

## II.6.1.2 Qualidade da Água e dos Sedimentos

Este item reapresenta o diagnóstico ambiental de qualidade de água e dos sedimentos apresentado no processo do Bloco BM-BAR-3 atualizando, quando necessário, informações sobre o Bloco BM-BAR-5.

Buscou-se retratar as características do ambiente marinho da Área de Estudo, com relação aos compartimentos água e sedimentos, de modo que se possa compreender as relações entre os diversos fatores químicos, físicos, geológicos e biológicos que interferem em sua composição química, e tem relação direta com a produtividade biológica.

As informações foram agrupadas por Bacias Sedimentares:

- Bacia de Barreirinhas;
- Bacia do Pará-Maranhão;
- Bacia da Foz do Amazonas.

Conforme apresentado no diagnóstico de oceanografia, a região norte-nordeste é altamente influenciada pela Corrente Norte do Brasil (CNB), que transporta as águas da plataforma continental externa e do talude na direção noroeste (RICHARDSON et al. 1994). Essa corrente é formada a partir da bifurcação do ramo sul da Corrente Sul-Equatorial (CSE), que flui para oeste em direção ao cabo de São Roque (ponto mais a leste da América do Sul), dividindo-se em duas partes: a CNB e a Corrente do Brasil (CB), segundo STRAMMA (1991).

Na **Figura II.6.1.2-1** são apresentados mapas esquemáticos das principais correntes no Atlântico Tropical em superfície, entre 0 e 100 metros). Esses mapas foram adaptados de STRAMMA; SCHOTT (1999), que fizeram uma descrição da circulação do Atlântico Tropical a partir de revisão bibliográfica e observações hidrográficas.

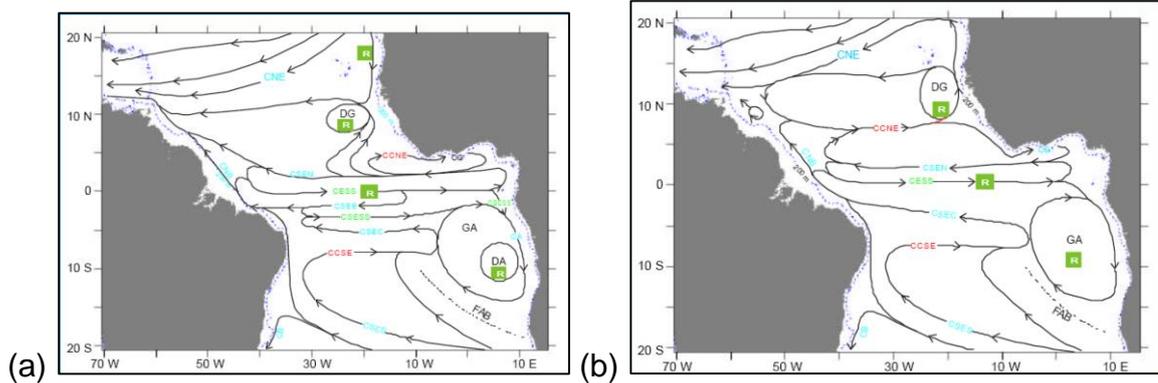
A circulação superficial do Atlântico Tropical, segundo PICKARD; EMERY (1982), é formada pelas seguintes correntes:

- Corrente Norte Equatorial (CNE), fluindo para oeste, a norte de 10°N, com velocidade média de 10-15 cm/s;
- Contra-corrente Norte Equatorial (CCNE), fluindo para leste entre 8°N e 3°N;
- Corrente Sul Equatorial (CSE) fluindo para oeste a sul de 3°N.

Atualmente, a CSE é subdividida em três ramos distintos, por apresentar uma estrutura muito complexa: um mais ao norte (Corrente Sul Equatorial ramo Norte - CSEN), um central (Corrente Sul Equatorial ramo Central - CESC) e um ao sul (Corrente Sul Equatorial ramo Sul - CSES), segundo STRAMMA; SCHOTT (1999). Esses ramos são separados, respectivamente, pela Corrente Sul Equatorial Subsuperficial (CSESS) que flui entre 3°S e 5°S e pela Contra-Corrente Sul Equatorial (CCSE) que flui para Leste entre 7° S e 9° S. Próximo à costa do Brasil, a sul de 10°S, a CSES ramifica-se formando a Corrente do Brasil (CB) que flui para Sul e a Corrente Norte do Brasil (CNB), fluindo para norte. Em 2°N, a CNB une-se à CSEN, fluindo próximo à costa na direção Noroeste (Stramma,1991). Devido à complexa estrutura da CSE no lado oeste da bacia atlântica, a localização exata da origem da CNB não é bem definida, conforme DA SILVEIRA; MIRANDA; BROWN (1994).

Na segunda metade do ano, tipicamente de julho a setembro, a CNB divide-se próximo a 8°N e 50°W: uma parte continua para norte próximo à costa, primeiro como Corrente das Guianas (CGG) e depois como Corrente do Caribe (CC); outra parte inflete-se para fora da costa, alimentando a CCNE, de acordo com DA SILVEIRA; MIRANDA; BROWN (1994). Este processo é conhecido como a retroflexão da CNB. A separação da CNB é um processo fortemente estratificado, isto é, a camada superficial da CNB alimenta a CCNE; a camada da termoclina alimenta a Corrente Equatorial Subsuperficial (CESS); e a camada sub-termoclina, que é permanentemente retro-refletida entre 3°N e 5°N, alimenta a Corrente Norte Equatorial Subsuperficial (CNESS).

Na **Figura II.6.1.2-1**, CA é a Corrente de Angola; CB - Corrente do Brasil; CCNE - Contra-Corrente Norte Equatorial; CCSE - Contra-Corrente Sul Equatorial; CESS - Corrente Equatorial Subsuperficial; CG - Corrente da Guiné; CGCSS - Corrente do Gabão-Congo Subsuperficial; CNB - Corrente Norte do Brasil; CNE - Corrente Norte Equatorial; CSEC - Corrente Sul Equatorial Ramo Central; CSEE - Corrente Sul Equatorial Ramo Equatorial; CSEN - Corrente Sul Equatorial Ramo Norte; CSES - Corrente Sul Equatorial Ramo Sul; CSESS - Corrente Sul Equatorial Subsuperficial; DA - Domo de Angola; DG - Domo da Guiné; FAB - Frente Angola-Benguela; GA - Giro da Guiné; R - Áreas de provável ressurgência.



Fonte: (DE MENEZES, 2001).

**Figura II.6.1.2-1** – Distribuição esquemática das principais correntes na camada superficial (entre 0 e 100 m) no Atlântico Tropical: (a) situação típica de outono/HS (março, abril e maio) e (b) situação típica de primavera/HS (setembro, outubro e novembro).

De acordo com STRAMMA; SCHOTT (1999), nos 1200 m superficiais do Oceano Atlântico Tropical são encontradas as massas de água Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS) e Água Intermediária Antártica (AIA), que se movem em direção norte. Em sentido oposto, nas camadas mais profundas entre 1200 e 4000 m, são encontradas as massas de água Água Circumpolar Superior (ACS) e a Água Profunda do Atlântico Norte (APAN). Junto ao fundo é encontrada a Água de Fundo Antártica (AFA) que carrega uma pequena quantidade de água fria em direção ao hemisfério norte.

Sobre a Plataforma Continental são encontradas 2 massas de água: Água de Plataforma (AP) ou Água Costeira (AC), AT e ACAS. Na plataforma externa a mistura vertical entre a AT e a ACAS é dominante (CASTRO; MIRANDA, 1998).

### II.6.1.2.1 Bacia de Barreirinhas

#### Campanhas Oceanográficas - Resumo Metodológico

Para a caracterização da qualidade de água e sedimento da Bacia de Barreirinhas, as principais fontes de informações foram os estudos e caracterizações:

- CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA MARGEM EQUATORIAL (CA-ME<sub>q</sub>)/ Bacia de Barreirinhas: resultados obtidos a partir da coleta de dados

primários realizada pela Petrobras na Campanha de Caracterização Ambiental das Bacias de Barreirinhas e Pará-Maranhão.

Além deste estudo principal, como fonte de comparação e complementação dos dados, foram utilizadas informações dos seguintes estudos:

- BG/AECOM (2015a) – Estudo de Impacto Ambiental – EIA – da Atividade de Perfuração Marítima de Poços na Bacia de Barreirinhas. Este estudo teve como referências secundárias para a qualidade de sedimento:
- PIATAM (2008) – Síntese do Conhecimento sobre a Margem Equatorial Amazônica.
- BG/AECOM (2015b) - Caracterização Ambiental na região dos Blocos (BAR-M-388, 344, 342, 340 e 352), de interesse da BG Brasil E&P na Bacia de Barreirinhas. Este estudo caracterizou a qualidade de água e sedimento na Bacia de Barreirinhas.

A Caracterização Ambiental da Margem Equatorial (CA-MEq) foi realizada para avaliar a qualidade da água e sedimento entre as profundidades de 25 e 3.000 m e em dois períodos: chuvoso e seco. Previamente às campanhas, visando evitar o impacto da coleta de sedimentos na área amostrada, foram realizados imageamentos de fundo com ROV (*remotely operated vehicle*) para caracterização de ocorrência de bancos de algas calcáreas ou corais. As principais informações das duas campanhas são apresentadas no **Quadro II.6.1.2.1-1**.

**Quadro II.6.1.2.1-1 - Campanhas de Caracterização Ambiental da Margem Equatorial (CA-MEq).**

Campanha	Navio	Data
Campanha prévia de imageamento de fundo	RSV Geograph	21 de março a 04 de abril de 2012
1º campanha	R/V Seward Johnson	26 de junho a 10 de julho de 2012
2º campanha	Ocean Stalwart	02 de outubro a 28 de novembro de 2012

Inicialmente foram planejadas as estações nas profundidades de 25 m, 50 m, 100 m, 400 m, 1000 m, 2000 m e 3000 m. Visto que foram encontrados indícios da presença de bancos biogênicos, nas estações de 25 m e 100 m não foram

realizadas as coletas de sedimento, sendo substituídas por uma estação a 200 m. Estas alterações, assim como a Ficha de Notificação de Formações Biogênicas do IBAMA foram encaminhadas ao IBAMA no Projeto de Caracterização das Bacias do Pará-Maranhão e Barreirinhas em abril de 2012.

Para qualidade da água, as estações planejadas foram mantidas. As coordenadas das estações de qualidade da água e sedimento executadas estão detalhadas no **Quadro II.6.1.2.1-2**.

**Quadro II.6.1.2.1-2 - Estações executadas nas Campanhas de Caracterização Ambiental da Margem Equatorial (CA-MEq).**

Estação	Prof. (m)	1º Campanha				2º Campanha			
		Executada (sedimento)		Executada (água)		Executada (sedimento)		Executada (água)	
		Norte	Leste	Norte	Leste	Norte	Leste	Norte	Leste
B1_25	25	NC	NC	9774507	685162	NC	NC	9774509	685233
B1_50	50	9791755	708660	9791754	708690	9791745	708690	9791723	708663
B1_100	100	NC	NC	9805186	726131	NC	NC	9805199	726150
B1_200*	200	9805317	726389	NC	NC	9805317	726388	NC	NC
B1_400	400	9806761	728149	9806753	728191	9806777	728196	9806757	728151
B1_1000	1000	9809034	731195	9809045	731180	9809052	731165	9809034	731172
B1_2000	2000	9817817	742515	9817805	742498	9817910	742618	9817950	742565
B1_3000	3000	9862216	801182	9862220	801173	9862189	801273	9862235	801189

NC: não coletada, \* estação adicional de sedimento.

As amostragens de água do mar foram realizadas utilizando uma Rosette com capacidade para 24 garrafas com CTD acoplado. Para a avaliação da qualidade do sedimento são coletadas amostras em triplicata com metodologia diferenciada em relação à estratificação das amostras e do equipamento de coleta, em função da lâmina d'água local.

A profundidade coletada e massa d'água correspondente em cada estação de coleta de água é apresentada no **Quadro II.6.1.2.1-3**. A supervisão e validação das amostragens foram de responsabilidade da equipe da Bioconsult Ambiental Ltda.

**Quadro II.6.1.2.1-3** – Profundidades de coleta e massas de água correspondentes para a CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA MARGEM EQUATORIAL (CA-MEq)/ Bacia de Barreirinhas.

Estação	Prof. na estação (m)	Profundidade da estação por massa d'água (m)			
		Água Tropical (AT)	Água Central do Atlântico Sul (ACAS)	Água Intermediária Antártica (AIA)	Água Profunda do Atlântico Norte (APAN)
B1_25	25	1 e 12,5	-	-	-
B1_50	50	1 e 25	-	-	-
B1_100	100	1 e 50	-	-	-
B1_200	200	1 e 50	-	-	-
B1_400	400	1 e 50	250	-	-
B1_1000	1000	1 e 50	250	800	-
B1_2000	2000	1 e 50	250	800	-
B1_3000	3000	1 e 50	250	800	2300

O **Quadro II.6.1.2.1-4** abaixo sintetiza as principais informações dos estudos citados acima, com relação aos dados de qualidade de água. Já o **Quadro II.6.1.2.1-5** mostra as informações referentes aos dados de qualidade de sedimentos. O **Quadro II.6.1.2.1-6** e o **Quadro II.6.1.2.1-7** mostram as metodologias de coleta do estudo principal, para os dados de qualidade de água e sedimento. Já o **Quadro II.6.1.2.1-8** e o **Quadro II.6.1.2.1-9** mostram as metodologias de análise para estes dados coletados. A

**Figura II.6.1.2.1-1** mostra os locais de coleta dos estudos citados. Destes três estudos utilizados para comparação e complementação dos dados, BG/AECOM (2015a) realizou revisão bibliográfica e de PIATAM (2008) foram obtidos os resultados em forma gráfica e, assim, não aparecem nos quadros citados acima.

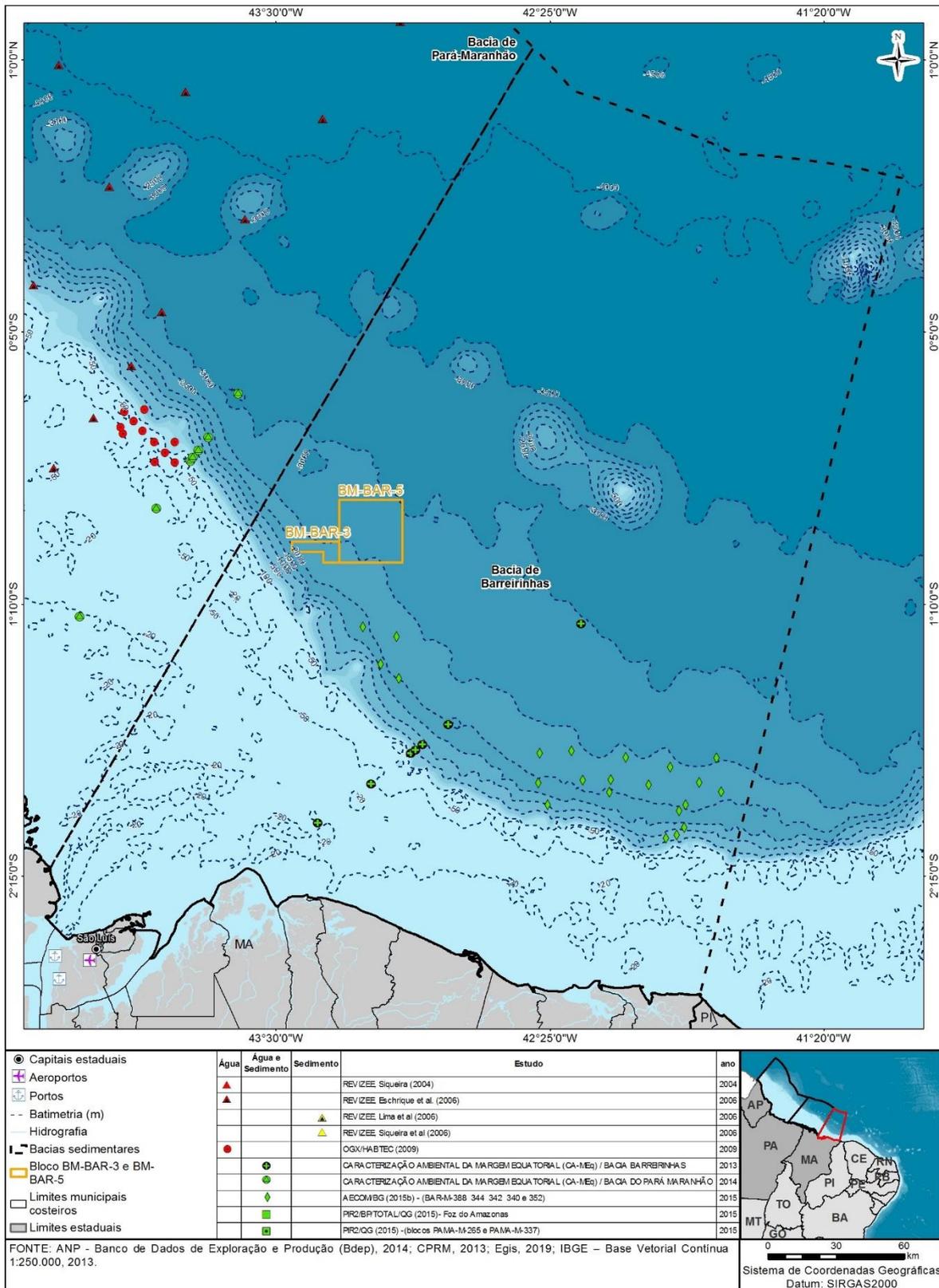


Figura II.6.1.2.1-1 – Locais de coleta de dados dos estudos consultados na Bacia de Barreirinhas.

**Quadro II.6.1.2.1-4 - Principais características amostrais de estudos consultados para caracterização da qualidade da água na Bacia de Barreirinhas.**

Estudos Consultados	Campanhas Realizadas	Metodologia para Obtenção dos Dados	Profundidades amostradas	Nº de estações	Parâmetros Avaliados
BG/AECOM (2015b)	Campanha entre 23/09/2014 e 14/10/2014	Garrafas Niskin e Go-Flo	Subsuperfície, acima da termoclina, meio da termoclina e abaixo da termoclina	22	Oxigênio Dissolvido
					pH
					Sólidos Totais em Suspensão
					Sólidos Totais Dissolvidos
					Amônia
					Nitrito
					Nitrato
					Fosfato
					Silicato
					Carbono orgânico total
					Sulfetos
					Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP)
Hidrocarbonetos Poliaromáticos (HPA)					
Fenóis					
	Campanha Período Chuvoso,	Garrafas Niskin e Go-Flo	1, 12, 25, 50 (AT), 250	7 (período chuvoso)	Oxigênio Dissolvido
					pH

Estudos Consultados	Campanhas Realizadas	Metodologia para Obtenção dos Dados	Profundidades amostradas	Nº de estações	Parâmetros Avaliados
CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA MARGEM EQUATORIAL (CA-MEq)/ Bacia de Barreirinhas	entre 26/06/2012 e 10/07/2012; Campanha Período Seco, entre 02/10/2012 e 28/11/2012		(ACAS), 800 (AIA), 2300 (APAN) m	6 (período seco);	Material Particulado em Suspensão (MPS)
					Amônia
					Nitrato
					Nitrito
					Fosfato
					Silicato
					Carbono orgânico total
					Carbono orgânico particulado
					Carbono orgânico dissolvido
					Sulfetos
					Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP)
					Hidrocarbonetos poliaromáticos (HPA)
					n-alcanos e mistura complexa não resolvida (MCNR)
BTEX					
Fenóis					

Fonte: BG/AECOM (2015b), CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA MARGEM EQUATORIAL (CA-MEq)/ Bacia de Barreirinhas.

**Quadro II.6.1.2.1-5 - Principais características amostrais de estudos consultados para caracterização da qualidade do sedimento na Bacia de Barreirinhas.**

Estudos Consultados	Campanhas Realizadas	Metodologia para Obtenção dos Dados	Nº de estações	Parâmetros Avaliados
BG/AECOM (2015a)	Revisão bibliográfica			Granulometria Carbonato Metais e semimetais (As, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, V, Zn)
BG/AECOM (2015b)	Campanha entre 23/09/2014 e 14/10/2014	Amostrador do tipo Box corer	22	Granulometria Carbonatos Carbono Orgânico Total Nitrogênio Fósforo Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP) Hidrocarbonetos poliaromáticos (HPA) Metais e semimetais (As, Al, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, V, Zn)
CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA MARGEM EQUATORIAL (CA-MEq)/ Bacia de Barreirinhas	Campanha Período Chuvoso, entre 26/06/2012 e 10/07/2012; Campanha Período Seco, entre 02/10/2012 e 28/11/2012	Amostradores do tipo Van-veen e Box Corer	6	Granulometria Carbonatos Carbono orgânico total Nitrogênio Fósforo Enxofre Total Sulfetos

Estudos Consultados	Campanhas Realizadas	Metodologia para Obtenção dos Dados	Nº de estações	Parâmetros Avaliados
				Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP) Hidrocarbonetos poliaromáticos (HPA) Metais (Al, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, V, Zn)

Fonte: BG/AECOM (2015a), BG/AECOM (2015b), CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA MARGEM EQUATORIAL (CA-MEq)/ Bacia de Barreirinhas.



**Quadro II.6.1.2.1-6 - Descrição das amostras de água, garrafa oceanográfica utilizada, volume coletado, frascaria utilizada, método de preservação ou meio de preservação e acondicionamento para caracterização da qualidade da água na Bacia de Barreirinhas.**

Parâmetros Avaliados	Garrafa utilizada	Volume por estrato	Frascaria de preservação	Acondicionamento da amostra
Oxigênio Dissolvido	Niskin (10L)	70 mL	Frasco DBO	Determinação a bordo – kit específico
pH		100 ml	Frasco de vidro	Determinação a bordo - pHmetro
Material Particulado em Suspensão (MPS)		4000 ml	Frasco polipropileno - filtração com bomba a vácuo, membranas de microfibras de vidro de 0,47 µm	Filtro acondicionado em placa de petri e refrigeração
Amônia		1000 ml	Frasco polipropileno	Freezer
Nitrato				
Nitrito				
Fosfato				
Silicato				
Carbono orgânico particulado		3000 ml	Filtrada e frasco âmbar	Refrigeração
Carbono orgânico dissolvido		1000 ml	Filtros de fibra de vidro	Refrigeração
Sulfetos	Go-Flo (10L)	1000 ml	Frasco âmbar	Refrigeração
Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP)				
Hidrocarbonetos poliaromáticos (HPA)				
n-alcanos e mistura complexa não resolvida (MCNR)				
BTEX				
Fenóis				

Fonte: CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA MARGEM EQUATORIAL (CA-ME)/ Bacia de Barreirinhas.

**Quadro II.6.1.2.1-7 - Metodologia para coleta dos parâmetros físico-químicos relacionados à qualidade do sedimento para caracterização da Bacia de Barreirinhas.**

Parâmetros	Réplicas	Estrato	Acondicionamento	Preservação
Granulometria	Corer 50 x 50 cm	0 – 10 cm	Sacos plásticos	Congelamento
Carbonatos		0 – 10 cm		
Carbono orgânico total	Corer 50 x 50 cm	0 – 10 cm	Sacos plásticos	Congelamento
Nitrogênio		0 – 10 cm		
Fósforo		0 – 10 cm		
Enxofre Total		0 – 10 cm		
Sulfetos		0 – 10 cm		
Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP)	200 g	0 – 2 cm	Recipientes de alumínio	Congelamento
Hidrocarbonetos poliaromáticos (HPA)				
Metais (Al, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, V, Zn)	200 g	0 – 2 cm	Sacos plásticos	Congelamento

Fonte: CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA MARGEM EQUATORIAL (CA-MEq)/ Bacia de Barreirinhas

**Quadro II.6.1.2.1-8 - Descrição da metodologia de análise dos parâmetros físico-químicos para o principal estudo consultado na caracterização da qualidade da água na Bacia de Barreirinhas.**

Parâmetros	Metodologia Analítica	Limite de Detecção
Material Particulado em suspensão (MPS)	Filtração em membrana 0,45 µm/método gravimétrico (realizada a bordo).	1 mg/L
Nutrientes (Amônia, Nitrato, Nitrito, Fosfato)	Amônia: método azul de indefenol e análise por colorimetria (Parsons <i>et al.</i> , 1984) - Ref. Método: MA-025-L2.; Nitrato: determinado por redução em coluna de Cd-Cu seguido de diazotação e análise por colorimetria (Grasshoff <i>et al.</i> , 1999) - Ref. Método: MA 017-L2.; Nitrito: método da diazotação e análise por colorimetria (Grasshoff <i>et al.</i> , 1999) - Ref. Método: MA 017-L2.;	Amônia: 0,03 µmol/L; Nitrato: 0,03 µmol/L; Nitrito: 0,01 µmol/L; Fosfato: 0,01 µmol/L.

Parâmetros	Metodologia Analítica	Limite de Detecção
	O fosfato foi determinado pelo método fosfomolibdico (Grasshoff <i>et al</i> , 1983) - Ref. Método: MA-014-L2.	
Silicato	Método silicomolibdico (Grasshoff <i>et al.</i> , 1999).	0,01µmol/L
Carbono orgânico total (COT)	Método combustão catalítica em analisador de carbono - Ref. Método: MA-019-L2, baseado no SM 5310 (C) - 21ª Edição	1,0 mg/L
Carbono orgânico Particulado (COP)	Filtros acidificados e oxidados através de combustão (Combustão em Analisador Elementar) - Ref. Método: MA-019-L2, baseado no SM 5310 (C) - 21ª Edição	1,0 mg/L
Carbono orgânico Dissolvido (COD)	Filtrado, acidificado e submetido a oxidação catalítica em alta temperatura. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - Ref. Método: MA-019-L2, baseado no SM 5310 (C) - 21ª Edição	1,0 mg/L
HTP (hidrocarbonetos totais de petróleo)	Método EPA-8270B, EPA 3630, EPA 3510 (Extração / cleanup / CG-FID) - Ref. Método: ISO 9377-2:2000.	30 µg.L <sup>-1</sup>
n-alcanos e mistura complexa não resolvida (MCNR)	n-alcanos: EPA 8015 D: 2003 e ISO 9377-2: 2000 MCNR: ISO 9377-2:2000.	n-alcanos: 1 µg.L <sup>-1</sup> ; MCNR: 30 µg.L <sup>-1</sup> ;
HPA (hidrocarbonetos poliaromáticos); os 16 prioritários e alquilados	Método – EPA 8270 (D):2007 / EPA 3510 (C):1996 (Extração/cleanup/CG-EM).	0,003 µg.L <sup>-1</sup>
Fenóis	Método – ISO 8165-2:1999.	0,1 µg.L <sup>-1</sup>
BTEX (hidrocarbonetos: benzeno, tolueno, etil-benzeno e xilenos)	Método – EPA 8260 (C):2006/ EPA 5021 (A):2003.	0,1 µg.L <sup>-1</sup>
Sulfetos	Standard Methods nº4500D e I	0,001mg/L <sup>-1</sup>

Fonte: CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA MARGEM EQUATORIAL (CA-MEq)/ Bacia de Barreirinhas.

**Quadro II.6.1.2.1-9 - Descrição da metodologia de análise dos parâmetros físico-químicos para o principal estudo consultado na caracterização da qualidade do sedimento na Bacia de Barreirinhas.**

Parâmetros	Metodologia Analítica	Limite de Detecção
Granulometria	Peneiramento para separação fração areia / fração silte-argila. A fração silte-argila foi analisada por um granulômetro a laser.	-
Teor de matéria orgânica total (MOT)	Ref. Método: MA-026-L2	70 mg/kg
Carbono orgânico total (COT)	Ref. Método MA-026-L2	40 mg/kg
Teor de nitrogênio (N total)	Ref. Método MA-024-L2	1 mg/kg
Fósforo (P total)	Standard Methods 4500-P (B) e (E) (APHA/AWWA/WEF, 2005).	2 mg/kg
Enxofre total (S total)	Standard Methods 4500E (APHA/AWWA/WEF, 2005).	17 mg/kg
Teor de carbonatos (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	Adaptado a partir de Standard Methods 2320B (APHA/AWWA/WEF, 2005).	2000 mg/kg
Teor de Sulfetos	Standard Methods 4500D (APHA/AWWA/WEF, 2005).	0,1 mg/kg
Metais	Ref. Método: MA-070-L2.	Al: 1 mg/kg; Ba: 2 mg/kg; Cd: 0,1 mg/kg; Pb: 0,4 mg/kg; Cu: 0,1 mg/kg; Cr: 0,1 mg/kg; Fe: 2 mg/kg; Mn: 0,3 mg/kg; Hg: 0,02 mg/kg; Ni: 0,4 mg/kg; V: 1 mg/kg; Zn: 0,4 mg/kg
HTPs	Ref. Método – ISO 16703:2001	1 mg/kg
HPAs	Ref. Método – EPA 8270 (D):2007 / EPA 3550 (C):2007	0,005 mg/kg
n-alcanos (C5 – C7)	Ref. Método – ISO 16703:2001	0,001 mg/kg
n-alcanos (C8 – C40)	Ref. Método – ISO 16703:2001	0,010 mg/kg
MCNR	Ref. Método – ISO 16703:2001	1 mg/kg

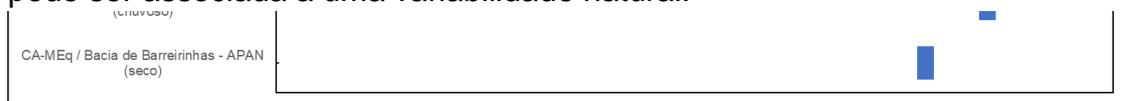
Fonte: CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA MARGEM EQUATORIAL (CA-MEq)/ Bacia de Barreirinhas

## Campanhas Oceanográficas - Resultados e Discussão

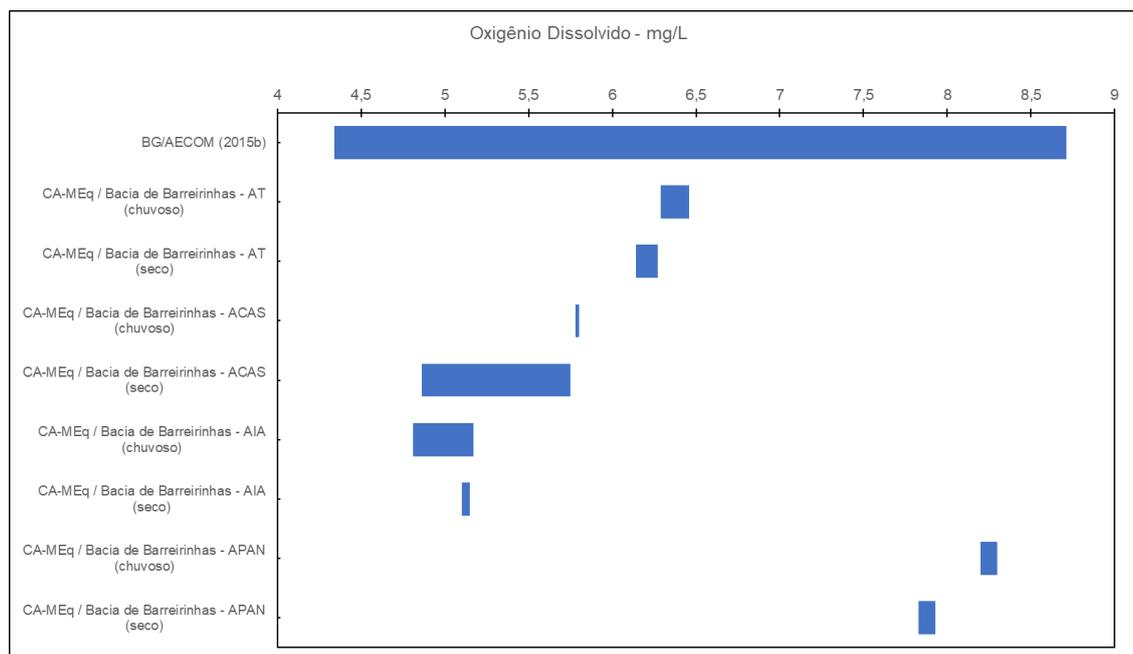
- *Qualidade da Água*
  - *Oxigênio Dissolvido*

Para a CA-MEq / Bacia de Barreirinhas as concentrações de OD no período chuvoso variaram entre 4,81 e 8,30 mg/L, estando dentro dos limites observados por BG/AECOM (2015b). Para a AT, os valores variaram entre 6,29 e 6,46 mg/L, com média de 6,34 mg/L. Na profundidade da ACAS os valores máximos, mínimos e médios foram de 5,80, 5,78 e 5,79 mg/L, respectivamente. Para a AIA, estes valores foram de 4,81, 5,17 e 5,03 mg/L, respectivamente. Por fim, na profundidade da APAN, o valor amostrado foi de 8,3 mg/L. As concentrações de OD na campanha do período seco variaram entre 4,86 mg/L e 7,93 mg/L. As massas d'água apresentaram concentrações médias semelhantes às verificadas na campanha do período chuvoso, sendo o valor médio máximo associado à APAN (7,93 mg/L), seguido da AT (6,23 mg/L), e os valores médios mínimos associados à AIA (5,12 mg/L) e ACAS (5,48 mg/L).

Já para BG/AECOM (2015b), as concentrações de OD variaram entre 4,34 e 8,71 mg/L, com valor médio e desvio padrão iguais a 5,86 e 0,88 mg/L, respectivamente. A variação horizontal das concentrações de OD não revelou um padrão claro de distribuição, mas verticalmente nota-se que concentrações mais elevadas foram observadas no estrato sub-superficial e acima da termoclina, o que pode ser associada a uma variabilidade natural.



**Figura II.6.1.2.1-2** abaixo mostra os valores mínimos, médios e máximos reportados por tais estudos.



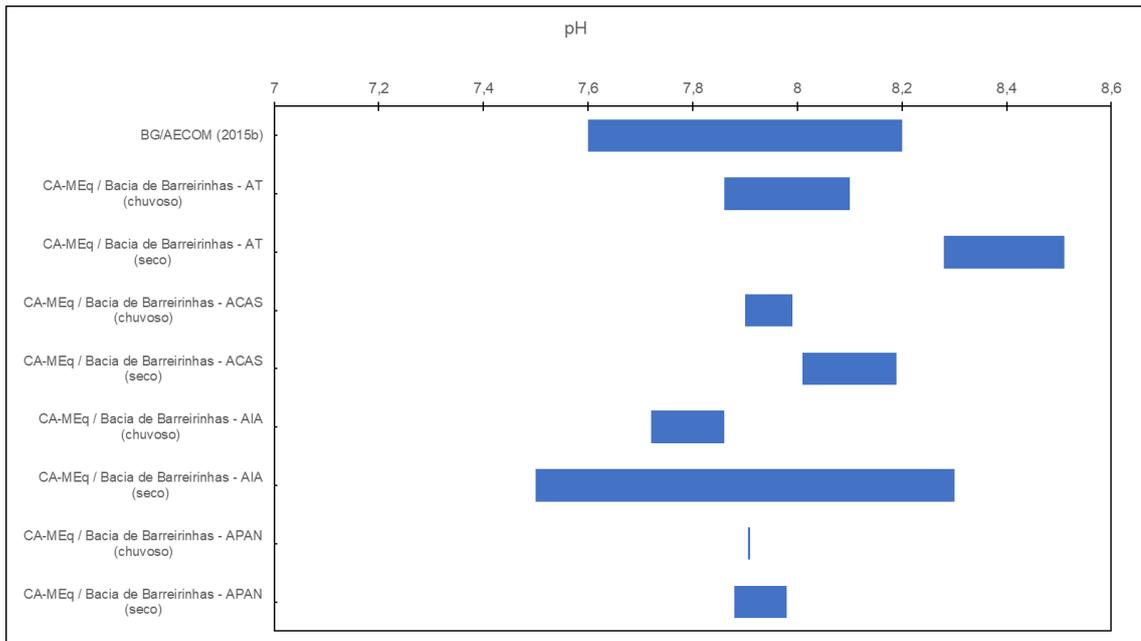
**Figura II.6.1.2.1-2** – Variação da concentração de oxigênio dissolvido na Bacia de Barreirinhas, de acordo com os estudos consultados.

□ pH

Para a CA-MEq / Bacia de Barreirinhas o pH no período chuvoso variou entre 7,72 e 8,14, estando dentro dos limites observados por BG/AECOM (2015b). Para a AT, os valores variaram entre 7,86 e 8,10, com média de 7,99. Na profundidade da ACAS os valores máximos, mínimos e médios foram de 7,90, 7,99 e 7,95, respectivamente. Para a AIA, estes valores foram de 7,72, 7,86 e 7,79, respectivamente. Por fim, na profundidade da APAN, o valor foi de 7,91. Na campanha do período seco, os valores de pH oscilaram entre 7,50 e 8,51. Os resultados nas diferentes profundidades foram ligeiramente superiores aos verificados durante o período chuvoso, porém também apresentaram pequena variação entre amostras e o padrão de distribuição vertical foi semelhante. Valores mais elevados de pH ocorreram da superfície até 50 m (AT) – variando de 8,26 a 8,51, seguidos de uma diminuição em 250 e 800 m de profundidade, associados a ACAS (8,01 a 8,19) e AIA (7,50 a 8,30), voltando a se elevar ligeiramente em 2.300 m, na APAN (7,98).

Já para BG/AECOM (2015b), a variação do pH foi pequena, com valor médio igual a 8,0 e desvio padrão 0,2. Os valores mínimo e máximo equivalem a 7,6 e 8,2. Em geral, os perfis foram similares entre si, com tendência a valores menores de pH com a profundidade.

A **Figura II.6.1.2.1-3** abaixo mostra os valores mínimos, médios e máximos reportados por tais estudos.



**Figura II.6.1.2.1-3** – Variação do pH na Bacia de Barreirinhas de acordo com os estudos consultados.

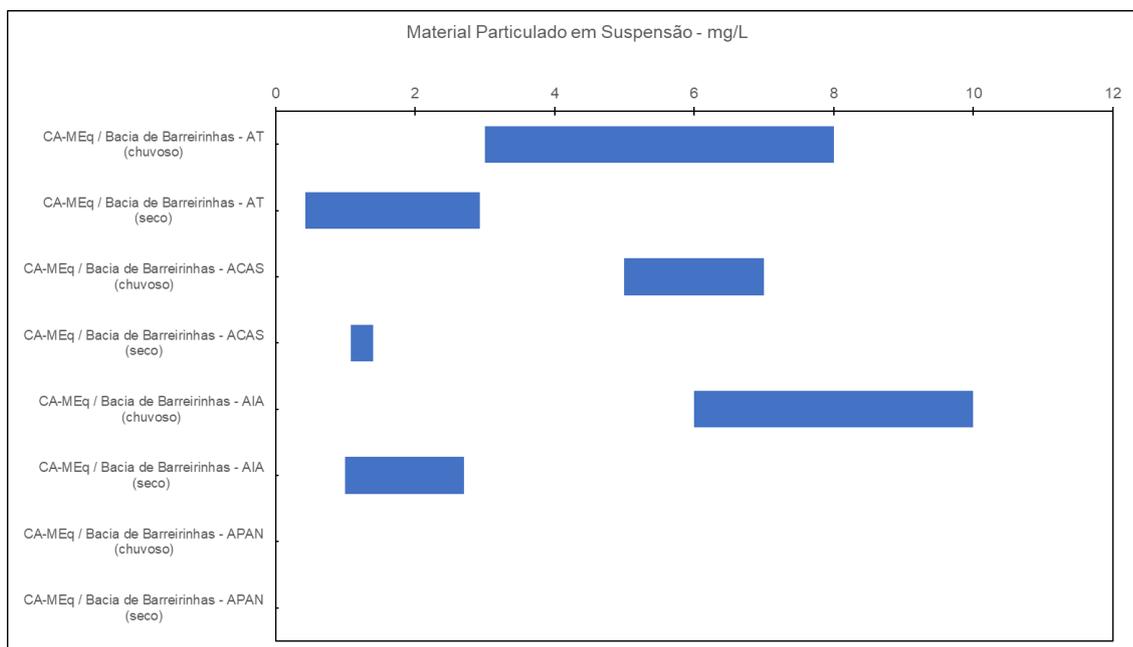
□ *Sólidos totais e suspensos*

Para o estudo de BG/AECOM (2015b), os sólidos totais variaram entre 38,96 e 41,04 mg/L (média e desvio padrão iguais a 40,24 e 0,70 mg/L, respectivamente); os suspensos totais oscilaram entre 0,52 e 0,81 mg/L, com média e desvio padrão iguais a 0,64 e 0,05 mg/L, respectivamente. Já os dissolvidos totais apresentaram valores mínimo e máximo equivalentes a 38,33 e 40,26 mg/L, média e desvio padrão iguais a 39,60 e 0,68 mg/L, nesta ordem. Tomando as médias de todas as estações por camada amostrada, cada uma apresenta contribuição de 98% de sólidos dissolvidos para o total de sólidos encontrados na água.

□ *Material Particulado em Suspensão*

Na CA-MEq / Bacia de Barreirinhas os valores de Material Particulado em Suspensão (MPS) no período chuvoso variaram de <3,0 a 10,0 mg/L. Para a AT, o valores variaram entre <3,0 e 8,0 mg/L, com média de 6,7 mg/L. Na profundidade da ACAS os valores máximos, mínimos e médios foram de 7,0, 5,0 e 6,0 mg/L, respectivamente. Para a AIA, estes valores foram de 6,0, 10,0 e 8,3 mg/L, respectivamente. Por fim, na profundidade da APAN, os valores foram constantes em <3,0 mg/L. No período seco as concentrações de MPS os valores médios para AT, ACAS, AIA e APAN foram de 1,7, 1,2, 1,7 e 1,9 mg/L, todos inferiores aos obtidos para a estação chuvosa. Os valores máximos para estas massas d'água, na estação seca foram, respectivamente: 2,9, 1,4, 2,7 e 1,9 mg/l. Esse resultado é coerente com o esperado, uma vez que no período chuvoso a influência continental tende a ser maior devido à intensificação das descargas dos rios.

