound, MA (USA). 2002. (M.S. Thesis) - Virginia Institute of Marine Sciences, College of William and Mary, Virginia, 2002.

MACKIN, J. E., ALLER, R. C. The effects of clay mineral reactions on dissolved Al distributions in sediments and waters of the Amazon continental shelf. **Continental Shelf Research**, Oxford, v. 8, p. 245-262, 1986.

MAGLIOCCA, A. Some chemical aspects of the marine environment off t the Amazon and Pará rivers, Brazil. **Boletim do Instituto Oceanográfico de São Paulo**, São Paulo, v. 20, p. 61- 84, 1971.

MARINELLI, R. L. et al. Sediment nutrient dynamics on the South Atlantic bight continental shelf. **Limnology and Oceanography**, Baltimore, v. 43, n. 6, p. 1305- 1320, 1998.

MARTIN, J. M. ; MEYBECK, M. Elemental mass-balance of material carried by major world rivers. **Marine Chemistry**. Amsterdam, v. 7, p. 173- 206, 1979.

MASSART, D. L. et al. **Handbook of chemometrics and qualimetrics**. Amsterdam: Elsevier, 1998. part A, cap. 17.

McKEE, B. A. ; DeMASTER, D. J. ; NITTROUER, C. A. Temporal variability in the partitioning of thorium between dissolved and particulate phases on the Amazon shelf: implications for the scavenging of particle-reactive species. **Continental Shelf Research**. Oxford, v. 6, n. 1/2, p. 87-106, 1986.

MELACK, J. Transport and transformations of P, fluvial and lacustrine ecosystems. In: TIESSSEN, H. (ed.). Phosphorus in the global environment: transfers, cycles and management executive summary. New York: J. Wiley and Sons, 1995. cap. 15, p. 245-254.

MELO, N. F. A. C. **Biodiversidade e biomassa do macrozooplâncton com ênfase nos Copepoda (Crustácea), na Plataforma Continental Norte Brasileira.** 2004. 125 f. Tese (Doutorado em Oceanografia) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2004.

MENEZES, L.B.C. **Caracterização biogeoquímica de ecossistemas Amazônicos: rios e lagos selecionados nas microregiões Bragantina, do Salgado e Guajarina- PA.** 1999. 169 f. Tese (Doutorado em Geoquímica) - Centro de Geociência, Universidade Federal do Pará, Belém. 1999.

MEYBECK, M. Carbon, nitrogen and phosphorus transported by world rivers. **American Journal of Science.** New Haven, v. 282, p. 401- 450, 1982.

MEYBECK, M. et al. Nutrients (organic C, P, N, Si) in the eutrophic river Loire (France) and its estuary. **Estuarine, Coastal and Shelf Science.** London, v. 27, p. 595- 624, 1988.

MILLIMAN, J. D.; BOYLE, E. A. Biological uptake of dissolved silica in the Amazon river estuary. **Science**, [S. l.], v. 189, p. 995-997, 1975.

MILLIMAN, J. D.; SUMMERHAYES, C. P.; BARRETTO, H. T. Contribuição ao estudo de material em suspensão na plataforma continental do Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., 1974, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: [s. n.], 1974. v. 3, p. 263- 282.

MONAGHAN, E. J.; RUTTENBERG, K. C. Dissolved organic phosphorus in the coastal ocean: reassessment of available methods and seasonal phosphorus profiles from the Eel river shelf. **Limnology and Oceanography.** Baltimore, v. 44, n. 7, p. 1702- 1714, 1999.

MOREIRA, M.O.P. **Produção fitoplanctônica em um ecossistema estuarino tropical (estuário do rio Cocó, Fortaleza, Ceará).** 1994. 338 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia)- Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1994.

MORRIS, A.W.; BALE, A.J.; HOWLAND, R.J.M. Nutrient distributions in an estuary: evidence of chemical precipitation of dissolved silicate and phosphate. **Estuarine, Coastal and Shelf Science.** London, v. 12, p. 205- 216, 1981.

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.

MÜLLER-KARULIS, B. Transformations of riverine nutrients in the Daugava river plume (Gulf of Riga). **Journal of Marine Science**, Dauphin Island, Ala., US, v. 56, p. 180- 186, 1999.

NIELSEN, K.; NIELSEN, L. P.; RASMUSSEN, P. Estuarine nitrogen retention independently estimated by denitrification rate and mass balance methods: a study of

Norsmide Fjord, Denmark. **Marine Ecology**. Progress Series. Amelinghausen, v. 119, p. 275-283, 1995.

NITTROUER, C. A.; DeMASTER, D. J. Sedimentary processes on the Amazon continental processes on the Amazon continental shelf: past, present and future research. **Continental Shelf Research**. Oxford, v. 6, n. 1/2, p. 5- 30, 1986.

NITTROUER, C. A.; DeMASTER, D. J. et al. AMASSEDS: an interdisciplinary investigation of a complex coastal environment. **Oceanography**, Oxford, v. 4, n.1, p.3-7, 1991.

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

NITTROUER, C. A., DeMASTER, D. J. The Amazon shelf setting: tropical, energetic, and influenced by a large river. **Continental Shelf Research**, New York, v. 16, n.5/6, p. 553-574, Apr. 1996.

ORMAZA-GONZALEZ, F. I.; STATHAM, P. J. The occurrence and behaviour of different forms of phosphorus in the waters of four English estuaries. In: SYMPOSIUM, 19., 1991, Olsen and Olsen. **Anais...** Olsen and Olsen: ECSA, 1991. p. 77- 83.

ORRETT, K.; KARL, D. M. Dissolved organic phosphorus production in surface seawaters. **Limnology and Oceanography**. Baltimore, v. 32, p. 383- 395, 1987.

PAIVA, R. S. **Parâmetros físicos, químicos, biomassa e produção primária do fitoplâncton na plataforma continental amazônica**. 2002. 140 f. Tese (Doutorado em Oceanografia)-Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

PAKULSKI, J. D. et al. Microbial metabolism and nutrient cycling in the Mississippi and Atchafalaya river plumes. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. London, v. 50, p. 173- 184, 2000.

PALMA, J. J. C. Geomorfologia da plataforma continental norte brasileira. Geomorfologia da margem continental brasileira e das áreas oceânicas adjacentes: projeto REMAC. [S. l.: s. n.], 1979. p.29- 51.

PARANHOS, R. **Alguns métodos para análise da água**. Rio de Janeiro: UFRJ, 1996. 200 p.

PENNOCK, J. R. Chlorophyll distributions in the Delaware estuary: regulation by light-limitation. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. London, v. 21, p. 711- 725, 1985.

PRASTKA, K.; SANDERS, R.; JICKELS, T. Has the role of estuaries as sources or sink of dissolved inorganic phosphorus changed over time? Results of a KD study. **Marine Pollution Bulletin**, Oxford, v. 36, p. 718- 728, 1998.

RAABE, T. et al. Phase-transfer of nitrogen species within the water column of the Bohai Sea. **Journal of Marine Systems**, Amsterdam, v. 44, p. 213- 232, 2004.

REIGSTAD, M.; HEISKANEN, A.; WASSMANN, P. Seasonal and spatial variation of suspended and sedimented nutrients (C,N,P) in the pelagic system of the Gulf of Riga. **Journal of Marine Systems**. Amsterdam, v. 23, p. 211- 232, 1999.

RENDELL, A. R. et al. Nutrient cycling in the Great Ouse estuary and its impact on nutrient fluxes to the Wash, England. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. London, v. 45, p. 653-668, 1997.

RESURREIÇÃO, M.G.; PASSAVANTE, J. Z. O. P.; MACÊDO, S. J. Estudo da plataforma continental na área do Recife (Brasil): variação sazonal da biomassa fitoplanctônica (08°03'38'' lat.S; 34°42'28'' a 34°52'00'' long.W). **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, Recife, v. 24, p. 39- 59, 1996.

RICHEY, J. E.; VICTORIA, R. L. C, N, and pexport in the Amazon River. In: WOLLAST, R.; MACKENZIE, F. J.; CHOU, L. (ed.) *Biogeochemical cycles and global change*. Berlin: Springer Verlag, 1993. p. 23- 133.

RILEY, J.P.; CHESTER, R. **Introducción a la química marina**. México: AGT Editor, 1989. 465 p.

RUTTENBER, K. C.; MONAGHAN, E. J.; KEON, N. E. Seasonal cycle of dissolved organic phosphorus in a coastal marine system: the Eel river shelf. **EOS Trans. Am. Geophys. Union**. Washington, v. 79, p. OS52, 1998.

RYTHER, J. H. et al. Influence of the Amazon river outflow on the ecology of the western tropical atlantic I. Hydrography and nutrient chemistry. **Journal of Marine Research**. New Haven, v. 25, p. 69- 83, 1967.

SANDERS, R.; JICKELLS, T. Total organic nutrients in Drake Passage. **Deep-Sea Research**, Oxford, v. 47, p. 997- 1014, 2000.

SANDERS, R. ; KLEIN, C.; JICKELLS, T. Biogeochemical nutrient cycling in the upper Great Ouse estuary, Norfolk, U.K. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, London, v. 44, p. 543- 555, 1997.

SANTOS, M. L. S. **Influência dos rios Amazonas e Pará sobre a biomassa fitoplanctônica**. 2000. 108 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia)-Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2000.

SANTOS, M. L. S.; SILVA, A. C. Estudo da temperatura, salinidade e massas d'água na plataforma continental do Amazonas e área oceânica adjacente. In: SEMANA NACIONAL DE OCEANOGRAFIA, 13., 2000. Itajaí, SC. **Anais...** Itajaí, SC: [s. n.], 2000. p. 432- 434.

SARAIVA, A. S. C. **Produção primária de biomassa no estuário do Tejo**. 2001. 43 f. Trabalho Final de Curso (Licenciatura em Engenharia do Ambiente) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2001, v. 1.

SCHOTT, F. A.; STRAMMA, L.; FISCHER, J. The warm water inflow into the western tropical Atlantic boundary regime, Spring 1994. **Journal Geophysical Research**, Washington, v. 100, p. 24745-24760, 1995.

SCHOTT, F. A.; FISCHER, J.; STRAMMA, L. 1998. Transports and pathways of the upper-layer circulation in the western tropical Atlantic. **Journal Physical Oceanography**, [S. l.], 28:1904–1928.

SHARP, J. H. Excretion of organic matter by marine phytoplankton: do healthy cells do it? **Limnology and Oceanography**. Baltimore, v. 22, p. 381- 399, 1977.

SHOLKOVITZ, E. R. Flocculation of dissolved organic and inorganic matter during the mixing of river water and seawater. **Geochimica Cosmochimica Acta**, London, v. 40, p. 831-845, 1976.

SIOLI, H. **Amazônia fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais**. Petrópolis: Vozes, 1991. 72 p.

SILVA, A. N. **A utilização do modelo WinHSPF no estudo das cargas difusas de poluição da Bacia do Ribeirão da Estiva, SP**. 2003. 158 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

SILVA, M. A. L. et al. Dissolved nitrogen and phosphorus dynamics in the lower portion of the Paraíba do Sul river, Campos dos Goytacazes, RJ, Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**. Curitiba, v. 44, n. 4, p. 365- 371, 2001.

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

SILVA, M. M.; ARAÚJO, F. F. ; ARAGÃO, J. O. R. 2004. A tropical Atlantic simulation with the MICOM surface forced isopycnic coordinate model. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 15., 1995, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: [s. n.], 2004.

SMAYDA, T. J. The phytoplankton of estuaries. In: KETCHUM, B.H. **Estuaries and enclosed seas**. Amsterdam: Elsevier, 1983. p. 35- 102.

SMITH, D. J.; LONGMORE, A. R. Behaviour of phosphate in estuarine water. **Nature**. London, v. 287, p. 532- 534, 1980.

SMITH, R. E. H.; HARRISON, W. G.; HARRIS, L. Phosphorus exchange in marine microplankton communities near Hawaii. **Marine Biology**. Berlin, v. 86, p. 75 -84, 1985

SMITH, S. V.; KIMMERER, W. J.; WALSH, T. W. Vertical flux and biogeochemical turnover regulate nutrient limitation of net organic production in the North Pacific Gyre. **Limnology and Oceanography**. Baltimore, v. 332, n. 2, p. 383- 395, 1986.