A **Figura II.6.1.2.1-4** abaixo mostra os valores mínimos, médios e máximos reportados pela CA-MEq / Bacia de Barreirinhas



**Figura II.6.1.2.1-4** – Variação da concentração de Material Particulado em Suspensão na Bacia de Barreirinhas.

□ *Amônia, nitrito e nitrato*

Para CA-MEq / Bacia de Barreirinhas, nos períodos chuvoso e seco todos os valores de amônia variaram de não detectável (ND), ou 1,429  $\mu\text{mol/L}$ , a 0,81  $\mu\text{mol/L}$ , com máximo na estação superficial na isóbata de 50 m. No período seco variaram de não detectável a 0,37  $\mu\text{mol/L}$ .

As concentrações de nitrito variaram de ND (0,357  $\mu\text{mol/L}$ ) em 85% das medições a 0,3  $\mu\text{mol/L}$  no período chuvoso, a 50 m de profundidade na isóbata de 400 m. No período seco os dados coletados estiveram abaixo do LD de método.

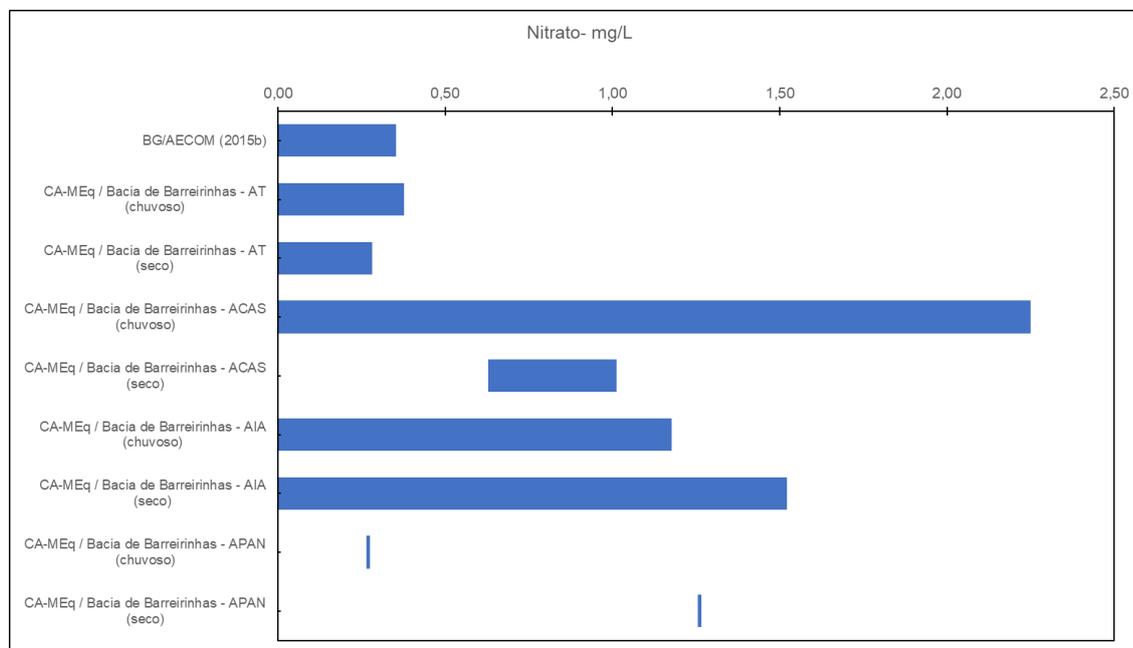
Já para o nitrato na estação chuvosa, os valores oscilaram desde abaixo do LD a 36,27  $\mu\text{mol/L}$  (2,24 mg/L). Para a AT, os valores variaram de ND a 1,65  $\mu\text{mol/L}$  (0,10 mg/L). Na profundidade da ACAS os valores mínimos e máximos, ND a 36,27  $\mu\text{mol/L}$  (2,25 mg/L), respectivamente. Para a AIA, estes valores foram de ND a 19,00  $\mu\text{mol/L}$  (1,18 mg/L). Por fim, na profundidade da APAN, a concentração é de 4,28  $\mu\text{mol/L}$  (0,27 mg/L). No período seco foi verificado o mesmo padrão observado no período chuvoso, com concentrações menores nas camadas superficiais da coluna d'água (máximo de 4,55  $\mu\text{mol/L}$  – 0,28 mg/L), em geral inferiores ao limite de detecção, e mais elevadas em profundidade, associadas às massas d'água ACAS (ND a 16,33  $\mu\text{mol/L}$  – 1,01 mg/L), AIA (ND a 24,54  $\mu\text{mol/L}$  – 1,52 mg/L) e APAN (20,26  $\mu\text{mol/L}$  – 1,25 mg/L).

Para o estudo de BG/AECOM (2015b), o nitrogênio amoniacal variou entre menor que 0,0046 (LD) e 0,0083 mg/L N, com valor médio e desvio padrão iguais a 0,0008 e 0,0019 mg/L N, respectivamente. As concentrações de nitrito oscilaram entre menor que 0,0003 (LD) e 0,0012 mg/L N, com média e desvio padrão iguais a 0,0003 e 0,0004 mg/L N, nesta ordem. Por fim, o nitrato apresentou concentrações entre 0,0021 e 0,3545 mg/L, com média e desvio padrão equivalentes a 0,1337 e 0,1168 mg/L N, respectivamente. O nitrogênio amoniacal e o nitrito apresentaram diversas amostras com concentrações não-detectáveis (85 e 51% do total, respectivamente), mas quando detectadas, revelaram aumento de concentração com a profundidade.

As variações retrataram os processos naturais, com aumento das concentrações com o aumento da profundidade, em resposta ao consumo pelo

fitoplâncton nas camadas superiores, onde não há limitação de luz para a fotossíntese.

A **Figura II.6.1.2.1-5** abaixo mostra a variação da concentração de nitrato reportada por tais estudos.



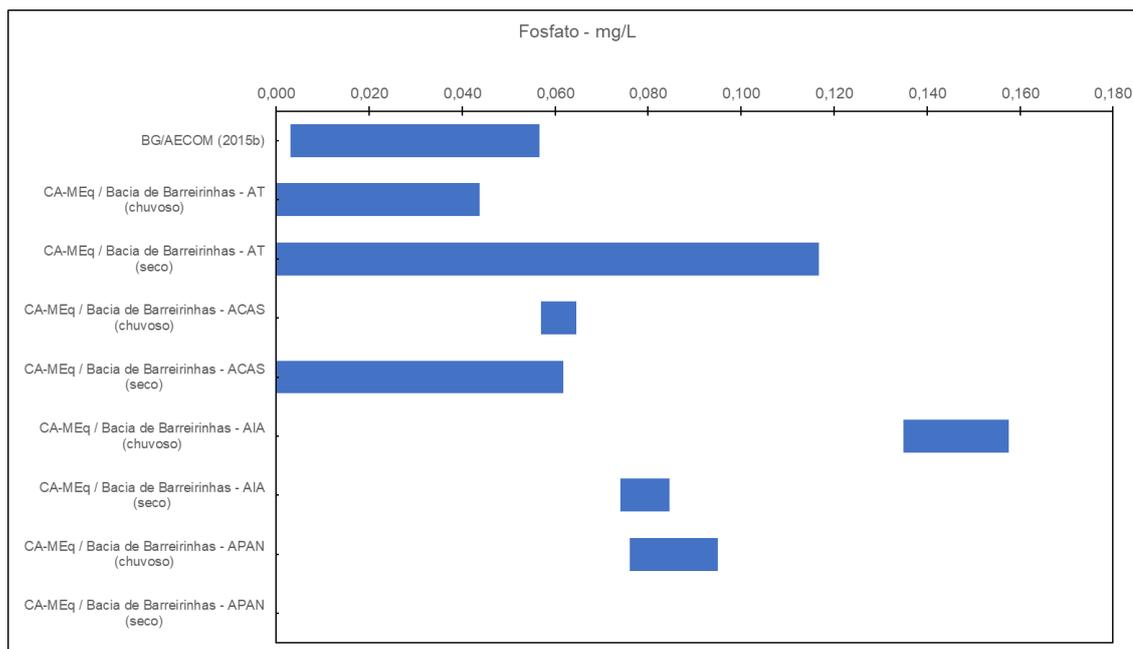
**Figura II.6.1.2.1-5** – Variação da concentração de nitrato na Bacia de Barreirinhas, de acordo com os estudos consultados.

□ **Fosfato**

Para a CA-MEq / Bacia de Barreirinhas, no período chuvoso as concentrações oscilaram de não detectável (ND) ou menor que 0,11  $\mu\text{mol/L}$  a 1,66  $\mu\text{mol/L}$  (0,158 mg/L). Para a AT, os valores máximos foram de 0,46  $\mu\text{mol/L}$  (0,044 mg/L). Na profundidade da ACAS os valores variaram de 0,60 a 0,68  $\mu\text{mol/L}$  (0,057 a 0,065 mg/L). Para a AIA, as concentrações variaram de 1,42  $\mu\text{mol/L}$  a 1,66  $\mu\text{mol/L}$ . Por fim, na profundidade da APAN, encontrou-se 0,8  $\mu\text{mol/L}$  (0,076 mg/L). Na campanha do período seco, as concentrações de fosfato oscilaram de ND a 1,23  $\mu\text{mol/L}$  (0,117 mg/L). Nas camadas superiores da coluna d'água até 50 m (associados à AT), as concentrações variaram de ND a 1,23  $\mu\text{mol/L}$  (0,117 mg/L). Na profundidade referente à ACAS (250 m), variou de ND a 0,65  $\mu\text{mol/L}$  (0,062 mg/L) e na AIA (800 m) de 0,78 a 0,89  $\mu\text{mol/L}$  (0,074 a 0,085 mg/L). A amostra referente à APAN apresentou resultado inferior ao limite de detecção.

Para o estudo de BG/AECOM (2015b), os resultados de fosfato oscilaram entre  $<0,0031$  (LD) e  $0,0566$  mg/L P, com média e desvio padrão iguais a  $0,0185$  e  $0,0159$  mg/L P, nesta ordem.

A **Figura II.6.1.2.1-6** abaixo mostra a variação da concentração reportada por tais estudos.



**Figura II.6.1.2.1-6** – Variação da concentração de fosfato na Bacia de Barreirinhas, de acordo com os estudos consultados.

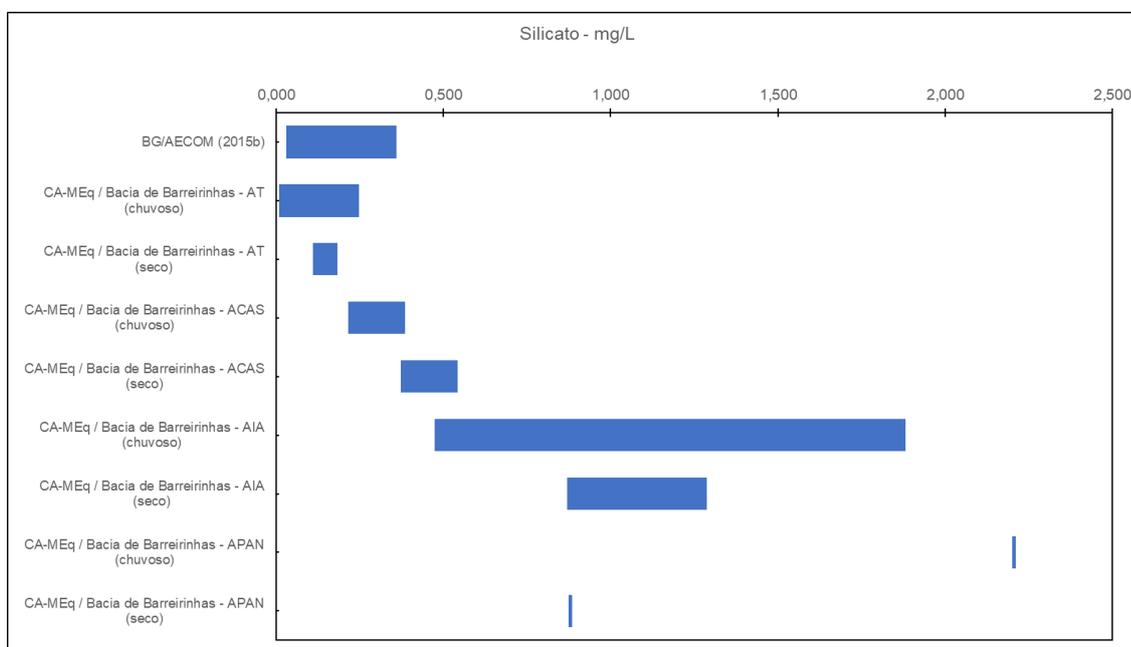
#### □ Silicato

Na CA-MEq / Bacia de Barreirinhas, as concentrações mais baixas no período chuvoso foram detectadas na superfície e os maiores teores de silicato foram encontrados nas camadas mais profundas, relacionadas à AIA. Para a AT, os valores variaram entre  $0,29$   $\mu\text{mol/L}$  e  $3,26$   $\mu\text{mol/L}$  ( $0,022$  a  $0,248$  mg/L). Na profundidade da ACAS os valores mínimos e máximos são  $2,89$   $\mu\text{mol/L}$  a  $5,08$   $\mu\text{mol/L}$  ( $0,220$  a  $0,387$  mg/L) respectivamente. Para a AIA, estes valores foram de  $6,23$   $\mu\text{mol/L}$  a  $24,74$   $\mu\text{mol/L}$  ( $0,474$  a  $1,882$  mg/L). Por fim, na profundidade da APAN, o valor observado foi de  $29,01$   $\mu\text{mol/L}$  ( $2,207$  mg/L). No período seco, a concentração de silicato na AT variou de  $1,44$   $\mu\text{mol/L}$  a  $2,41$   $\mu\text{mol/L}$  ( $0,110$  a  $0,183$

mg/L), na ACAS de 4,90 µmol/L a 7,13 µmol/L (0,373 a 0,542 mg/L), na AIA de 11,43 µmol/L a 16,92 µmol/L (0,870 a 1,287 mg/L) e na APAN 11,64 µmol/L (0,886 mg/L).

Para o estudo de BG/AECOM (2015b) foi observado para o silicato incrementos de concentração em direção aos estratos mais profundos. Considerando todas as amostras, os valores oscilaram entre <0,0300 (LD) e 0,3607 mg/L, com média e desvio padrão iguais a 0,0800 e 0,0950 mg/L, respectivamente. O estudo destacou que dentre as amostras de superfície, 91% não apresentou concentrações acima do limite de detecção.

A **Figura II.6.1.2.1-7** abaixo mostra a variação de concentração reportada por tais estudos.



**Figura II.6.1.2.1-7** – Variação da concentração de silicato na Bacia de Barreirinhas, de acordo com os estudos consultados.

□ *Carbono orgânico particulado, dissolvido e total*

Na CA-MEq / Bacia de Barreirinhas no período chuvoso, os valores de concentração de carbono orgânico dissolvido (COD) e particulado (COP) variaram de não quantificável a 2,0 mg/L, limite de quantificação do método, o que significa que não foi possível quantificar precisamente os teores de COD e COP nas

amostras, mas sabe-se que estão abaixo de 2,00 mg/L e acima de 1,00 mg/L. Já para o carbono orgânico total (COT), o valor de 3,0 mg/L foi encontrado em todas as estações e profundidades, com exceção da amostra coletada na superfície em isóbata de 1000 m, que teve valor 4,0 mg/L.

Na campanha do período seco a maioria dos resultados de carbono orgânico dissolvido (COD) esteve abaixo do limite de detecção do método, estabelecido em 1,00 mg/L. Os valores detectáveis estiveram em maioria abaixo do limite de quantificação, definido em 2,00 mg/L. Neste período, não foram registrados valores detectáveis de carbono orgânico particulado (COP). Em relação à concentração de carbono orgânico total, seus valores estiveram entre não detectável e não quantificável, ou seja, menor que 2,00 mg/L.

Para o estudo de BG/AECOM (2015b) as concentrações de carbono orgânico total variaram entre 0,75 e 1,21 mg/L, e valores médio e desvio padrão iguais a 0,89 e 0,08 mg/L. As concentrações tiveram uma distribuição homogênea tanto horizontal como verticalmente. Os perfis apresentam valores médios semelhantes e desvios padrões baixos, revelando a pouca variabilidade ao longo da coluna d'água amostrada.

#### □ *Sulfetos*

Os dados de sulfetos em CA-MEq / Bacia de Barreirinhas estão abaixo do limite de de detecção do método (0,001 mg/L). Apenas duas estações no período chuvoso foram detectados, ambos na profundidade de 50 m, um não quantificável na estação na isóbata de 1000 m na profundidade e um com 0,04 mg/L na isóbata de 100 m. No período seco todas as amostras estiveram abaixo do limite de detecção.

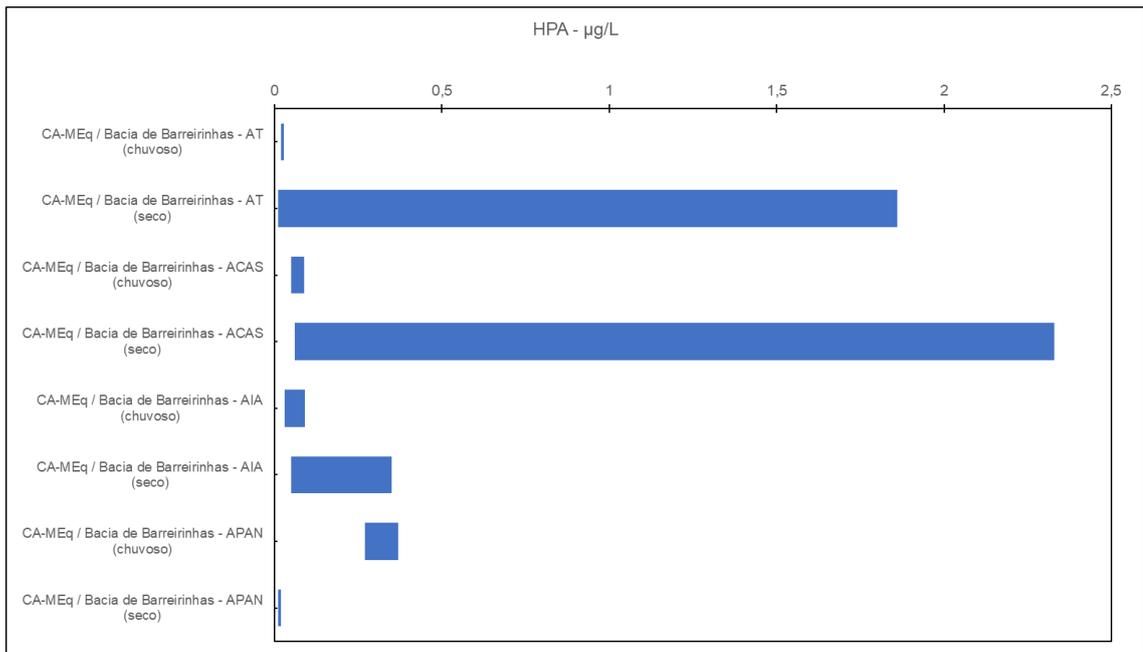
Para o estudo de BG/AECOM (2015b), as amostras não apresentaram concentrações detectáveis. O estudo indica que este resultado revela o estado oxidativo das águas estudadas.

□ *Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP) e Hidrocarbonetos Poliaromáticos (HPA)*

Em CA-MEq / Bacia de Barreirinhas, nos períodos chuvoso e seco não foram encontrados valores detectáveis de HTP. Entretanto, foram observados valores de HPA, sendo que no período chuvoso os valores variaram desde 0,02 a 0,37 µg/L. Para a AT, os valores variaram entre 0,020 e 0,290 µg/L, com média de 0,104 µg/L. Na profundidade da ACAS os valores máximos, mínimos e médios foram de 0,050, 0,160 e 0,088 µg/L, respectivamente. Para a AIA, estes valores foram de 0,030, 0,090 e 0,070 µg/L, respectivamente. Por fim, na profundidade da APAN, o valor observado foi de 0,370 µg/L. No período seco os valores variaram de 0,01 µg/L a 2,33 µg/L, com valores mais elevadas quando comparadas às do período chuvoso. A variação nas diferentes camadas da coluna d'água foi de 0,01 µg/L a 1,86 µg/L na AT, de 0,06 µg/L a 2,33 µg/L na ACAS, e de 0,05 µg/L a 0,35 µg/L na AIA. A amostra coletada na APAN apresentou concentração igual a 0,02 µg/L.

Para o estudo de BG/AECOM (2015b) não foram encontrados valores de HTP e HPA detectáveis.

A **Figura II.6.1.2.1-8** abaixo mostra a variação da concentração reportada por tais estudos.



**Figura II.6.1.2.1-8** – Variação da concentração de hidrocarbonetos poliaromáticos na Bacia de Barreirinhas, de acordo com os estudos consultados.

- *n*-alcanos e mistura complexa não resolvida (MCNR)

A CA-MEq / Bacia de Barreirinhas não encontrou valores detectáveis de *n*-alcanos e MCNR em toda a amostragem, tanto no período chuvoso quanto no período seco.

- *BTEX*

A CA-MEq / Bacia de Barreirinhas não encontrou valores detectáveis de *BTEX* em toda a amostragem, tanto no período chuvoso quanto no período seco.

- *Fenóis*

O estudo de BG/AECOM (2015b) e a CA-MEq / Bacia de Barreirinhas no período chuvoso não encontraram valores detectáveis de fenóis em toda a amostragem. A CA-MEq / Bacia de Barreirinhas no período seco encontrou em apenas duas amostras valores detectáveis: 0,17 µg/L na AT e 1,24 µg/L na profundidade da ACAS.

□ *Considerações finais sobre a qualidade da água na Bacia de Barreirinhas*

A variação horizontal das concentrações de OD não revelou um padrão claro de distribuição, mas verticalmente nota-se que concentrações mais elevadas foram observadas no estrato sub-superficial e acima da termoclina, o que pode ser associada a uma variabilidade natural.

Já os valores de pH observados estiveram dentro dos valores naturalmente, observados em águas oceânicas, com pequenas variações, na ordem de 7,5 a 8,4, devido ao tamponamento provocado pelo sistema dióxido de carbono/água SOARES-GOMES; FIGUEIREDO (2002).

LALLI; PARSONS (1997) destacaram a importância de algumas substâncias inorgânicas, como nitrito, fosfato, silicato, ferro e manganês para o metabolismo do fitoplâncton, agindo como limitantes quando encontrados em baixas concentrações.

De um modo geral, os resultados dos parâmetros caracterizados na CA-MEq têm as concentrações menores que as estabelecidas na CONAMA nº357/2005 para águas salinas Classe 1. Algumas exceções são, por exemplo, o Oxiênio Dissolvido que tem mínimo de 4,85 mg/L, nitrato com máximo de 2,25 mg/L, COT com máximo de 4 mg/L, sulfeto com máximo de 0,04 mg/L e fenóis com máximo de 14,24 µg/L. Dentre estes parâmetros, apenas as concentrações de nitrato foram superiores às da CONAMA em um número significativo de amostras, 28%, nos demais parâmetros os maiores valores ocorrem em menos de 2% das amostras.

As variações dos nutrientes na Bacia de Barreirinhas retrataram os processos naturais, como o aumento das concentrações com o aumento da profundidade, em resposta ao consumo pelo fitoplâncton nas camadas superiores, onde não há limitação de luz para a fotossíntese.

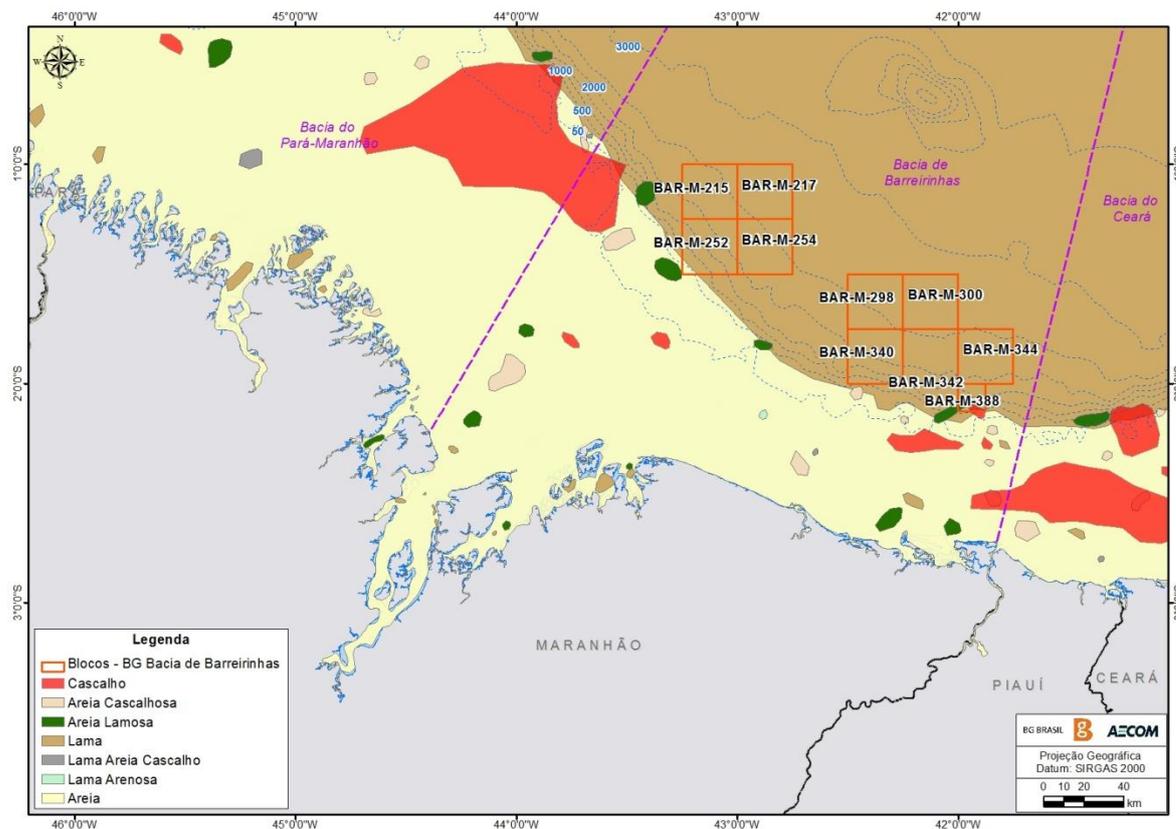
Os resultado de CA-MEq / Bacia de Barreirinhas mostram que o enriquecimento de regiões pela ocorrência da elevação da ACAS, como parece acontecer nos transectos analisados em Barreirinhas, é um fator natural que pode colaborar para o potencial de produção biológica local. Outro fator observado para o enriquecimento de nutrientes, neste caso em direção ao fundo, pode indicar a remineralização da matéria orgânica produzida na região fótica, a qual, em

processo de decantação na coluna d'água, sofre deterioração através da degradação realizada pela comunidade bacteriana local.

A ausência e/ou baixas concentrações de hidrocarbonetos, n-alcanos, MCNR, BTEX e fenóis nas águas da Bacia de Barreirinhas indicam que as águas estão submetidas às variações naturais.

- *Qualidade do Sedimento*
  - *Granulometria e Carbonatos*

O levantamento de BG/AECOM (2015a) apresentou as classificações granulométricas (baseada em Shepard) para a região oceânica no Nordeste / Norte do país, onde observa-se relação direta com a batimetria / relevo de fundo, com predomínio de areia até a área do talude / quebra da plataforma, seguida de predomínio de lama nas áreas mais profundas - **Figura II.6.1.2.1-9**.



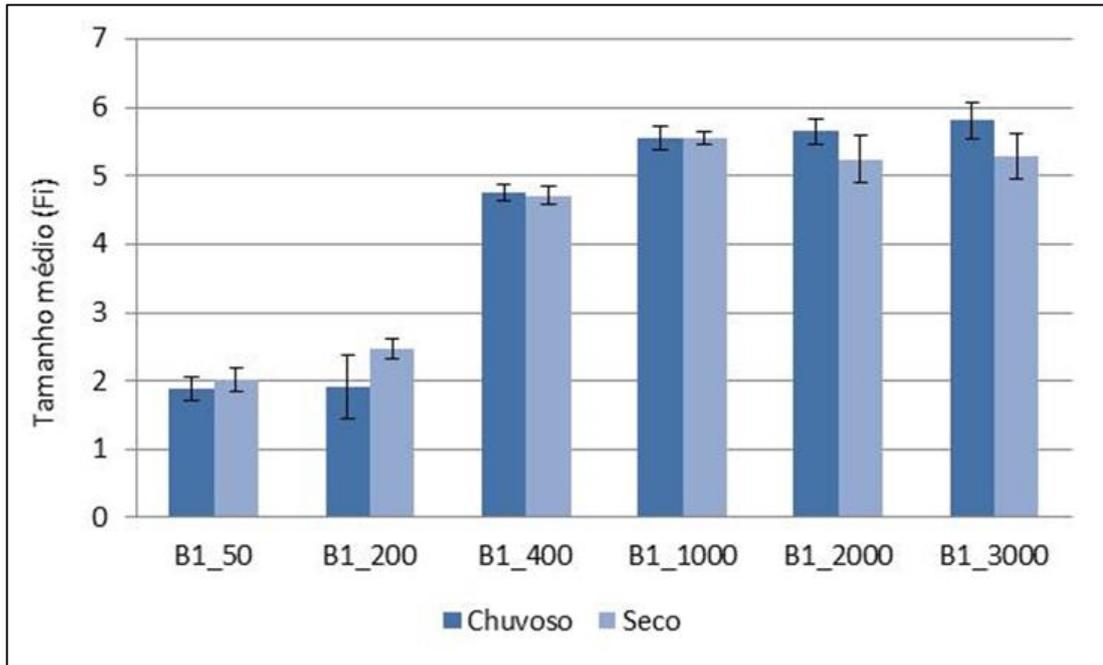
Fonte: BG/AECOM (2015a).

**Figura II.6.1.2.1-9** – Distribuição da granulometria do sedimento em parte da Bacia de Barreirinhas, de acordo com o levantamento do Projeto PIATAM, na "Síntese do Conhecimento sobre a Margem Equatorial Amazônica".

A análise da granulometria de BG/AECOM (2015b) demonstrou predominância de silte na maioria das estações, com exceções de área correspondente ao bloco BAR-M-252, onde a fração arenosa superou ligeiramente a de silte (considerando a média).

Estes resultados corroboram o levantamento de BG/AECOM (2015a) - **Figura II.6.1.2.1-9**. A média geral de contribuição de silte para a granulometria na área estudada correspondeu a 56,66%, seguido pela contribuição de areia com 31,91% e argila com 11,43%. O estudo destacou que não foram observadas contribuições de cascalho em nenhuma estação e também não foi observado padrão em relação à profundidade. O estudo teve as classificações gerais de textura (classificação de Folk) do sedimento como lama arenosa na grande maioria das estações.

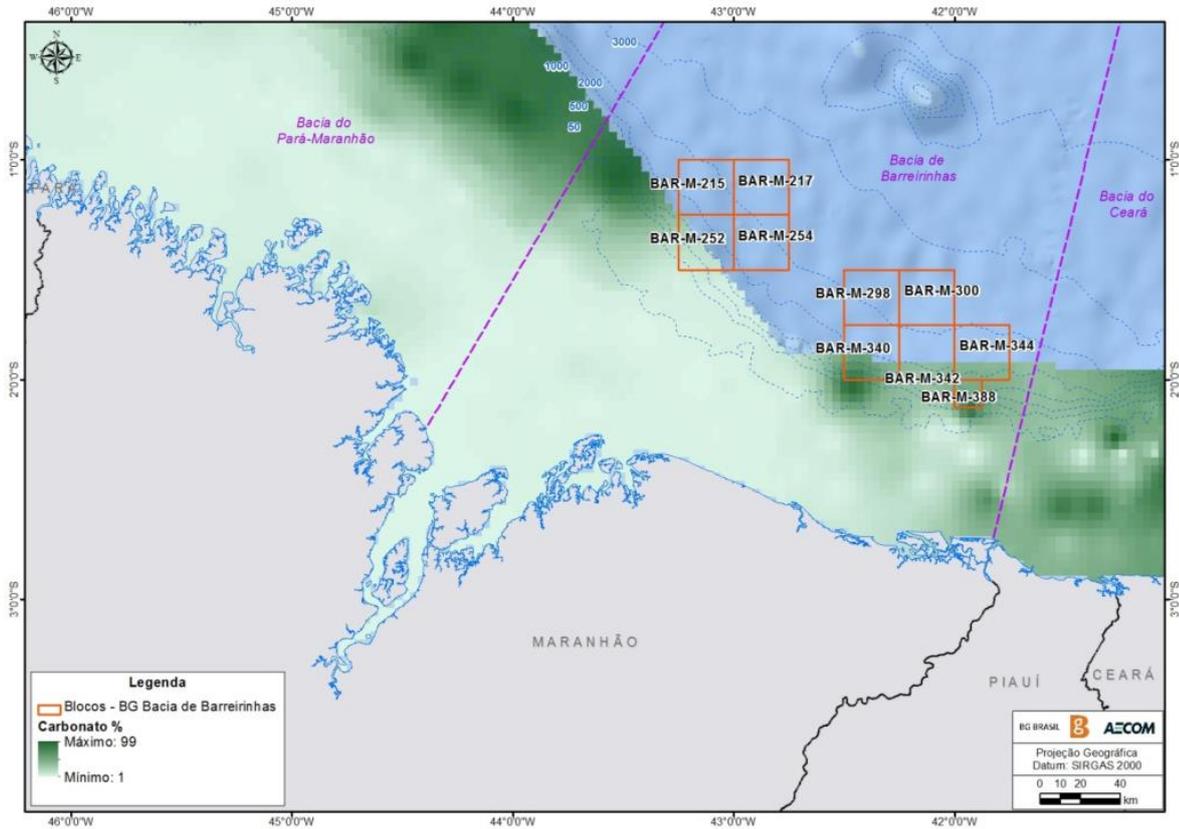
Os resultados da CA-MEq / Bacia de Barreirinhas também estão de acordo com o apresentado nestes estudos, com variação na composição granulométrica entre as estações rasas e profundas, com areias predominando nas estações rasas e silte e argila nas profundas. A textura, segundo a classificação granulométrica de Wentworth, foi definida como areia fina e média nas estações rasas e silte nas profundas. Na maioria das amostras coletadas o material encontrado no substrato marinho apresentou-se entre muito pobremente selecionado (MPS) e moderadamente selecionado (MS), o que indica o efeito da fragmentação de biodetritos nos resultados. A **Figura II.6.1.2.1-10** mostra o tamanho médio dos grãos obtidos nas estações de 50 a 3000 m de profundidade para a CA-Meq / Bacia de Barreirinhas para ambos os períodos chuvoso e seco. Vale ressaltar que na escala fi os menores valores correspondem os maiores tamanhos de grão. Esta figura ressalta que nas estações mais rasas foram encontrados sedimentos mais grossos, enquanto que nas estações mais profundas foram dominantes os sedimentos mais finos.



Fonte: CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA MARGEM EQUATORIAL (CA-MEq)/ Bacia de Barreirinhas

**Figura II.6.1.2.1-10** – Tamanho médio do grão (fi) e desvio padrão ( $\pm$ ). Perfil B1 campanhas dos períodos chuvoso e seco. Bacia de Barreirinhas. O último número de cada estação indica a profundidade de coleta.

Já para os teores de carbonato, o levantamento de BG/AECOM (2015a) englobou uma área menor quando comparada ao levantamento da granulometria - **Figura II.6.1.2.1-11** - a qual é possível observar uma tendência ao aumento dos percentuais de carbonato, com o aumento da profundidade na direção da Bacia de Barreirinhas.

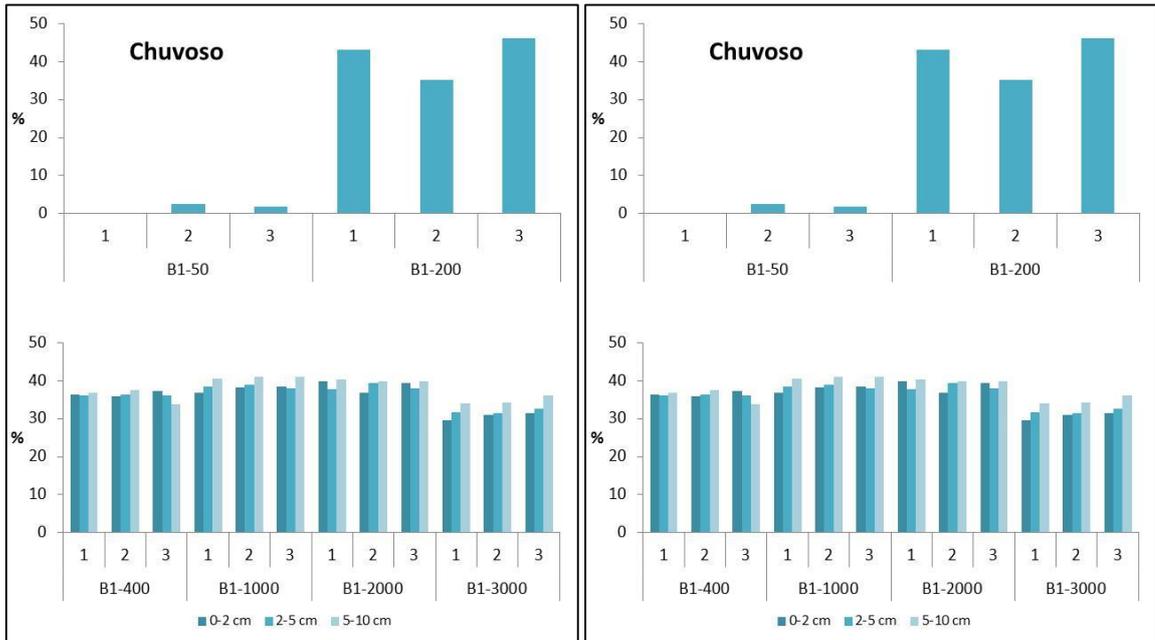


Fonte: BG/AECOM (2015a).

**Figura II.6.1.2.1-11** – Distribuição da concentração de carbonatos do sedimento em parte da Bacia de Barreirinhas, de acordo com o levantamento do Projeto PIATAM, na "Síntese do Conhecimento sobre a Margem Equatorial Amazônica".

O estudo de BG/AECOM (2015b) também observou a tendência a altas concentrações de carbonato ao longo de toda a área estudada, demonstrando também grande homogeneidade, variando de 77,91% a 90,45%. Não foi observado padrão espacial, tanto em relação aos blocos, quanto em relação às profundidades.

Já para a CA-MEq / Bacia de Barreirinhas, tanto na estação chuvosa quanto seca, foi possível visualizar a diferença entre os percentuais de carbonatos obtidos nas amostras coletadas a 50 m de profundidade, significativamente mais baixos, quando comparados com aqueles obtidos a 200 m e em todas as estações amostradas na área profunda (400 a 3000 m) - **Figura II.6.1.2.1-12**. Os valores obtidos nas estações de 50 m são menores que 5%, enquanto que para as estações acima de 200 m os valores chegaram a até 49,24%.



Fonte: CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA MARGEM EQUATORIAL (CA-MEq)/ Bacia de Barreirinhas

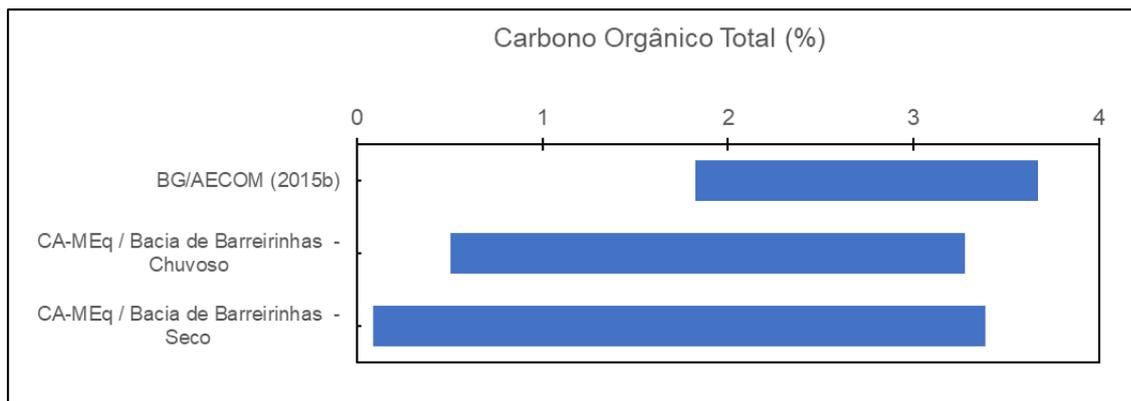
**Figura II.6.1.2.1-12** – Percentuais de carbonatos em sedimentos de área rasa (50 -200 m) – painéis superiores - e área profunda (400 a 3.000 m) – painéis inferiores – para o período chuvoso (esquerda) e seco (direita).

□ **Carbono orgânico total - COT**

O estudo de BG/AECOM (2015b) obteve concentrações de COT ao longo das estações estudadas com valores médios entre 1,82 e 3,67% e não foram observadas diferenças significativas entre os locais amostrados e diferentes profundidades.

Já na CA-MEq / Bacia de Barreirinhas os valores de COT observados foram inferiores, variando desde 0,50% a 50 m de profundidade a 0,08% a 200 m na estação chuvosa e de 0,08 a 3,39% na estação seca.

A **Figura II.6.1.2.1-13** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concordância entre eles.



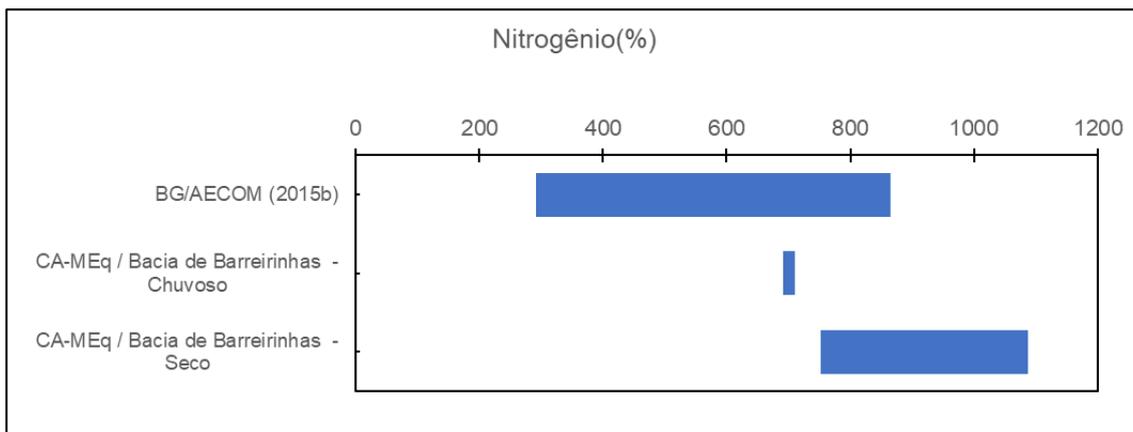
**Figura II.6.1.2.1-13** – Concentração de carbono orgânico total nos sedimentos da Bacia de Barreirinhas, de acordo com os estudos consultados.