SMITH, W. O. J.; RUSSELL, G. J. Phytoplankton biomass and nutrient distributions in the Amazon River plume: environmental correlates. **Geo-Marine Letters**. New York, v. 15, p. 195- 198, 1995.

SMITH Jr., W. O.; DeMASTER, D. J. Phytoplankton biomass and productivity in the Amazon River plume: correlation with seasonal river discharge. **Continental Shelf Research**, Oxford, v. 16, n. 3, p. 291- 319, 1996.

STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS, T. R. A practical handbook of sea water analysis. **Bulletim Fisheries research board of Canada**, Ottawa, n. 167, p. 1- 311, 1972.

SUNDBY, B. et al. The phosphorus cycle in coastal marine sediments. **Limnology and Oceanography**. Baltimore, v. 37, n. 6, p. 1129- 1145, 1992.

SUZUMURA, M.; KAMATANI, A. Origin and distribution of inositol hexaphosphate in estuarine and coastal sediments. **Limnology and Oceanography**. Baltimore, v. 40, p. 1254-1261, 1995.

TEIXEIRA, C. Introdução aos métodos para medir a produção primária do fitoplâncton marinho. **Boletim do Instituto Oceanográfico de São Paulo**, São Paulo, v. 22, p. 59-92, 1973.

TEIXEIRA, C., TUNDISI, J. Primary production and phytoplankton in equatorial waters. **Bulletim Marine Science**, Coral Gables, US, v. 17, n. 4, p. 884-891, 1967.

TEIXEIRA, N. N. **Metodologia para formulação de modelos e controle da poluição em recursos hídricos**. 1980. 47 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Saúde Pública de São Paulo, São Paulo, 1980.

TIAN, R.C.; HU, F.X.; MARTIN, J.M. Summer nutrient fronts in the Changjiang (Yantze) river estuary. **Estuarine Coastal and Shelf Science**. London, v. 37, p. 27- 41, 1993.

TOPÇU, D.H.; BROCKMANN, U. Nutrients and organic compounds in the North Sea: concentrations, dynamics and methods: a review. *North Sea 2000: state of the art in environmental parameters at the end of the 20th century. S [1.], v. 34, n. 1-2, p. 89-172, 2004. (part 2.)*

TURNER, R. E.; RABALAIS, N. N.; ZHANG, Z. N. Phytoplankton biomass, production and growth limitation on the Huanghe (Yellow river) Continental Shelf. **Continental Shelf Research**. Oxford, v. 10, p. 545- 571, 1990.

UNESCO. Determination of photosynthetic pigments in sea water: report of SCOR/UNESCO, working group 17 with meeting from to 6 June 1964. Paris, 1966. 69 p. (Monographs on Oceanography Methodology, 1).

UNESCO. **International oceanographic table**. [S. l.: s. n.], 1973. 141 p. (Open Britain wormly, n.2)

VAN BENNEKOM, A. J. et al. Nutrient distributions in the Zaire estuary and river plume. **Journal of Sea Research**, Texel, v. 12, p. 286-323, 1978.

WADA, E.; HATORI, A. Nitrogen in the sea: forms, abundances, and rate processes. Boca Raton: CRC Press. 1991, 208 p.

WESTON, N. B. et al. Nutrients and dissolved organic matter in the Altamaha river and loading to the coastal zone. In: PROCEEDINGS OF THE 2003 GEORGIA WATER RESOURCES CONFERENCE, 2003. Georgia, U.S. **Anais...** Georgia: The University of Georgia, 2003. Disponível em: http://gce-lter.marsci.uga.edu/lter/files/pubs/Weston_gwrc_2003.pdf. Acessado em: 15 abr. 2004.

WILLIAMS, P.M.A.; CARLUCCI, A.F.; OLSON, R. A deep profile of some biologically important properties in the central North Pacific gyre. **Oceanologica Acta**, Paris, v. 3, p. 471-476, 1980.

WILLIAMS, P.J. The importance of losses during microbial growth: a commentary on the physiology measurement and ecology of the release of dissolved organic material. **Marine Microbial Foodwebs**, [S. l.], v. 4, p. 175- 206, 1990.

WONG, C.S. et al. Seasonal changes in the distribution of dissolved organic nitrogen in coastal and open-ocean waters in the North East Pacific: sources and sinks. **Deep-Sea Research II**, Oxford, v. 49, p. 5759-5773, 2002.

ZHANG, J. Nutrient elements in large Chinese estuaries. **Continental Shelf Research**. Oxford, v. 16, p. 1023-1045, 1996.

ZWOLMAN, J. J. G. Seasonal variability and biogeochemistry of phosphorus in the Scheldt estuary, south-west Netherlands. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. London, v. 39, p. 227- 248, 1994.

ANEXOS

Anexo 1: Parâmetros hidrológicos obtidos durante a Operação Norte IV (Programa REVIZEE/ SCORE-NO).

Estação	Data	Hora	Longitude	Latitude	Prof. Local (m)	Disco de Secchi (m)	Prof. de Coleta (m)	T (°C)	Salinidade	MPI (mg.L ⁻¹)	MPO (mg.L ⁻¹)	pH
57	29/07/01	21:30	47°17,86'W	00°37,79'N	37,00		0,00	28,45	36,17	52,00	6,20	7,72
57							10,00	28,44	36,17	52,80	8,80	7,71
57							25,00	28,44	36,16	25,40	34,80	7,74
58	30/07/01	01:00	47°26,85'W	00°25,34'N	31,00		0,00	28,54	35,67	29,00	28,00	7,66
58							10,00	28,56	35,67	54,20	4,80	7,78
58							25,00	28,56	35,67	28,40	27,00	7,80
59	30/07/01	04:08	47°35,52'W	00°13,05'N	27,70		0,00	28,49	34,73	23,40	34,40	7,70
59							10,00	28,49	34,74	20,40	37,40	7,75
59							20,00	28,50	34,74	56,40	1,20	7,76
60	30/07/01	08:02	47°43,80'W	00°00,96'N	24,80		0,00	28,44	32,42	30,00	25,40	7,64
60							10,00	28,47	32,82	31,60	25,00	7,65
60							18,00	28,47	32,83	29,00	37,00	7,67
61	30/07/01	10:45	47°49,69'W	00°07,25'S	26,00		0,00	28,54	29,67	19,40	29,60	7,67
61							10,00	28,51	32,35	27,00	25,40	7,66
61							18,00	28,47	32,82	38,80	33,40	7,66
64	07/08/01	00:55	48°02'W	00°28'N	20,00		0,00	28,69	34,15	22,40	39,80	7,71
64							10,00	28,59	34,98	27,60	26,20	7,71
64							15,00	28,58	35,03	46,80	41,20	7,73
65	07/08/01	03:05	47°57,45'W	00°34'W	28,70		0,00	28,57	34,56	27,40	32,60	7,80
65							10,00	28,65	35,08	24,20	30,40	7,79
65							22,00	28,50	35,66	36,20	35,20	7,78
66	07/08/01	04:32	47°53'W	00°40,25'N	37,00		0,00	28,60	35,62	28,40	32,20	8,09
66							10,00	28,59	35,62	24,40	37,60	8,08
66							20,00	28,39	36,06	26,60	30,60	8,09
66							30,00	28,16	36,20	26,00	36,60	8,00
67	07/08/01	07:04	47°44,67'W	00°52,6'N	47,30		0,00	28,06	36,33	28,20	31,00	7,74
67							10,00	28,07	36,33	29,20	29,40	7,73
67							25,00	28,05	36,32	13,80	44,00	7,71
67							40,00	27,97	36,31	26,00	33,20	7,71
68	07/08/01	10:42	47°35,9'W	01°04,7'N	56,00	22	0,00	27,46	35,28	32,00	26,60	7,72
68							9,00	27,37	36,28	22,60	33,40	7,72
68							18,00	27,35	36,28	28,60	32,00	7,72
68							50,00	27,35	36,28	22,80	33,20	7,73

Anexo 2: Parâmetros hidrológicos obtidos durante a Operação Norte IV (Programa REVIZEE/ SCORE-NO).

Estação	Data	Hora	Longitude	Latitude	Prof. Local (m)	Disco de Secchi (m)	Prof. de Coleta (m)	T (°C)	Salinidade	MPI (mg.L ⁻¹)	MPO (mg.L ⁻¹)	pH
78	09/08/01	17:50	48°09'W	01°10,27'N	38,00		0,00	28,36	36,33	26,40	31,80	7,72
78							12,00	28,36	36,33	28,20	31,20	7,72
78							22,00	28,31	36,32	28,40	30,80	7,75
78							33,00	28,22	36,32	24,60	33,80	7,75
79	09/08/01	20:33	48°12,66'W	01°03,86'N	27,90		0,00	28,81	35,45	18,80	30,20	7,99
79							11,00	28,82	35,46	23,40	29,80	8,00
79							19,00	28,28	35,98	17,00	36,40	8,00
80	09/08/01	22:19	48°17,02'W	00°57,82'N	20,00		0,00	28,64	35,05	30,40	32,60	8,10
80							15,00	28,52	35,29	48,80	34,40	8,12
81	09/08/01	00:17	48°21,07'W	00°51,39'N	18,00		0,00	28,74	33,85	21,60	32,40	8,06
81							15,00	28,68	34,63			8,00
82	10/08/01	04:45	48°31,26'W	01°27,10'N	17,00		0,00	28,58	31,72	1,00	57,00	8,10
82							12,00	28,67	35,23	42,20	64,20	8,08
83	10/08/01	06:00	48°29,76'W	01°33,53'N	23,00		0,00	28,48	35,20	12,00	40,00	8,08
83							18,00	28,49	35,52	15,80	47,00	8,10
84	10/08/01	07:39	48°24,65'W	01°40,82'N	37,00		0,00	27,93	36,23	36,00	15,40	8,10
84							18,00	27,92	36,32	5,40	45,60	8,11
84							33,00	27,90	36,32	7,80	47,20	8,10
85	10/08/01	09:58	48°18,57'W	01°49,27'N	45,00	18	0,00	27,44	36,29			8,00
85							9,00	27,38	36,29			8,05
85							17,00	27,34	36,29			8,02
85							36,00	27,34	36,29			8,01
86	10/08/01	13:19	48°08,53'W	02°04'N	51,00	25	0,00	27,25	36,30			8,00
86							12,00	27,03	36,30			8,01
86							22,00	27,02	36,30			8,01
86							44,00	27,02	36,30			8,01
95	12/08/01	23:56	48°29,63'W	02°30,79'N	82,00		0,00	27,12	36,30			7,70
95							11,00	27,12	36,30			7,73
95							22,00	27,09	36,30			7,75
95							68,00	26,56	36,30			7,75
96	13/08/01	03:23	48°37,80'W	02°17,99'N	45,00		0,00	27,52	36,30	13,00	47,80	7,72
96							12,00	27,51	36,30	54,40	8,80	7,77
96							21,00	27,52	36,30	11,00	46,00	7,77
96							39,00	27,53	36,30	5,80	51,40	7,77

Anexo 3: Parâmetros hidrológicos obtidos durante a Operação Norte IV (Programa REVIZEE/ SCORE-NO).