□ *Nutrientes – Nitrogênio e Fósforo*

No estudo de BG/AECOM (2015b) a média de nitrogênio Kjeldahl total correspondeu a 502,4 mg/kg, com valores variando desde 289,9 a 865,9 mg/kg. A distribuição das concentrações demonstrou influência espacial, com as estações distribuídas a sudoeste na Bacia tendendo a concentrações maiores, enquanto as estações a nordeste tenderam a concentrações mais baixas.

Na CA-MEq / Bacia de Barreirinhas, na estação chuvosa a faixa média de concentração de nitrogênio total variou de 69 mg/kg (50 m) a 751 mg/kg (3000 m), com maiores valores nas estações mais profundas. Já na estação seca os valores variaram de 751 mg/kg a 1087 mg/kg. Os valores obtidos nas estações profundas estão de acordo com os valores obtidos por BG/AECOM (2015b).

A **Figura II.6.1.2.1-14** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concordância entre eles.

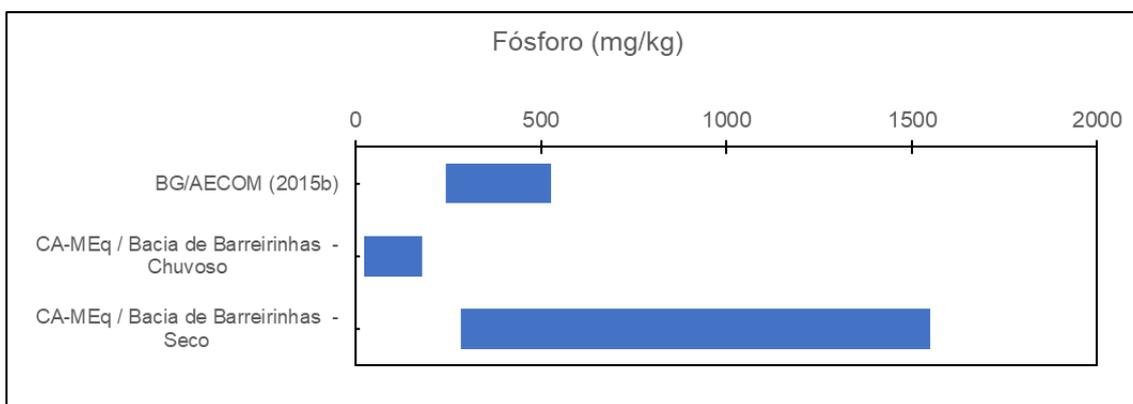


**Figura II.6.1.2.1-14** – Concentração de nitrogênio nos sedimentos da Bacia de Barreirinhas, de acordo com os estudos consultados.

Para o fósforo total o estudo de BG/AECOM (2015b) obteve concentrações com variações espaciais similares às observada para o nitrogênio, e concentrações médias variando entre 241,0 e 528,0 mg/kg. O estudo ressalta que as concentrações de fósforo apresentaram correlação positiva forte com as concentrações de silte, ratificando a característica dos sedimentos mais finos de acumular matéria orgânica.

Correlação similar foi observada na CA-MEq / Bacia de Barreirinhas, com concentrações de fósforo total variando na estação chuvosa de 179 mg/kg (50 m) a 1551 mg/kg (1000 m) e na estação seca de 280 a 1551 mg/kg.

A **Figura II.6.1.2.1-15** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concordância entre eles.



**Figura II.6.1.2.1-15** – Concentração de fósforo nos sedimentos da Bacia de Barreirinhas, de acordo com os estudos consultados.

□ *Enxofre e sulfetos*

A distribuição de concentrações de enxofre e sulfeto totais na CA-MEq / Bacia de Barreirinhas tiveram variação de distribuição semelhantes às observadas para o nitrogênio e fósforo, com maiores valores nas estações mais profundas, com predominância de silte. Neste estudo as concentrações de enxofre variaram de 21 mg/kg (50 m) a 1647 mg/kg (1000 m) no período chuvoso e de não detectável a 2288 mg/kg (2000 m) na estação seca. Já as concentrações de sulfetos variaram de 0,20 (200 m) a 1,67 mg/kg (3000 m) no período chuvoso e não foram detectadas nas amostras do período seco.

□ *Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP) e Hidrocarbonetos poliaromáticos (HPA)*

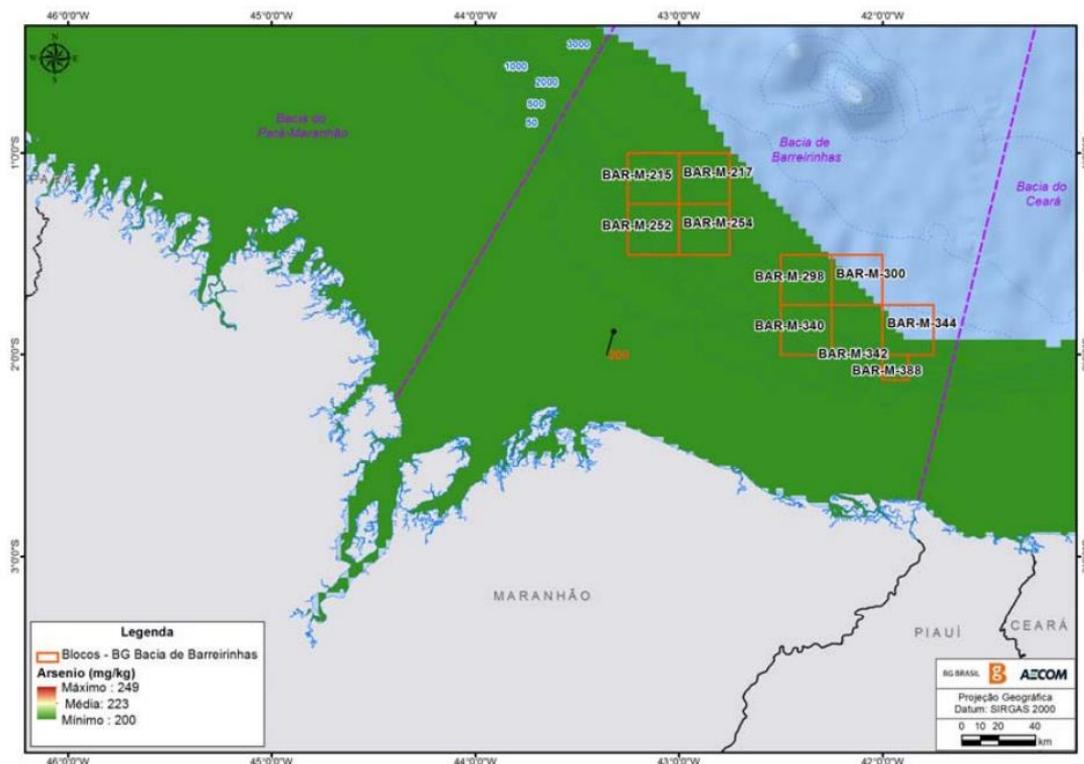
O estudo de BG/AECOM (2015b) não encontrou valores de HTP e HPA detectáveis nas amostras de sedimentos na Bacia de Barreirinhas. A CA-MEq / Bacia de Barreirinhas também não observou a presença de HPA nos sedimentos analisados, tanto no período chuvoso quanto no período seco. Para o HTP, este estudo observou valores variando desde 2,00 (50 m) a 5,33 (1000 m) mg/kg no período chuvoso e 2,00 (3000 m) a 5,0 mg/kg (400 m) no período seco. Como valores de referência para a análise da qualidade ambiental baseada nas concentrações de HTP em sedimentos marinhos têm sido mencionados na faixa de 100 mg/kg, para sedimentos não poluídos (VOLKMAN et al., 1980), e entre 300 e 5000 mg/kg, para sedimentos comprovadamente poluídos (ZHANG et al., 2000), mostrando que os valores obtidos por este último estudo estão dentro da faixa de oscilações naturais.

□ *Metais e Semimetais (As, Al, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, V, Zn)*

– *Arsênio – As*

O estudo de BG/AECOM (2015a) obteve valores de As com distribuição homogênea na área, apresentando valores em torno de 200 mg/kg - **Figura II.6.1.2.1-16.**

Já o estudo de BG/AECOM (2015b) não identificou a presença de As nos sedimentos analisados.



Fonte: BG/AECOM (2015a).

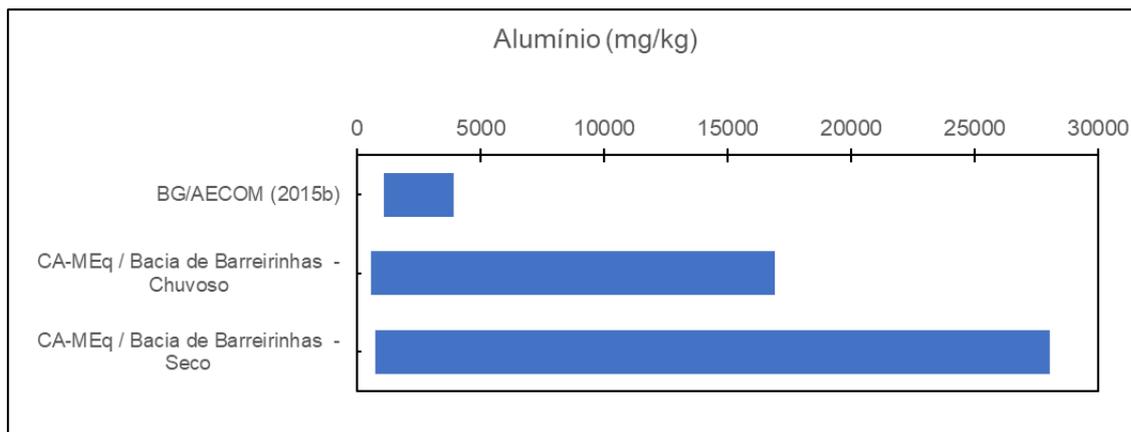
**Figura II.6.1.2.1-16** – Distribuição da concentração de arsênio no sedimento em parte da Bacia de Barreirinhas, de acordo com o levantamento do Projeto PIATAM, na "Síntese do Conhecimento sobre a Margem Equatorial Amazônica".

#### – Alumínio – Al

No estudo de BG/AECOM (2015b) os valores referentes ao metal Al apresentaram concentrações variando entre 1032,6 e 3892,9 mg/kg, com média de 2077,3 mg/kg.

A CA-MEq / Bacia de Barreirinhas encontrou no período chuvoso valores variando desde 514 mg/kg (50 m) a 16.898 mg/kg na profundidade de 3000 m, e 702 mg/kg (50 m) a 28043 mg/kg (3000 m) na estação seca, com maiores valores nas maiores profundidades.

A **Figura II.6.1.2.1-17** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concondância entre eles.



**Figura II.6.1.2.1-17** – Concentração de alumínio nos sedimentos da Bacia de Barreirinhas, de acordo com os estudos consultados.

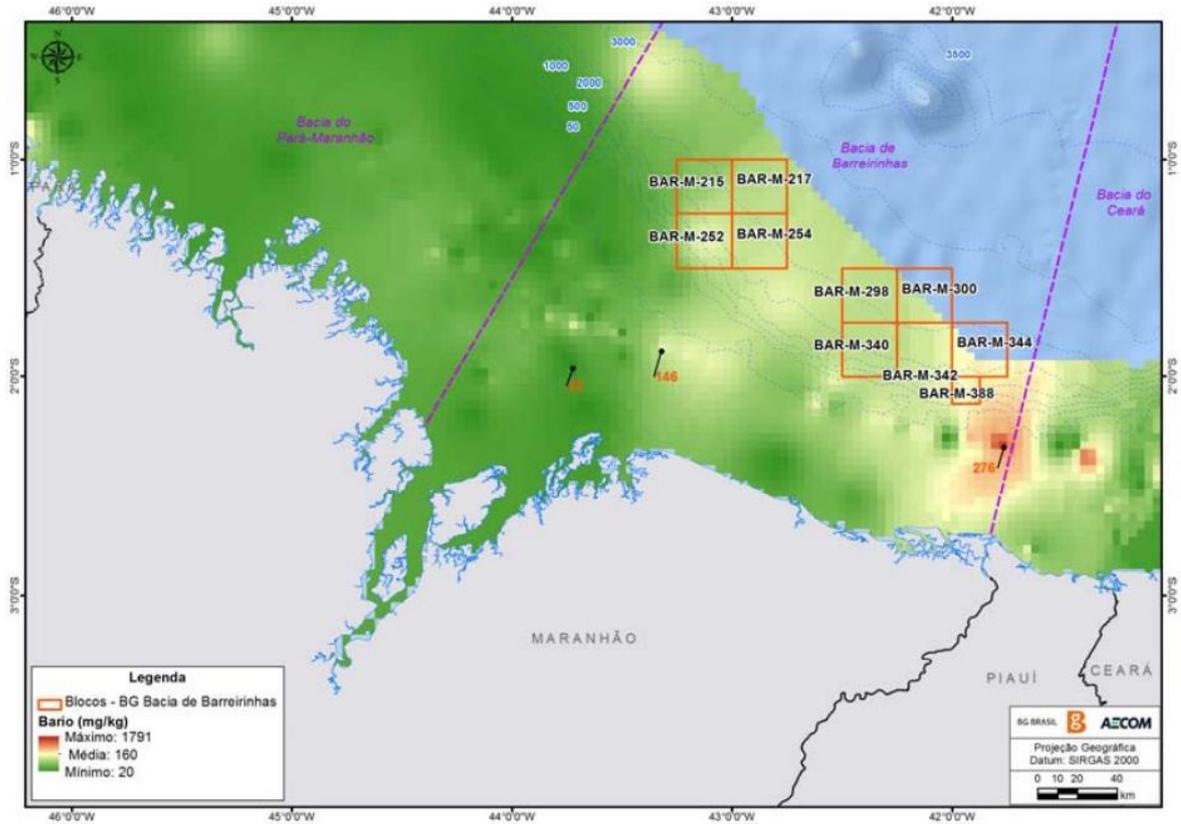
– Bário – Ba

BG/AECOM (2015a) encontrou para o Ba no sedimento uma distribuição bastante heterogênea, com concentrações variando de 20 a 276 mg/kg na Bacia de Barreirinhas - **Figura II.6.1.2.1-18**.

No estudo de BG/AECOM (2015b) para o metal Ba, as concentrações apresentaram média de 54,1 mg/kg, com variação entre 20,0 e 76,1 mg/kg.

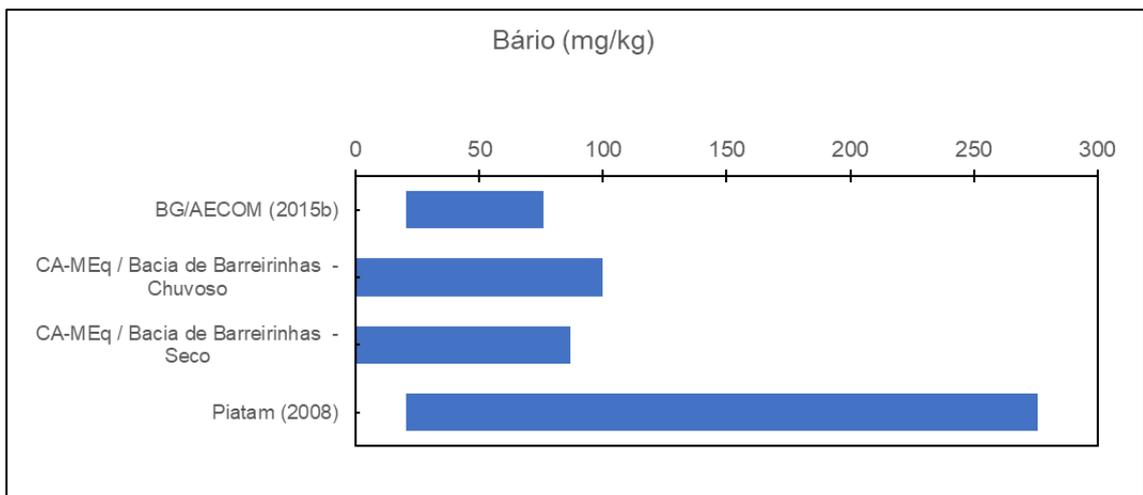
Já a CA-MEq / Bacia de Barreirinhas encontrou, na estação chuvosa, valores variando desde abaixo do limite de detecção nas estações de 50 m a 100 mg/kg na isóbata de 2000 m, e no período chuvoso desde abaixo do limite de detecção (50 m e maiores que 2000 m) a 87 kg/mg (1000 m), indicando maiores valores em maiores profundidades.

A **Figura II.6.1.2.1-19** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concordância entre eles.



Fonte: BG/AECOM (2015a).

**Figura II.6.1.2.1-18** – Distribuição da concentração de bário no sedimento em parte da Bacia de Barreirinhas, de acordo com o levantamento do Projeto PIATAM, na "Síntese do Conhecimento sobre a Margem Equatorial Amazônica".



**Figura II.6.1.2.1-19** – Concentração de bário nos sedimentos da Bacia de Barreirinhas, de acordo com os estudos consultados.

– *Cádmio – Cd*

O estudo de BG/AECOM (2015a) e BG/AECOM (2015b) não apresentou concentrações de Cd nos sedimentos.

Já a CA-MEq / Bacia de Barreirinhas não encontrou valores quantificáveis em profundidades inferiores a 200 m, tanto na estação seca quanto na estação chuvosa. Nas estações em maiores profundidades, os valores foram praticamente homogêneos, variando desde 0,3 mg/kg a 0,5 mg/kg, na estação chuvosa, e de 0,2 mg/kg a 0,6 mg/kg na estação seca. Na estação chuvosa não foi observado um padrão definido de distribuição e, na estação chuvosa, os maiores valores foram encontrados na profundidade de 3000 m.

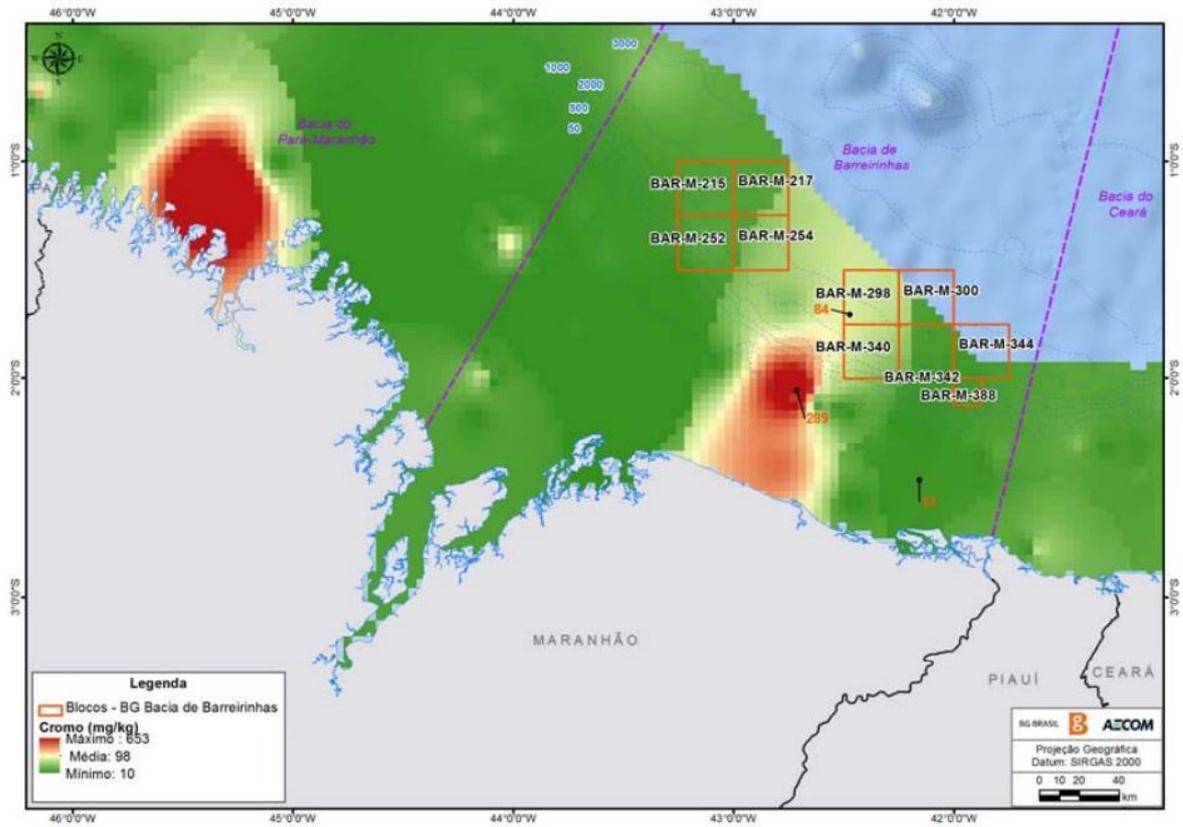
– *Cromo – Cr*

O estudo BG/AECOM (2015a) encontrou distribuições variáveis de Cr no sedimento, variando de 10 a 289 mg/kg, com valores na região central superiores às porções leste e oeste da Bacia - **Figura II.6.1.2.1-20**.

No estudo de BG/AECOM (2015b) a concentrações de Cr na área estudada teve baixos valores, variando de abaixo do limite de quantificação (cerca de 10 mg/kg) até 24,03 mg/kg, com tendência de diminuição com o aumento da profundidade.

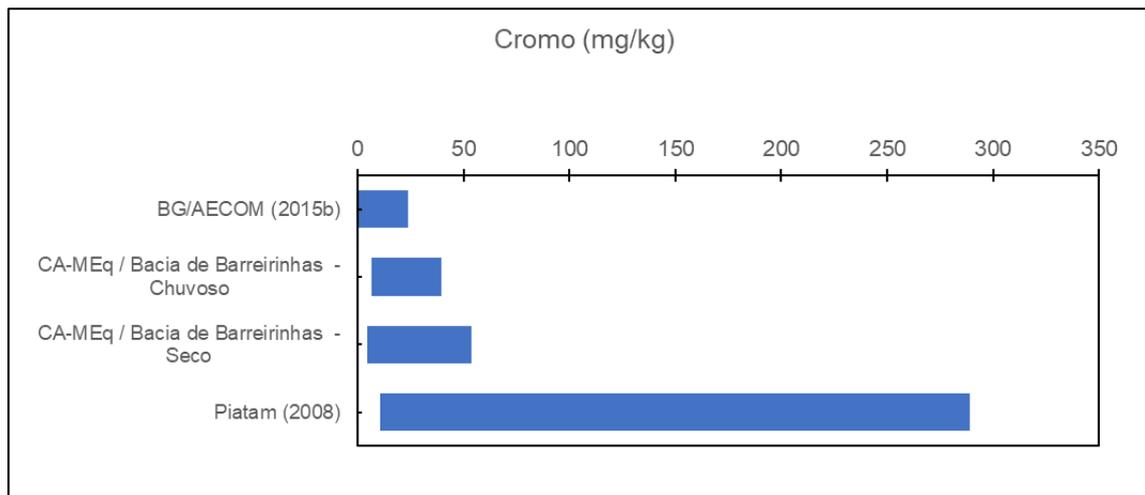
A CA-MEq / Bacia de Barreirinhas encontrou, no período chuvoso, valores praticamente homogêneos de Cr em profundidades acima de 400 m, variando desde 29,8 mg/kg a 39,4 mg/kg. Em profundidades menores – 50 m e 200 m, os valores foram inferiores, de 6,1 a 24,8 mg/kg. Já no período seco os valores variaram de 3,9 mg/kg a 53,6 mg/kg, também com menores valores nas profundidades menores que 50 m.

A **Figura II.6.1.2.1-21** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concordância entre eles.



Fonte: BG/AECOM (2015a).

**Figura II.6.1.2.1-20** – Distribuição da concentração de cromo no sedimento em parte da Bacia de Barreirinhas, de acordo com o levantamento do Projeto PIATAM, na "Síntese do Conhecimento sobre a Margem Equatorial Amazônica".



**Figura II.6.1.2.1-21** – Concentração de cromo nos sedimentos da Bacia de Barreirinhas, de acordo com os estudos consultados.

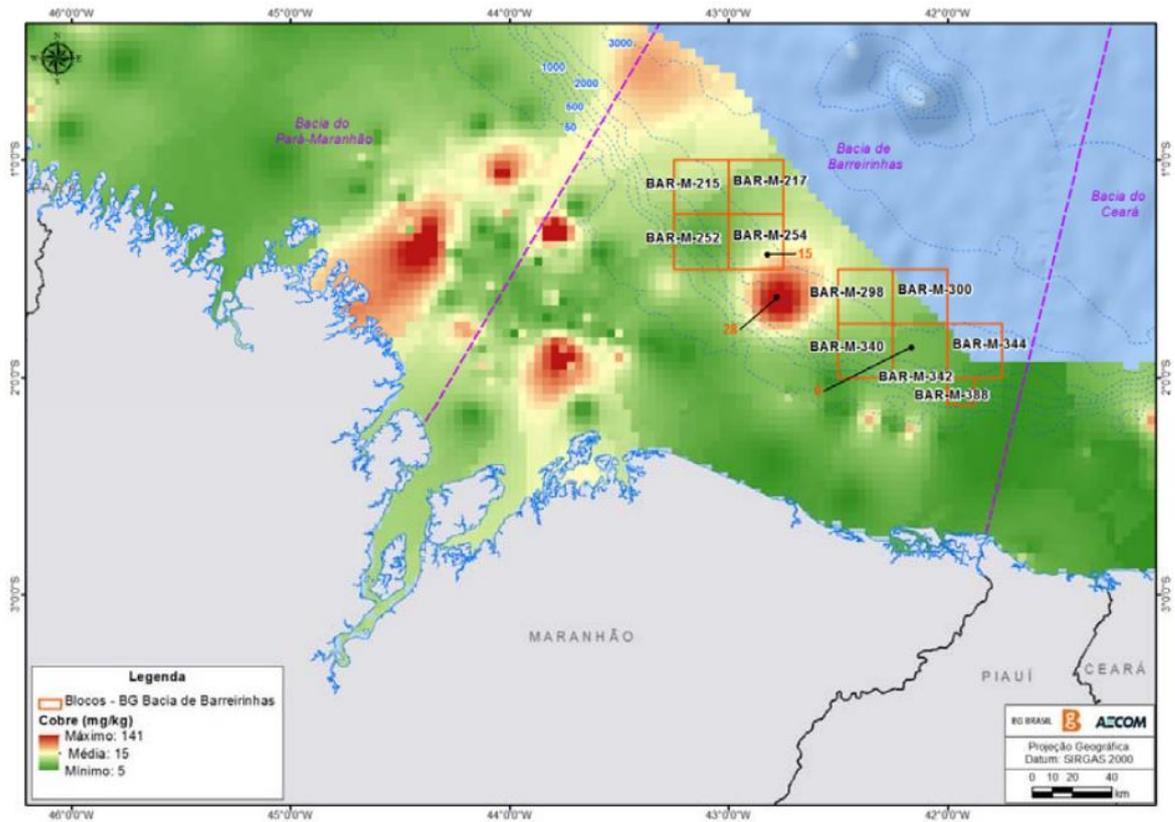
– Cobre – Cu

O estudo de BG/AECOM (2015a) encontrou valores de Cu variando entre 5 e 28 mg/kg na Bacia de Barreirinhas, com regiões isoladas, tanto na parte central quanto oeste - **Figura II.6.1.2.1-22**.

No estudo de BG/AECOM (2015b) as concentrações de Cu variaram de abaixo do limite de quantificação (cerca de 4,00 mg/kg ) até 9,14 mg/kg, com ligeira tendência de aumento das concentrações com a profundidade.

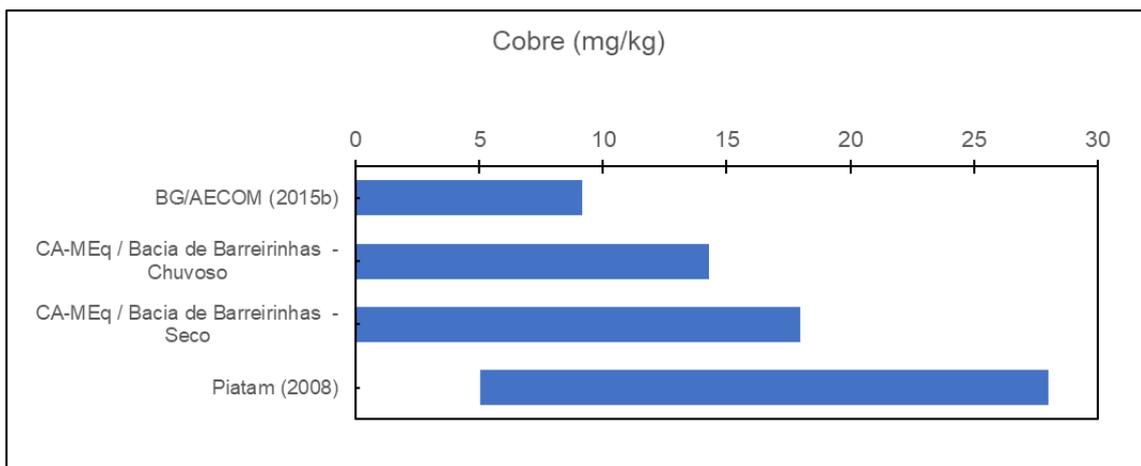
A CA-MEq / Bacia de Barreirinhas, tanto no período chuvoso quanto seco, também teve valores aumentando de acordo com a profundidade, desde valores não detectáveis na profundidade de 50 m a 14,3 mg/kg a 3.000 m na estação chuvosa e não detectáveis na profundidade de 50 m a 18,0 mg/kg a 3.000 m na estação seca.

A **Figura II.6.1.2.1-23** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concordância entre eles.



Fonte: BG/AECOM (2015a).

**Figura II.6.1.2.1-22** – Distribuição da concentração de cobre no sedimento em parte da Bacia de Barreirinhas, de acordo com o levantamento do Projeto PIATAM, na "Síntese do Conhecimento sobre a Margem Equatorial Amazônica".



**Figura II.6.1.2.1-23** – Concentração de cobre nos sedimentos da Bacia de Barreirinhas, de acordo com os estudos consultados.

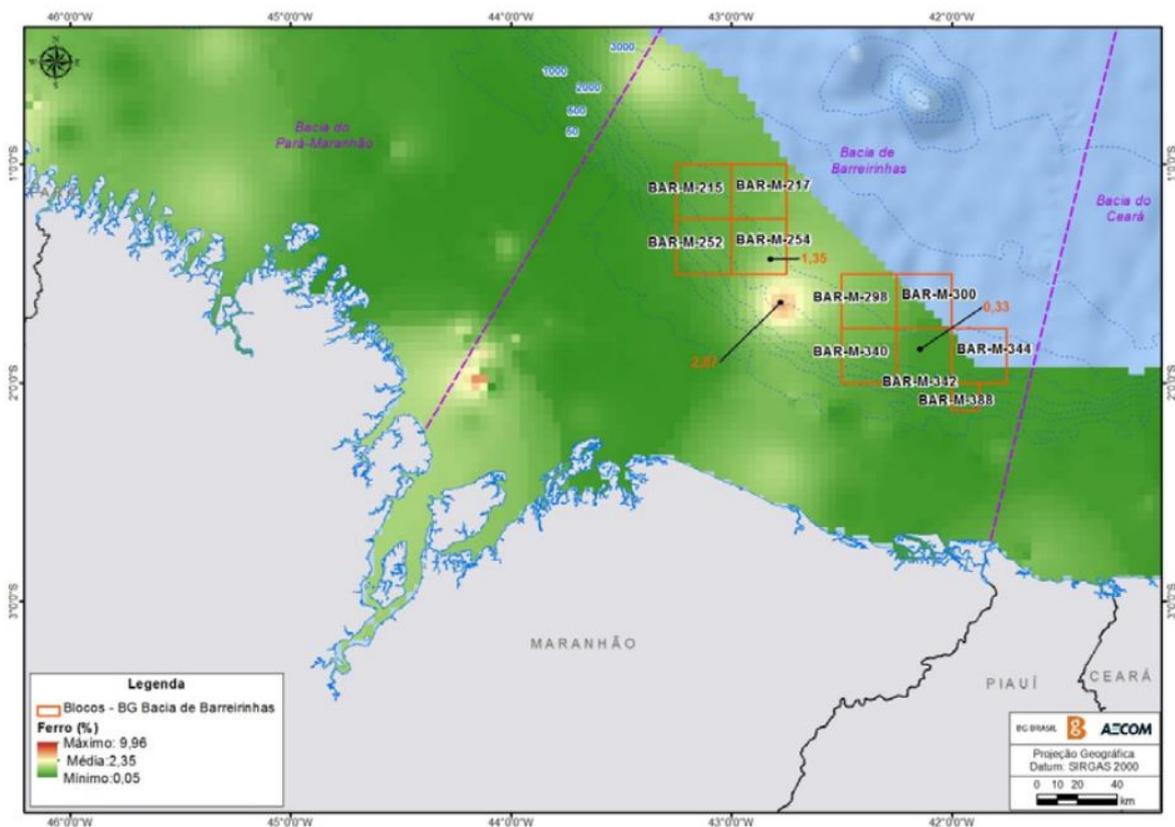
– Ferro – Fe

O estudo de BG/AECOM (2015a) encontrou variações de Fe no sedimento variando desde 500 a 28.700 mg/kg na Bacia de Barreirinhas, com predomínio de menores contribuições - **Figura II.6.1.2.1-24**.

No estudo de BG/AECOM (2015b) o Fe apresentou ordem de grandeza elevada, com valores entre 2.851,2 e 8.912,1 e média de 5.406,2 mg/kg.

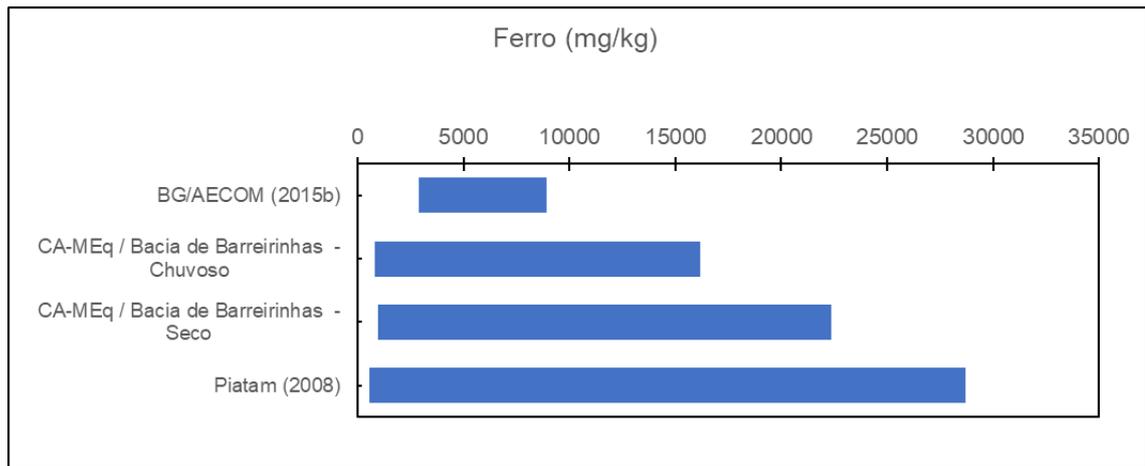
Valores elevados também foram observados na CA-MEq / Bacia de Barreirinhas – na estação chuvosa os valores variaram de 744 (50 m) a 16.154 (3000 m), e na seca de 910 (50 m) a 22336 mg/kg (3000 m), com maiores valores nas estações mais profundas.

A **Figura II.6.1.2.1-25** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concordância entre eles.



Fonte: BG/AECOM (2015a).

**Figura II.6.1.2.1-24** – Distribuição da concentração de ferro no sedimento em parte da Bacia de Barreirinhas, de acordo com o levantamento do Projeto PIATAM, na "Síntese do Conhecimento sobre a Margem Equatorial Amazônica".



**Figura II.6.1.2.1-25** – Concentração de ferro nos sedimentos da Bacia de Barreirinhas, de acordo com os estudos consultados.

– Mercúrio – Hg

Os estudos de BG/AECOM (2015a), BG/AECOM (2015b) e CA-MEq / Bacia de Barreirinhas, períodos seco e chuvoso, não apresentaram concentrações de Hg nos sedimentos analisados.

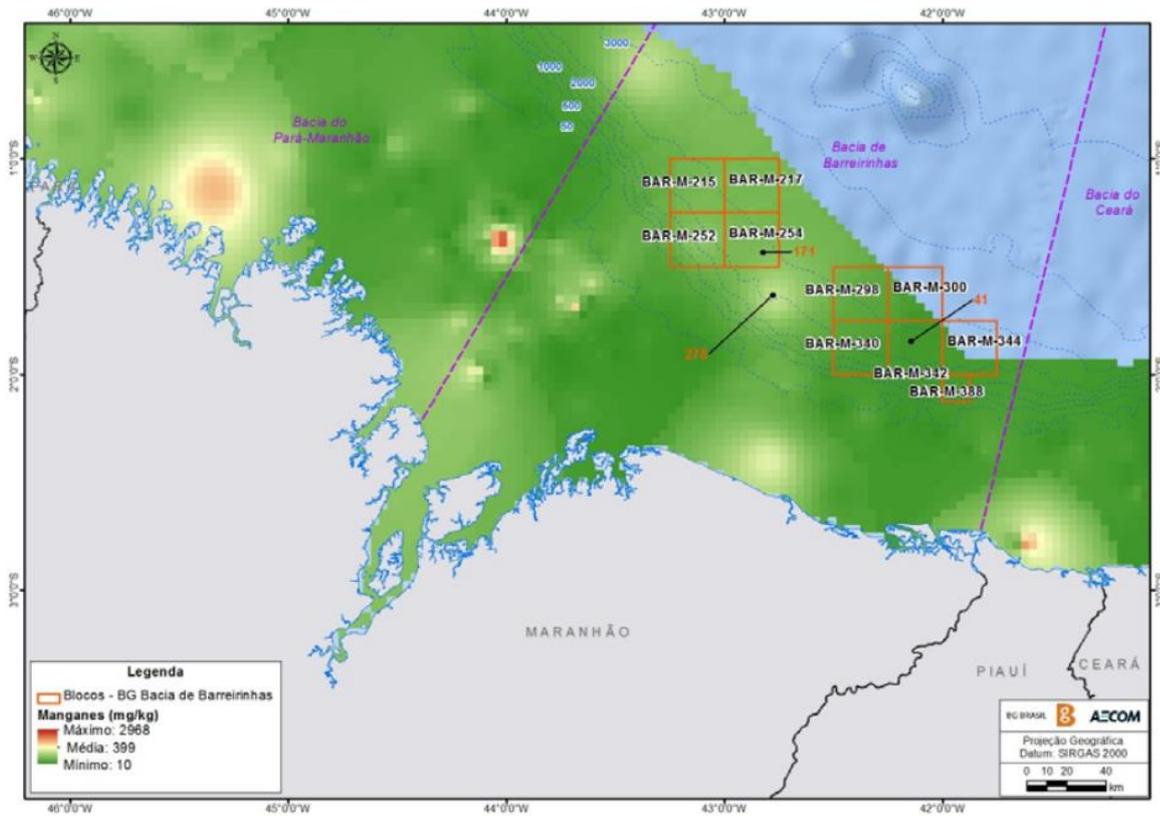
– Manganês – Mn

De modo geral, o estudo de BG/AECOM (2015a) apresentou valores homogêneos e baixos para Mn no sedimento da Bacia de Barreirinha, com pontos isolados de no máximo 276 mg/kg - **Figura II.6.1.2.1-26**.

No estudo de BG/AECOM (2015b) as concentrações de Mn variaram entre 38,30 e 168,06 mg/kg, com menor concentração na estação de menor profundidade.

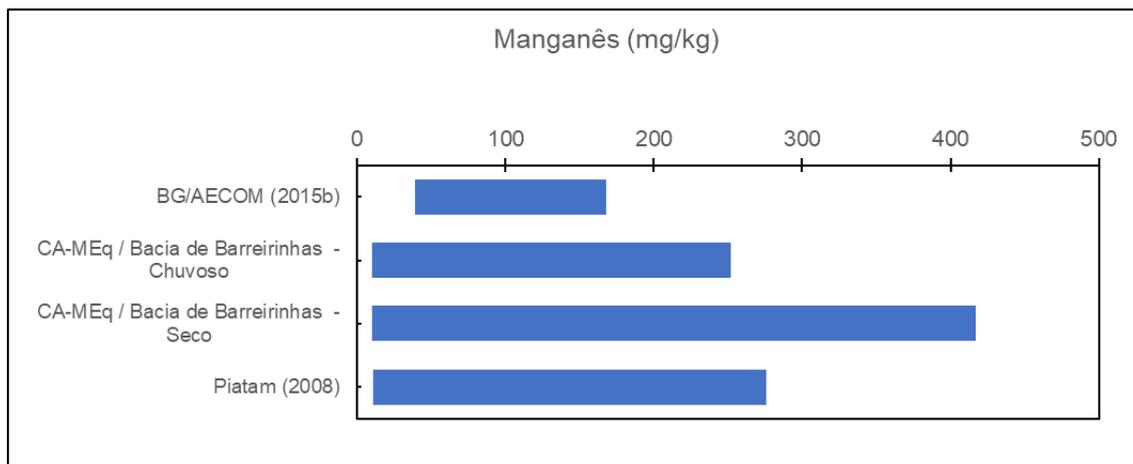
Na CA-MEq / Bacia de Barreirinhas as concentrações de Mn também variaram de acordo com a profundidade, no período chuvoso se 9 mg/kg (50 m) a 252 (1000 m) mg/kg e no seco de 9 mg/kg (50 m) a 417 mg/kg (2000 m).

A **Figura II.6.1.2.1-27** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concondância entre eles.



Fonte: BG/AECOM (2015a).

**Figura II.6.1.2.1-26** – Distribuição da concentração de manganês no sedimento em parte da Bacia de Barreirinhas, de acordo com o levantamento do Projeto PIATAM, na "Síntese do Conhecimento sobre a Margem Equatorial Amazônica".



**Figura II.6.1.2.1-27** – Concentração de manganês nos sedimentos da Bacia de Barreirinhas, de acordo com os estudos consultados.

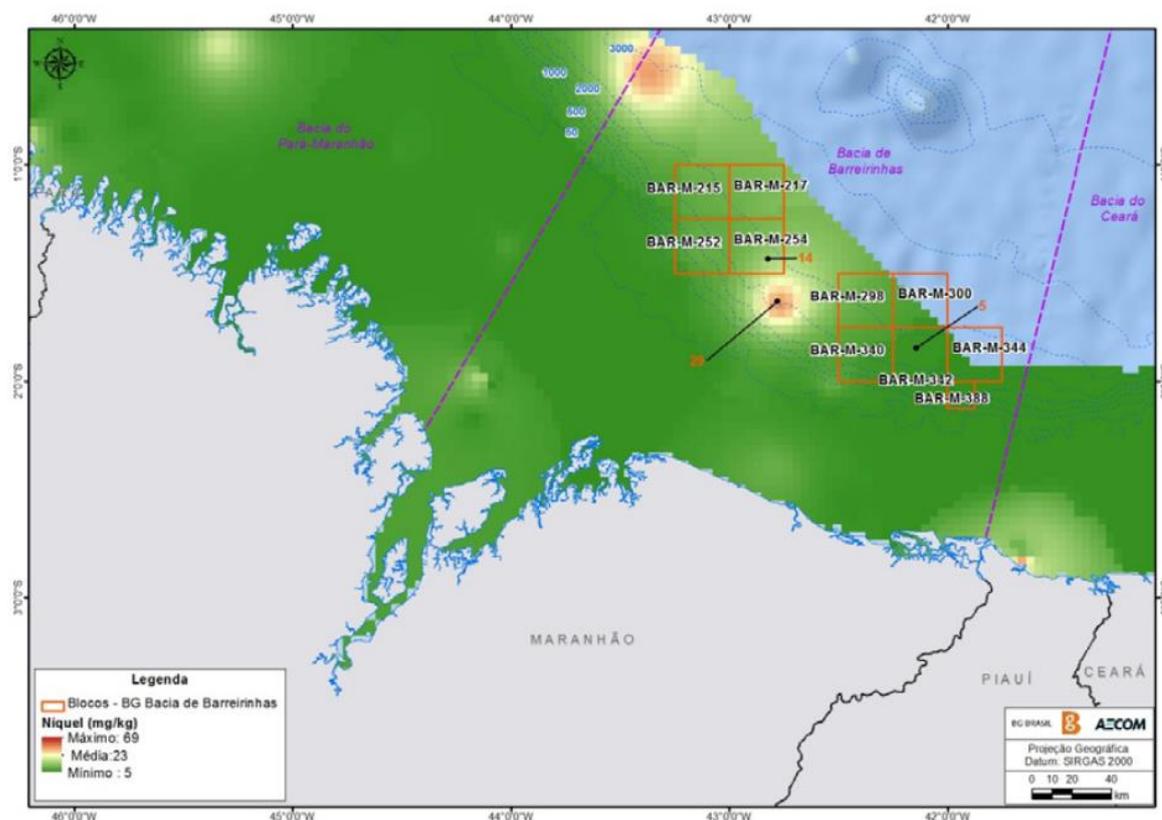
## – Níquel – Ni

De modo geral, o estudo de BG/AECOM (2015a) apresentou valores homogêneos e baixos para Ni no sedimento da Bacia de Barreirinha, com pontos isolados de no máximo 29 mg/kg - **Figura II.6.1.2.1-28**.

No estudo de BG/AECOM (2015b) as concentrações de Ni ao longo da Bacia de Barreirinhas variaram de não quantificadas até 6,62 mg/kg.

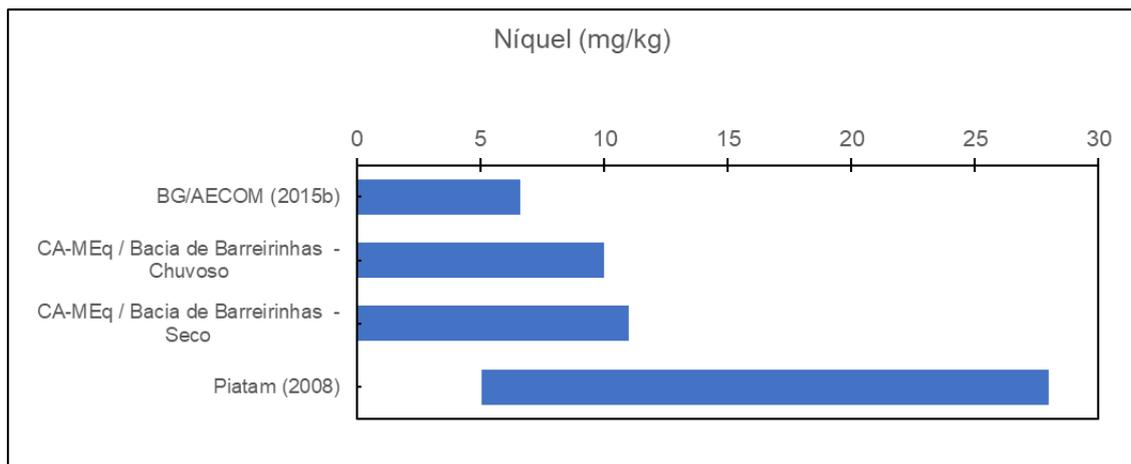
A CA-MEq / Bacia de Barreirinhas também teve valores não quantificáveis nas estações mais rasas, tanto na estação chuvosa quanto na seca, chegando a valores de 10 mg/kg (1000 m) na estação chuvosa e a 11 mg/kg (3000 m) na estação seca.

A **Figura II.6.1.2.1-29** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concordância entre eles.



Fonte: BG/AECOM (2015a).

**Figura II.6.1.2.1-28** – Distribuição da concentração de níquel no sedimento em parte da Bacia de Barreirinhas, de acordo com o levantamento do Projeto PIATAM, na "Síntese do Conhecimento sobre a Margem Equatorial Amazônica".



**Figura II.6.1.2.1-29** – Concentração de níquel nos sedimentos da Bacia de Barreirinhas, de acordo com os estudos consultados.

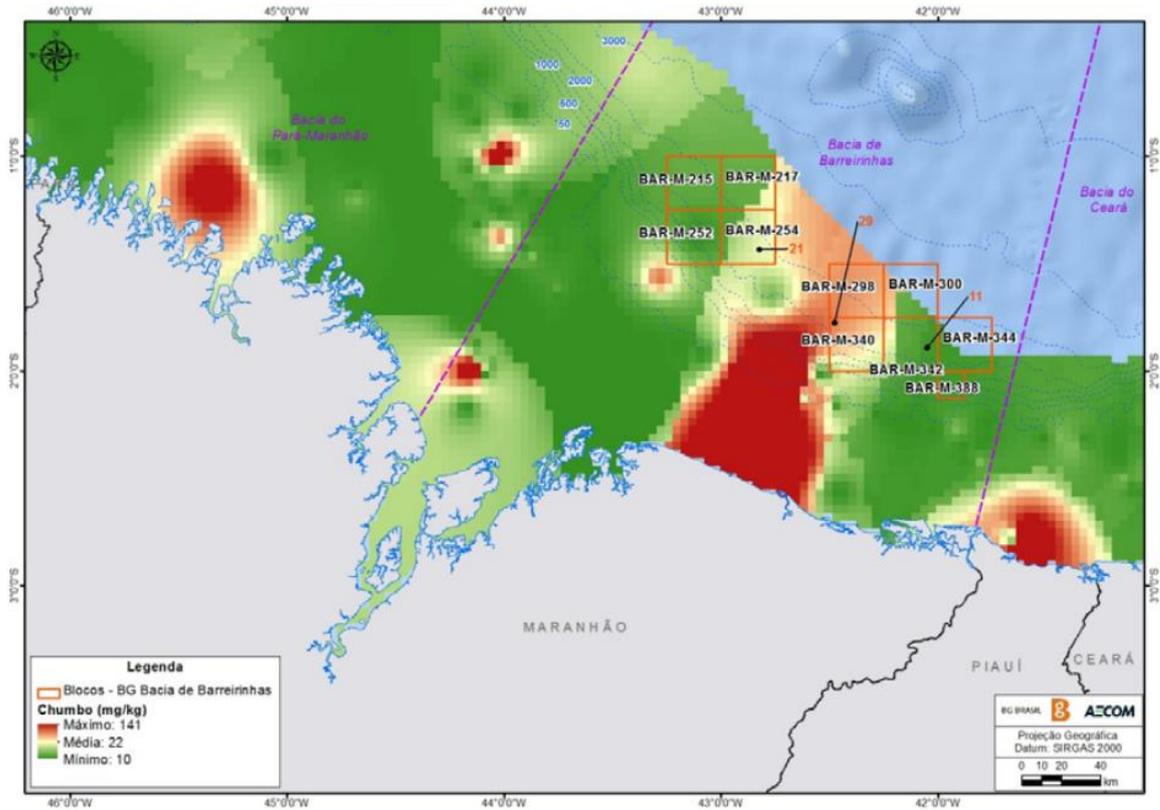
– Chumbo – Pb

O estudo BG/AECOM (2015a) encontrou distribuições variáveis de Pb no sedimento, variando de 10 a 141 mg/kg, com valores na região central superiores às porções leste e oeste da Bacia - **Figura II.6.1.2.1-30**.

O estudo de (BG/AECOM, 2015b) não identificou a presença de Pb nos sedimentos analisados.

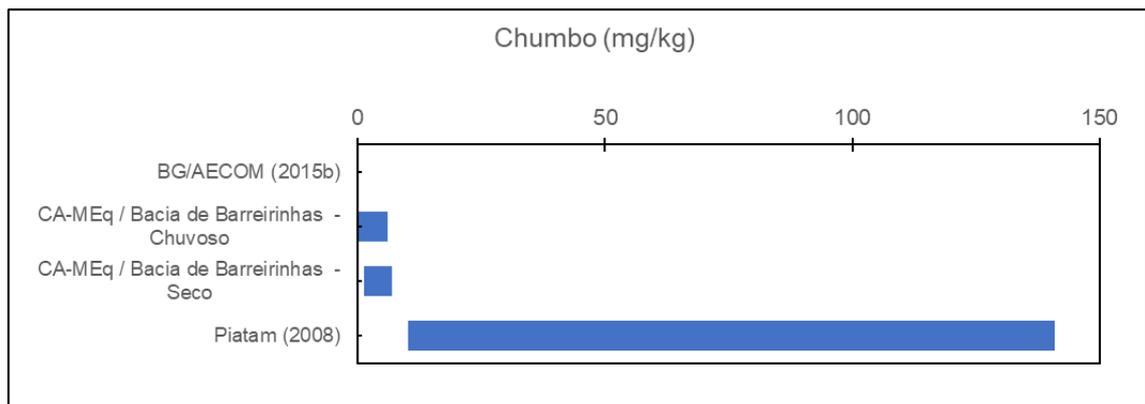
A CA-MEq / Bacia de Barreirinhas teve valores não quantificáveis nas estações mais rasas, tanto no período chuvoso quanto seco, chegando a valores de 6 mg/kg (3000 m) – chuvoso – e 7 mg/kg (3000 m) – período seco.

A **Figura II.6.1.2.1-31** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concordância entre eles.



Fonte: BG/AECOM (2015a).

**Figura II.6.1.2.1-30** – Distribuição da concentração de chumbo no sedimento em parte da Bacia de Barreirinhas, de acordo com o levantamento do Projeto PIATAM, na "Síntese do Conhecimento sobre a Margem Equatorial Amazônica".



**Figura II.6.1.2.1-31** – Concentração de chumbo nos sedimentos da Bacia de Barreirinhas, de acordo com os estudos consultados.

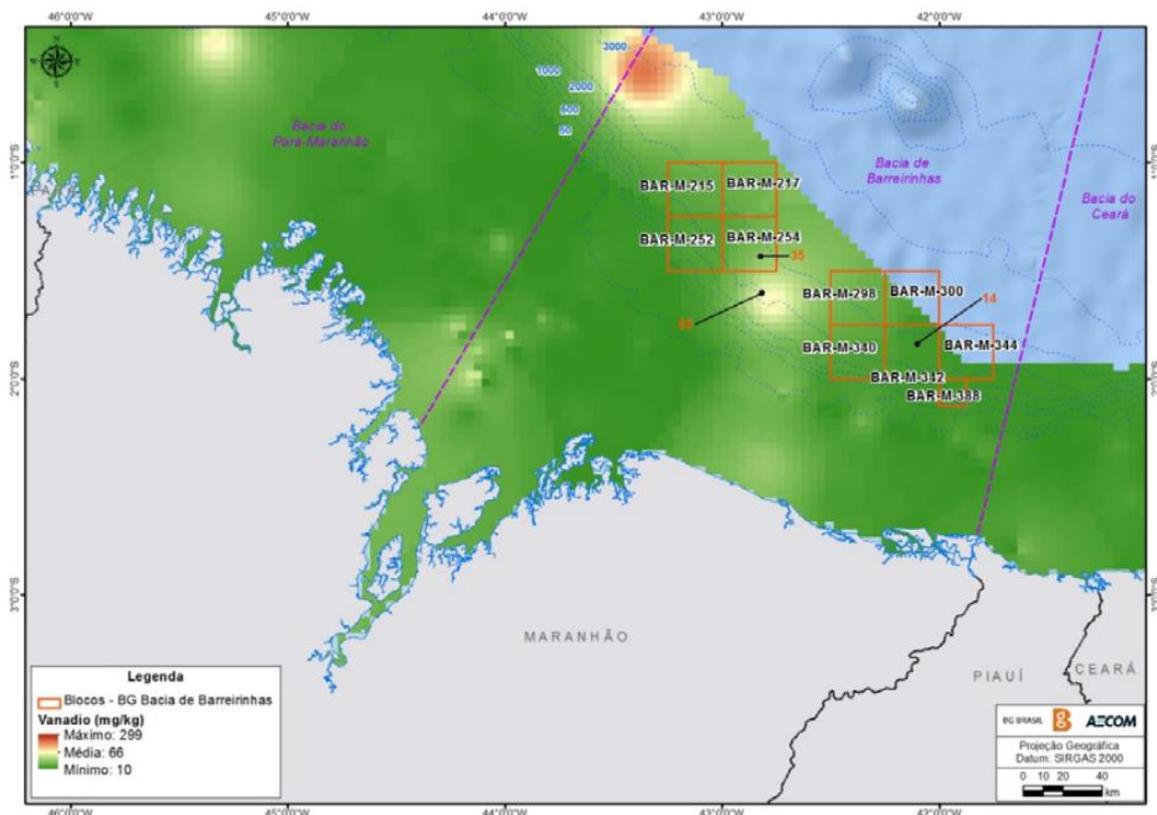
– Vanádio – V

De modo geral, o estudo de BG/AECOM (2015a) apresentou valores homogêneos e baixos para V no sedimento da Bacia de Barreirinha, com valores máximos na região nordeste na ordem de 200 mg/kg - **Figura II.6.1.2.1-32**.

No estudo de BG/AECOM (2015b) as concentrações de V apresentaram valores oscilantes, com uma estação com resultado abaixo do limite de quantificação até 27,77 mg/kg.

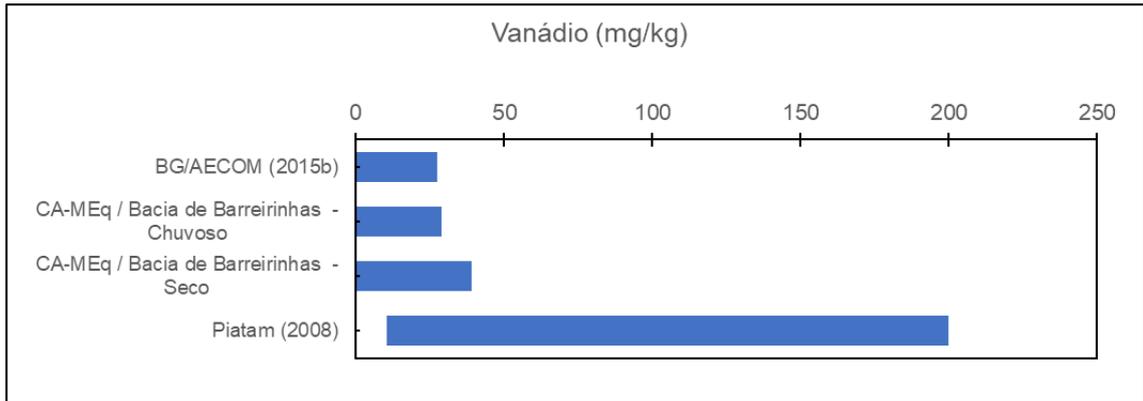
A CA-MEq / Bacia de Barreirinhas teve valores não quantificáveis nas estações mais rasas, tanto na estação seca quanto na chuvosa, chegando a valores de 29 mg/kg (3.000 m) na estação chuvosa e a 39 mg/kg (3.000 m) na estação seca.

A **Figura II.6.1.2.1-33** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concordância entre eles.



Fonte: BG/AECOM (2015a).

**Figura II.6.1.2.1-32** – Distribuição da concentração de vanádio no sedimento em parte da Bacia de Barreirinhas, de acordo com o levantamento do Projeto PIATAM, na "Síntese do Conhecimento sobre a Margem Equatorial Amazônica".



**Figura II.6.1.2.1-33** – Concentração de vanádio nos sedimentos da Bacia de Barreirinhas, de acordo com os estudos consultados.

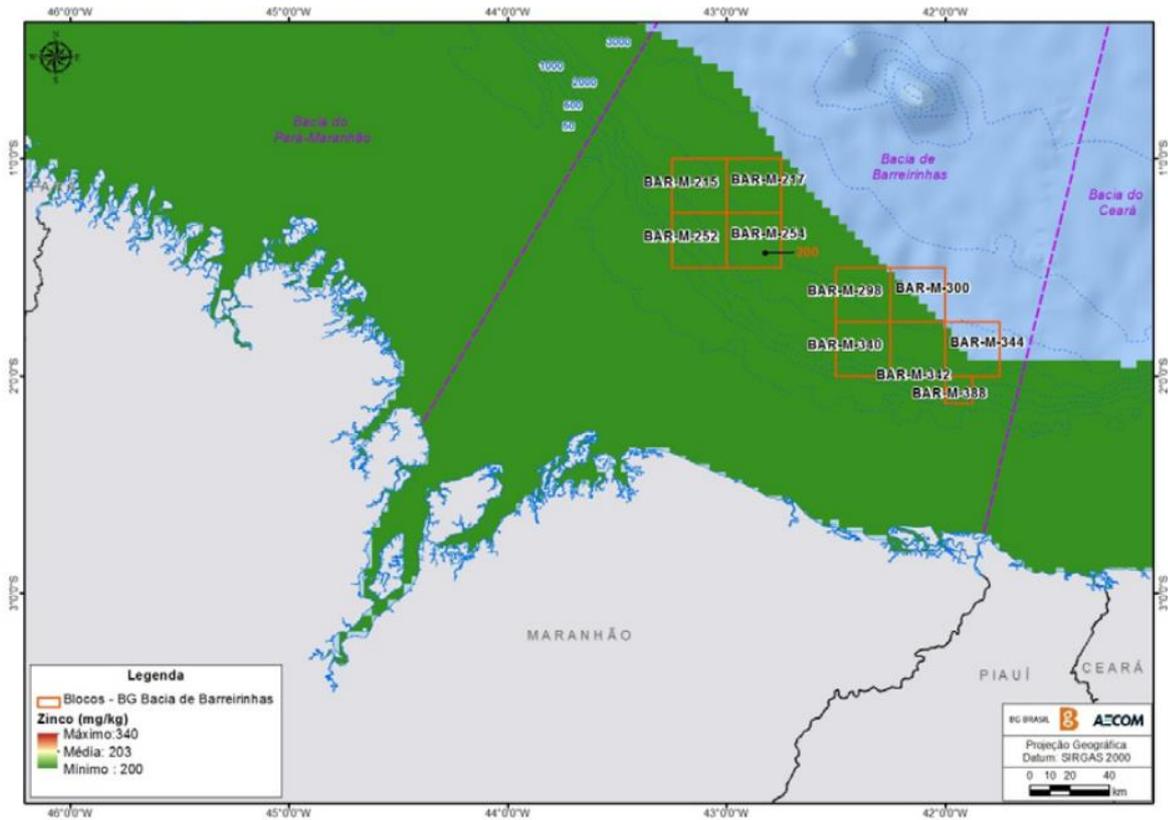
– Zinco – Zn

O estudo de BG/AECOM (2015a) obteve valores de Zn com distribuição homogênea na área, apresentando valores em torno de 200 mg/kg - **Figura II.6.1.2.1-34**.

No estudo de BG/AECOM (2015b) o Zn apresentou valores entre 13,87 e 43,53 mg/kg.

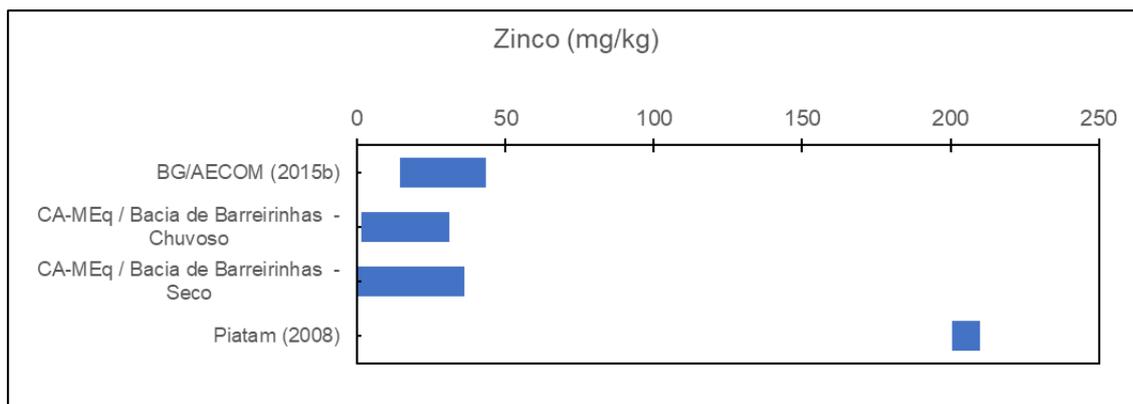
A CA-MEq / Bacia de Barreirinhas também teve menores valores nas estações mais rasas (1 mg/kg a 50 m na estação chuvosa e não detectável na estação seca), chegando a valores de 31 mg/kg (3.000 m) na estação chuvosa e a 36 mg/kg (3.000 m) na estação seca.

A **Figura II.6.1.2.1-35** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concondância entre eles.



Fonte: BG/AECOM (2015a).

**Figura II.6.1.2.1-34** – Distribuição da concentração de zinco no sedimento em parte da Bacia de Barreirinhas, de acordo com o levantamento do Projeto PIATAM, na "Síntese do Conhecimento sobre a Margem Equatorial Amazônica".



**Figura II.6.1.2.1-35** – Concentração de zinco nos sedimentos da Bacia de Barreirinhas, de acordo com os estudos consultados.

▪ *Considerações finais sobre a qualidade dos sedimentos na Bacia de Barreirinhas*

Os estudos consultados mostram que a distribuição sedimentar na região varia desde porções mais arenosas na região rasa e, com o aumento da profundidade, maior contribuição das frações mais finas, como o silte. Para o carbonato a concentração é diretamente proporcional a profundidade, com maiores valores em maiores profundidades. Na CA-MEq / Bacia de Barreirinhas foram observadas diferenças entre os teores de carbonatos encontrados em regiões rasas (25-50 m), com valores mais baixos comparados às regiões medianas (200 m) e profundas (400-3000 m).

A distribuição da granulometria dos sedimentos denota a variação da concentração dos nutrientes, com frações mais finas apresentando tendência de acumular matéria orgânica. Na CA-MEq / Bacia de Barreirinhas, de um modo geral, os percentuais de nitrogênio total obtidos nas estações mais rasas (25 a 300 m) são menores que os obtidos nas profundas (400 a 3.000 m). Com relação à distribuição espacial do enxofre, há um aumento em direção a profundidades maiores que 200 m. Como esperado, estes compostos apresentaram concentrações maiores quando o sedimento apresentava granulometria fina, indicando a afinidade pelas argilas e siltes.

Em CA-MEq / Bacia de Barreirinhas os resultados dos compostos orgânicos (HPAs, HTPs, MCNRs e n-Alcanos) analisados não indicam qualquer tipo de contaminação de derivados do petróleo.

Para os metais, de modo geral, as maiores profundidades tiveram maiores valores para todos os compostos analisados, indicando ausência de aporte costeiro. Alguns metais tiveram valores variando longitudinalmente na Bacia, contudo não apresentando nenhuma alteração que indique que não sejam distribuições naturais.

## II.6.1.2.2 Bacia do Pará-Maranhão

### Campanhas Oceanográficas - Resumo Metodológico

Para a caracterização da qualidade de água e sedimento da Bacia do Pará-Maranhão, as principais fontes de informação foram os estudos:

- Caracterização Ambiental da Margem Equatorial (CA-MEq)/ Bacia do Pará Maranhão - Caracterização do período chuvoso e do período seco. Este relatório contempla os resultados obtidos a partir da coleta de dados primários realizada pela Petrobras na Campanha de Caracterização Ambiental da Bacia do Pará-Maranhão.

O Planejamento desta campanha foi elaborado em conjunto com a Bacia de Barreirinhas, por isso foram realizados os estudos com ROV para avaliação prévia ao lançamento de equipamentos de amostra de sedimento, afim de minimizar possíveis impactos.

Foram realizados três perfis, de acordo com as coordenadas apresentadas no Quadro II.6.1.2.2-1.

**Quadro II.6.1.2.2-1 - Estações executadas nas Campanhas de Caracterização Ambiental da Margem Equatorial (CA-MEq).**

Perfil	Estações	Profundidade local	Norte (N)	Leste (E)
PA-MA 1	P1_25	25 m	10029530	321152
	P1_50	50 m	10081780	360140
	P1_70	70 m	10098477	372583
	P1_100	100 m	10102375	375489
	P1_400	400 m	10105372	377724
	P1_1000	1000 m	10109609	380884
	P1_2000	2000 m	10121611	390419
PA-MA 2	P1_3000	3000 m	10152044	412892
	P2_25	25 m	9919880	405082
	P2_50	50 m	10007525	449972
	P2_70	70 m	10044510	469040
	P2_100	100 m	10047287	470381
	P2_1000	1000 m	10051300	472410

Perfil	Estações	Profundidade local	Norte (N)	Leste (E)
	P2_3000	3000 m	10073060	483650
PA-MA 3	P3_25	25 m	9865520	580459
	P3_50	50 m	9913140	614223
	P3_100	100 m	9933984	629114
	P3_400	400 m	9935612	630322
	P3_1000	1000 m	9938709	632690
	P3_2000	2000 m	9944495	636926
	P3_3000	3000 m	9963515	650133

A profundidade coletada e massa d'água correspondente em cada estação de coleta de água é apresentada no Quadro II.6.1.2.2-2:

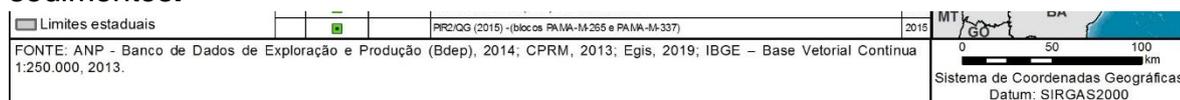
**Quadro II.6.1.2.2-2 - Profundidades de coleta por estação correspondentes a cada massa d'água.**

Estação	Prof. na estação (m)	Profundidade da estação por massa d'água (m)			
		Água Tropical (AT)	Água Central do Atlântico Sul (ACAS)	Água Intermediária Antártica (AIA)	Água Profunda do Atlântico Norte (APAN)
P1_25, P2_25, P3_25	25	1 e 12,5	-	-	-
P1_50, P2_50, P3_50	50	1 e 25	-	-	-
P1_70, P2_70	70	1 e 50			
P1_100, P2_100, P3_100	100	1 e 50	-	-	-
P1_400, P3_400	400	1 e 50	250	-	-
P1_1000, P2_1000, P3_1000	1000	1 e 50	250	800	-
P1_2000, P2_2000, P3_2000	2000	1 e 50	250	800	-
P1_3000, P2_3000, P3_3000	3000	1 e 50	250	800	2300

Ainda, como fonte de comparação e complementação, foram utilizadas informações dos seguintes estudos:

- OGX/HABTEC (2009) – EIMA/RIMA da Atividade de Perfuração Marítima nos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17 - Bacia do Pará – Maranhão. Este estudo conta como base dados primários do estudo: Relatório de Caracterização Ambiental dos Blocos BM-PAMA-16 e BM-PAMA-17 OGX/PIR2/FUGRO (2009);
- QG/PIR2 (2015) - Projeto de Caracterização Ambiental (Baseline) da Margem Equatorial Brasileira, considerando a Bacia do Pará-Maranhão (blocos PAMA-M-265 e PAMA-M-337). Este estudo, além de utilizar dados primários coletados, também apresenta dados secundários das seguintes fontes que são aqui citados:
- DEMASTER; POPE (1996); FERRAZ; FERNANDES; OLIVEIRA (1996); LANDIM (2000) - Estudo Multidisciplinar dos Sedimentos da Plataforma Amazônica (Multidisciplinary Amazon Shelf Sediment Study - AmasSeds);
- LIMA; SIQUEIRA; LIMA (2006); PEREIRA; LIMA; EL-ROBRINI (2006); SANTOS et al. (2007), (2008a); SANTOS; MUNIZ (2010); SANTOS (2004); SIQUEIRA et al. (2003); SIQUEIRA; APRILE (2012); SIQUEIRA; PEREIRA; APRILE (2006) - Programa REVIZEE – Programa de Avaliação Sustentável dos Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva,
- PIATAM (2008) – Síntese do Conhecimento sobre a Margem Equatorial Amazônica.

O **Quadro II.6.1.2.2-3** abaixo sintetiza as principais informações dos estudos citados acima, com relação aos dados de qualidade de água. Já o **Quadro II.6.1.2.2-4** mostra as informações referentes aos dados de qualidade de sedimentos.



**Figura II.6.1.2.2-1** mostra os locais de coleta dos estudos consultados.

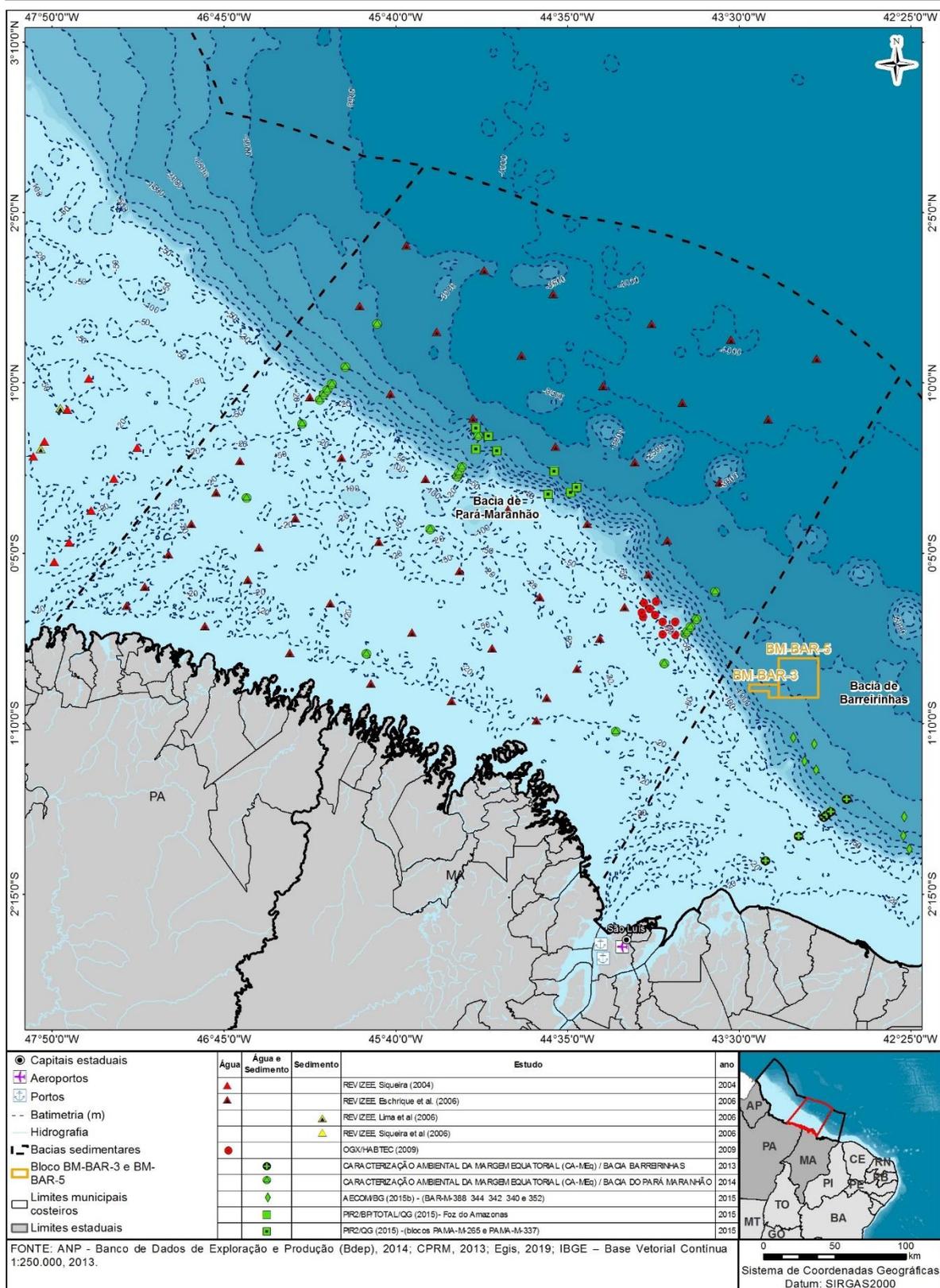


Figura II.6.1.2.2-1 – Locais de coleta de dados dos estudos consultados na Bacia do Pará-Maranhão.

**Quadro II.6.1.2.2-3 - Principais características amostrais de estudos consultados para caracterização da qualidade da água na Bacia do Pará-Maranhão.**

Estudos Consultados	Campanhas Realizadas	Metodologia para Obtenção dos Dados	Profundidades amostradas	Nº de estações	Parâmetros Avaliados
OGX/HABTEC (2009)	Não informa	Garrafas Niskin	Subsuperfície, 60 m e fundo	11	Oxigênio Dissolvido
					pH
					Sólidos Totais em Suspensão
					Sólidos Totais Dissolvidos
					Amônia
					Nitrito
					Nitrato
					Fosforo
					Carbono orgânico total
					Carbono orgânico dissolvido
					Sulfetos
					Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP)
					Hidrocarbonetos Poliaromáticos (HPA)
BTEX					
Fenóis					

Estudos Consultados	Campanhas Realizadas	Metodologia para Obtenção dos Dados	Profundidades amostradas	Nº de estações	Parâmetros Avaliados
Caracterização Ambiental da Margem Equatorial (CA-MEq)/ Bacia do Pará Maranhão	<p>Período chuvoso – 26/05/2012 a 10/07/2012</p> <p>Período seco – 02/10/2012 a 28/11/2012</p>	Garrafas Niskin e Go-flo	Subsuperfície, 12,5, 25, 50 (AT), 250 (ACAS), 800 (AIA), 2300 (APAN) m	<p>18 (período chuvoso)</p> <p>16 (período seco)</p>	Oxigênio Dissolvido
					pH
					Material Particulado em Suspensão
					Amônia
					Nitrito
					Nitrato
					Fosfato
					Silicato
					Carbono orgânico total
					Carbono orgânico particulado
					Carbono orgânico dissolvido
					Sulfetos
					Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP)
					Hidrocarbonetos Poliaromáticos (HPA)
BTEX					
n-alcanos					
Mistura Complexa Não Resolvida (MCNR)					

Estudos Consultados	Campanhas Realizadas	Metodologia para Obtenção dos Dados	Profundidades amostradas	Nº de estações	Parâmetros Avaliados
					Fenóis



Estudos Consultados	Campanhas Realizadas	Metodologia para Obtenção dos Dados	Profundidades amostradas	Nº de estações	Parâmetros Avaliados
QG/PIR2 (2015)	Campanha entre 05/05/2015 e 14/05/2015	Garrafas Go-Flo	Subsuperfície, 110, 200, ACAS, AIA, APAN	8	Oxigênio Dissolvido
					pH
					Sólidos em Suspensão
					Sólidos dissolvidos
					Amônia
					Nitrato
					Nitrito
					Fosfato
					Silicato
					Fósforo Total
					Carbono orgânico total
					Sulfetos
					Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP)
Hidrocarbonetos poliaromáticos (HPA)					

Fonte: OGX/HABTEC (2009), QG/PIR2 (2015) e Caracterização Ambiental da Margem Equatorial (CA-MEq)/ Bacia do Pará Maranhão.

**Quadro II.6.1.2.2-4 - Principais características amostrais de estudos consultados para caracterização da qualidade do sedimento na Bacia do Pará-Maranhão.**

Estudos Consultados	Campanhas Realizadas	Metodologia	Nº de estações	Parâmetros Avaliados
Caracterização Ambiental da Margem Equatorial (CA-MEq)/ Bacia do Pará Maranhão	Período chuvoso – 26/05/2012 a 10/07/2012 Período seco – 02/10/2012 a 28/11/2012	Van veen e Box Corer	18 (período chuvoso) 16 (período seco)	Granulometria
				Carbonatos
				Teor de matéria orgânica
				Carbono orgânico total
				Nitrogênio
				Fósforo
				Enxofre
				Sulfetos
				Metais (Al, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, V, Pb, Zn)
				Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP)
				Hidrocarbonetos Poliaromáticos (HPA)
				n-alcanos
				Mistura Complexa Não Resolvida (MCNR)
QG/PIR2 (2015)	Campanha entre 05/05/2015 e 14/05/2015	Garrafas Go-Flo – subsuperfície, 110, 200, ACAS, AIA, APAN	8	Granulometria
				Carbonato
				Matéria orgânica
				Carbono orgânico total
				Nitrogênio
				Fósforo
				Metais e semimetais (Al, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, V, Pb, Zn)
				Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP)
Hidrocarbonetos Poliaromáticos (HPA)				

Fonte: QG/PIR2 (2015) e Caracterização Ambiental da Margem Equatorial (CA-MEq)/ Bacia do Pará Maranhão.

**Quadro II.6.1.2.2-5** - Descrição das amostras de água, garrafa oceanográfica utilizada, volume coletado, frascaria utilizada, método de preservação ou meio de preservação e acondicionamento para o estudo consultado para caracterização da qualidade da água na Bacia Pará-Maranhão.

Parâmetros Avaliados	Garrafa utilizada	Volume por estrato	Frascaria de preservação	Acondicionamento da amostra
Oxigênio Dissolvido	Niskin (10L)	70 mL	Frasco DBO	Determinação a bordo – kit específico
pH		100 ml	Frasco de vidro	Determinação a bordo - pHmetro
Material Particulado em Suspensão (MPS)		4000 ml	Frasco polipropileno - filtração com bomba a vácuo, membranas de microfibras de vidro de 0,47 µm	Filtro acondicionado em placa de petri e refrigeração
Amônia		1000 ml	Frasco polipropileno	Freezer
Nitrato				
Nitrito				
Fosfato				
Silicato				
Carbono orgânico particulado		3000 ml	Filtrada e frasco ambar	Refrigeração
Carbono orgânico dissolvido		1000 ml	Filtros de fibra de vidro	Refrigeração
Sulfetos	Go-Flo (10L)	1000 ml	Frasco ambar	Refrigeração
Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP)				
Hidrocarbonetos poliaromáticos (HPA)				
n-alcanos e mistura complexa não resolvida (MCNR)				
BTEX				
Fenóis				

Fonte: Caracterização Ambiental da Margem Equatorial (CA-MEq)/ Bacia do Pará Maranhão

**Quadro II.6.1.2.2-6 - Metodologia para coleta dos parâmetros físico-químicos relacionados à qualidade do sedimento para o estudo principal consultado para caracterização da qualidade do sedimento na Bacia Pará-Maranhão.**

Parâmetros	Réplicas	Estrato	Acondicionamento	Preservação
Granulometria	Corer 50 x 50 cm	0 – 10 cm	Sacos plásticos	Congelamento
Carbonatos		0 – 10 cm		
Carbono orgânico total	Corer 50 x 50 cm	0 – 10 cm	Sacos plásticos	Congelamento
Nitrogênio		0 – 10 cm		
Fósforo		0 – 10 cm		
Enxofre Total		0 – 10 cm		
Sulfetos		0 – 10 cm		
Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP)	200 g	0 – 2 cm	Recipientes de alumínio	Congelamento
Hidrocarbonetos poliaromáticos (HPA)				
Metais (Al, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, V, Zn)	200 g	0 – 2 cm	Sacos plásticos	Congelamento

Fonte: Caracterização Ambiental da Margem Equatorial (CA-MEQ)/ Bacia do Pará Maranhão

**Quadro II.6.1.2.2-7 - Descrição da metodologia de análise dos parâmetros físico-químicos para o principal estudo consultado na caracterização da qualidade da água na Bacia Pará-Maranhão.**

Parâmetros	Metodologia Analítica	Limite de Detecção
Material Particulado em suspensão (MPS)	Filtração em membrana 0,45 µm/método gravimétrico (realizada a bordo).	1 mg/L
Nutrientes (Amônia, Nitrato, Nitrito, Fosfato)	Amônia: método azul de indifenol e análise por colorimetria (Parsons <i>et al.</i> , 1984) - Ref. Método: MA-025-L2.; Nitrato: determinado por redução em coluna de Cd-Cu seguido de diazotação e análise por colorimetria (Grasshoff <i>et al.</i> , 1999) - Ref. Método: MA 017-L2.; Nitrito: método da diazotação e análise por colorimetria (Grasshoff <i>et al.</i> , 1999) - Ref. Método: MA 017-L2.;	Amônia: 0,03 µmol/L; Nitrato: 0,03 µmol/L; Nitrito: 0,01 µmol/L; Fosfato: 0,01 µmol/L.