Estação	Data	Hora	Longitude	Latitude	Prof. Local (m)	Disco de Secchi (m)	Prof. de Coleta (m)	T (°C)	Salinidade	MPI (mg.L ⁻¹)	MPO (mg.L ⁻¹)	pH
97	13/08/01	06:53	48°46,37'W	02°07,13'N	25,60		0,00	28,39	34,02	19,40	33,40	7,79
97							12,00	28,32	36,18	24,20	40,80	7,79
97							20,00	28,29	36,28	12,60	58,00	7,77
98	14/08/01	10:00	48°54,55'W	01°53,93'N	20,00		0,00	28,53	28,87	20,20	46,80	7,78
98							15,00	28,47	31,78	55,60	49,20	7,78
99							0,00	28,55	5,61	59,33	72,00	7,38
99							7,00	28,49	5,91	49,33	81,34	7,32
100	14/08/01	17:00	49°25,26'W	01°19,98'N	14,00		0,00	28,96	0,00	64,00	94,00	
100							10,00	28,95	0,00	114,67	73,33	
102	21/08/01	14:25	49°11,98'W	02°25,92'N	20,00		0,00	28,77	31,51	81,00	56,20	7,68
102					20,00		9,00	28,46	33,79	75,80	61,80	7,69
102					20,00		13,00	28,43	35,27	45,40	53,40	7,69
103	21/08/01	16:20	49°06,98'W	02°34,13'W	25,00		0,00	28,56	36,42	20,60	47,60	7,69
103							9,00	28,43	36,42	18,60	54,40	7,76
103							19,00	28,38	36,42	43,80	54,80	7,76
104	21/08/01	19:43	48°59,61'W	02°46,90'N	76,20		0,00	28,08	36,38	32,80	22,60	7,73
104							22,00	27,03	36,37	33,80	13,80	7,73
104							42,00	26,78	36,42	17,60	32,20	7,72
104							68,00	26,70	36,42	4,20	53,40	7,72
112	23/08/01	12:55	49°15,75'W	03°14,21'N	84,00	3,0	0,00	28,87	33,02	1,60	58,40	7,78
112							12,00	27,65	36,35	2,00	55,00	7,74
112							23,00	27,09	36,37	20,00	35,60	7,73
112							43,00	26,45	36,35	0,40	56,80	7,72
112							65,00	23,72	36,21	8,80	49,60	7,67
113	23/08/01	16:15	49°24,95'W	03°0,68'N	65,60	3,0	0,00	28,53	29,92	6,80	40,40	7,72
113							9,00	28,22	33,97	34,80	19,20	7,72
113							18,00	26,80	36,36	49,80	11,40	7,70
113							30,00	26,34	36,34	46,80	11,00	7,69
113							42,00	25,55	36,28	7,60	52,80	7,69
114	23/08/01	19:25	49°34,83'W	02°47,44'N	19,00		0,00	28,35	29,97	6,40	45,20	7,72
114							7,00	27,56	34,16	20,80	51,20	7,70
114							12,00	27,20	35,35	73,40	52,40	7,71
115	23/08/01	21:23	49°39,03'W	02°39,80'N	21,00		0,00	28,52	26,51	40,00	15,20	7,72
115					21,00		7,00	28,22	30,90	15,00	46,00	7,71
115					21,00		12,00	27,51	33,87	78,40	53,40	7,61

Anexo 4: Parâmetros hidrológicos obtidos durante a Operação Norte IV (Programa REVIZEE/ SCORE-NO).

Estação	Data	Hora	Longitude	Latitude	Prof. Local (m)	Disco de Secchi (cm)	Prof. de Coleta (m)	T (°C)	Salinidade	MPI (mg.L ⁻¹)	MPO (mg.L ⁻¹)	pH
116	24/08/01	01:15	49°59,01'W	03°08,48'N	25,25		0,00	26,24	36,00	59,00	53,40	7,70
116							12,00	26,25	36,01	106,40	48,20	7,71
116							21,00	26,25	36,01	110,40	60,80	7,69
117	24/08/01	03:45	49°50,10'W	03°22,30'N	74,00		0,00	27,83	32,12	12,00	43,40	7,75
117							21,00	26,05	36,33	11,40	41,80	7,73
117							35,00	25,38	36,29	13,80	46,80	7,71
117							48,00	25,35	36,29	13,40	46,20	7,71
118	24/08/01	05:45	49°41'W	03°32,74'N	84,00		0,00	28,34	33,65	3,80	56,60	7,75
118							21,00	26,53	36,36	9,40	55,00	7,72
118							37,00	25,40	36,30	11,40	41,40	7,72
118							63,00	24,86	36,27	10,40	42,80	7,71
125	25/08/01	17:51	50°20,31'W	03°33,37'W	36,00		0,00	27,87	28,35			7,74
125							9,00	26,30	35,26	13,80	52,40	7,64
125							24,00	25,77	36,24	48,60	48,80	7,65
126	25/08/01	20:31	50°26,02'W	03°23,75'N	20,00		0,00	27,41	27,16			7,48
126							11,00	26,24	35,19	43,60	77,40	7,67
127	26/08/01	01:15	50°40,60'W	04°02,61'N	43,00		0,00	28,00	15,45			7,63
127							11,00	25,95	35,98	2,20	48,40	7,73
127							22,00	25,70	36,31	8,40	44,00	7,72
127							35,00	24,87	36,29	9,20	50,20	7,70
128	26/08/01	05:13	50°23,45'W	04°27,05'N	78,00		0,00	28,27	29,65			7,90
128							22,00	27,20	36,29	1,60	54,60	7,76
128							38,00	26,47	36,35	4,40	52,00	7,74
128							64,00	24,32	36,23	9,80	54,00	7,73
133	28/08/01	06:44	50°48,76'W	04°44,50'N	75,00		0,00	28,80	24,00	19,20	10,00	8,14
133							21,00	26,80	36,25			7,76
133							40,00	25,74	36,32			7,72
133							60,00	24,22	36,21			7,68
134	28/08/01	10:35	51°02,58'W	04°23,64'N	20,50		0,00	28,51	15,79			7,93
134							8,00	25,55	36,13	11,20	42,40	7,60

Anexo 5: Parâmetros hidrobiológicos obtidos durante a Operação Norte IV (Programa REVIZEE/ SCORE-NO).