Parâmetros	Metodologia Analítica	Limite de Detecção
	O fosfato foi determinado pelo método fosfomolibdico (Grasshoff <i>et al.</i> , 1983) - Ref. Método: MA-014-L2.	
Silicato	Método silicomolibdico (Grasshoff <i>et al.</i> , 1999).	0,01µmol/L
Carbono orgânico total (COT)	Método combustão catalítica em analisador de carbono - Ref. Método: MA-019-L2.	1,0 mg/L
Carbono orgânico Particulado (COP)	Filtros acidificados e oxidados através de combustão (Combustão em Analisador Elemental) - Ref. Método: MA-019-L2.	1,0 mg/L
Carbono orgânico Dissolvido (COD)	Filtrado, acidificado e submetido a oxidação catalítica em alta temperatura. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - Ref. Método: MA-019-L2.	1,0 mg/L;
HTP (hidrocarbonetos totais de petróleo)	Método EPA-8270B, EPA 3630, EPA 3510 (Extração / cleanup / CG-FID) - Ref. Método: ISO 9377-2:2000.	30 µg.L <sup>-1</sup> ;
n-alcanos e mistura complexa não resolvida (MCNR)	n-alcanos: ISO 9377-2:2000 MCNR: ISO 9377-2:2000.	n-alcanos: 1 µg.L <sup>-1</sup> ; MCNR: 30 µg.L <sup>-1</sup> ;
HPA (hidrocarbonetos poliaromáticos); os 16 prioritários e alquilados	Método – EPA 8270 (D):2007 / EPA 3510 (C):1996 (Extração/cleanup/CG-EM).	0,003 µg.L <sup>-1</sup> ;
Fenóis	Método – ISO 8165-2:1999.	0,1 µg.L <sup>-1</sup> ;
BTEX (hidrocarbonetos: benzeno, tolueno, etil-benzeno e xilenos)	Método – EPA 8260 (C):2006/ EPA 5021 (A):2003.	0,1 µg.L <sup>-1</sup> ;
Sulfetos	Standard Methods nº4500D.	0,001mg/L <sup>-1</sup>

Fonte: Caracterização Ambiental da Margem Equatorial (CA-MEQ)/ Bacia do Pará Maranhão

**Quadro II.6.1.2.2-8 - Descrição da metodologia de análise dos parâmetros físico-químicos para o principal estudo consultado na caracterização da qualidade do sedimento na Bacia Pará-Maranhão.**

Parâmetros	Metodologia Analítica	Limite de Detecção
Granulometria	Peneiramento para separação fração areia / fração silte-argila. A fração silte-argila foi analisada por um granulômetro a laser.	-
Teor de matéria orgânica total (MOT)	Ref. Método: MA-026-L2	70 mg/kg
Carbono orgânico total (COT)	Ref. Método MA-026-L2	40 mg/kg
Teor de nitrogênio (N total)	Ref. Método MA-024-L2	1 mg/kg
Fósforo (P total)	Standard Methods 4500-P (B) e (E) (APHA/AWWA/WEF, 2005).	2 mg/kg
Enxofre total (S total)	Standard Methods 4500E (APHA/AWWA/WEF, 2005).	17 mg/kg
Teor de carbonatos (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	Adaptado a partir de Standard Methods 2320B (APHA/AWWA/WEF, 2005).	2000 mg/kg
Teor de Sulfetos	Standard Methods 4500D (APHA/AWWA/WEF, 2005).	0,1 mg/kg
Metais	Ref. Método: MA-070-L2.	Al: 1 mg/kg; Ba: 2 mg/kg; Cd: 0,1 mg/kg; Pb: 0,4 mg/kg; Cu: 0,1 mg/kg; Cr: 0,1 mg/kg; Fe: 2 mg/kg; Mn: 0,3 mg/kg; Hg: 0,02 mg/kg; Ni: 0,4 mg/kg; V: 1 mg/kg; Zn: 0,4 mg/kg
HTPs	Ref. Método – ISO 16703:2001	1 mg/kg
HPAs	Ref. Método – EPA 8270 (D):2007 / EPA 3550 (C):2007	0,005 mg/kg
n-alcanos (C5 – C7)	Ref. Método – ISO 16703:2001	0,001 mg/kg
n-alcanos (C8 – C40)	Ref. Método – ISO 16703:2001	0,010 mg/kg
MCNR	Ref. Método – ISO 16703:2001	1 mg/kg

Fonte: Caracterização Ambiental da Margem Equatorial (CA-MEq)/ Bacia do Pará Maranhão

## Campanhas Oceanográficas - Resultados e Discussão

- *Qualidade da Água*
  - *Oxigênio Dissolvido - OD*

Para a CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão, na campanha referente ao período chuvoso, as concentrações médias de OD variaram de  $4,92 \pm 0,35$  mg/L, na profundidade de 800 m, a  $8,20 \pm 0,26$  mg/L, em 2.300 m. No período seco as variações foram de 5,01 mg/L, em 800 m, a 7,98 mg/L, na profundidade de 2.300 m. Ocorreram as seguintes variações nas diferentes profundidades amostradas:

- Superfície - 5,63 a 6,46 mg/L (chuvoso); 6,10 a 6,36 mg/L (seco);
- Intermediária – 5,76 a 7,07 mg/L (chuvoso); 6,07 a 6,39 mg/L (seco);
- 50 m (AT) – 6,00 a 6,86 mg/L (chuvoso); 6,18 a 6,27 mg/L (seco);
- 250 m (ACAS) – 4,91 a 6,33 mg/L (chuvoso); 5,03 a 5,75 mg/L (seco);
- 800 m (AIA) – 4,29 a 5,53 mg/L (chuvoso); 4,90 a 5,09 mg/L (seco);
- 2300 m (APAN) – 7,91 a 8,36 mg/L (chuvoso); 7,94 a 8,01 mg/L (seco).

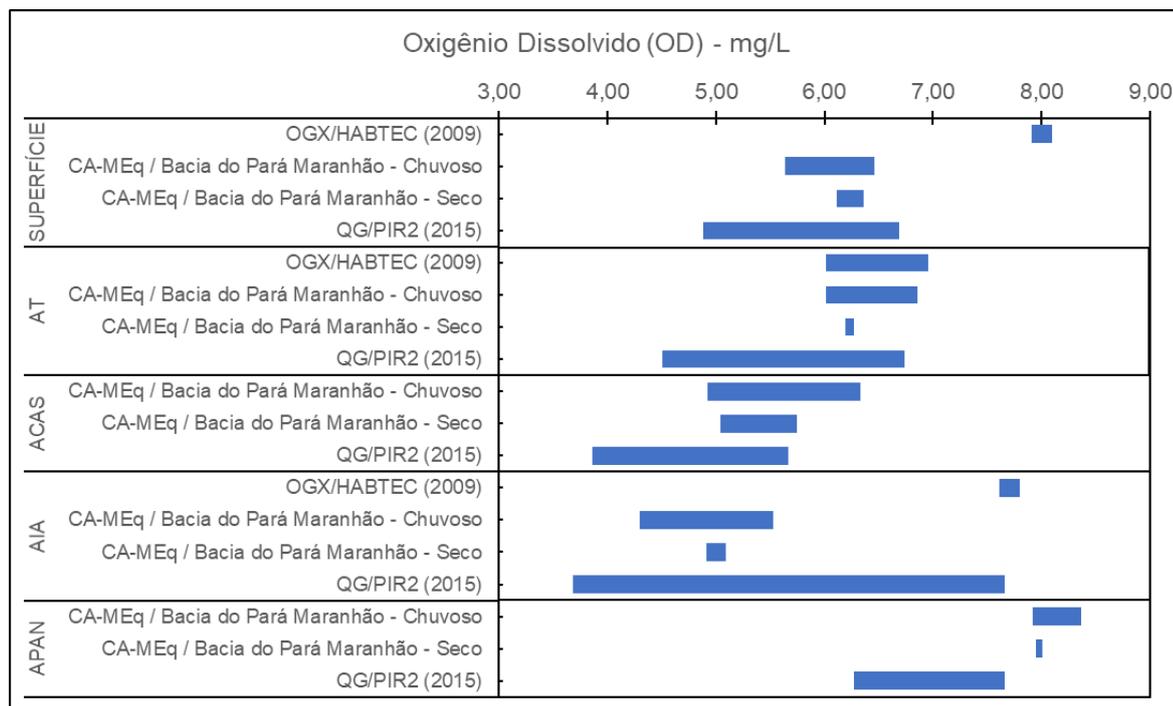
No estudo de OGX/HABTEC (2009) as concentrações de OD na água variaram de 7,90 a 8,10 mg/L na superfície, de 7,80 a 7,90 mg/L no meio e de 7,60 a 7,80 mg/L próximo ao fundo. Os valores mostraram uma homogeneidade espacial com valores muito próximos entre as estações amostradas (distribuição horizontal em cada estrato). O estudo indicou uma tendência de maiores concentrações na superfície, quando comparada ao demais estratos analisados.

No estudo de QG/PIR2 (2015) os teores de OD analisados variaram da seguinte maneira:

- Subsuperfície - 4,87 a 6,69 mg/L;
- 110 m (AT) - 4,50 a 6,74 mg/L;
- 200 m (ACAS) - 3,85 a 5,67 mg/L;
- AIA - 3,67 a 7,66 mg/L;
- APAN - 6,26 a 7,66 mg/L.

O estudo indica que os valores estão de acordo com outros estudos na área, como SANTOS; MUNIZ (2010); SANTOS (2004); SIQUEIRA et al. (2003), que variaram entre 2,0 e 7,3 mg/L, aproximadamente.

A **Figura II.6.1.2.2-2** mostra os valores de OD obtidos nos estudos consultados.



**Figura II.6.1.2.2-2** – Concentrações de oxigênio dissolvido na Bacia do Pará-Maranhão de acordo com os estudos consultados.

□ pH

Para a CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão, na campanha do período chuvoso foi verificada certa homogeneidade nos valores de pH entre as diferentes estações e ao longo da coluna d'água. Os resultados médios variaram de  $7,98 \pm 0,14$  a  $8,20 \pm 0,14$ , nas profundidades de 800 m e intermediária, respectivamente. O pH da água também variou pouco na campanha do período seco, e seus valores médios estiveram entre  $7,71 \pm 0,28$ , na profundidade de 800 m, e  $8,16 \pm 0,23$ , na profundidade de 50 m.

No estudo de OGX/HABTEC (2009) os valores do potencial hidrogeniônico (pH) variaram de 8,00 a 8,20 na superfície, de 7,85 a 8,10 no meio e de 7,80 a 7,90 próximo ao fundo. O pH não demonstrou qualquer padrão de distribuição espacial, tanto horizontal (entre estações) quanto batimétrico.

Ocorreram as seguintes variações nas diferentes profundidades amostradas:

- Superfície - 7,78 a 8,39 (chuvoso); 7,68 a 8,52 (seco);
- Intermediária – 7,97a 8,41 (chuvoso); 7,98 a 8,47 (seco);

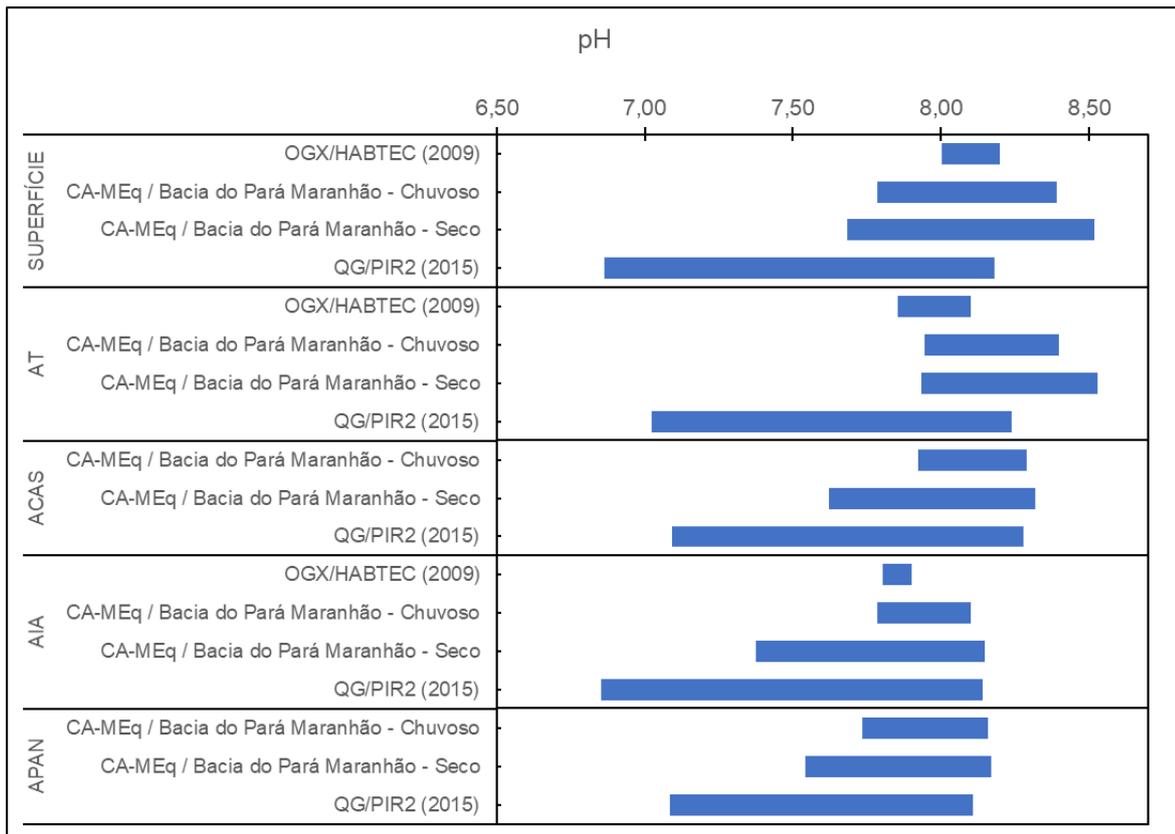
- 50 m (AT) – 7,94 a 8,40 (chuvoso); 7,93 a 8,53 (seco);
- 250 m (ACAS) – 7,92 a 8,29 (chuvoso); 7,62 a 8,32 (seco);
- 800 m (AIA) – 7,78 a 8,10 (chuvoso); 7,37 a 8,15 (seco);
- 2300 m (APAN) – 7,73 a 8,16 (chuvoso); 7,54 a 8,17 (seco).

No estudo de (QG/PIR2, 2015) os valores de pH analisados variaram da seguinte maneira:

- Subsuperfície - 6,86 a 8,18;
- 110 m (AT) - 7,02 a 8,24;
- 200 m (ACAS) - 7,09 a 8,28;
- AIA - 6,85 a 8,14;
- APAN - 7,08 a 8,11.

O estudo destaca que as variações observadas para o pH entre as profundidades foram similares, mostrando que existem variações para ambos os descritores. Dentre os valores disponíveis na literatura para a região (SANTOS; MUNIZ, 2010; SANTOS, 2004; SIQUEIRA et al., 2003), o pH mínimo variou de 7,32 a 8,11 com média de  $7,70 \pm 0,26$  e o máximo de 7,7 a 8,5 com média de  $8,14 \pm 0,19$ , dentro da mesma faixa de resultados encontrada por este estudo.

A **Figura II.6.1.2.2-3** mostra os valores de pH obtidos nos estudos consultados.



**Figura II.6.1.2.2-3** – pH na Bacia do Pará-Maranhão de acordo com os estudos consultados.

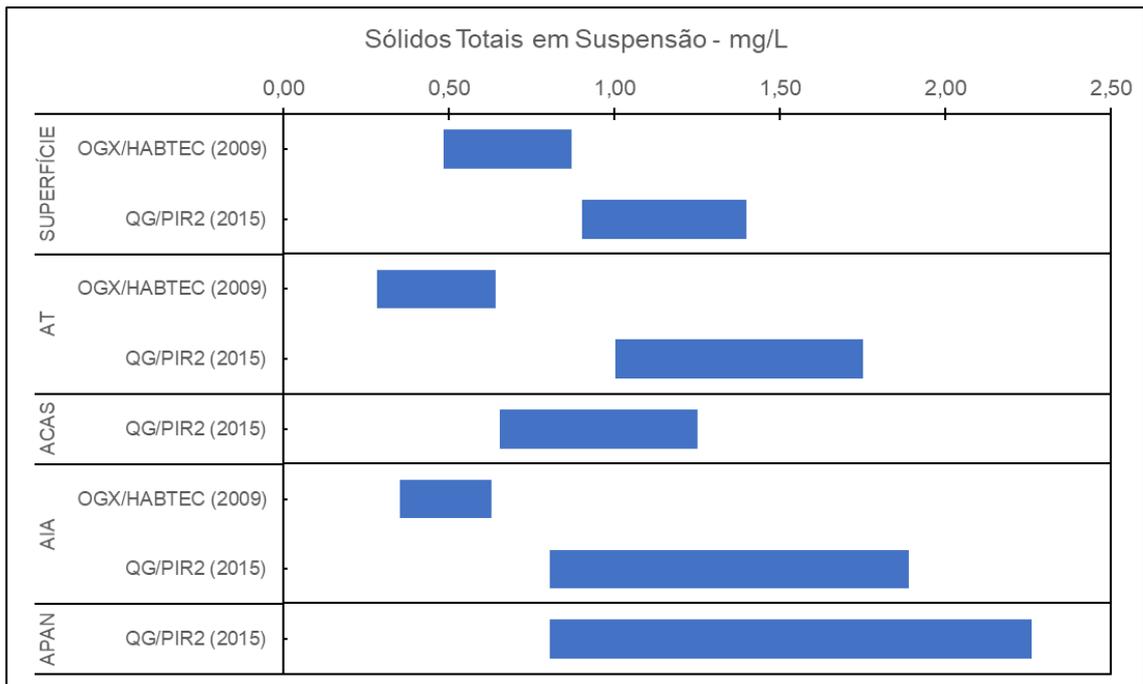
□ **Sólidos Totais em Suspensão (STS)**

No estudo de OGX/HABTEC (2009) o STS variou de 0,48 a 0,87 mg/L na superfície, de 0,28 a 0,64 mg/L no meio e de 0,35 a 0,63 mg/L próximo ao fundo.

Para o estudo de QG/PIR2 (2015) os valores de STS analisados variaram da seguinte maneira:

- Subsuperfície - 0,90 a 1,40 mg/L;
- 110 m (AT) - 1,0 a 1,75 mg/L;
- 200 m (ACAS) - 0,65 a 1,25 mg/L;
- AIA - 0,80 a 1,89 mg/L;
- APAN - 0,80 a 2,26 mg/L.

A **Figura II.6.1.2.2-4** mostra os valores de STS obtidos nos estudos consultados.



**Figura II.6.1.2.2-4** – Concentração de sólidos totais em suspensão na Bacia do Pará-Maranhão de acordo com os estudos consultados.

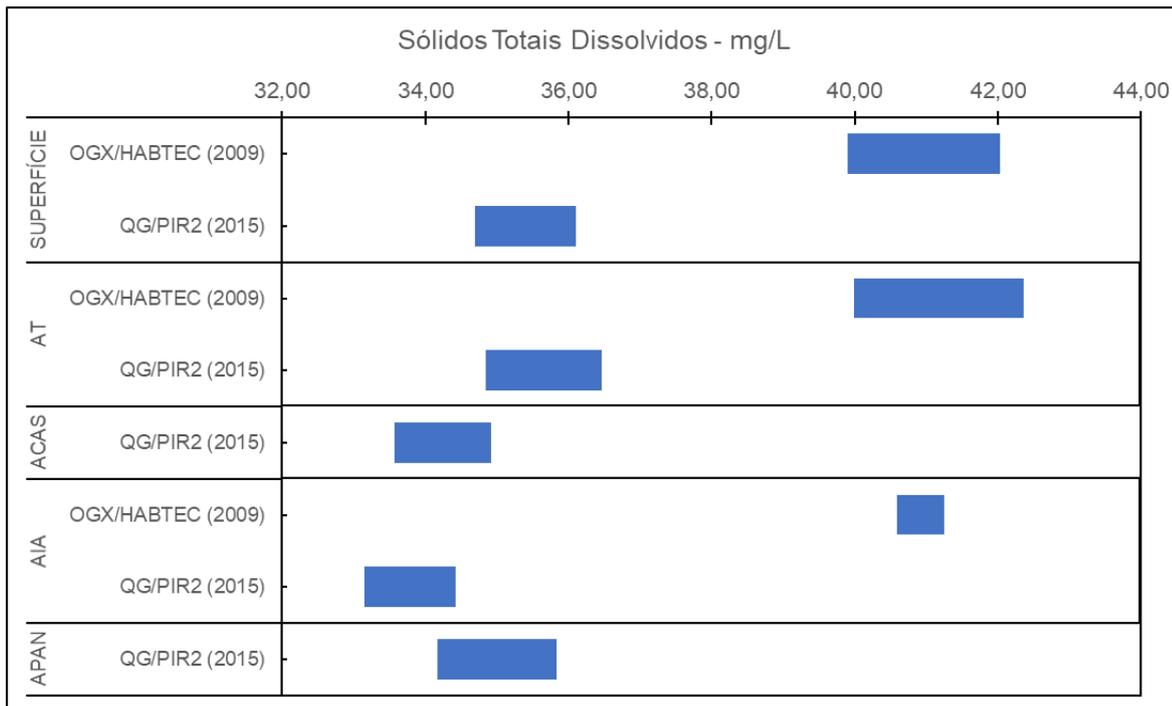
□ *Sólidos Totais Dissolvidos (STD)*

No estudo de OGX/HABTEC (2009) o STD variou de 39,89 a 42,04 mg/L na superfície, de 39,98 a 42,36 mg/L no meio e de 40,58 a 41,26 mg/L próximo ao fundo.

No estudo de QG/PIR2 (2015) as concentrações de STD variaram da seguinte maneira:

- Subsuperfície - 34.680 a 36.100 mg/L;
- 110 m (AT) - 34.830 a 36.460 mg/L;
- 200 m (ACAS) - 33.550 a 34.920 mg/L;
- AIA - 33.140 a 34.430 mg/L;
- APAN - 34.160 a 35.840 mg/L.

A **Figura II.6.1.2.2-5** mostra os valores de STD obtidos nos estudos consultados.



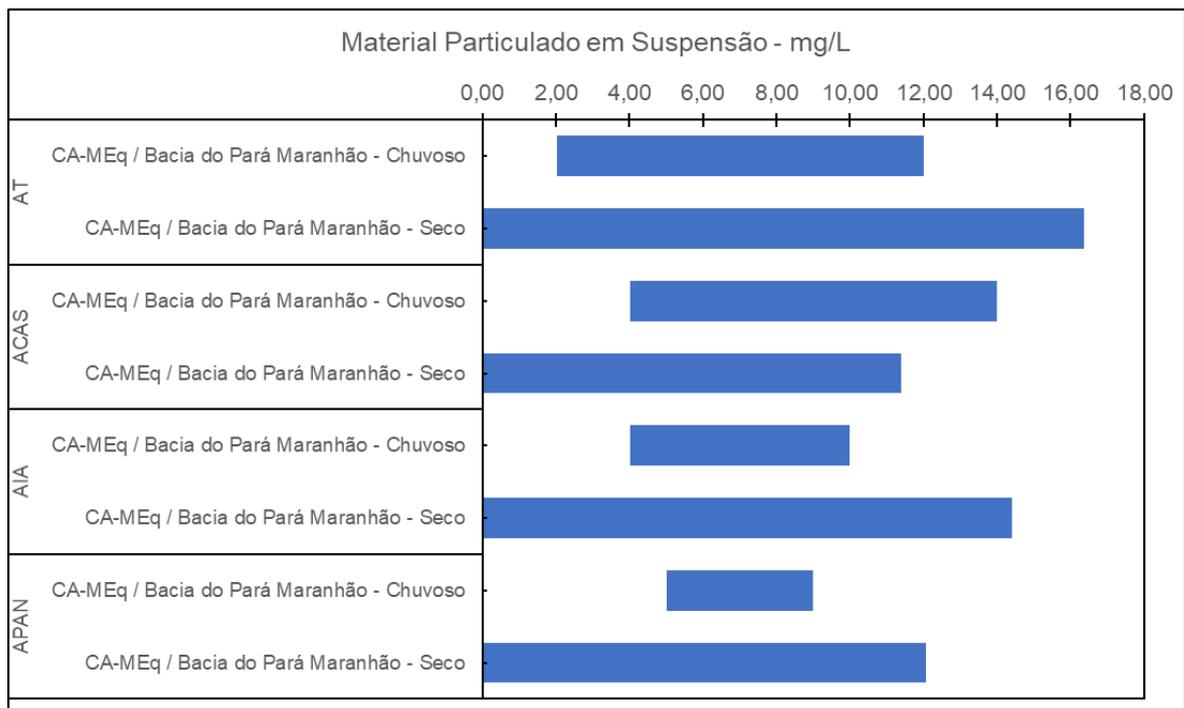
**Figura II.6.1.2.2-5** – Concentração de sólidos dissolvidos em suspensão na Bacia do Pará-Maranhão de acordo com os estudos consultados.

□ *Material Particulado em Suspensão (MPS)*

Para a CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão foram quantificadas concentrações de MPS em todas as amostras, com valores variando da seguinte maneira:

- Superfície a 50 m (AT) - 2 mg/L a 12 mg/L (período chuvoso) e ND a 16,38 mg/L (período seco);
- 250 m (ACAS) – 4,00 a 14,00 mg/L (período chuvoso) e ND a 11,4 mg/L (período seco);
- 800 m (AIA) – 4,00 a 10,00 mg/L (período chuvoso) e ND a 14,4 mg/L (período seco);
- 2300 m (APAN) – 5,00 a 9,00 mg/L L (período chuvoso) e ND a 12,08 mg/L (período seco);

A **Figura II.6.1.2.2-6** mostra os valores de STD obtidos nos estudos consultados.



**Figura II.6.1.2.2-6** – Concentração de material particulado em suspensão na Bacia do Pará-Maranhão de acordo com os estudos consultados.

□ *Nitrogênio Total*

Para o estudo de QG/PIR2 (2015) os valores de total de nitrogênio variaram da seguinte maneira:

- Subsuperfície - 0,059 a 0,422 mg/L;
- 110 m (AT) - 0,057 a 0,461 mg/L;
- 200 m (ACAS) - 0,188 a 0,316 mg/L;
- AIA - 0,074 a 0,519 mg/L;
- APAN - 0,145 a 0,336 mg/L.

O estudo indica que esses resultados são esperados quando se analisam massas d'águas de diferentes profundidades. Na superfície, os nutrientes tendem a ser assimilados rapidamente pelo plâncton, enquanto que nas águas mais profundas existem geralmente concentrações de nutrientes mais abundantes que não são processadas rapidamente pelos organismos planctônicos pela ausência de luz.

□ *Amônia*

No estudo de OGX/HABTEC (2009) as concentrações de amônia variaram de 0,0036 a 0,0058 mg/L nas amostras de superfície, de 0,0034 a 0,0074 mg/L nas amostras de meio, e de 0,0049 a 0,0092 mg/L nas amostras próximas ao fundo. Os resultados mostraram diferenças muito pequenas na concentração de amônia entre estações, pela reduzida amplitude de variação e desvio padrão, e entre profundidades pela pequena diferença entre as concentrações médias dos estratos.

Para a CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão as concentrações de amônia variaram da seguinte maneira:

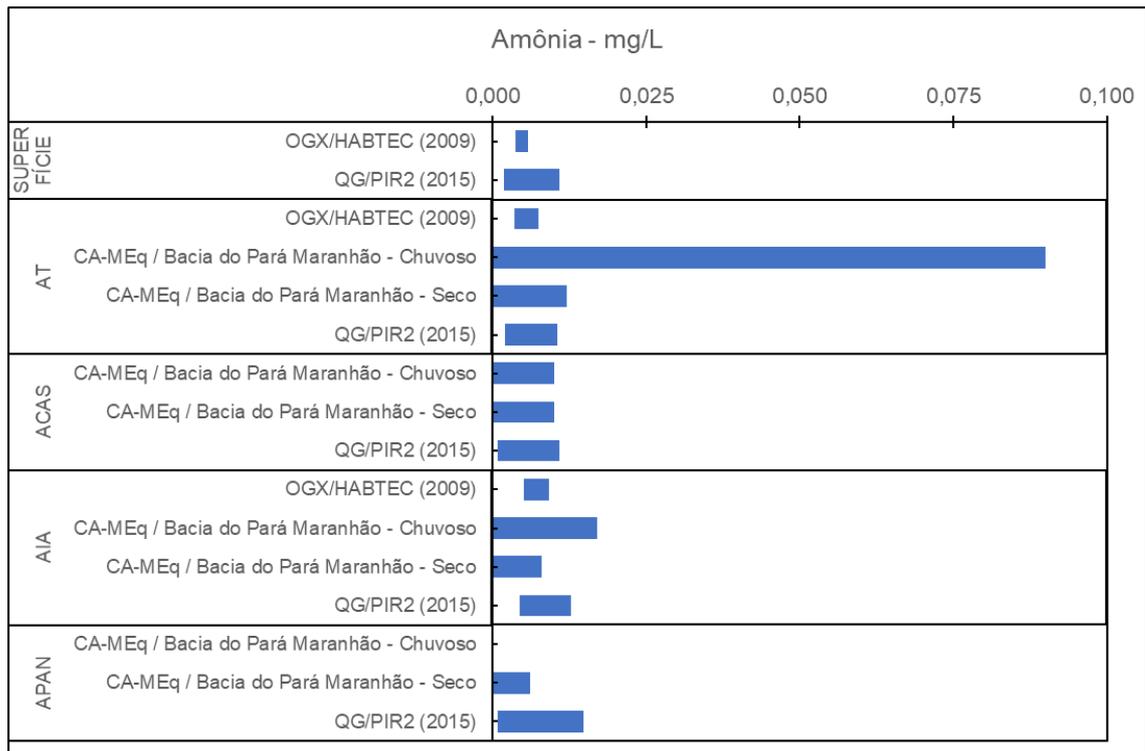
- Superfície a 50 m (AT) - ND (1,429 µmol/L) a 4,97 µmol/L (0,090 mg/L) - chuvoso; ND a 0,68 µmol/L (0,012 mg/L) - seco;
- 250 m (ACAS) – NQ a 0,54 µmol/L (0,010 mg/L) - chuvoso; NQ a 0,57 µmol/L (0,010 mg/L) - seco;
- 800 m (AIA) – ND a 0,94 µmol/L (0,017 mg/L) - chuvoso; ND a 0,47 µmol/L (0,008 mg/L) - seco;
- 2300 m (APAN) – ND a NQ (2,143 µmol/L) (chuvoso); ND a 0,31 µmol/L (0,006 mg/L) - seco.

Para o estudo de QG/PIR2 (2015) as concentrações de amônia variaram da seguinte maneira:

- Subsuperfície - 0,0017 a 0,0108 mg/L;
- 110 m (AT) - 0,0019 a 0,0106 mg/L;
- 200 m (ACAS) - 0,0007 a 0,0109 mg/L;
- AIA - 0,0042 a 0,0127 mg/L;
- APAN - 0,0007 a 0,0147 mg/L.

O estudo indica que os valores encontrados estão de acordo com DEMASTER; POPE (1996); SANTOS (2004), que variaram de 0,0005 a 0,009 mg/L, aproximadamente.

A **Figura II.6.1.2.2-7** mostra os valores de amônia obtidos nos estudos consultados.



**Figura II.6.1.2.2-7 – Concentração de amônia na Bacia do Pará-Maranhão de acordo com os estudos consultados.**

□ *Nitrito*

No estudo de OGX/HABTEC (2009) o nitrito apresentou concentrações que variaram de 0,0037 a 0,0064 mg/L nas amostras de superfície, de 0,0041 a 0,0087mg/L nas amostras de meio, e de 0,0055 a 0,0106 mg/L nas amostras próximas ao fundo.

Para a CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão as concentrações de nitrito em ambas as campanhas foram:

- Superfície a 50 m (AT) - ND a NQ;
- 250 m (ACAS) – ND a NQ;
- 800 m (AIA) – ND a NQ;
- 2300 m (APAN) – NQ;

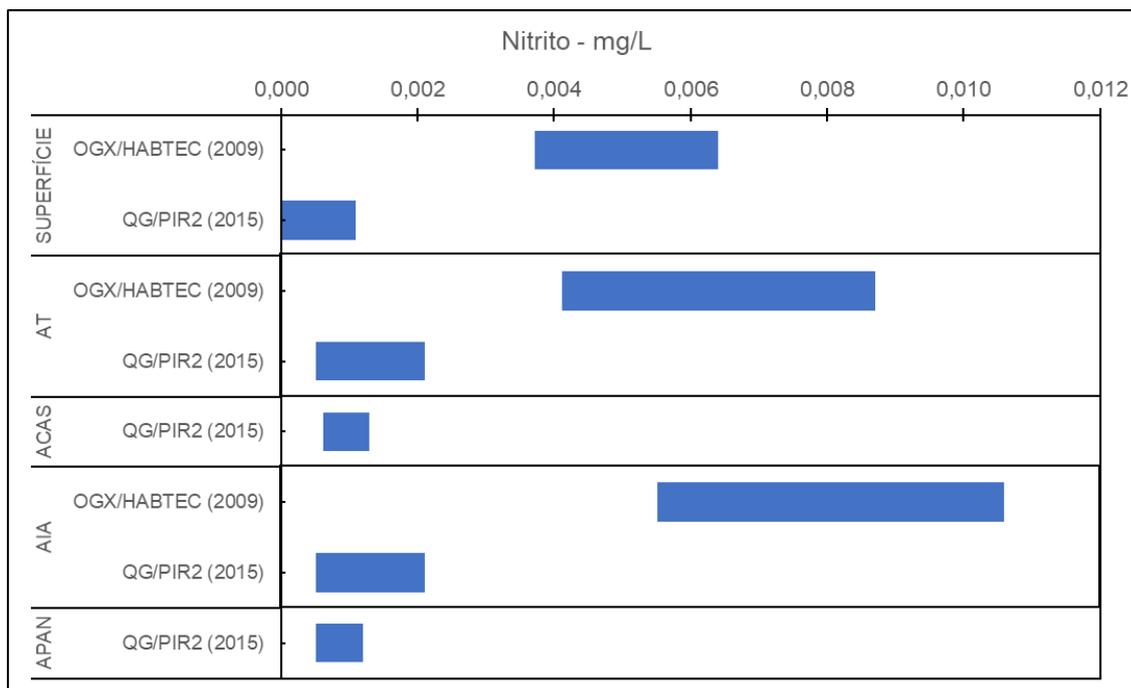
No estudo de QG/PIR2 (2015) as concentrações de nitrito variaram de:

- Subsuperfície - ND a 0,0011 mg/L;
- 110 m (AT) - 0,0005 a 0,0021 mg/L;

- 200 m (ACAS) - 0,0006 a 0,0013 mg/L;
- AIA - 0,0005 a 0,0021 mg/L;
- APAN - 0,0005 a 0,0012 mg/L.

O estudo indica que os valores obtidos estão de acordo com DEMASTER; POPE (1996); SANTOS; MUNIZ (2010); SANTOS (2004); SANTOS et al. (2008b), que variaram de 0,001 a 0,041 mg/L, aproximadamente.

A **Figura II.6.1.2.2-8** mostra os valores de nitrito obtidos nos estudos consultados.



**Figura II.6.1.2.2-8** – Concentração de nitrito na Bacia do Pará-Maranhão de acordo com os estudos consultados.

□ *Nitrato*

No estudo de OGX/HABTEC (2009) o nitrato variou de 0,054 a 0,084 mg/L nas amostras de superfície, de 0,056 a 0,117 mg/L nas amostras de meio, e de 0,117 a 0,171 mg/L nas amostras de fundo.

Para a CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão, a variação das concentrações de nitrato nas diferentes profundidades foi a seguinte:

- Superfície a 50 m (AT) - ND a 24,41  $\mu\text{mol/L}$  (1,51 mg/L) - chuvoso; ND a 5,47  $\mu\text{mol/L}$  (0,34 mg/L) - seco;

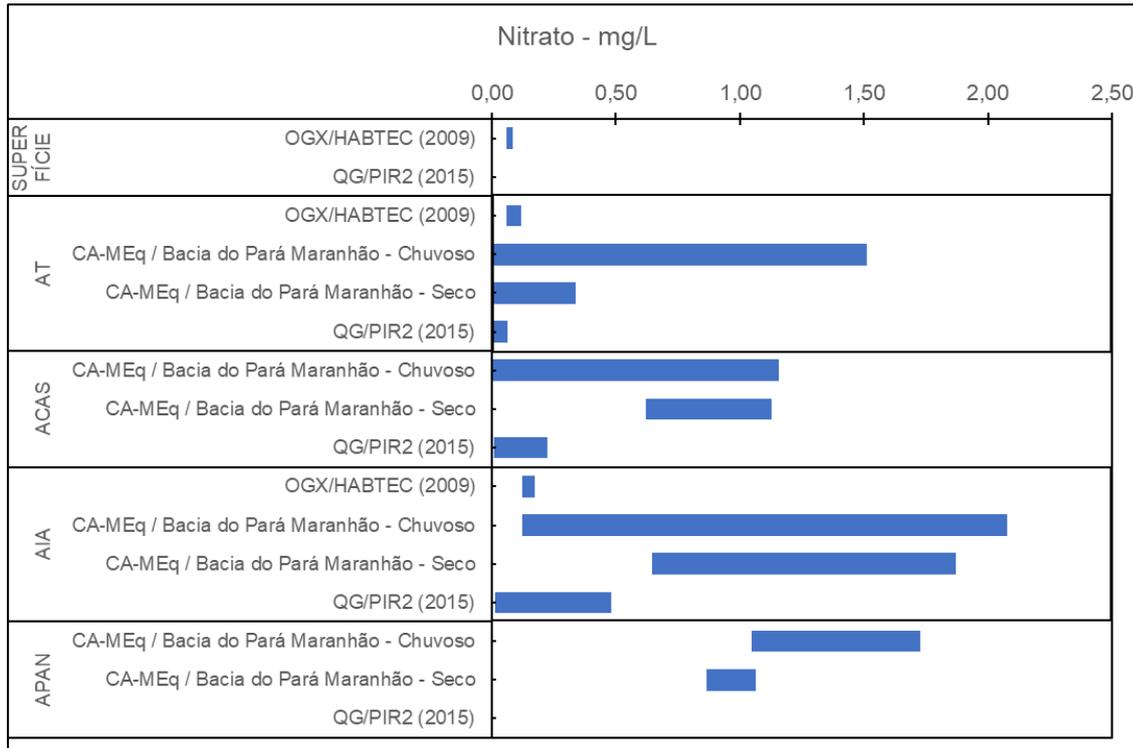
- 250 m (ACAS) – ND a 18,69  $\mu\text{mol/L}$  (1,16 mg/L) - chuvoso; 9,93 a 18,16  $\mu\text{mol/L}$  (0,62 a 1,13 mg/L) - seco;
- 800 m (AIA) – 1,89 a 33,53  $\mu\text{mol/L}$  (0,12 a 2,08 mg/L) - chuvoso e 10,33 a 30,15  $\mu\text{mol/L}$  (0,64 a 1,87 mg/L) - seco;
- 2300 m (APAN) – 16,85 a 27,83  $\mu\text{mol/L}$  (1,04 a 1,73 mg/L) - chuvoso; 13,86 a 17,18  $\mu\text{mol/L}$  (0,86 a 1,07 mg/L) - seco.

No estudo de QG/PIR2 (2015) as concentrações de nitrato foram as seguintes:

- Subsuperfície - ND a 0,0028 mg/L;
- 110 m (AT) - 0,0014 a 0,0620 mg/L;
- 200 m (ACAS) - 0,0008 a 0,2255 mg/L;
- AIA - 0,0081 a 0,4805 mg/L;
- APAN - 0,0005 a 0,0012 mg/L.

O estudo destaca o aumento das concentrações de nitrato em função da batimetria, onde a partir dos 110 m de profundidade as concentrações de nitrato foram aumentando progressivamente até a AIA, voltando a diminuir na APAN. O estudo destaca ainda que os valores obtidos estão de acordo com outros estudos na área, como DEMASTER; POPE (1996); SANTOS; MUNIZ (2010); SANTOS (2004); SANTOS et al. (2008b), que variaram de 0,05 a 1,41 mg/L, aproximadamente.

A **Figura II.6.1.2.2-9** mostra os valores de nitrato obtidos nos estudos consultados.



**Figura II.6.1.2.2-9** – Concentração de nitrato na Bacia do Pará-Maranhão de acordo com os estudos consultados.

□ *Fosfato*

No estudo de OGX/HABTEC (2009) a concentração de fosfato apresentou uma variação de 0,006 a 0,018 mg/L nas amostras de superfície, de 0,016 a 0,036 mg/L nas amostras de meio, e de 0,026 a 0,062 mg/L nas amostras próximas ao fundo.

Para a CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão a variação das concentrações nas diferentes profundidades foi a seguinte:

- Superfície a 50 m (AT) – ND a 0,14 mg/L (chuvoso); NQ a 0,11 mg/L (seco);
- 250 m (ACAS) – NQ a 0,14 mg/L (chuvoso); 0,01 a 0,15 mg/L (seco);
- 800 m (AIA) – 0,06 a 0,32 mg/L (chuvoso); NQ a 0,20 mg/L (seco);
- 2300 m (APAN) – 0,12 a 0,18 mg/L (chuvoso); 0,05 a 0,11 mg/L (seco).

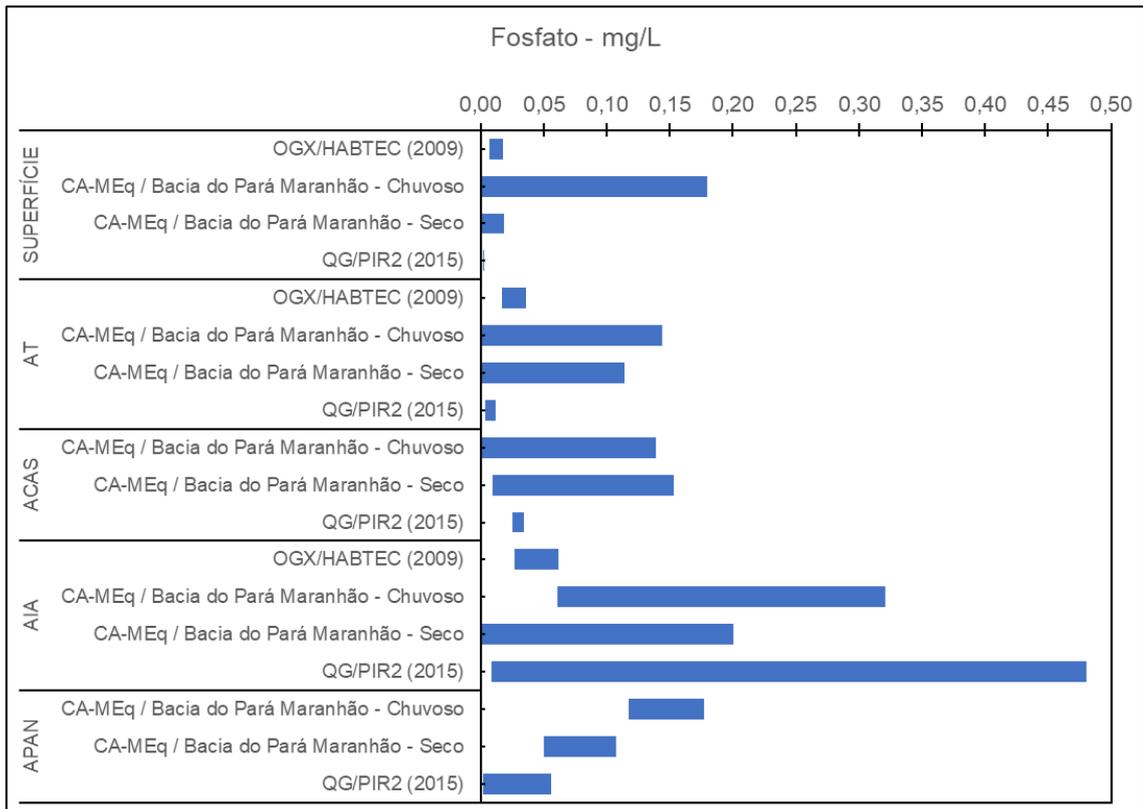
No estudo de QG/PIR2 (2015) as concentrações de fosfato foram as seguintes:

- Subsuperfície - 0,0007 a 0,0025 mg/L;
- 110 m (AT) - 0,0025 a 0,0123 mg/L;
- 200 m (ACAS) - 0,0242 a 0,0340 mg/L;
- AIA - 0,0081 a 0,4805 mg/L;

- APAN - 0,0004 a 0,0556 mg/L.

O estudo destacou que os resultados obtidos estão de acordo com valores obtidos por outros autores na região, como DEMASTER; POPE (1996); SANTOS et al. (2007, 2008a), que variaram de 0,001 a 0,075 mg/L, aproximadamente.

A **Figura II.6.1.2.2-10** mostra os valores de fosfato obtidos nos estudos consultados.



**Figura II.6.1.2.2-10** – Concentração de fosfato na Bacia do Pará-Maranhão de acordo com os estudos consultados.

□ *Fósforo*

No estudo de OGX/HABTEC (2009) as concentrações de fósforo total variaram de 0,009 a 0,022 mg/L nas amostras de superfície, de 0,019 a 0,040 mg/L nas amostras de meio, e de 0,027 a 0,064 mg/L nas amostras próximas ao fundo.

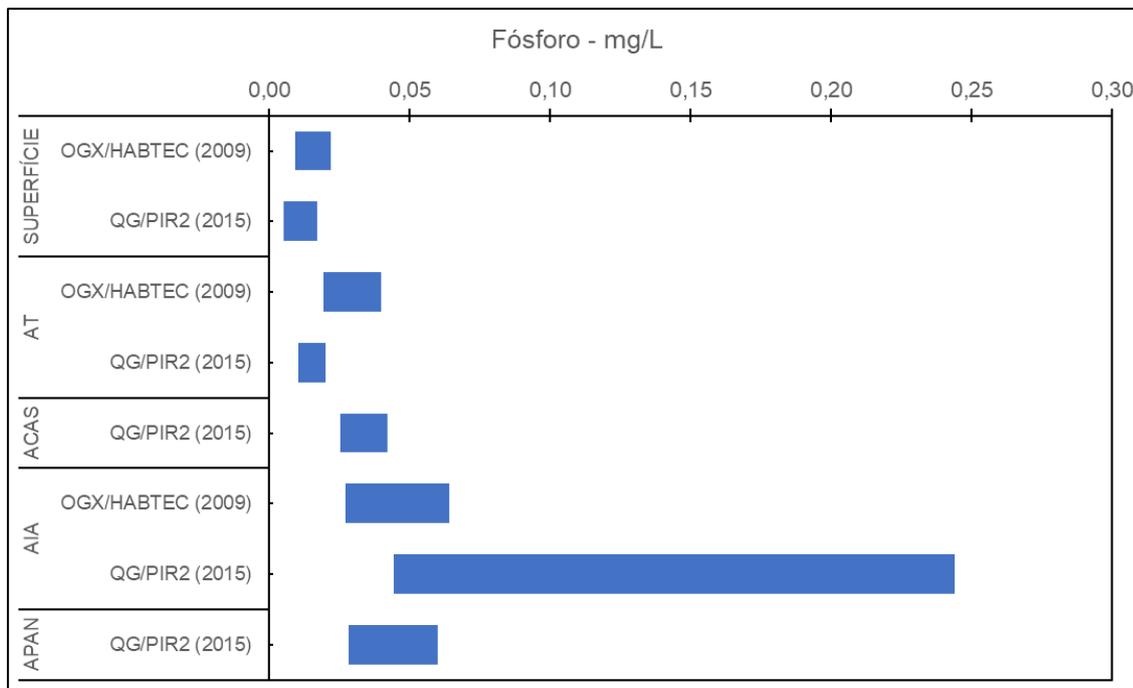
No estudo de QG/PIR2 (2015) as concentrações de fósforo total variaram da seguinte maneira:

- Subsuperfície - 0,005 a 0,017 mg/L;

- 110 m (AT) - 0,010 a 0,020 mg/L;
- 200 m (ACAS) - 0,025 a 0,042 mg/L;
- AIA - 0,044 a 0,244 mg/L;
- APAN - 0,028 a 0,060 mg/L.

O estudo destaca a relação entre o aumento das concentrações de fósforo total em função da batimetria, onde a partir dos 200 m de profundidade as concentrações de fósforo foram aumentando progressivamente até AIA e depois diminuindo na APAN. O estudo ainda indica que os valores obtidos estão de acordo com o estudo de Santos (2010), que teve valores de fósforo variando entre 0,01 e 0,05 mg/L, aproximadamente, para a mesma região.

A **Figura II.6.1.2.2-11** mostra os valores de fósforo obtidos nos estudos consultados.



**Figura II.6.1.2.2-11** – Concentração de fósforo na Bacia do Pará-Maranhão de acordo com os estudos consultados.

□ *Silicato*

No estudo de OGX/HABTEC (2009) os valores de concentração de silicato variaram de 0,033 a 0,053 mg/L nas amostras de superfície, de 0,039 a 0,100 mg/L nas amostras de meio, e de 0,076 a 0,139 mg/L nas amostras próximas ao fundo.

Para a CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão, a variação das concentrações nas diferentes profundidades foi a seguinte:

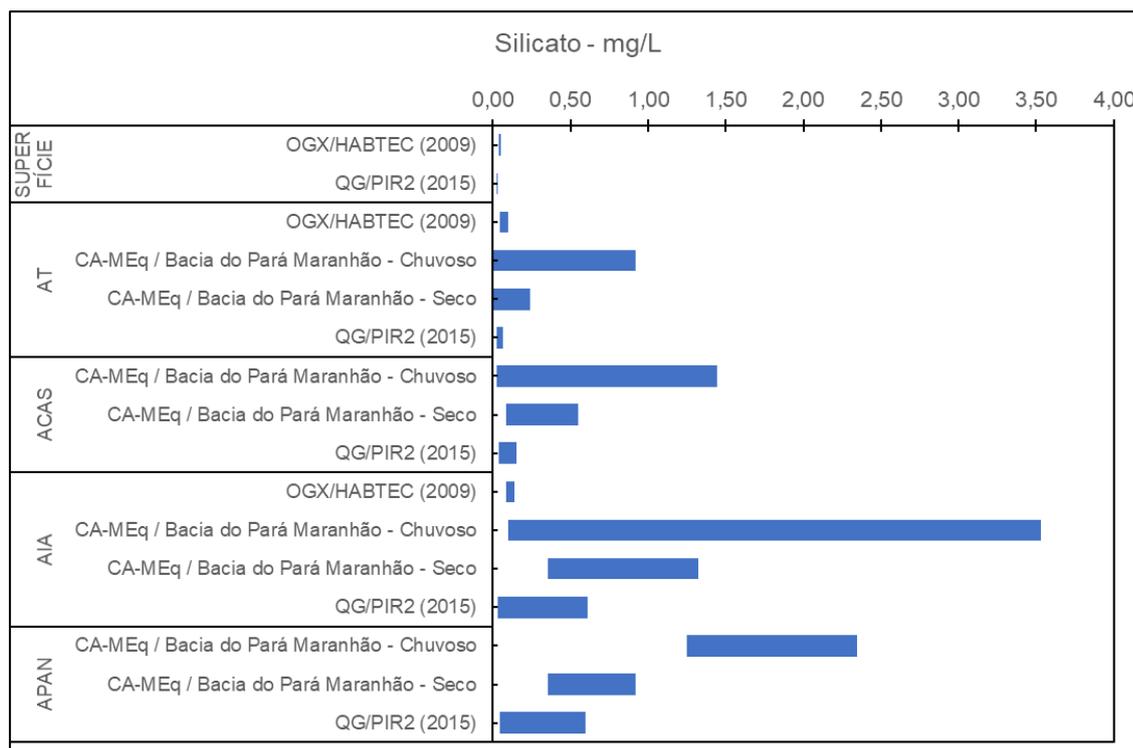
- Superfície a 50 m (AT) – ND a 12,04  $\mu\text{mol/L}$  (0,92 mg/L) - chuvoso; NQ a 3,16  $\mu\text{mol/L}$  (0,24 mg/L) - seco;
- 250 m (ACAS) – 0,24 a 19,01  $\mu\text{mol/L}$  (0,02 a 1,45 mg/L) - chuvoso; 1,07 a 7,23  $\mu\text{mol/L}$  (0,08 a 0,55 mg/L) - seco;
- 800 m (AIA) – 1,22 a 46,41  $\mu\text{mol/L}$  (0,09 a 3,53 mg/L) - chuvoso; 4,59 a 17,40  $\mu\text{mol/L}$  (0,35 a 1,32 mg/L) (seco);
- 2300 m (APAN) – 1,24 a 2,34 mg/L - chuvoso); 0,35 a 0,92 mg/L - seco.

Para o estudo de QG/PIR2 (2015) as concentrações de silicato variaram:

- Subsuperfície - 0,018 a 0,029 mg/L;
- 110 m (AT) - 0,020 a 0,063 mg/L;
- 200 m (ACAS) - 0,029 a 0,150 mg/L;
- AIA - 0,025 a 0,610 mg/L;
- APAN - 0,041 a 0,596 mg/L.

O estudo indica que os valores encontrados estão de acordo com os que SANTOS; MUNIZ (2010) observou para a mesma região, que variaram de 0,01 a 2,80 mg/L, aproximadamente.

A **Figura II.6.1.2.2-12** mostra os valores de silicato obtidos nos estudos consultados.



**Figura II.6.1.2.2-12** – Concentração de silicato na Bacia do Pará-Maranhão de acordo com os estudos consultados.

□ *Carbono orgânico total (COT)*

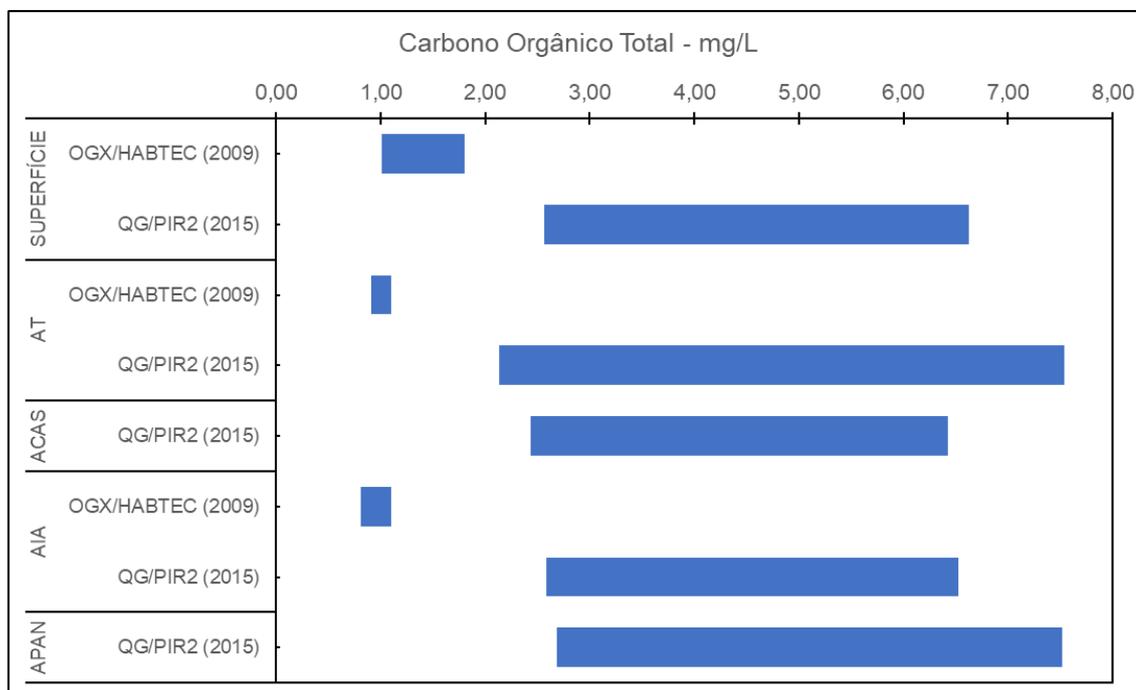
No estudo de OGX/HABTEC (2009) os valores de COT variaram de 1,00 a 1,80 mg/L na superfície, de 0,90 a 1,10 mg/L no meio e de 0,80 a 1,10 mg/L próximo ao fundo.

Para a CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão no período chuvoso o COT variou de NQ a 4,00 mg/L e, no período seco, os valores variaram de ND a 3,00 mg/L. Nas demais profundidades, as concentrações de COT variaram de ND a NQ, exceto na APAN no período seco, que alcançou 3,00 mg/L.

No estudo de QG/PIR2 (2015) as concentrações COT variaram da seguinte forma:

- Subsuperfície - 2,55 a 6,62 mg/L;
- 110 m (AT) - 2,12 a 7,54 mg/L;
- 200 m (ACAS) - 2,42 a 6,42 mg/L;
- AIA - 2,57 a 6,52 mg/L;
- APAN - 2,68 a 7,52 mg/L.

A **Figura II.6.1.2.2-13** mostra os valores de COT obtidos nos estudos consultados.



**Figura II.6.1.2.2-13** – Concentração de carbono orgânico total na Bacia do Pará-Maranhão de acordo com os estudos consultados.

□ *Carbono orgânico particulado (COP)*

Na CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão os valores de COP da superfície a 50 m (AT) variaram de ND a 2,00 mg/L em todo período. No período seco, predominaram valores entre ND e NQ nas demais profundidades, sendo máximo 1,7 mg/L a 250 m (ACAS) e 800 m (AIA). No período seco as concentrações ficaram entre ND e NQ.

□ *Carbono orgânico dissolvido (COD)*

Para a CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão, durante o período chuvoso e seco, as concentrações de COD variaram de ND, na maioria das estações, a 2 mg/L. Nas demais profundidades, as concentrações de COD variaram de ND a NQ, exceto na APAN no período seco, que alcançou 2,00 mg/L.

□ *Sulfetos*

No estudo de OGX/HABTEC (2009) as concentrações de sulfetos nas amostras analisadas variaram de 0,004 a 0,008 mg/L na superfície, de 0,004 a 0,008 mg/L no meio e de 0,004 a 0,011 mg/L próximo ao fundo.

Para a CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão, a maioria das amostras coletadas nos períodos chuvoso e seco apresentou concentração de sulfetos abaixo do limite de detecção do método. Quando quantificáveis, apenas em profundidades correspondentes à AT e ACAS, com máximo de 0,007 mg/L no período chuvoso, e 0,168 mg/L no período seco.

No estudo de (QG/PIR2, 2015) os sulfetos não foram detectados em nenhuma das amostras de água analisadas.

□ *Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP)*

No estudo de OGX/HABTEC (2009) as análises nas amostras de água coletadas não detectaram a presença de HTP.

Para a CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão, também não foram detectados HTP nas amostras do período chuvoso. No período seco, concentrações de HTP foram detectadas em uma única estação e profundidade, porém estiveram abaixo do LD.

O estudo de QG/PIR2 (2015) não detectou a presença de HTP nas amostras de água coletadas.

□ *Hidrocarbonetos Poliaromáticos (HPA)*

No estudo de OGX/HABTEC (2009) as análises nas amostras de água coletadas não detectaram a presença HPA.

Para a CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão, concentrações de HPA foram detectadas em ambas as campanhas. Na campanha do período chuvoso as médias resultantes dos somatórios dos compostos HPA variaram de  $0,066 \pm 0,075$  µg/L na profundidade de 250 m a  $0,262 \pm 0,366$  µg/L na profundidade de 2300 m. Já na campanha de período seco, os resultados foram mais homogêneos, e as concentrações médias variaram de  $0,055 \pm 0,048$  µg/L na profundidade de 2300 m

a  $0,088 \pm 0,095 \mu\text{g/L}$  na profundidade intermediária. A variação das concentrações nas diferentes profundidades foi a seguinte:

- Superfície - ND a  $0,295 \mu\text{g/L}$  (chuvoso); NQ a  $0,203 \mu\text{g/L}$  (seco);
- Intermediária – ND a  $0,195 \mu\text{g/L}$  (chuvoso);  $0,012$  a  $0,306 \mu\text{g/L}$  (seco);
- 50 m (AT) – NQ a  $0,249 \mu\text{g/L}$  (chuvoso); NQ a  $0,313 \mu\text{g/L}$  (seco);
- 250 m (ACAS) – NQ a  $0,243 \mu\text{g/L}$  (chuvoso); NQ a  $0,373 \mu\text{g/L}$  (seco);
- 800 m (AIA) – NQ a  $0,275 \mu\text{g/L}$  (chuvoso); NQ a  $0,176 \mu\text{g/L}$  (seco);
- 2300 m (APAN) –  $0,040$  a  $0,685 \mu\text{g/L}$  (chuvoso); ND a  $0,083 \mu\text{g/L}$  (seco).

O estudo de QG/PIR2 (2015) não detectou HPAs nas amostras de água obtidas nos cinco estratos da coluna d'água.

□ *BTEX*

No estudo de OGX/HABTEC (2009) as análises nas amostras de água coletadas não detectaram a presença de BTEX.

Para a CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão, compostos BTEX não foram detectados na campanha do período chuvoso. Já no período seco, 75% das amostras coletadas no transecto 1 apresentaram concentrações de Tolueno, sendo que apenas uma esteve acima do limite de quantificação do método. Nesse mesmo transecto foi detectado Etilbenzeno em uma estação, mas sua concentração não pôde ser quantificada ( $< 1,00 \mu\text{g/L}$ ). No transecto 2, 52,94% das amostras apresentaram concentrações de Tolueno - todas abaixo do limite de quantificação do método ( $< 1,00 \mu\text{g/L}$ ). Por último, no transecto 3, foi detectado Tolueno em cinco estações, Etilbenzeno em duas, e m,p-xilenos em quatro. Nenhuma dessas concentrações pôde ser quantificada ( $< 1,00 \mu\text{g/L}$ ).

□ *n-alcenos*

No estudo de OGX/HABTEC (2009) as análises nas amostras de água coletadas não detectaram a presença de n-alcenos.

Para a CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão, foram verificadas concentrações de n-alcenos apenas na campanha do período seco, em uma estação em superfície, onde o composto *n*-C8 ocorreu abaixo do limite de quantificação do

método ( $< 2,00 \mu\text{g/L}$ ), e em uma estação na profundidade de 50 m, com concentrações de *n*-C14 iguais a  $3,00 \mu\text{g/L}$ .

□ *Mistura Complexa Não Resolvida (MCNR)*

No estudo de OGX/HABTEC (2009) as análises nas amostras de água coletadas não detectaram a presença de mistura complexa não resolvida (MCNR).

Para a CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão, não foram detectadas concentrações de MCNR nas amostras coletadas durante o período. No período seco, esses compostos foram detectados apenas na profundidade de 50 m de uma estação, entretanto suas concentrações estiveram abaixo do limite de quantificação do método ( $< 100 \mu\text{g/L}$ ).

□ *Fenóis*

No estudo de OGX/HABTEC (2009) os valores de fenóis nas amostras de superfície variaram de ND a  $0,059 \text{ mg/L}$ , no meio de ND a  $0,270 \text{ mg/L}$  e para as amostras de fundo de ND a  $0,120 \text{ mg/L}$ .

Para a CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão, não foram detectados fenóis em nenhuma das amostras coletadas nos períodos chuvoso e seco. O mesmo ocorreu no estudo de QG/PIR2 (2015), onde os fenóis não foram detectados em nenhuma das amostras de água analisadas.

□ *Considerações finais sobre a qualidade da água na Bacia do Pará-Maranhão*

Os resultados apresentados para a CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão elucidam as principais características da região quanto a qualidade da água:

- **Oxigênio dissolvido:** nas campanhas tanto no período chuvoso e seco, as concentrações de OD na região foram mais elevadas, como esperado, nas camadas superiores da coluna d'água, até cerca de 100 m, superando às citadas na CONAMA nº375/05 para águas salinas classe 1. Em profundidade, na região afótica, foi observado um decréscimo nas concentrações de OD, o qual pode ser atribuído à compensação entre a respiração e a atividade fotossintética até 1000 m, onde ocorre o balanço

entre a concentração de carbono fixada pelo fitoplâncton e a quantidade de oxigênio utilizada para a respiração biótica. A profundidade na qual é possível notar este balanço chama-se profundidade de compensação. No caso dos perfis analisados, esta foi observada a 700 m, aproximadamente. Ainda, estas menores concentrações podem ser devido à estagnação da mistura vertical e o acúmulo de material orgânico produzido na região eufótica. Na região mais profunda, em aproximadamente 2300 m, as concentrações elevam-se até o valor de 8 mg/L. Este enriquecimento em oxigênio pode ser atribuído à presença da massa d'água APAN. Além disso, não houve diferença pronunciada entre os períodos chuvoso e seco;

- **pH:** foram observados valores de pH maiores no período chuvoso nos transectos mais ao norte, o contrário para o transecto mais ao sul, onde o pH é menor em quase todos os pontos coletados no período chuvoso, comparados aos valores medidos no período seco. O pH possui relação inversa com a pressão, apresenta um decréscimo com o aumento da profundidade, e relação direta com o aumento da temperatura. Assim, o decréscimo de pH observado entre 500 e 1000 m de profundidade é atribuído à localização da termoclina, caracterizada pela diminuição abrupta da temperatura na coluna d'água. Em ambientes oceânicos, ocorre a diminuição dos valores de pH em camadas mais profundas, devido ao aumento de CO<sub>2</sub> na água quando as taxas de respiração superam as taxas de fotossíntese. Maiores concentrações de CO<sub>2</sub> na água podem aumentar a formação de ácido carbônico, ocasionando a diminuição do pH (PEDROSA et al., 2012);
- **Material Particulado em Suspensão:** não foi observado tendência de concentrações mais elevadas próximo à costa devido ao aporte continental, sendo que a maior concentração foi localizada no ponto mais distante da costa, a 800 m de profundidade. E assim não foi possível identificar padrões de distribuição tanto vertical como horizontal. Ressalta-se ainda que o ponto mais próximo ao continente dista-se a aproximadamente 70 km da linha de costa;
- **Carbono orgânico dissolvido, particulado e total:** As análises realizadas para detecção de COD nas amostras apresentaram valores iguais ou muito

próximos ao limite de quantificação, de forma homogênea. As concentrações de COP variaram de não detectadas a 2 mg/L no período chuvoso, sendo quantificadas apenas nos transectos mais ao sul. No período seco, apenas duas amostras no transecto central apresentaram concentrações detectáveis de acordo com o método utilizado, também sem padrão de distribuição. As concentrações de COT variaram de não detectado a 4 mg/L e no período seco oscilou de não detectado a 3 mg/L e, como os demais, sem padrão de distribuição relevante. Apenas 13% dos dados amostrados tiveram valores superiores ao padrão da CONAMA;

- **Nutrientes biolimitantes - fosfato, nitrato e silicato:** as concentrações de fosfato apresentaram um padrão de enriquecimento em direção ao fundo. No período seco foi verificado o mesmo padrão observado no período chuvoso, e as concentrações mais elevadas de fosfato foram registradas em profundidade maiores. O período chuvoso, para ambas as bacias, apresentou concentrações maiores de fosfato, provavelmente pelo maior aporte de material orgânico (fonte continental desses nutrientes) devido à maior pluviosidade. Assim como o fósforo, o nitrato, um nutriente essencial para a biota autotrófica da zona eufótica, aparece em menores concentrações em superfície com tendência à elevação de suas concentrações em profundidade, característica que pode ser atribuída principalmente à remineralização da matéria orgânica produzida na região fótica. Na campanha de período seco, as maiores concentrações de nitrato foram registradas também abaixo dos 100 m de profundidade. Este padrão mostra valores acima do padrão estabelecido na CONAMA em 36% das amostras. Para o silicato, como esperado, sendo um nutriente limitante, é quase completamente exaurido na superfície, aumentando sua concentração em direção ao fundo devido à remineralização da matéria orgânica. Para os três transectos, observou-se o aumento dos teores de silicato com a profundidade. Comparativamente, a campanha realizada no período seco apresentou menores concentrações que no período chuvoso. Isto pode estar relacionado, como já mencionado anteriormente, ao maior aporte continental devido ao aumento da pluviosidade;
- **Nitrito:** as concentrações de nitrito estiveram abaixo dos limites de detecção em todas as amostras da Bacia do Pará Maranhão;

- **Amônia:** no período chuvoso, as concentrações médias obtidas ao longo da coluna d'água apresentaram uma elevação nos teores de amônia na profundidade intermediária. No período seco, as concentrações foram mais homogêneas. Comparativamente com o nitrato e o nitrito, o íon amônia é raramente mensurado no oceano aberto, resultado de uma compreensão desigual de sua distribuição, a qual é devido principalmente às metodologias não funcionarem bem para regiões com baixas concentrações, o que resulta na necessidade de aplicação de métodos altamente sensíveis (GRUBER, 2008);
- **Sulfeto:** a maioria das amostras coletadas nos períodos chuvoso e seco apresentou concentração de sulfetos abaixo do limite de detecção do método. Apenas 10% das amostras correspondem a valores superiores aos descritos na CONAMA 375/05 para águas salinas classe 1. Entretanto, deve-se ressaltar que através do acúmulo de material orgânico em regiões anaeróbicas o sulfeto é liberado e o despejo de efluentes sanitários é um contribuinte antrópico de sulfeto para o meio ambiente. No Brasil, principalmente na região norte e nordeste, não existe de fato tratamento de esgoto, de acordo com informações disponíveis no portal do IBGE (2014) a região do estado do Pará com 144 municípios e população estimada para 2014 de 8.073.924 habitantes, apenas 9 municípios são atendidos com rede coletora de esgoto, ou seja, não há tratamento deste tipo de efluente na região;
- **Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA):** foram detectados em ambas as campanhas, sendo que no período chuvoso, foi observada concentração mais elevada em 2300 m, bastante superior aos demais resultados da campanha, que pode ser explicado pela contaminação da amostra durante a coleta ou indicativo de algum enriquecimento local destes compostos. As amostras que apresentaram concentrações quantificáveis indicaram a presença de HPAs com possível origem petrogênica associada à coluna d'água, o que pode sugerir, devido aos valores diminutos das concentrações encontradas nas análises, origem natural através do escape de fendas no fundo oceânico. Porém, a

contaminação das amostras durante a coleta na embarcação não pode ser descartada;

- **Outros compostos orgânicos:** os Hidrocarbonetos Totais do Petróleo (HTP), n-Alcanos, BTEX, Mistura Complexa Não Resolvida (MCNR) e Fenóis não foram detectados.

- *Qualidade do Sedimento*

- *Granulometria*

Para a CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão, os sedimentos mais grosseiros foram encontrados nas estações situadas sobre a plataforma continental, entre 25 e 300 m de profundidade, e os mais finos nas mais profundas situadas no talude entre 400 e 3.000 m, observando-se uma progressiva redução do tamanho médio do grão com o aumento da profundidade.

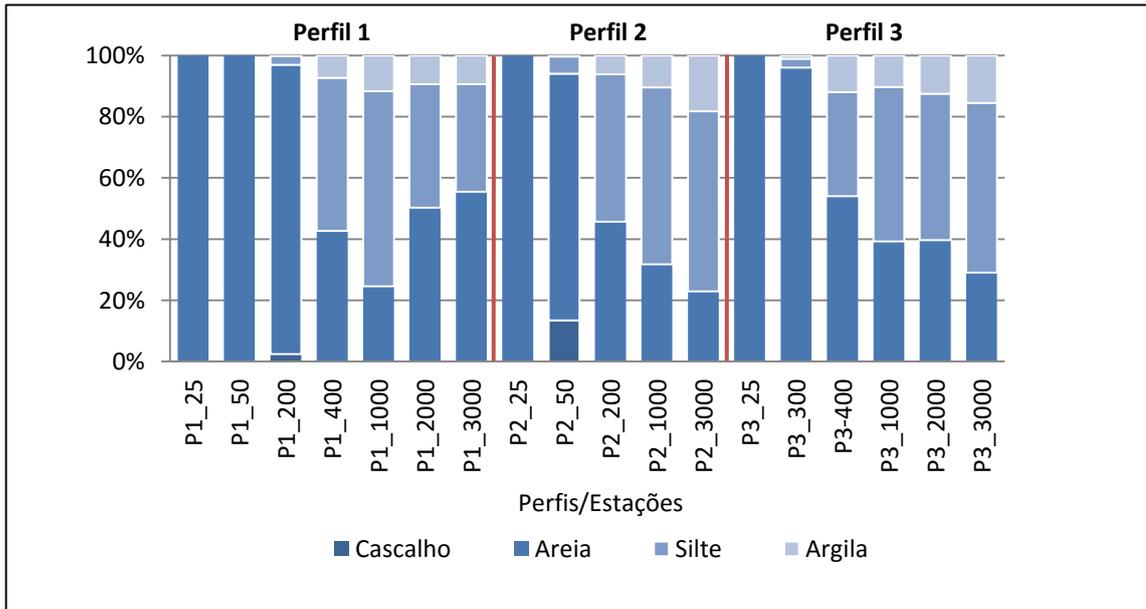
As frações granulométricas sobre a plataforma tiveram as seguintes proporções neste estudo:

- Cascalho: 0,25% a 13,43% (chuvoso); 0,58 e 3,51% (seco);
- Areia média (AM): 10,12% a 70,82% (chuvoso); 31,36% a 62,81% (seco);
- Silte (S): 2,85% a 48,17% (chuvoso); 2,09% a 2,27% (seco);
- Argila (ARG): 6,1% a 0,07% (chuvoso); 0,00% a 0,07% (seco).

Nas estações profundas situadas no talude continental entre profundidades de 400 e 3.000 m, as frações foram:

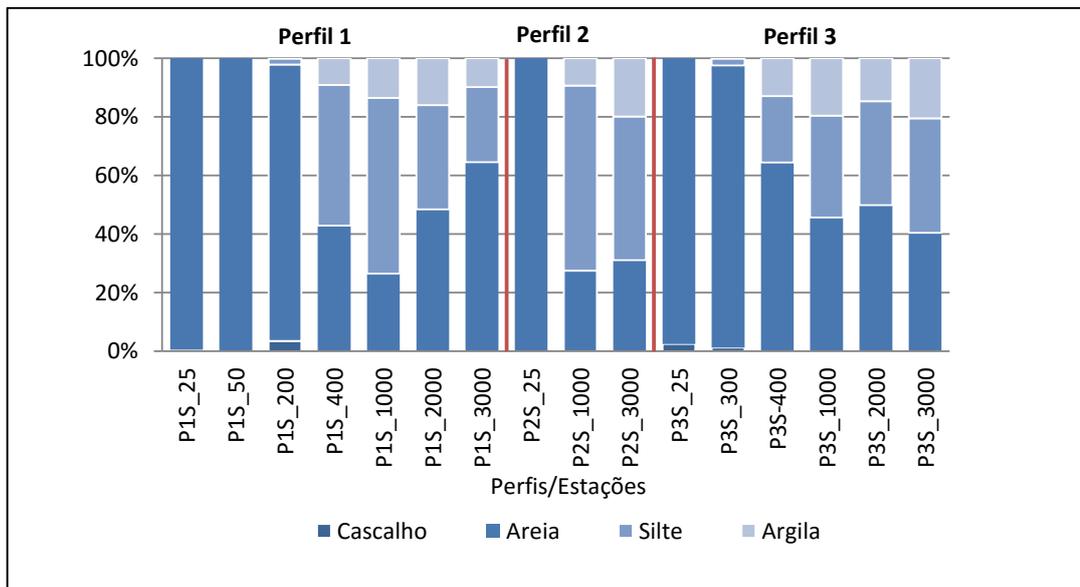
- Cascalho: chuvosos, somente uma estação (0,09%);
- Areia muito fina: 10,01% a 22,42% (chuvoso). Na campanha do período seco a areia média (AM), areia fina (AF) e areia muito fina (AMF) foram as frações arenosas com maior contribuição percentual;
- Sedimentos finos (silte e argila): 35% a 77,13% (chuvoso e seco).

A **Figura II.6.1.2.2-14** e a **Figura II.6.1.2.2-15** abaixo mostram estes resultados apresentados para os períodos chuvoso e seco, respectivamente. Já a **Figura II.6.1.2.2-16** e a **Figura II.6.1.2.2-17** mostram em mapa a composição granulométrica descrita.



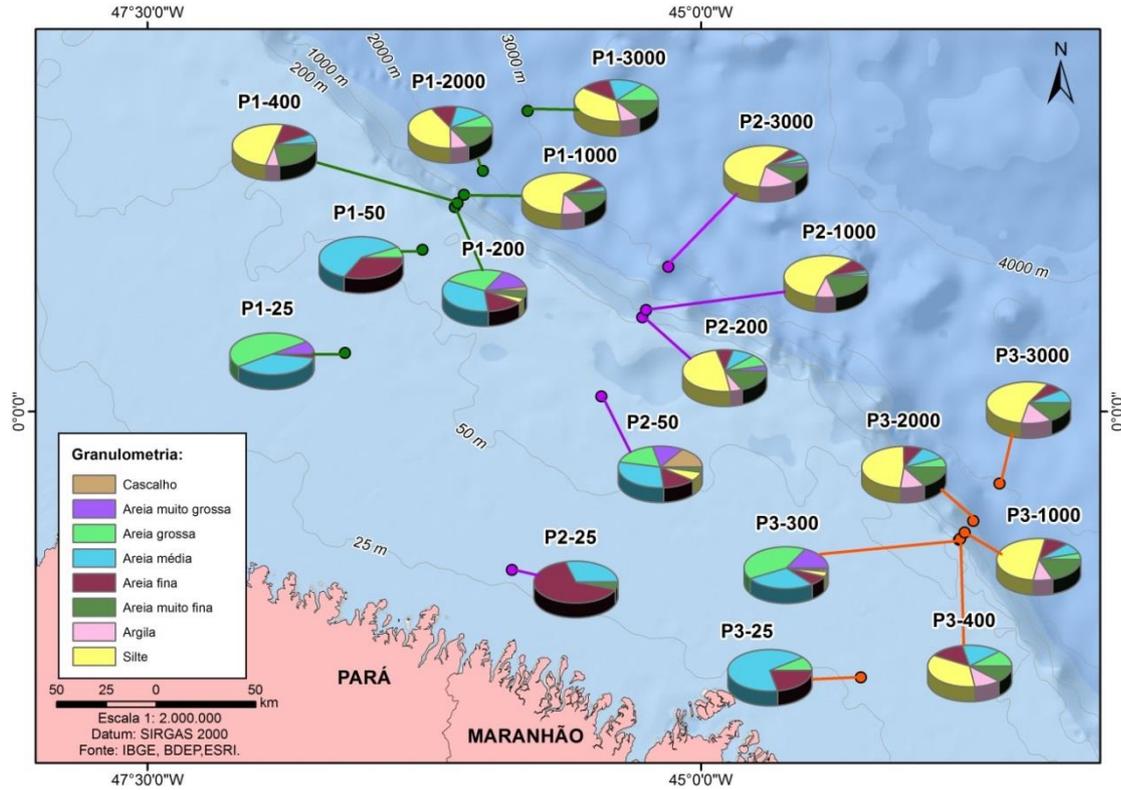
Fonte: Caracterização Ambiental da Margem Equatorial (CA-MEq)/ Bacia do Pará Maranhão

**Figura II.6.1.2.2-14** – Composição granulométrica (%) para a Bacia do Pará-Maranhão para o período chuvoso. O número em cada perfil/estação mostra a profundidade da estação de coleta.



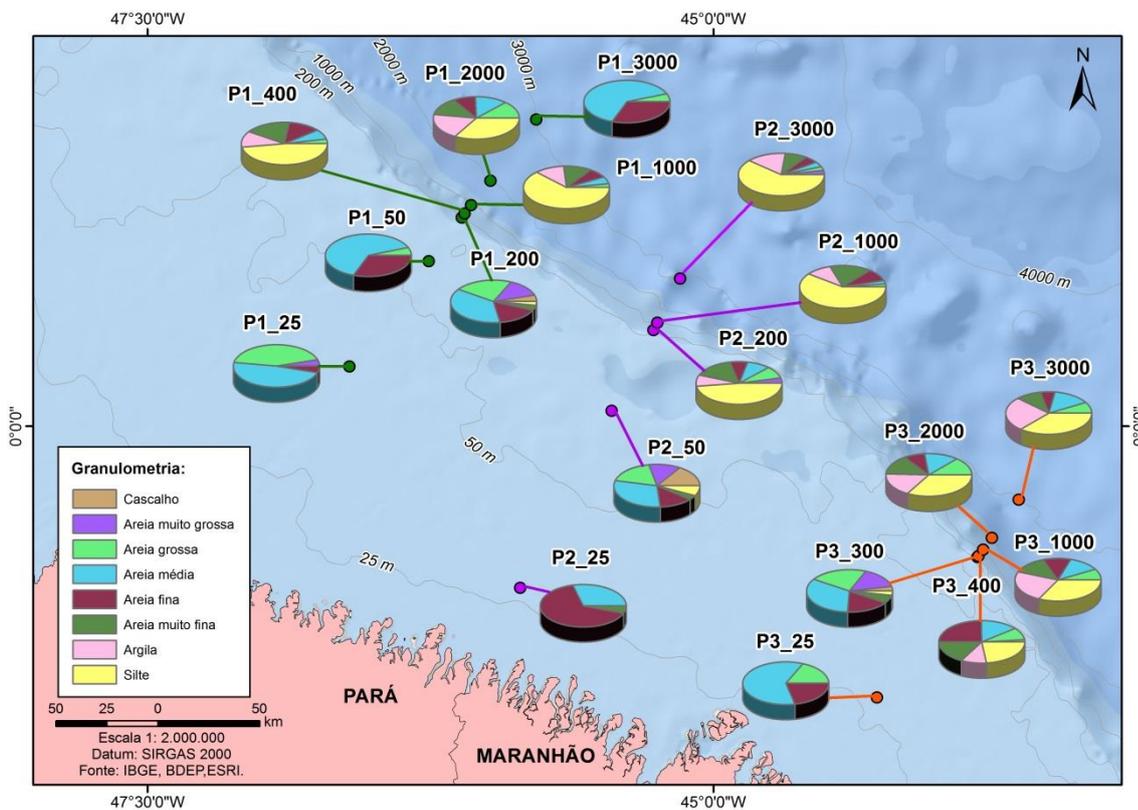
Fonte: Caracterização Ambiental da Margem Equatorial (CA-MEq)/ Bacia do Pará Maranhão

**Figura II.6.1.2.2-15** – Composição granulométrica (%) para a Bacia do Pará-Maranhão para o período seco. O número em cada perfil/estação mostra a profundidade da estação de coleta.



Fonte: Caracterização Ambiental da Margem Equatorial (CA-MEq)/ Bacia do Pará Maranhão

**Figura II.6.1.2.2-16** – Ilustração representativa da composição granulométrica na Bacia Para-Maranhão. Período chuvoso.