Estação	Clorofila a (mg.m ⁻³)	OD (ml.L ⁻¹)	Taxa de Sat. de OD (%)	PID (μM)	PTP (μM)	POD (μM)	PTD (μM)
57	4,40	5,41	121,85	0,08	0,11	0,02	0,10
57	5,99	5,56	125,23	0,10	0,13	0,05	0,15
57	4,37	5,42	122,07	0,15	0,14	0,07	0,22
58	12,14	6,01	135,67	0,07	0,12	0,03	0,10
58	11,80	6,10	137,70	0,11	0,10	0,04	0,15
58	11,65	5,98	134,99	0,12	0,14	0,04	0,16
59	5,70	4,92	110,07	0,08	0,16	0,03	0,11
59		5,29	118,34	0,12	0,16	0,04	0,16
59		5,47	122,37	0,15	0,17	0,04	0,19
60	1,58	4,41	99,78	0,10	0,12	0,08	0,18
60		4,57	101,11	0,12	0,17	0,07	0,19
60		4,75	104,86	0,15	0,19	0,08	0,23
61	3,01	5,45	119,00	0,15	0,10	0,25	0,40
61		4,83	105,46	0,19	0,26	0,15	0,34
61		4,50	99,56	0,28	0,33	0,09	0,37
64	1,18	4,86	108,82	0,30	0,05	0,10	0,40
64		4,67	104,84	0,36	0,04	0,14	0,50
64		4,54	102,07	0,42	0,03	0,18	0,60
65	5,08	5,42	121,49	0,13	0,05	0,07	0,20
65		5,15	115,91	0,14	0,09	0,12	0,26
65		4,25	95,69	0,17	0,12	0,11	0,28
66	12,57	5,41	122,01	0,12	0,10	0,04	0,16
66		5,36	120,72	0,15	0,05	0,10	0,25
66		5,26	118,34	0,18	0,06	0,08	0,26
66		4,40	98,75	0,21	0,07	0,09	0,30
67	0,68	5,27	118,14	0,10	0,05	0,10	0,20
67	1,66	4,86	109,05	0,12	0,12	0,06	0,18
67	1,10	4,82	107,99	0,18	0,11	0,07	0,25
67	2,06	4,74	106,08	0,23	0,07	0,08	0,31
68	0,33	6,15	135,72	0,08	0,17	0,15	0,23
68	1,15	5,36	118,78	0,08	0,11	0,04	0,12
68	0,99	4,67	103,49	0,10	0,04	0,07	0,17
68	0,75	5,45	120,74	0,15	0,05	0,07	0,22

Anexo 6: Parâmetros hidrobiológicos obtidos durante a Operação Norte IV (Programa REVIZEE/ SCORE-NO).

Estação	Clorofila a (mg.m ⁻³)	OD (ml.L ⁻¹)	Taxa de Sat. de OD (%)	PID (µM)	PTP (µM)	POD (µM)	PTD (µM)
78	0,59	5,67	127,86	0,06	0,12	0,14	0,20
78	2,27	4,91	110,58	0,13	0,11	0,10	0,23
78	1,71	4,93	110,99	0,16	0,22	0,08	0,24
78	2,17	4,85	109,05	0,24	0,15	0,01	0,25
79	4,88	6,26	141,42	0,16	0,07	0,14	0,30
79	9,54	5,54	125,14	0,14	0,22	0,07	0,21
79	9,15	5,14	115,54	0,25	0,21	0,03	0,28
80	1,70	5,19	116,63	0,18	0,25	0,08	0,26
80		4,78	107,44	0,31	0,07	0,04	0,35
81	1,67	4,97	111,25	0,26	0,21	0,40	0,66
81		4,67	104,79	0,24	0,71	0,06	0,30
82	2,02	5,39	118,86	0,28	0,45	0,19	0,47
82		4,97	111,98	0,21	0,09	0,08	0,29
83	2,98	5,73	128,58				
83		4,67	104,99	0,21	0,05	0,04	0,25
84	3,39	5,24	117,32	0,10	0,07	0,10	0,20
84	0,82	4,98	111,55	0,12	0,12	0,08	0,20
84	0,62	5,04	112,78	0,20	0,07	0,02	0,22
85	1,48	5,05	112,16	0,11	0,07	0,09	0,20
85	0,81	5,03	111,55	0,12	0,11	0,07	0,19
85	1,89	4,75	105,23	0,17	0,12	0,03	0,20
85	1,03	4,70	104,23	0,23	0,12	0,03	0,26
86	1,26	5,10	112,82	0,10	0,04	0,09	0,19
86	0,16	5,01	110,42	0,14	0,13	0,02	0,16
86	0,73	5,05	111,39	0,18	0,07	0,05	0,23
86	1,62	4,84	106,67	0,21	0,09	0,06	0,27
95	1,32	5,42	119,80	0,10	0,11	0,09	0,19
95	4,05	5,10	112,57	0,16	0,20	0,04	0,20
95	0,55	5,11	112,77	0,10	0,30	0,15	0,25
95	0,49	4,97	108,82	0,27	0,30	0,06	0,33
96	1,70	5,53	122,84	0,12	0,07	0,11	0,23
96	1,08	5,06	112,55	0,10	0,13	0,15	0,25
96	0,27	5,02	111,56	0,16	0,17	0,11	0,27
96	0,59	4,94	109,83	0,22	0,33	0,08	0,30

Anexo 7: Parâmetros hidrobiológicos obtidos durante a Operação Norte IV (Programa REVIZEE/ SCORE-NO).

Estação	Clorofila a (mg.m ⁻³)	OD (ml.L ⁻¹)	Taxa de Sat. de OD (%)	PID (μM)	PTP (μM)	POD (μM)	PTD (μM)
97	2,75	5,47	103,08	0,14	0,14	0,07	0,21
97		5,09	114,48	0,18	0,08	0,19	0,37
97		4,94	111,18	0,20	0,27	0,20	0,40
98	3,57	5,28	114,45	0,30	0,31	0,15	0,45
98		4,91	108,01	0,25	0,27	0,15	0,40
99	4,75	5,36	102,13	0,54	1,57	0,25	0,79
99		5,03	95,95				
100	2,98	5,94	110,63	0,67	1,58	0,13	0,80
100		5,84	108,72	0,83	1,08	0,18	1,01
102	1,22	4,57	100,90	0,39	1,36	0,02	0,41
102		4,40	97,91	0,59	1,48	0,10	0,69
102		4,34	97,40	0,62	1,19	0,26	0,88
103	0,59	4,44	100,53	0,28	0,10	0,09	0,37
103		3,57	80,71	0,29	0,10	0,02	0,31
103		4,03	90,82				
104	0,78	5,54	124,28	0,20	0,04	0,06	0,26
104		4,89	107,97	0,23	0,05	0,07	0,30
104		4,98	109,54	0,33	0,04	0,02	0,35
104		4,94	108,41	0,40	0,10	0,01	0,41
112	1,96	5,42	121,04	0,31	0,20	0,07	0,38
112	0,20	5,05	112,59	0,29	0,08	0,03	0,32
112		5,03	111,07	0,14	0,05	0,01	0,15
112		5,06	110,62	0,19	0,07	0,02	0,21
112		4,92	102,46	0,20	0,04	0,04	0,24
113	3,78	5,58	121,77	0,40	0,10	0,03	0,43
113	1,29	4,97	110,39	0,36	0,08	0,09	0,45
113		4,95	108,80	0,29	0,02	0,03	0,32
113		4,79	104,51	0,34	0,01	0,02	0,36
113		4,76	102,37	0,34	0,11	0,02	0,36
114	1,28	6,38	138,86	0,43	0,30	0,07	0,50
114	0,62	4,97	109,32	0,47	0,32		0,55
114				0,78	0,64	0,11	1,89
115	1,23	5,03	107,64	0,63	1,78	0,18	0,81
115	0,57	4,51	98,43	0,77	1,32	0,17	0,94
115		4,42	96,93	0,89	0,06	1,03	2,32

Anexo 8: Parâmetros hidrobiológicos obtidos durante a Operação Norte IV (Programa REVIZEE/ SCORE-NO).