Fonte: Caracterização Ambiental da Margem Equatorial (CA-MEq)/ Bacia do Pará Maranhão

**Figura II.6.1.2.2-17 – Ilustração representativa da composição granulométrica na Bacia Para-Maranhão. Período seco.**

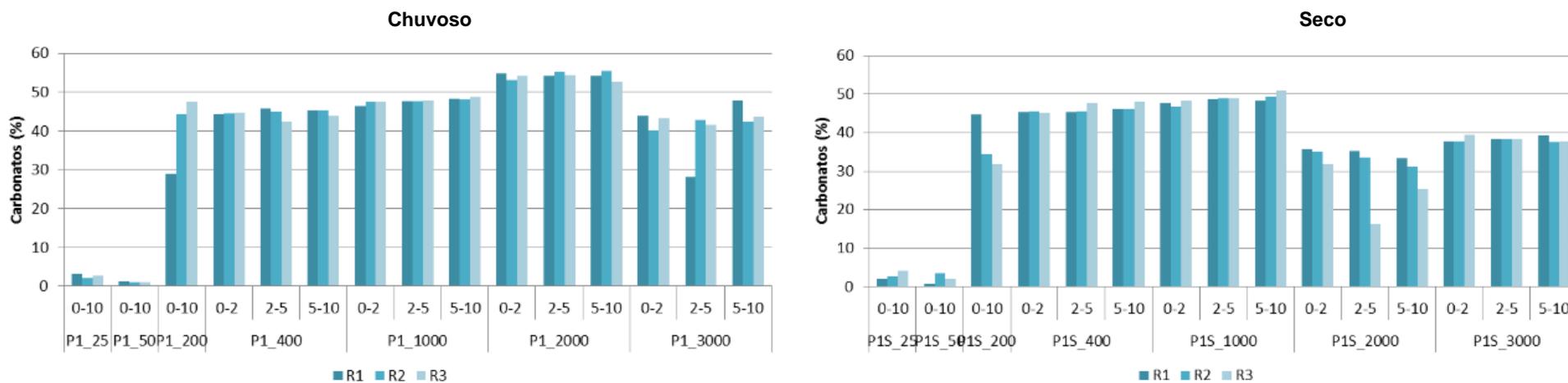
Para o estudo de QG/PIR2 (2015), a análise granulométrica do sedimento revelou a predominância das frações mais finas do sedimento, com a areia misturada a lama constituindo a maior parte do sedimento em todas as estações amostradas. Os percentuais variaram de:

- Silte: 30,63 a 68,74%
- Areia: 12,53 a 63,48%
- Argila: 5,89 a 18,74%.

Estes valores estão dentro dos limites observados na CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão.

□ *Carbonatos*

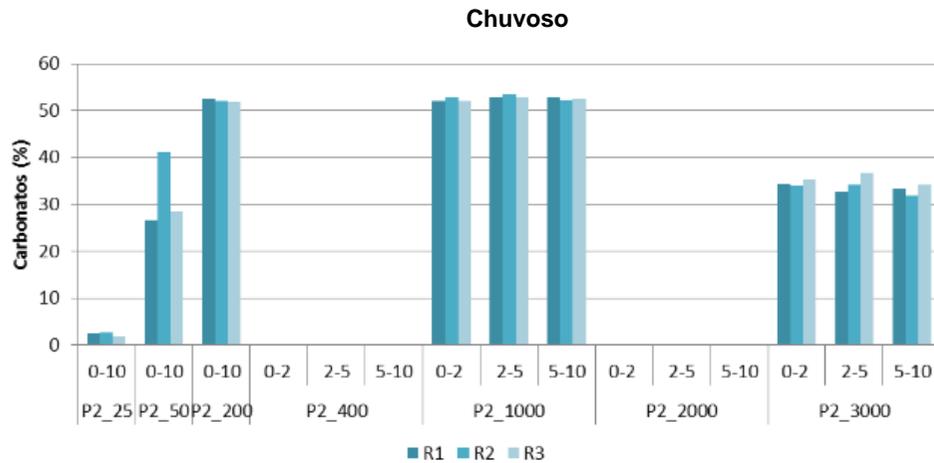
Para a CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão as concentrações de carbonatos nas estações rasas estiveram em média, na faixa de 14 a 29% e nas estações profundas entre 34 a 47%. Para as estações rasas não se verificou nenhum padrão de distribuição, visto que em cada perfil ocorre uma relação específica entre a concentração de carbonato e a profundidade. Para a área profunda o estudo observou aumento da contribuição de carbonato com o aumento da profundidade, até um máximo em 2.000 m ou 3.000 m de profundidade, a partir de onde as concentrações voltam a decrescer - **Figura II.6.1.2.2-18** a **Figura II.6.1.2.2-20**.



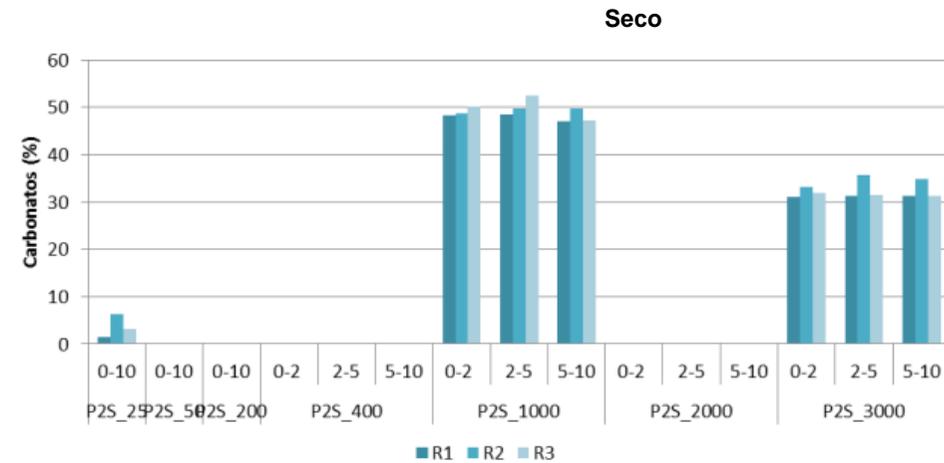
Fonte: Caracterização Ambiental da Margem Equatorial (CA-MEq)/ Bacia do Pará Maranhão

**Figura II.6.1.2.2-18** – Concentração de carbonatos (%). Campanhas dos períodos chuvoso (esquerda) e seco (direita), no perfil 1. O valor ao final de cada estação corresponde a profundidade de coleta.

*(Handwritten mark)*

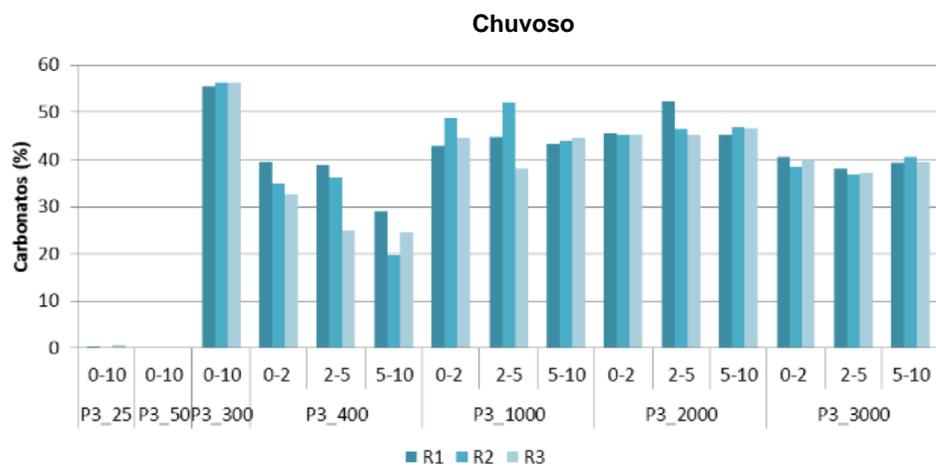


### Perfil 2

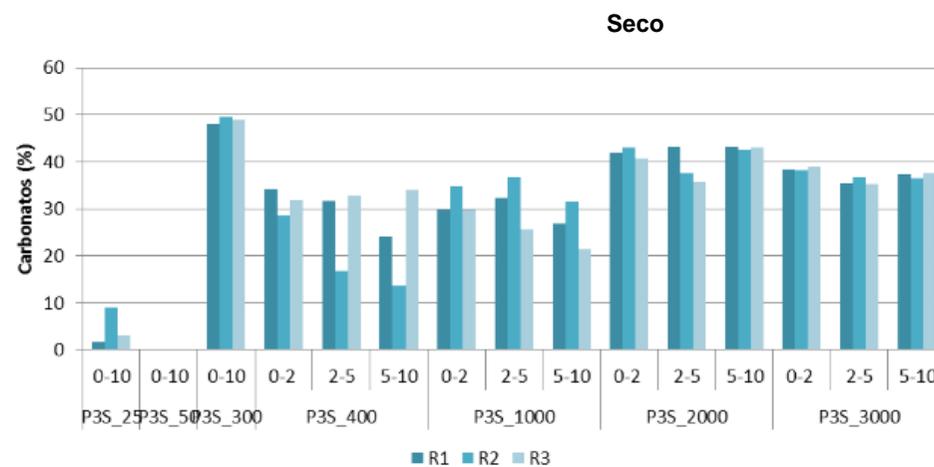


Fonte: Caracterização Ambiental da Margem Equatorial (CA-MEq)/ Bacia do Pará Maranhão

**Figura II.6.1.2.2-19** – Concentração de carbonatos (%). Campanhas dos períodos chuvoso (esquerda) e seco (direita), no perfil 2. O valor ao final de cada estação corresponde a profundidade de coleta.



### Perfil 3

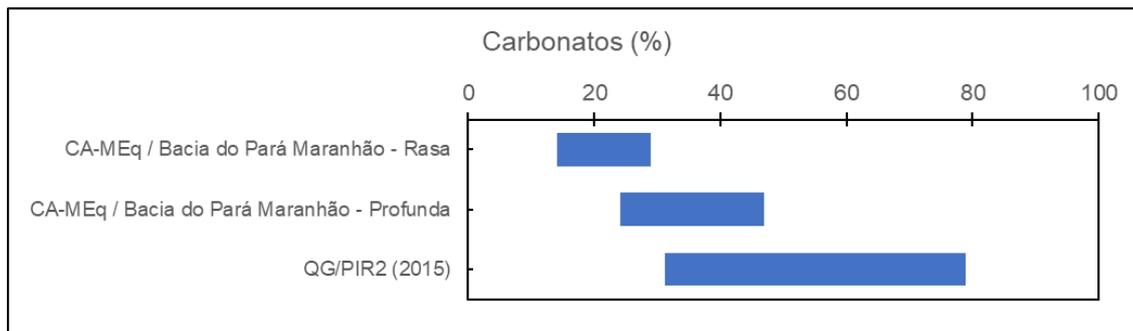


Fonte: Caracterização Ambiental da Margem Equatorial (CA-MEq)/ Bacia do Pará Maranhão

**Figura II.6.1.2.2-20** – Concentração de carbonatos (%). Campanhas dos períodos chuvoso (esquerda) e seco (direita), no perfil 3. O valor ao final de cada estação corresponde a profundidade de coleta.

No estudo de QG/PIR2 (2015), os carbonatos apresentaram uma representatividade média de 61,21% nas amostras de sedimento coletadas nas estações variando de 31,1% a 78,9%. O estudo não distinguiu um padrão espacial claro na representatividade dos carbonatos nas diferentes estações da malha analisada.

A **Figura II.6.1.2.2-21** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concondância entre eles.



**Figura II.6.1.2.2-21** – Concentração de carbonato no sedimento na Bacia do Pará-Maranhão de acordo com os estudos consultados.

□ *Teor de matéria orgânica ou matéria orgânica total (MOT)*

Para a CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão as concentrações médias de MOT foram:

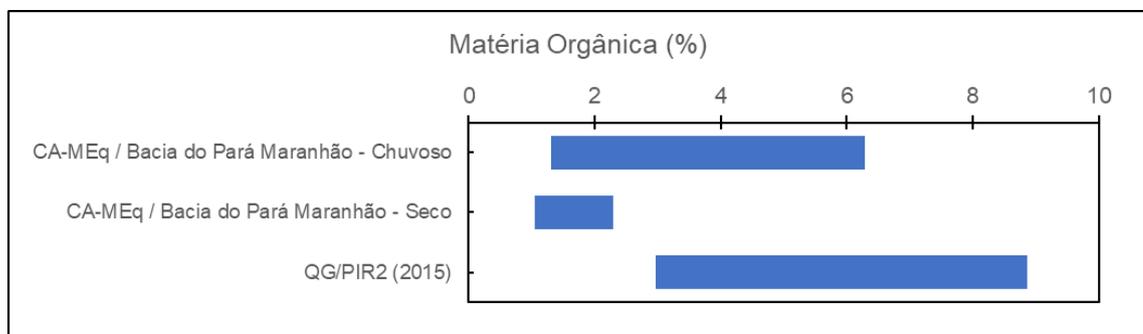
- Chuvoso: 1,29 a 6,28 %;
- Seco: 1,04 a 2,29 %;

O estudo identificou que as estações mais rasas, em geral, foram as que apresentaram as concentrações mais baixas. Nas estações profundas, entre 400 e 3.000 m, as maiores diferenças foram observadas entre os perfis. Ainda, o estudo destaca que de um modo geral os percentuais médios de MOT observados na área profunda dos três perfis são maiores no período chuvoso.

Tanto em área rasa quanto profunda, observou-se padrões semelhantes de distribuição, com teores aumentando das estações mais rasas para as mais profundas, sendo que nas estações de área profunda, este padrão é seguido até uma certa profundidade a partir da qual os valores começam a decrescer com o aumento da profundidade.

Para o estudo de QG/PIR2 (2015) os percentuais de MOT variaram de 3,95 a 8,86 %. O estudo destaca que como se trata de uma área profunda e não perturbada, deve ocorrer periodicamente um incremento de frações orgânicas que se precipitam ao fundo marinho e que ao longo do tempo se acumulam no sedimento, promovendo assim concentrações elevadas desses compostos orgânicos. O estudo indica que os valores observados estão próximos aos obtidos pelos estudos de LIMA; SIQUEIRA; LIMA (2006); PEREIRA; LIMA; EL-ROBRINI (2006) que também realizaram análises na região, com valores variando entre 0,2 e 3,5%.

A **Figura II.6.1.2.2-22** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concordância entre eles.



**Figura II.6.1.2.2-22** – Concentração de matéria orgânica no sedimento na Bacia do Pará-Maranhão de acordo com os estudos consultados.

□ *Carbono orgânico total - COT*

Para a CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão as concentrações médias de COT por período amostrado foram de:

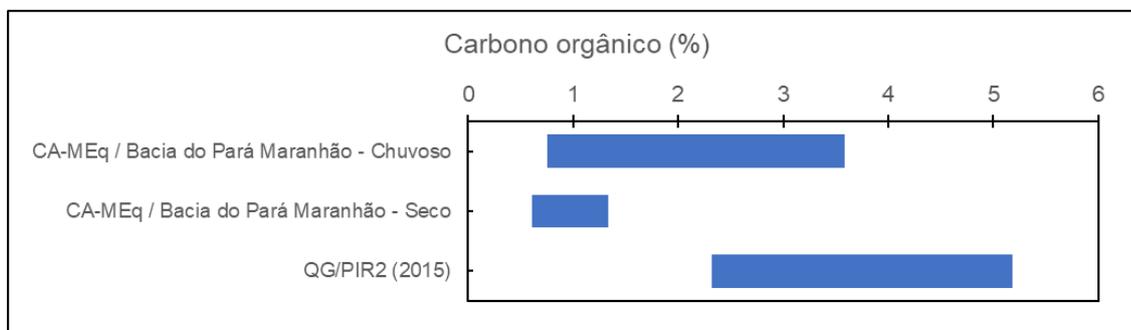
- Chuvoso: 0,74 a 3,59 %;
- Seco: 0,6 a 1,33 %;

O estudo demonstrou que as estações rasas apresentaram valores consistentemente mais baixos quando comparados aos encontrados nas demais estações. As estações entre 200 e 300 m tiveram os valores mais altos e a partir dessas verificou-se uma tendência à diminuição em direção às estações situadas a 3.000 m.

Para o estudo de QG/PIR2 (2015) os percentuais de COT variaram de 2,31 a 5,18%. O estudo destacou que os valores encontrados são próximos aos de outros

estudos na área, como LIMA; SIQUEIRA; LIMA (2006); PEREIRA; LIMA; EL-ROBRINI (2006), que tiveram valores variando entre 0,1 e 2,1%, aproximadamente.

A **Figura II.6.1.2.2-23** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concordância entre eles.



**Figura II.6.1.2.2-23** – Concentração de carbono orgânico no sedimento na Bacia do Pará-Maranhão de acordo com os estudos consultados.

#### □ Nitrogênio

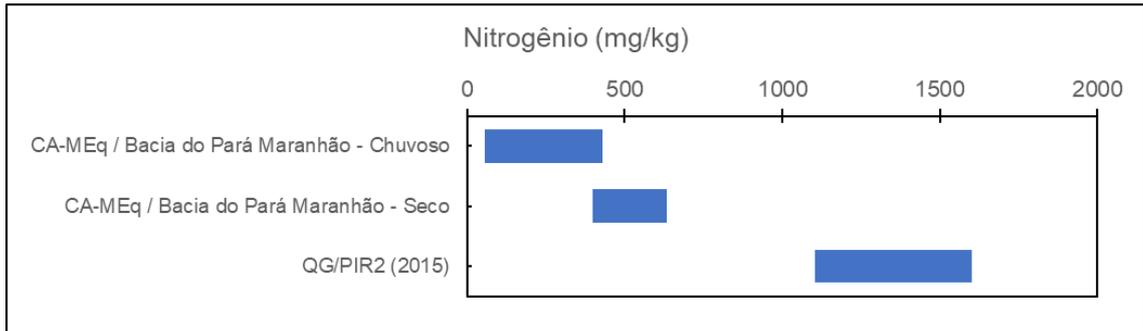
Para a CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão, os resultados médios para o período chuvoso e seco foram de:

- Chuvoso: 54 a 430 mg/kg;
- Seco: 394 a 633 mg/kg.

O estudo observou que, de um modo geral, os percentuais de nitrogênio total obtidos nas estações mais rasas (25 a 300 m) são menores que os obtidos nas profundas (400 a 3.000 m), sendo que as maiores concentrações ocorrem entre as profundidades de 200 e 400 m.

No estudo de QG/PIR2 (2015) os valores variaram de 1100 a 1600 mg/kg, estando de acordo com LIMA; SIQUEIRA; LIMA (2006); PEREIRA; LIMA; EL-ROBRINI (2006), que tiveram valores variando entre 0,03 e 0,21 %, aproximadamente.

A **Figura II.6.1.2.2-24** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concordância entre eles.



**Figura II.6.1.2.2-24** – Concentração de nitrogênio no sedimento na Bacia do Pará Maranhão de acordo com os estudos consultados.

□ *Fósforo*

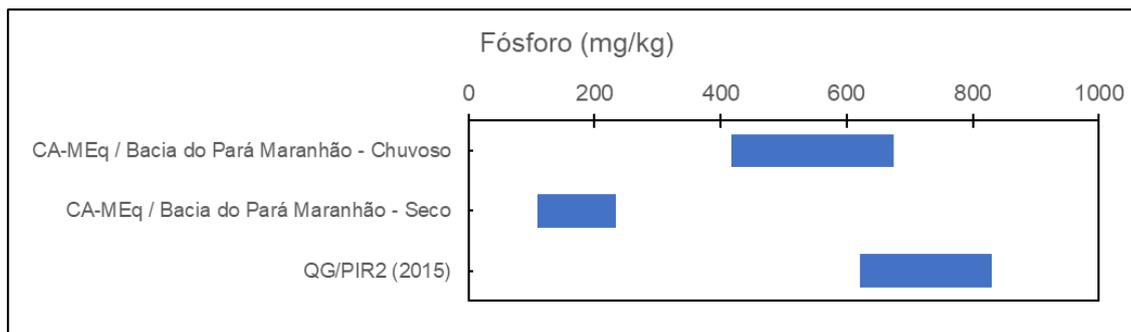
Para a CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão as concentrações médias variaram de:

- Chuvoso: 416 a 675 mg/kg;
- Seco: 108 a 233 mg/kg;

O estudo observou que em águas rasas as estações localizadas a 25 m de profundidade apresentam menores valores de concentração de fósforo que as estações mais profundas e a concentração tende a aumentar com o aumento de profundidade em direção aos 3.000 m. Ainda, nas estações situadas na parte profunda dos perfis, as estações apresentaram valores percentuais mais altos no período chuvoso.

No estudo de QG/PIR2 (2015) as concentrações de fósforo total nas amostras de sedimento analisadas variaram entre 620 a 830 mg/kg, estando de acordo com os resultados observados por LIMA; SIQUEIRA; LIMA (2006); PEREIRA; LIMA; EL-ROBRINI (2006) – que variou de 0,060 a 0,078 %, aproximadamente.

A **Figura II.6.1.2.2-25** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concordância entre eles.



**Figura II.6.1.2.2-25** – Concentração de fósforo no sedimento na Bacia do Pará-Maranhão de acordo com os estudos consultados.

□ *Enxofre*

Para a CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão os resultados médios de enxofre total por período amostrado variaram de:

- Chuvoso: ND a 2216 mg/kg;
- Seco: ND a 2197 mg/kg;

O estudo identificou que nas estações rasas na campanha do período chuvoso ocorreu um aumento das concentrações de enxofre total das estações situadas a 25 m de profundidade para as localizadas a 200 m. Já na campanha realizada no período seco apenas um dos perfis teve o mesmo comportamento.

□ *Metais e semimetais*

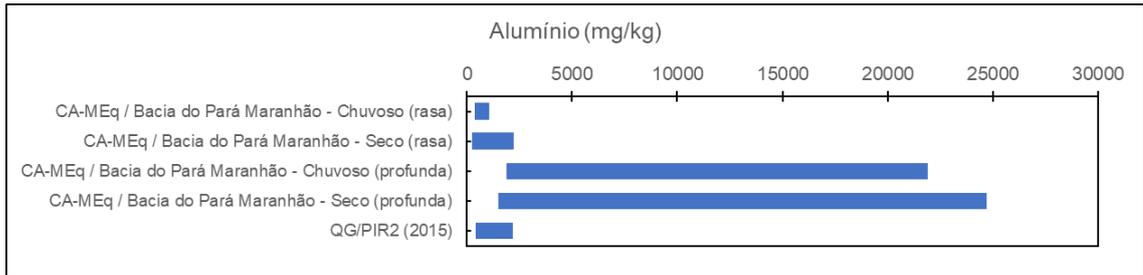
– *Alumínio – Al*

Para a CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão, as concentrações obtidas foram:

- Área rasa: 331,7 a 1055,0 mg/kg (chuvoso); 185,3 a 2204,0 mg/kg (seco);
- Área profunda: 1840,0 a 21900,0 mg/kg (chuvoso); 1432,0 a 24697,0 mg/kg (seco).

No estudo de QG/PIR2 (2015) os valores variaram de 358,5 a 2185,0 mg/kg. O estudo destacou que espacialmente não pôde ser distinguido nenhum padrão quanto às concentrações de alumínio observadas nas diferentes estações e os seus posicionamentos nos blocos.

A **Figura II.6.1.2.2-26** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concondância entre eles.



**Figura II.6.1.2.2-26** – Concentração de alumínio no sedimento na Bacia do Pará-Maranhão de acordo com os estudos consultados.

– Arsênio – As

No estudo de QG/PIR2 (2015) os valores variaram de 1,10 a 3,23 mg/kg, estando abaixo de valores observados por Ferraz (1996) e PIATAM (2008) na mesma área – entre 10 e 250 mg/kg, aproximadamente.

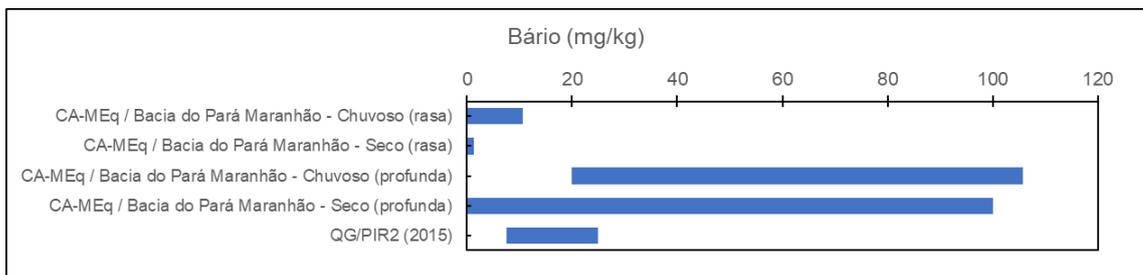
– Bário – Ba

Para a CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão as concentrações obtidas foram:

- Área rasa: ND a 10,7 mg/kg (chuvoso); ND a 1,3 mg/kg (seco);
- Área profunda: 19,7 a 105,7 mg/kg (chuvoso); ND a 100 mg/kg (seco).

No estudo de QG/PIR2 (2015) os valores variaram de 7,3 a 25,0 mg/kg, estando de acordo com valores observados por Ferraz (1996) e PIATAM (2008) – entre 7,0 e 250 mg/kg.

A **Figura II.6.1.2.2-27** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concordância entre eles.



**Figura II.6.1.2.2-27** – Concentração de bário no sedimento na Bacia do Pará-Maranhão de acordo com os estudos consultados.

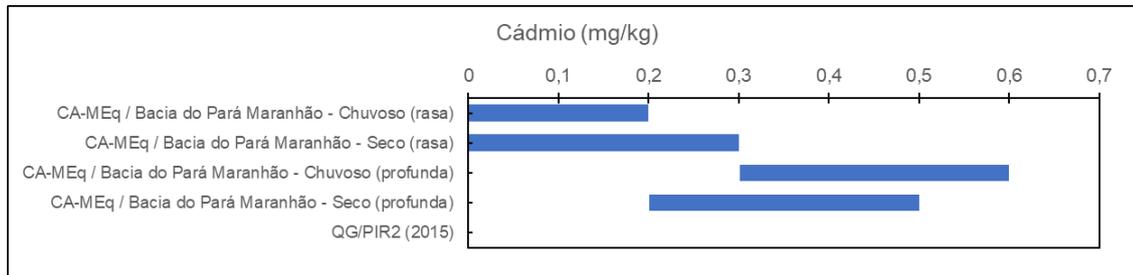
– Cádmió – Cd

Para a CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão, as concentrações obtidas foram:

- Área rasa: ND a 0,2 mg/kg (chuvoso); ND a 0,3 mg/kg (seco);
- Área profunda: 0,3 a 0,6 mg/kg (chuvoso); 0,2 a 0,5 mg/kg (seco).

O estudo de QG/PIR2 (2015) não encontrou valores detectáveis nas amostras analisadas.

A **Figura II.6.1.2.2-28** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concordância entre eles.



**Figura II.6.1.2.2-28** – Concentração de cádmio no sedimento na Bacia do Pará-Maranhão de acordo com os estudos consultados.

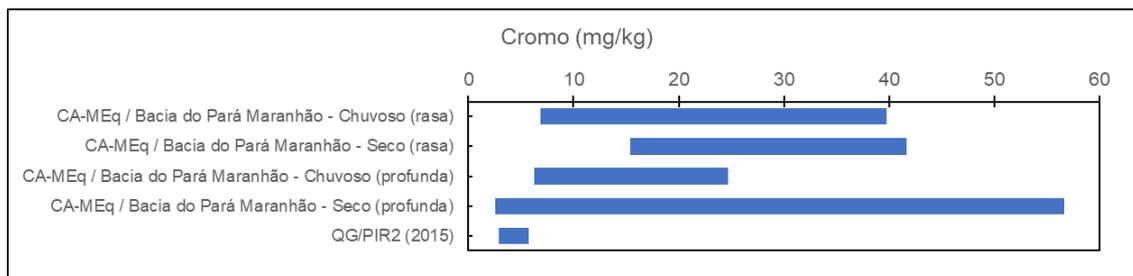
– Cromo – Cr

Para a CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão, as concentrações obtidas foram:

- Área rasa: 6,8 a 39,8 mg/kg (chuvoso); 15,3 a 41,7 mg/kg (seco);
- Área profunda: 6,2 a 24,7 mg/kg (chuvoso); 2,5 a 56,7 mg/kg (seco).

No estudo de QG/PIR2 (2015) os valores variaram de 2,83 a 5,75 mg/kg, estando abaixo dos valores observados por Souza (1995), Ferraz (1996), PIATAM (2008) e Lima (2005) na mesma área – que variaram entre 10 e 630 mg/kg, aproximadamente.

A **Figura II.6.1.2.2-29** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concordância entre eles.



**Figura II.6.1.2.2-29** – Concentração de cromo no sedimento na Bacia do Pará-Maranhão de acordo com os estudos consultados.

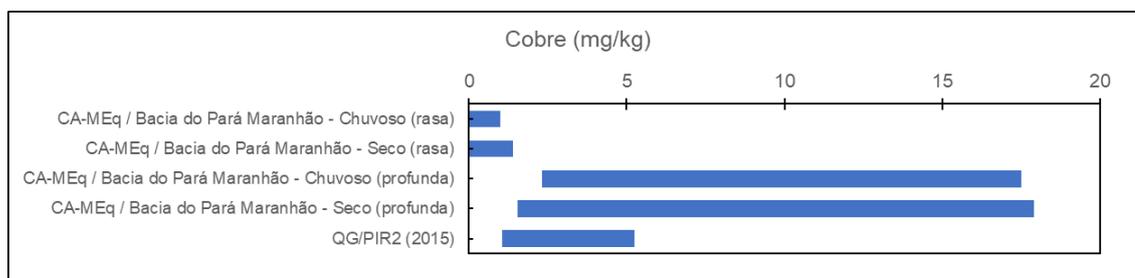
– Cobre – Cu

Para a CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão, as concentrações obtidas foram:

- Área rasa: ND a 1,0 mg/kg (chuvoso); <0,2 a 1,4 mg/kg (seco);
- Área profunda: 2,3 a 17,5 mg/kg (chuvoso); 1,5 a 17,9 mg/kg (seco).

No estudo de QG/PIR2 (2015) os valores variaram de 1,01 a 5,24 mg/k, estando abaixo dos valores obtidos nos estudo de Souza (1995), PIATAM (2008) e Lima (2005) na mesma área – entre 5,5 e 140 mg/kg, aproximadamente.

A **Figura II.6.1.2.2-30** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concondância entre eles.



**Figura II.6.1.2.2-30** – Concentração de cobre no sedimento na Bacia do Pará-Maranhão de acordo com os estudos consultados.

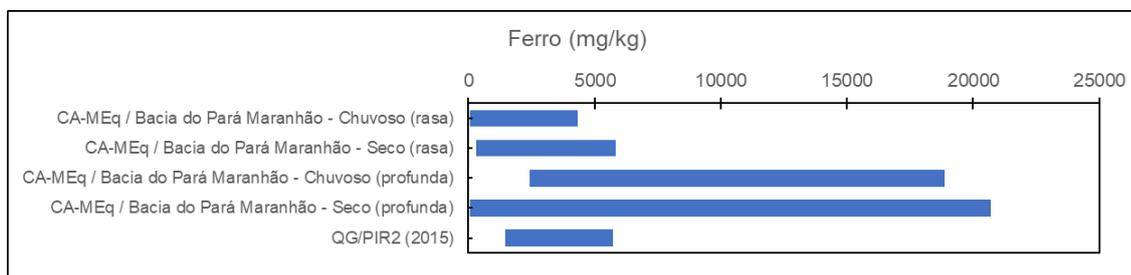
– Ferro – Fe

Para a CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão, as concentrações obtidas foram:

- Área rasa: 14,7 a 4.318,0 mg/kg (chuvoso); 265,3 a 5.819,0 mg/kg (seco);
- Área profunda: 2.391,0 a 18.861,0 mg/kg (chuvoso); 15,6 a 20.703 mg/kg (seco).

No estudo de QG/PIR2 (2015) os valores variaram de 1.406,0 a 5.725,8 mg/kg. O estudo destaca que espacialmente não pôde ser distinguido nenhum padrão quanto às concentrações de ferro observadas nas diferentes estações e os seus posicionamentos nos blocos e que os valores estiveram próximos aos observados por Souza (1995), Pereira (2006), PIATAM (2008) e Lima (2005), que variaram de 10 a 125.000 mg/kg, aproximadamente.

A **Figura II.6.1.2.2-31** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concordância entre eles.



**Figura II.6.1.2.2-31** – Concentração de ferro no sedimento na Bacia do Pará-Maranhão de acordo com os estudos consultados.

– *Mercúrio – Hg*

O estudo de QG/PIR2 (2015) e a CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão não encontraram valores detectáveis nas amostras analisadas.

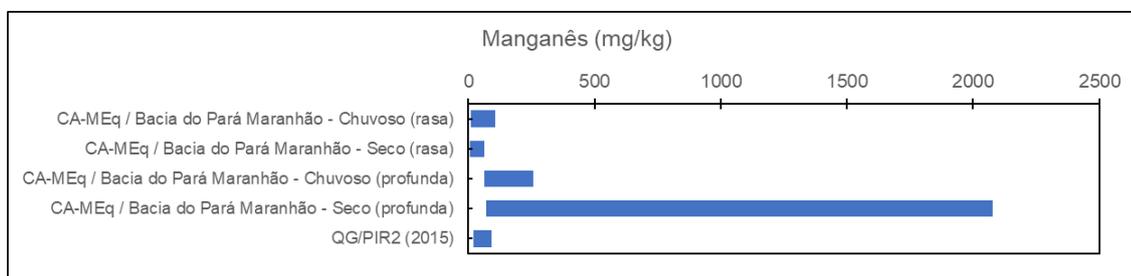
– *Manganês – Mn*

Para a CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão, as concentrações obtidas foram:

- Área rasa: 7,0 a 106,0 mg/kg (chuvoso); 4,0 a 63,3 mg/kg (seco);
- Área profunda: 60,7 a 258,3 mg/kg (chuvoso); 67,0 a 2077,0 mg/kg (seco).

No estudo de QG/PIR2 (2015) os valores variaram de 18,4 a 92,9 mg/kg e os valores estiveram de acordo com os observados por Souza (1995), PIATAM (2008) e Lima (2005), que variaram de 10 a 2.950 mg/kg, aproximadamente.

A **Figura II.6.1.2.2-32** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concordância entre eles.



**Figura II.6.1.2.2-32** – Concentração de manganês no sedimento na Bacia do Pará-Maranhão de acordo com os estudos consultados.

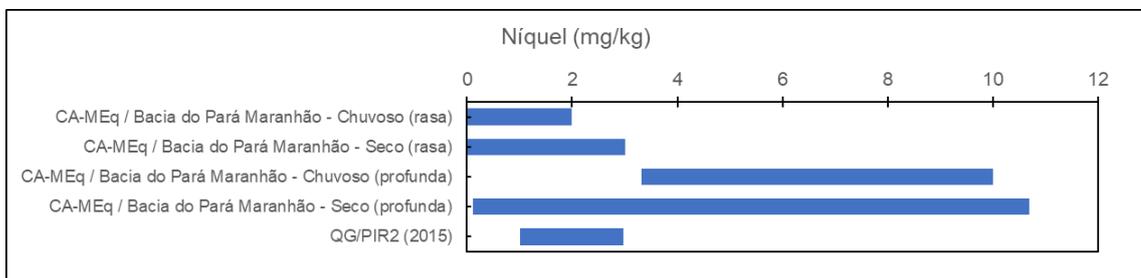
## – Níquel – Ni

Para a CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão, as concentrações obtidas foram:

- Área rasa: ND a 2,0 mg/kg (chuvoso); ND a 3,0 mg/kg (seco);
- Área profunda: 3,3 a 10,0 mg/kg (chuvoso); 0,1 a 10,7 mg/kg (seco).

No estudo de QG/PIR2 (2015) os valores variaram de 1,00 a 2,98 mg/kg, estando abaixo dos valores de Souza (1995), PIATAM (2008) e Siqueira (2006) – que variaram entre 6 e 79 mg/kg, aproximadamente.

A **Figura II.6.1.2.2-33** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concondância entre eles.



**Figura II.6.1.2.2-33** – Concentração de níquel no sedimento na Bacia do Pará-Maranhão de acordo com os estudos consultados.

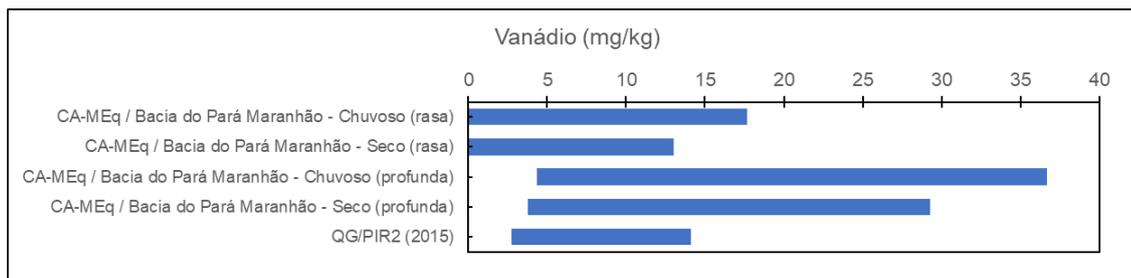
## – Vanádio – V

Para a CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão, as concentrações obtidas foram:

- Área rasa: <1,0 a 17,7 mg/kg (chuvoso); ND a 13,0 mg/kg (seco);
- Área profunda: 4,3 a 36,7 mg/kg (chuvoso); 3,7 a 39,3 mg/kg (seco).

No estudo de QG/PIR2 (2015) os valores variaram de 2,70 a 14,10 mg/kg, concordando com valores de PIATAM (2008), que estiveram entre 10 e 300 mg/kg, aproximadamente.

A **Figura II.6.1.2.2-34** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concondância entre eles.



**Figura II.6.1.2.2-34** – Concentração de vanádio no sedimento na Bacia do Pará-Maranhão de acordo com os estudos consultados.

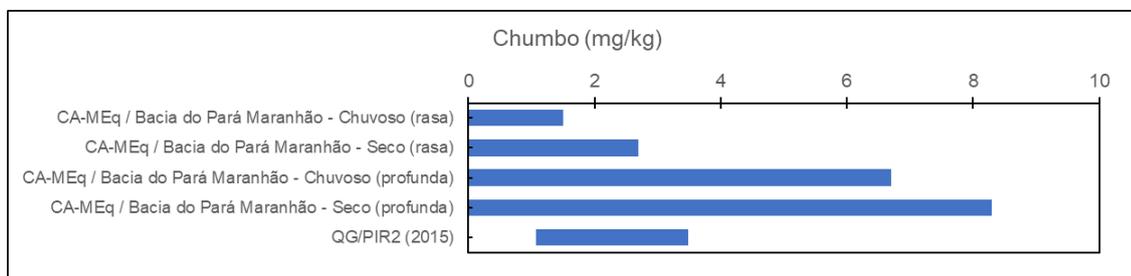
– Chumbo – Pb

Para a CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão, as concentrações obtidas foram:

- Área rasa: ND a 1,5 mg/kg (chuvoso); ND a 2,7 mg/kg (seco);
- Área profunda: ND a 6,7 mg/kg (chuvoso); ND a 8,3 mg/kg (seco).

No estudo de QG/PIR2 (2015) os valores variaram de 1,06 a 3,48 mg/kg, estando abaixo dos valores obtidos por PIATAM (2008), cujos valores variaram entre 10 e 140 mg/kg, aproximadamente.

A **Figura II.6.1.2.2-35** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concordância entre eles.



**Figura II.6.1.2.2-35** – Concentração de chumbo no sedimento na Bacia do Pará-Maranhão de acordo com os estudos consultados.

– Zinco - Zn

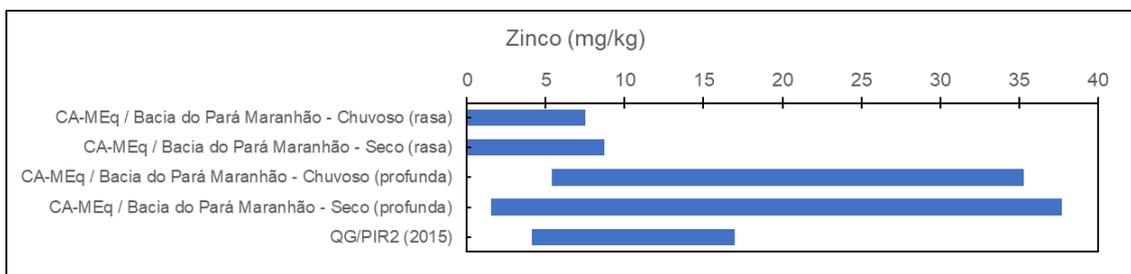
Para a CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão, as concentrações obtidas foram:

- Área rasa: <1,0 a 7,5 mg/kg (chuvoso); ND a 8,7 mg/kg (seco);
- Área profunda: 5,3 a 35,3 mg/kg (chuvoso); 1,5 a 37,7 mg/kg (seco).

No estudo de QG/PIR2 (2015) os valores variaram de 4,03 a 17,00 mg/kg, estando abaixo dos valores obtidos por outros estudos na área, como LIMA;

SIQUEIRA; LIMA (2006); PIATAM (2008), cujos valores variaram entre 45 e 340 mg/kg.

A **Figura II.6.1.2.2-36** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concondância entre eles.



**Figura II.6.1.2.2-36** – Concentração de zinco no sedimento na Bacia do Pará-Maranhão de acordo com os estudos consultados.

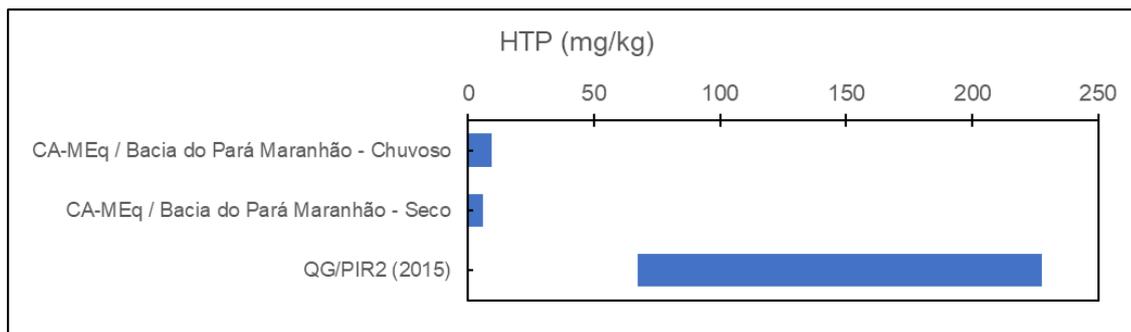
□ *Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP)*

Na CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão observou-se que para o total das amostras ocorreram muitos valores próximos ao limite de detecção ou não detectáveis. Os valores médios variaram de:

- Chuvoso: ND a 9,33 mg/kg;
- Seco: ND a 6,0 mg/kg.