Estação	Clorofila <i>a</i> (mg.m ⁻³)	OD (ml.L ⁻¹)	Taxa de Sat. de OD (%)	PID (μM)	PTP (μM)	POD (μM)	PTD (μM)
116	0,99	4,69	101,93	0,32	0,10	0,06	0,38
116	2,15	4,77	103,67	0,36	0,20	0,04	0,40
116		4,63	100,73	0,31	1,58	1,11	4,21
117	1,31	5,07	110,78	0,20	0,07	0,13	0,33
117	2,36	4,94	107,18	0,17	0,16	0,03	0,20
117		4,78	102,57	0,27	0,02	0,06	0,33
117		4,84	103,73	0,35	0,05	0,02	0,37
118	0,13	4,97	110,41	0,32	0,10	0,18	0,50
118	0,92	5,00	109,30	0,28	0,08	0,09	0,37
118		5,13	110,11				
118		5,07	107,89	0,20	0,03	0,19	0,39
125	9,86	6,33	135,32	0,30	0,20	0,10	0,40
125	0,84	4,69	101,61	0,32	0,28	0,07	0,39
125		4,68	101,03	0,33	0,27	0,11	0,44
126	3,80	5,13	108,19	0,32	0,59	0,07	0,39
126		4,94	106,83	0,48	0,87	0,09	0,57
127	7,70	5,62	112,03	0,48	0,26	0,18	0,66
127		5,22	112,89	0,36	0,14	0,10	0,46
127		4,75	102,41	0,39	0,14	0,08	0,47
127		4,85	103,12	0,41	0,16	0,11	0,52
128	2,68	6,46	140,14	0,33	0,29	0,06	0,39
128		4,91	108,48	0,37	0,39	0,09	0,46
128		4,94	107,95	0,42	0,33	0,09	0,51
128		4,71	99,27	0,45	0,31	0,11	0,56
133	9,72	7,25	153,75	0,27	0,44	0,13	0,40
133		5,28	115,91	0,32	0,45	0,13	0,45
133		4,60	99,32	0,39	0,29	0,21	0,60
133		4,49	94,35	0,45	0,36	0,15	0,60
134	41,45	7,31	147,33	0,38	0,48	0,12	0,50
134	1,89	3,43	73,68	0,40	0,15	0,15	0,55

Anexo 9: Parâmetros hidrológicos obtidos durante a Operação Norte IV (Programa REVIZEE/ SCORE-NO).

Estação	Nitrito (μM)	Nitrato (μM)	Amônia (μM)	NOD (μM)	NTP (μM)	NTD (μM)
57	0,07	0,90	0,06	110,61	46,12	111,64
57	0,05	1,30	0,11	90,77	58,24	92,23
57	0,04	1,80	0,12	72,99	39,12	74,95
58	0,04	0,93	0,10	96,89	40,38	97,96
58	0,03	1,73	0,15	95,17	21,84	97,08
58	0,03	2,32	0,14	87,31	19,80	89,8
59	0,06	0,94	0,09	91,56	35,69	92,65
59	0,05	1,62	0,07	92,91	27,38	94,65
59	0,04	2,23	0,10	82,58	19,41	84,95
60	0,05	1,06	0,03	93,51	43,69	94,65
60	0,23	1,60	0,04	92,39	31,94	94,26
60	0,57	2,50	0,06	89,10	30,96	92,23
61	0,02	1,56	0,03	88,19	38,83	89,8
61	0,34	2,56	0,05	85,14	39,11	88,09
61	0,88	3,57	0,12	84,80	36,83	89,37
64	0,26	2,50	0,12	62,07	29,70	64,95
64	0,68	2,68	0,02	85,84	27,28	89,22
64	0,14	2,76	0,22	112,10	85,22	116,22
65	0,20	2,20	0,07	97,04	36,40	99,51
65	0,39	2,47	0,13	97,26	36,17	100,25
65	0,30	2,58	0,11	95,94	36,98	98,93
66	0,07	2,10	0,08	120,27	40,09	122,52
66	0,12	2,54	0,10	86,80	34,22	89,56
66	0,11	2,74	0,11	125,27	29,53	128,23
66	0,32	2,95	0,11	113,12	29,12	116,5
67	0,04	1,50	0,05	38,79	30,00	40,38
67	0,03	1,86	0,12	78,22	31,41	80,23
67	0,04	1,94	0,13	92,45	34,07	94,56
67	0,02	2,46	0,12	90,79	39,23	93,39
68	0,01	0,93	0,03	127,26	30,03	128,23
68	0,03	1,23	0,11	96,00	31,26	97,37
68	0,01	1,47	0,19	80,57	34,27	82,23
68	0,03	1,50	0,29	80,36	34,32	82,18

Anexo 10: Parâmetros hidrológicos obtidos durante a Operação Norte IV (Programa REVIZEE/ SCORE-NO).

Estação	Nitrito (μM)	Nitrato (μM)	Amônia (μM)	NOD (μM)	NTP (μM)	NTD (μM)
78	0,15	0,72	0,07	85,59	25,92	86,53
78	0,14	1,40	0,12	83,57	27,44	85,23
78	0,15	1,61	0,15	83,43	43,22	85,34
78	0,11	2,24			46,10	86,52
79	0,10	1,80	0,04	87,86	24,27	89,8
79	0,13	1,98	0,15	87,54	46,11	89,8
79	0,27	2,38	0,12	92,47	63,02	95,24
80	0,43	2,20	0,04	85,56	23,97	88,23
80	0,66	3,51	0,18	82,19	32,06	86,54
81	0,20	3,50	0,04	83,49	39,03	87,23
81	0,78	2,76	0,12	82,57	48,33	86,23
82	0,08	3,20	0,07	91,30	38,84	94,65
82	0,36	2,22	0,12	82,25	43,68	84,95
83						
83	0,39	2,26	0,13	53,04	35,74	55,82
84	0,09	1,20	0,09	82,85	26,00	84,23
84	0,06	1,59	0,12	84,77	23,68	86,54
84	0,08	2,28	0,07	94,65	12,14	97,08
85	0,03	1,10	0,10	85,00	24,01	86,23
85	0,03	1,12	0,12	56,98	31,55	58,25
85	0,03	1,35	0,13	52,77	31,94	54,28
85	0,04	1,44	0,18	39,60	33,98	41,26
86	0,02	1,04	0,03	81,43	24,27	82,52
86	0,04	1,16	0,10	80,24	30,78	81,54
86	0,03	1,49	0,13	74,87	33,71	76,52
86	0,03	2,14	0,13	145,93	41,08	148,23
95	0,04	1,02	0,05	78,40	30,72	79,51
95	0,07	1,36	0,12	78,54	32,15	80,09
95	0,04	1,06	0,06	71,07	37,92	72,23
95	0,02	1,20	0,12	73,31	37,58	74,65
96	0,05	1,20	0,06	77,25	30,75	78,56
96	0,02	1,50	0,14	78,59	31,98	80,25
96	0,03	2,05	0,12	79,25	32,91	81,45
96	0,02	2,23	0,17	115,81	92,92	118,23

Anexo 11: Parâmetros hidrológicos obtidos durante a Operação Norte IV (Programa REVIZEE/ SCORE-NO).

Estação	Nitrito (μM)	Nitrato (μM)	Amônia (μM)	NOD (μM)	NTP (μM)	NTD (μM)
97	0,19	1,30	0,07	84,69	24,07	86,25
97	0,48	1,98	0,07	84,84	29,13	87,37
97	0,47	2,60	0,12	81,76	33,97	84,95
98	0,40	4,66	0,03	101,70	38,83	106,79
98	0,36	3,46	0,10	106,31	46,55	110,23
99	0,04	7,80	0,18	102,76	49,29	110,78
99						
100	0,07	8,40	0,07	101,50	70,22	110,04
100	0,11	13,48	0,09	96,77	85,78	110,45
102	0,59	4,56	0,07	89,43	24,27	94,65
102	0,41	6,32	0,09	77,74	25,48	84,56
102	0,73	6,51	0,12	71,18	30,68	78,54
103	0,14	4,27	0,07	104,31	23,70	109,79
103	0,77	4,77	0,12	104,83	24,00	110,49
103						
104	0,10	2,50	0,07	79,89	28,00	82,56
104	0,04	3,19	0,09	100,75	23,39	104,07
104	0,03	3,23	0,10	74,30	21,85	77,66
104	0,01	3,46	0,12	76,79	33,40	80,38
112	0,45	4,50	0,05	105,09	39,83	110,09
112	0,05	4,45	0,12	65,83	48,47	70,45
112	0,06	3,20	0,13	80,85	41,96	84,24
112	0,07	3,30	0,15	80,71	43,43	84,23
112	0,03	3,20	0,23	58,80	44,53	62,26
113	0,03	4,40			37,47	76,4
113	0,58	4,07	0,07	123,10	46,92	127,82
113	0,25	4,16	0,08	83,07	31,36	87,56
113	0,05	4,34	0,10	80,07	31,87	84,56
113	0,05	4,52	0,11	75,77	33,62	80,45
114	0,10	6,20	0,15	138,11	23,67	144,56
114	0,20	7,12	0,16	89,89	28,83	97,37
114	0,10	9,16	0,13	88,59	35,51	97,98
115	0,07	7,19	0,15	120,25	34,57	127,66
115	0,02	7,56	0,16	81,48	36,98	89,22
115	0,03	8,75	0,18	67,29	35,39	76,25

Anexo 12: Parâmetros hidrológicos obtidos durante a Operação Norte IV (Programa REVIZEE/ SCORE-NO).

Estação	Nitrito (μM)	Nitrato (μM)	Amônia (μM)	NOD (μM)	NTP (μM)	NTD (μM)
116	0,04	3,20	0,05	83,95	26,83	87,24
116	0,12	3,80	0,16	64,46	28,54	68,54
116	0,01	6,50	0,17	37,90	33,08	44,58
117	0,23	2,80	0,13	91,49	24,27	94,65
117	0,20	2,23	0,07	84,04	26,95	86,54
117	0,32	3,18	0,09	78,34	29,71	81,93
117	0,12	4,20	0,20	69,74	32,53	74,26
118	0,18	2,10	0,12	81,67	30,67	84,07
118	0,04	2,26	0,17	63,06	44,98	65,53
118						
118	0,06	3,02	0,18	64,59	44,33	67,85
125	0,01	4,64	0,10	79,81	29,95	84,56
125	0,26	2,37	0,16	74,87	84,95	77,66
125	0,41	2,67	0,13	74,45	97,08	77,66
126	0,01	5,61	0,03	70,89	39,98	76,54
126	0,41	4,34	0,12	77,77	38,71	82,64
127	0,07	8,59	0,12	122,28	36,40	131,06
127	0,10	5,29	0,17	83,66	34,56	89,22
127	0,55	5,38	0,12	69,19	40,09	75,24
127	0,56	5,70	0,20	30,62	79,42	37,08
128	0,03	5,16	0,06	87,56	45,53	92,81
128	0,02	4,26	0,17	62,63	59,12	67,08
128	0,05	5,01	0,20	69,98	60,09	75,24
128	0,03	5,45	0,31	64,59	75,24	70,38
133	0,03	3,26	0,02	79,21	41,64	82,52
133	0,04	3,35	0,06	91,20	24,57	94,65
133	0,28	3,87	0,11	78,26	27,12	82,52
133	0,02	4,65	0,17	70,05	34,33	74,89
134	0,01	5,66	0,06	167,91	39,94	173,64
134	0,05	4,25	0,05	94,74	24,27	99,51