No estudo de QG/PIR2 (2015) os valores variaram de 66,8 a 227,4 mg/kg, estando bem acima dos observados pela CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão. O estudo destaca que as concentrações de HTP são mais elevadas e típicas de áreas onde existem atividades de E&P, indicando que essas concentrações de hidrocarbonetos totais (HTP) refletiram, portanto, a existência de um *background* mais elevado nos blocos monitorados.

A **Figura II.6.1.2.2-37** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando que os valores obtidos por QG/PIR2 (2015) são consideravelmente superiores aos observados pela CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão.



**Figura II.6.1.2.2-37** – Concentração de HTP no sedimento na Bacia do Pará-Maranhão de acordo com os estudos consultados.

□ *Hidrocarbonetos Poliaromáticos (HPA)*

Na CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão foram detectados somente:

- Período chuvoso: 2-Metilnaftaleno (0,03 mg/kg) duas estações; 1-Metilnaftaleno e C2-Naftalenos (0,02 mg/kg) uma estação
- Período seco: C3-Naftalenos (0,11 mg/kg), C4-Naftalenos (0,15 mg/kg), C1-Fluorenos, C2-Dibenzotiofenos e C4-Fenantrenos (0,04 mg/kg), C2 e C3 – Fluorenos, C1 e C3-Fenantrenos (0,10 mg/kg), C1 e C3-Dibenzotiofenos (0,03 mg/kg), C2-Fenantrenos (0,16 mg/kg) em uma estação.

O estudo destaca que o somatório dos valores encontrados é inferior até mesmo aos encontrados em áreas remotas, como no continente Antártico (0,036–1,908 mg/kg) (CURTOSI et al., 2007).

No estudo de QG/PIR2 (2015) não foram encontradas concentrações detectáveis de HPAs totais no sedimento

□ *n-alcenos*

Para a CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão, no período chuvoso, ou não foram detectados (ND) ou foram inferiores ao limite de quantificação do método analítico. No período seco foram observados valores acima do limite de quantificação para os alcanos *n*-C32, 33, 34 e 35 em apenas uma estação, mas abaixo do limite de quantificação (LQ).

No estudo de QG/PIR2 (2015) os valores variaram de ND a 3260 µg/kg, estando acima dos valores observados na CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão.

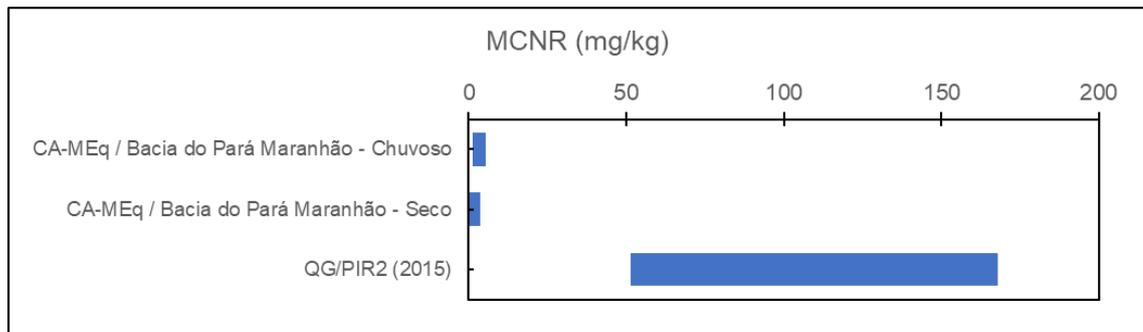
□ *Mistura Complexa Não Resolvida (MCNR)*

Para a CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão os valores observados foram:

- Chuvoso: 1,0 a 5,33 mg/kg;
- Seco: ND a 3,67 mg/kg.

No estudo de QG/PIR2 (2015) os valores variaram de 51,1 a 167,9 mg/kg e, como para n-alcanos e HTP, estes valores estiveram bem acima dos observados para a CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão.

A **Figura II.6.1.2.2-38** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando que os valores de QG/PIR2 (2015) são consideravelmente superiores aos observados em CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão.



**Figura II.6.1.2.2-38** – Concentração de MCNR no sedimento na Bacia do Pará-Maranhão de acordo com os estudos consultados.

□ *Considerações finais sobre a qualidade do sedimento na Bacia do Pará-Maranhão*

Os resultados apresentados para a CA-MEq / Bacia do Pará Maranhão elucidam as principais características da região quanto a qualidade da água:

- **Granulometria:** foi notória a predominância de finos na região do talude continental, em ambas as campanhas, com valores percentuais maiores na campanha chuvosa. Os sedimentos arenosos estão associados à hidrodinâmica mais alta, o que dificulta a deposição de grãos menores, que neste tipo de ambiente tendem a se manter em suspensão. Da mesma forma, os sedimentos finos estão associados a uma hidrodinâmica baixa,

que pode ser característica das regiões mais profundas das bacias. Foi possível notar que no período chuvoso a quantidade de grânulos (sedimentos maiores, como cascalho) no transecto central foi maior que nos demais, já no período seco esta granulometria maior aparece em destaque no transecto mais ao sul. Isto pode ser devido ao maior aporte de material continental no período chuvoso, o qual, devido à suas dimensões, é depositado mais rapidamente, acumulando-se na região mais interna da plataforma. Já no período seco, este material pode ter sido transportado pela circulação regional até a região interna;

- **Matéria orgânica total, carbono orgânico total e carbonatos:** não houve diferença significativa entre os períodos chuvoso e seco, porém as concentrações mais elevadas se apresentaram no transecto ao sul. Tanto no período chuvoso como no seco, os valores diminutos de matéria orgânica na plataforma podem estar associados à penetração de água oceânica (pobre em COD). Em uma estimativa, o COT representa, em todas as estações, cerca de 60% da matéria orgânica total nos períodos chuvoso e seco, respectivamente (BIOCONSULT, 2014b). Os valores mais elevados de COT apareceram no período chuvoso. As estações rasas em geral, nos períodos chuvoso e seco, apresentaram valores mais baixos quando comparados aos encontrados nas regiões profundas. Nas estações situadas entre 200 e 300 m ocorreram os valores mais altos e a partir destas estações verifica-se uma tendência à diminuição de COT em direção às estações situadas a 3.000 m. Sedimentos finos possuem afinidades iônicas com material orgânico, portanto é comum encontrar concentrações de parâmetros orgânicos dos sedimentos mais elevadas associadas à presença de maiores teores de sedimentos finos com concentrações de argilas. Os teores de carbonatos nas estações rasas ficaram abaixo dos observados nas estações profundas. Nas estações mais rasas, entre 25 e 50 m de profundidade, os resultados encontrados apresentaram concentrações inferiores a 3%. A partir dos 200 m os resultados se elevam para valores, em geral, acima de 30%, observando-se, ainda, bastante consistência em estações situadas em profundidade entre 400 e 3.000 m;

- **Nitrogênio, fósforo, enxofre e sulfetos:** de um modo geral, os percentuais de nitrogênio total obtidos nas estações mais rasas (25 a 300 m) são menores que os obtidos nas profundas (400 a 3.000 m). Observou-se que, tanto no período chuvoso quanto no seco, as maiores concentrações ocorrem entre as profundidades de 200 e 400 m. Com relação ao padrão de distribuição espacial do fósforo, nas regiões rasas, localizadas a 25 m de profundidade, foram identificadas menores concentrações de fósforo que nas estações mais profundas. Com relação à distribuição espacial do enxofre, há um aumento em direção a profundidades maiores que 200 m. Já para os sulfetos, no período seco não foram detectadas concentrações; no chuvoso não foram detectados em 25 m; com valores crescentes em maiores profundidades. O nitrogênio é um indicador de poluição orgânica, principalmente resultante da contaminação por esgoto e fertilizantes advindos da lixiviação de solos agricultáveis. A origem do fósforo pode ser natural ou artificial. O fósforo natural é proveniente de intemperismo de rochas e lavagem de solos de bacias e drenagens e o material particulado resultante da decomposição de organismos alóctones. A origem artificial (antrópica) pela emissão de efluentes urbanos e esgotamentos sanitários não tratados (ESTEVES, 1988; MARINS; DE PAULA FILHO; ROCHA, 2007). Já os sulfetos também podem provir da emissão de efluentes;
- **Metais:** o enriquecimento de alumínio, ferro, manganês, bário, vanádio, cobre, cromo, zinco, níquel, chumbo, cádmio e mercúrio se dá em direção ao talude, com maiores concentrações entre 1000-3000 m. Para o mercúrio, cádmio, níquel e chumbo os valores nas estações mais rasas ou foram inexistentes ou muito baixos;
- As concentrações de HTP, MCNR e HPAs estiveram abaixo ou muito próximo do limite de detecção dos métodos analíticos, características de ambiente não contaminado.

### **II.6.1.2.3 Bacia da Foz do Amazonas**

#### Campanhas Oceanográficas - Resumo Metodológico

- PETROBRAS/ICF (2009) - EIA/RIMA para a Atividade de Perfuração Marítima dos Blocos BM-FZA-4 e BM-FZA-6 - Bacia da Foz do Amazonas. Este estudo baseou-se em:
- SIQUEIRA (2004) e ESCHRIQUE et al. (2006) – estes estudos referem-se a uma campanha oceanográfica, realizada entre maio e junho de 1999, durante a execução da Operação Norte III no âmbito do Programa Nacional de Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva (REVIZEE), a bordo do Navio Oceanográfico Antares, da Marinha do Brasil.
- LIMA et al. (2006) – estudo de coleta de sedimentos realizado durante campanha a bordo do navio oceanográfico Antares, durante as operações Norte II e Norte III do REVIZEE, durante as fases de descargas mínima e máxima do rio Amazonas, respectivamente.
- BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015) - Projeto de Caracterização Ambiental (Baseline) da Margem Equatorial Brasileira, considerando a Bacia da Foz do Amazonas. Este estudo realizou amostragens e comparou os resultados com os seguintes estudos:
- Caracterização ambiental (baseline) e monitoramentos ambientais (das perfurações dos poços 1-BP-1A-APS e 1-BP-2A-APS) realizados na área do Bloco BFZ-2, pela consultora Analytical Solutions para a BP Brasil Ltda. nos anos de 2000 e 2001 (ANALYTICAL SOLUTIONS, 2000, 2001);
- Estudo Multidisciplinar dos Sedimentos da Plataforma Amazônica (Multidisciplinary Amazon Shelf Sediment Study - AmasSeds) – DEMASTER; POPE (1996); FERRAZ; FERNANDES; OLIVEIRA (1996); LANDIM (2000);
- Programa REVIZEE – Programa de Avaliação Sustentável dos Recursos Vivos na Zona Econômica – Score Norte – LIMA; SIQUEIRA; LIMA (2006); PEREIRA; LIMA; EL-ROBRINI (2006); SANTOS (2004); SANTOS et al.

(2007); SANTOS et al. (2008a); SANTOS; MUNIZ (2010); SIQUEIRA et al. (2003); SIQUEIRA; PEREIRA; APRILE (2006); SIQUEIRA; APRILE (2012);

- Projeto PIATAM - PIATAM (2008).

O **Quadro II.6.1.2.3-1** abaixo sintetiza as principais informações dos principais estudos citados acima, com relação aos dados de qualidade de água. Já o **Quadro II.6.1.2.3-2** mostra as informações referentes aos dados de qualidade de sedimentos.

A **Figura II.6.1.2.3-1** mostra os locais de coleta dos estudos consultados.

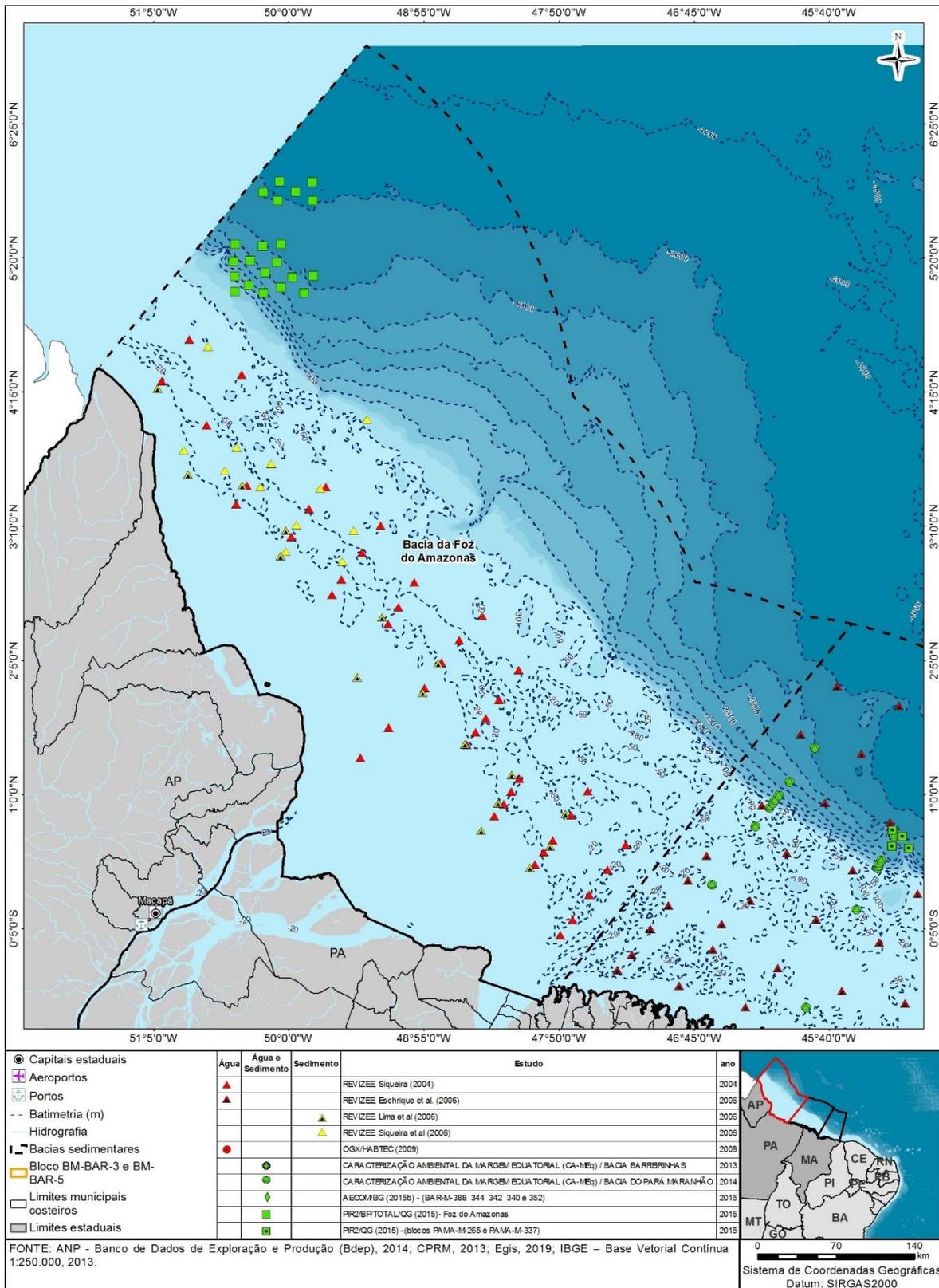


Figura II.6.1.2.3-1 – Locais de coleta de dados dos estudos consultados na Bacia da Foz do Amazonas.

**Quadro II.6.1.2.3-1 - Principais características amostrais de estudos consultados para caracterização da qualidade da água na Bacia da Foz do Amazonas.**

Estudos Consultados	Campanhas Realizadas	Metodologia para Obtenção dos Dados	Profundidades amostradas	Nº de estações	Parâmetros Avaliados
SIQUEIRA (2004)	Entre maio e junho de 1999	Garrafas Niskin	Não informada	41	Oxigênio Dissolvido
					pH
					Fosfato
					Silicato
ESCHRIQUE et al. (2006)	Entre maio e junho de 1999	Garrafas Niskin	Não informada	48	Oxigênio Dissolvido
					Amônia
					Nitrito
					Nitrato
					Fosfato
					Silicato
BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015)	26/03/2015 a 14/04/2015 22/04/2015 a 02/05/ 2015	Garrafas Go-Flo	Subsuperfície, 110, 200, ACAS, AIA, APAN	21	Oxigênio Dissolvido
					pH
					Sólidos em Suspensão
					Sólidos dissolvidos
					Amônia
					Nitrato
					Nitrito

Estudos Consultados	Campanhas Realizadas	Metodologia para Obtenção dos Dados	Profundidades amostradas	N° de estações	Parâmetros Avaliados
BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015)	26/03/2015 a 14/04/2015  22/04/2015 a 02/05/ 2015	Garrafas Go-Flo	Subsuperfície, 110, 200, ACAS, AIA, APAN	21	Fosfato
					Silicato
					Fósforo Total
					Carbono orgânico total
					Sulfetos
					Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP)
					Fenóis
					Hidrocarbonetos poliaromáticos (HPA)

Fonte: PETROBRAS/ICF (2009), BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015).

**Quadro II.6.1.2.3-2 - Principais características amostrais de estudos consultados para caracterização da qualidade do sedimento na Bacia da Foz do Amazonas.**

Estudos Consultados	Campanhas Realizadas	Metodologia para Obtenção dos Dados	Nº de estações	Parâmetros Avaliados
SIQUEIRA; PEREIRA; APRILE (2006)	Operação Oceanográfica Norte II (10/1997), a bordo do navio oceanográfico Antares, como parte do REVIZEE	Van veen e Box Corer	12	Granulometria
				Teor de matéria orgânica
				Carbono orgânico total
				Metais (Ni, Zn)
LIMA; SIQUEIRA; LIMA (2006)	Campanha realizada a bordo do navio oceanográfico Antares, durante as operações Norte II (13 a 23 de outubro de 1997) e Norte III (30 de abril a 29 de junho de 1999),	Van veen e Box Corer	12	Metais (Fe, Ni, Zn, Cu, Cr, Mn)
BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015)	26/03/2015 a 14/04/2015  22/04/2015 a 02/05/ 2015	Van veen e Box Corer	21	Granulometria
				Carbonatos
				Matéria orgânica
				Carbono orgânico
				Nitrogênio
				Fósforo
				Metais e semimetais (Al, As, Ba, Cd, Cr, Pb, Hg, Mn, Cu, Fe, Ni, V e Zn)
				HTP (Hidrocarbonetos totais) finger print
Varredura completa de SVOC (Compostos Orgânicos Semi-Voláteis) (inclui 16 HPAs prioritários e alquilados)				

Fonte: PETROBRAS/ICF (2009), BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015).

## Campanhas Oceanográficas - Resultados e Discussão

### ▪ *Qualidade da Água*

#### ▫ *Oxigênio Dissolvido*

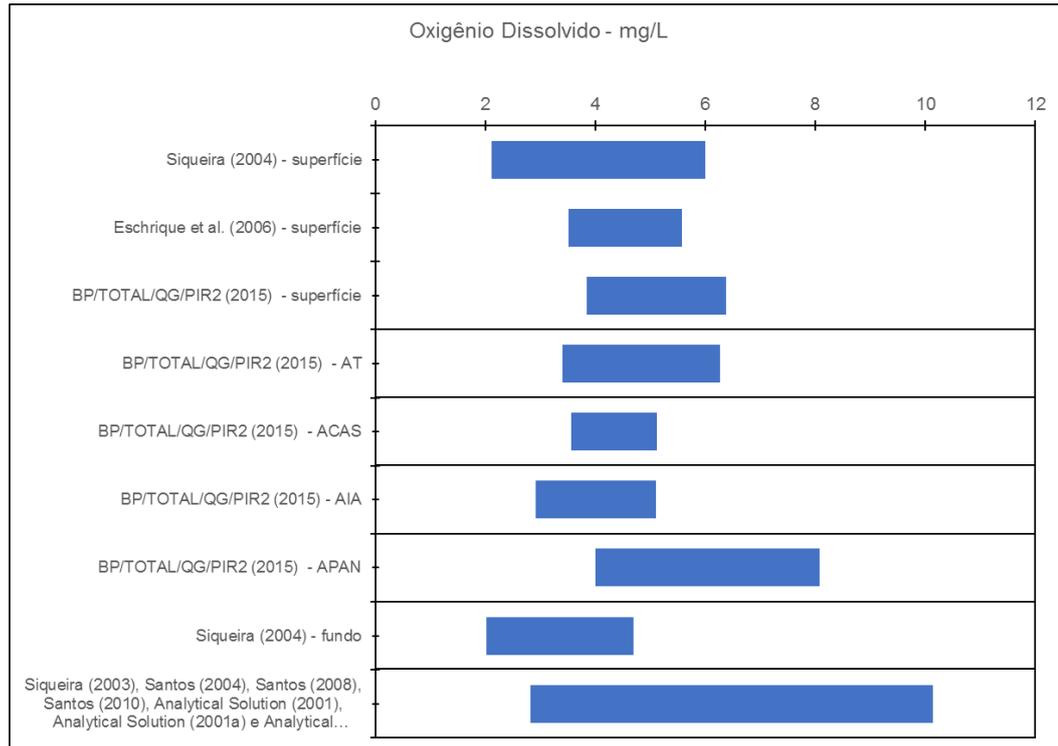
O estudo de PETROBRAS/ICF (2009) citou valores de OD provenientes de SIQUEIRA (2004) na superfície variando entre 2,1 a 6,0 mg/L, e no fundo entre 2,0 e 4,7 mg/L. PETROBRAS/ICF (2009) cita que para ESCHRIQUE et al. (2006) a concentração superficial de OD oscilou entre 3,50 ml/L a 5,58 ml/L.

O estudo de BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015) encontrou os seguintes valores, mínimos e máximos:

- Subsuperfície - 3,82 a 6,38 mg/L;
- 110 m (AT) - 3,39 a 6,27 mg/L;
- 200 m (ACAS) – 3,54 a 5,11 mg/L;
- 800 m (AIA) – 2,90 a 5,10 mg/L;
- 2300 m (APAN) – 3,98 a 8,08 mg/L.

Este estudo destacou que os valores obtidos estão de acordo com outros estudos na área, como SIQUEIRA et al. (2003); SANTOS (2004), SANTOS et al. (2008a), SANTOS; MUNIZ (2010), ANALYTICAL SOLUTIONS (2000, 2001a, 2001b). Dentre estes estudos, as concentrações mínimas variaram de 2,80 a 7,07mg/L, com média de  $5,25 \pm 1,37$ mg/L e as concentrações máximas variaram de 5,59 a 10,14mg/L, com média de  $7,80 \pm 1,39$ mg/L.

A **Figura II.6.1.2.3-2** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concordância entre eles.



**Figura II.6.1.2.3-2** – Concentração de oxigênio dissolvido na Bacia da Foz do Amazonas de acordo com os estudos consultados.

□ *pH*

O estudo de PETROBRAS/ICF (2009) cita que SIQUEIRA (2004) tinha a expectativa de encontrar uma maior variação do pH na região devido às influências das descargas fluviais dos rios Amazonas e Pará. No entanto, este autor observou uma grande uniformidade nos valores deste parâmetro, sugerindo, assim, equilíbrio entre os íons ácidos e básicos. Neste estudo o pH manteve-se sempre alcalino, demonstrando um perfeito sistema tampão no ambiente estudado.

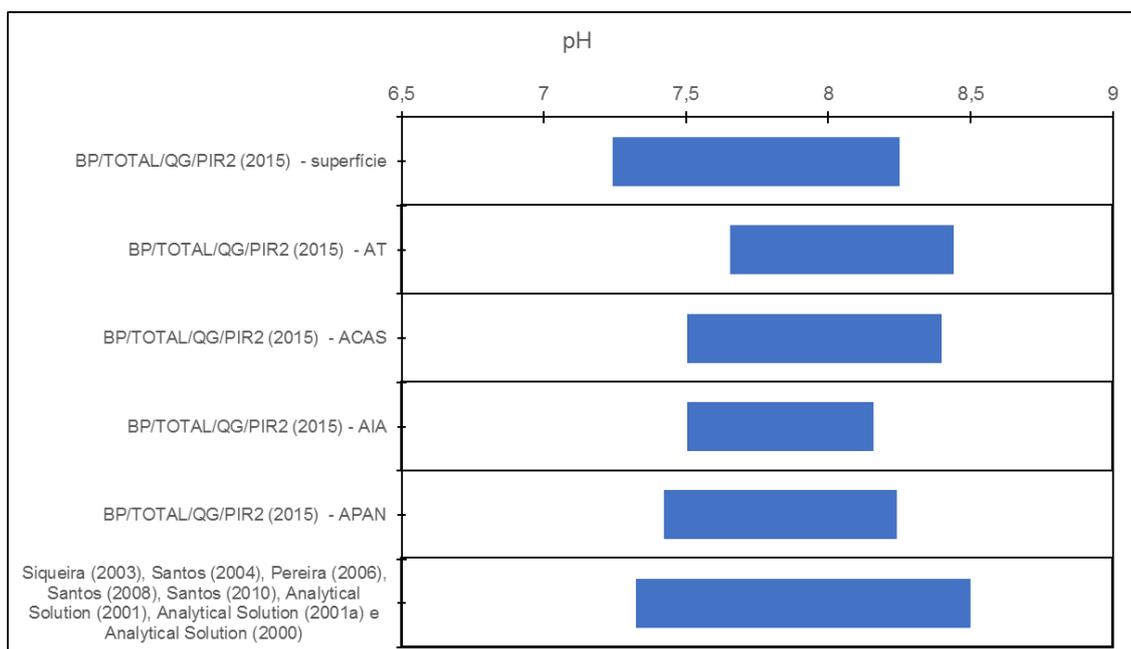
O estudo de BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015) encontrou os seguintes valores, mínimos e máximos:

- Subsuperfície - 7,24 e 8,25;
- 110 m (AT) - 7,65 a 8,44;
- 200 m (ACAS) – 7,50 a 8,40;
- 800 m (AIA) – 7,50 a 8,16;
- 2300 m (APAN) – 7,42 a 8,24.

Este estudo destacou que os valores obtidos estão de acordo com outros estudos na área, como SIQUEIRA et al. (2003), SANTOS (2004), PEREIRA; LIMA; EL-ROBRINI (2006); SANTOS et al. (2008a), SANTOS; MUNIZ (2010), ANALYTICAL SOLUTIONS (2000, 2001a, 2001b).

Nestes estudos o pH mínimo variou de 7,32 a 8,11 com média de  $7,70 \pm 0,26$  e o máximo de 7,7 a 8,5 com média de  $8,14 \pm 0,19$ .

A **Figura II.6.1.2.3-3** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concordância entre eles.



**Figura II.6.1.2.3-3** – pH na Bacia da Foz do Amazonas de acordo com os estudos consultados.

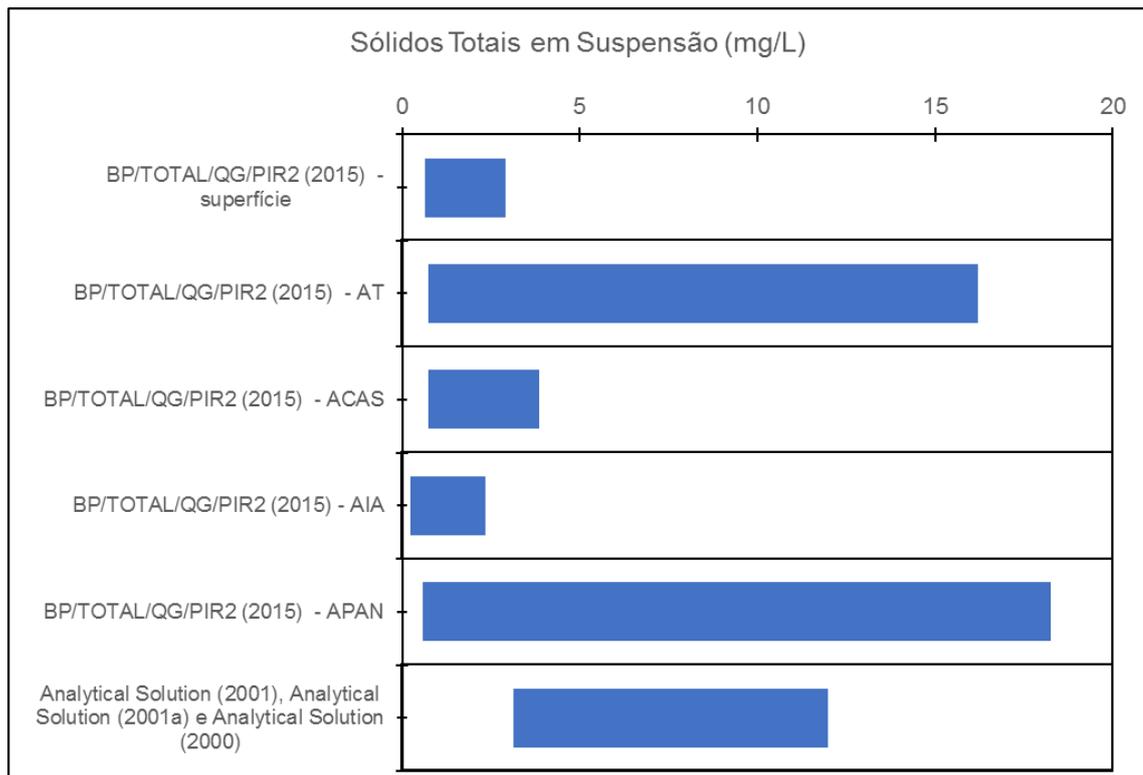
#### □ Sólidos Totais em Suspensão

O estudo de BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015) encontrou os seguintes valores, mínimos e máximos:

- Subsuperfície - 0,60 e 2,90 mg/L;
- 110 m (AT) - 0,70 a 16,20 mg/L;
- 200 m (ACAS) – 0,70 a 3,85 mg/L;
- 800 m (AIA) – 0,20 a 2,35 mg/L;
- 2300 m (APAN) – 0,55 a 18,25 mg/L.

Este estudo destacou que os valores obtidos estão de acordo com outros estudos na área, como ANALYTICAL SOLUTIONS (2000, 2001a, 2001b). Nestes estudos as concentrações mínimas variaram de 3,09 a 5,23 mg/L, com média de  $3,90 \pm 0,72$  mg/L, e as máximas de 5,31 a 12,0 mg/L, com média de  $7,42 \pm 2,46$  mg/L.

A **Figura II.6.1.2.3-4** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concondância entre eles.



**Figura II.6.1.2.3-4** – Concentração de sólido totais em suspensão na Bacia da Foz do Amazonas de acordo com os estudos consultados.

□ *Sólidos Totais Dissolvidos*

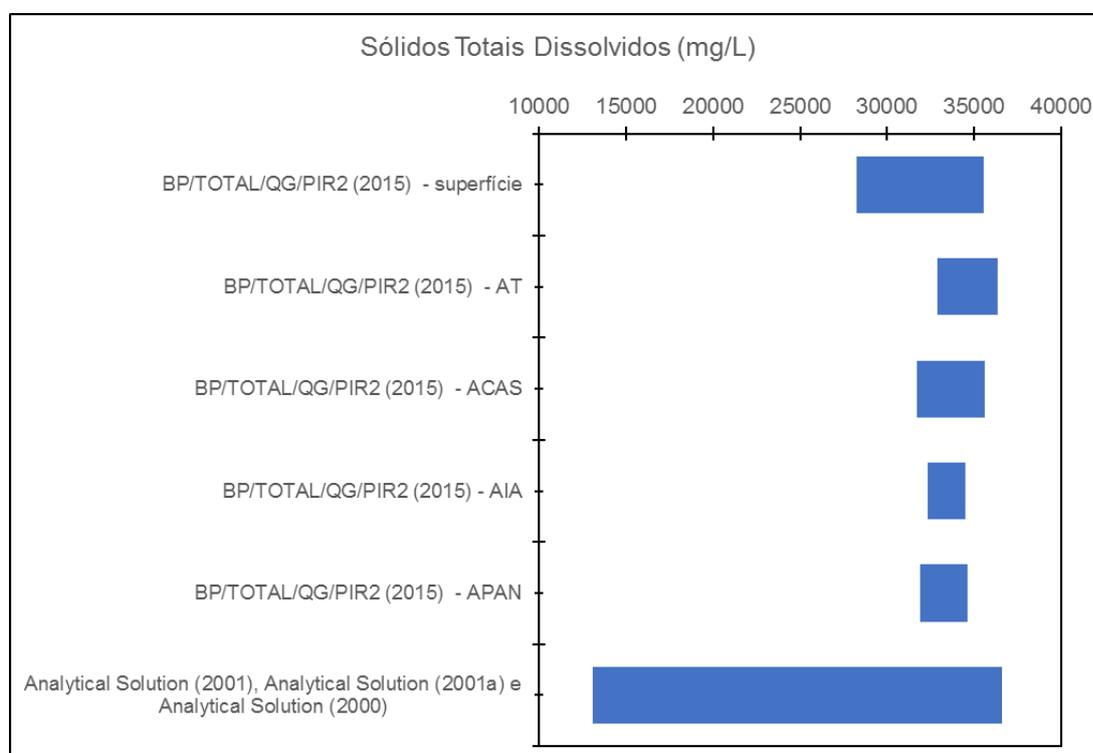
O estudo de (BP/TOTAL/QG/PIR2, 2015) encontrou os seguintes valores, mínimos e máximos:

- Subsuperfície - 28.200 e 35.530 mg/L;
- 110 m (AT) - 32.830 a 36.340 mg/L;
- 200 m (ACAS) – 31.620 a 35.610 mg/L;

- 800 m (AIA) – 32.250 a 34.490 mg/L;
- 2300 m (APAN) – 31.830 a 34.630 mg/L.

Este estudo destacou que os valores obtidos estão de acordo com outros estudos na área, como ANALYTICAL SOLUTIONS (2000, 2001a, 2001b). Nestes estudos as concentrações mínimas do total de sólidos dissolvidos (TDS) variaram de 13.000 a 25.700 mg/L, com média de  $14.140 \pm 87.200$  mg/L e as máximas de 53.800 a 36.600 mg/L, com média de  $21.980 \pm 13.280$  mg/L.

A **Figura II.6.1.2.3-5** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concordância entre eles.



**Figura II.6.1.2.3-5** – Concentração de sólidos totais dissolvidos na Bacia da Foz do Amazonas de acordo com os estudos consultados.

□ *Amônia*

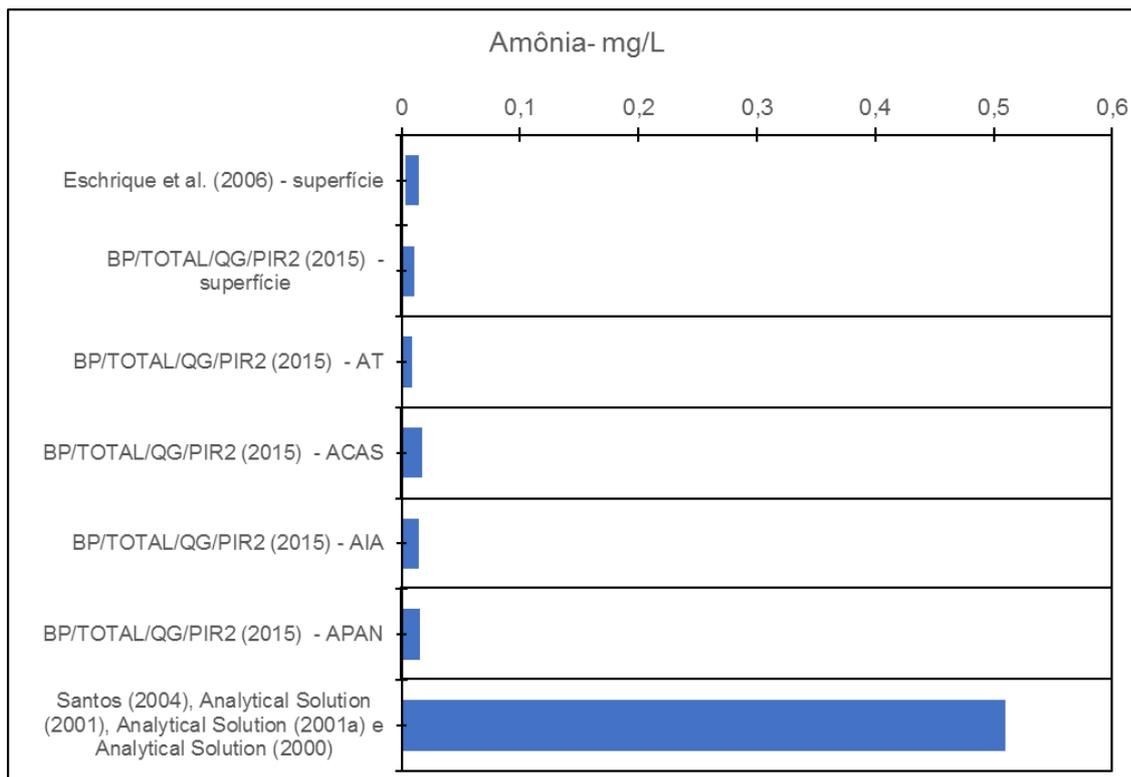
O estudo de PETROBRAS/ICF (2009) cita que os valores obtidos por ESCHRIQUE et al. (2006) para a concentração de amônia variaram entre 0,0022 mg/L e máximo de 0,0144 mg/L. Os autores indicam que estes valores mostram um processo de degradação da matéria orgânica e da excreção, que favorecem o aumento da concentração dessa forma nitrogenada no meio.

O estudo de BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015) encontrou os seguintes valores, mínimos e máximos:

- Subsuperfície - ND e 0,0104 mg/L;
- 110 m (AT) - ND e 0,0087 mg/L;
- 200 m (ACAS) – ND e 0,0169 mg/L;
- 800 m (AIA) – ND e 0,0150 mg/L;
- 2300 m (APAN) – ND a 0,0156 mg/L.

Este estudo destacou que os valores obtidos estão de acordo com outros estudos na área, como SANTOS (2004), ANALYTICAL SOLUTIONS (2000, 2001a, 2001b). Nestes estudos as concentrações mínimas variaram da não detectada a 0,007 mg/L, com média de  $0,0026 \pm 0,0039$  mg/L para os valores detectados, enquanto que as concentrações máximas variaram de 0,006 a 0,51 mg/L, com média de  $0,106 \pm 0,226$  mg/L.

A **Figura II.6.1.2.3-6** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concordância entre eles.



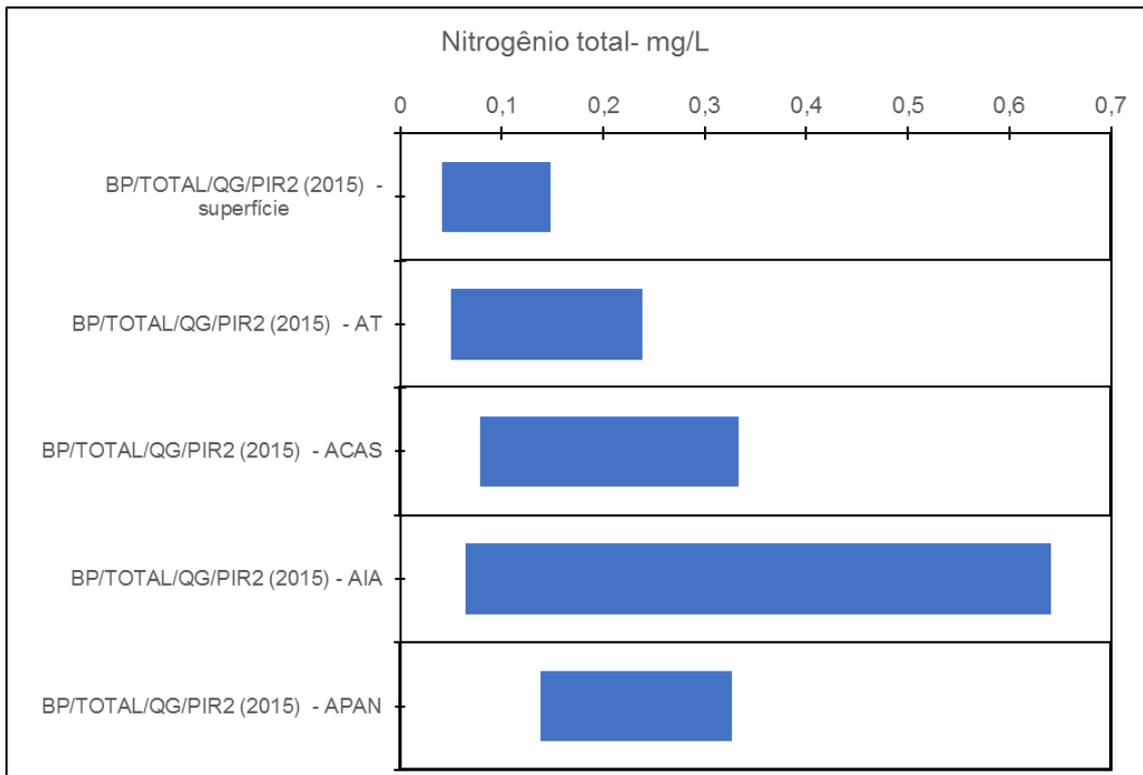
**Figura II.6.1.2.3-6** – Concentração de amônia na Bacia da Foz do Amazonas de acordo com os estudos consultados.

□ *Nitrogênio Total*

O estudo de BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015) encontrou os seguintes valores, mínimos e máximos:

- Subsuperfície - 0,040 e 0,148 mg/L;
- 110 m (AT) - 0,049 e 0,239 mg/L;
- 200 m (ACAS) – 0,078 e 0,333mg/L;
- 800 m (AIA) – 0,063 e 0,641mg/L;
- 2300 m (APAN) – 0,137 e 0,328mg/L.

A **Figura II.6.1.2.3-7** mostra os valores obtidos no estudo consultado.



**Figura II.6.1.2.3-7** – Concentração de nitrogênio total na Bacia da Foz do Amazonas de acordo com os estudos consultados.

□ *Nitrito*

O estudo de PETROBRAS/ICF (2009) cita que os valores obtidos por ESCHRIQUE et al. (2006) para a concentração de nitrito na camada eufótica foram de no mínimo de 0,0005 mg/L e no máximo de 0,00552 mg/L e, na camada afótica, a concentração mínima de 0,0005 mg/L e, a máxima, de 0,0277 mg/L.

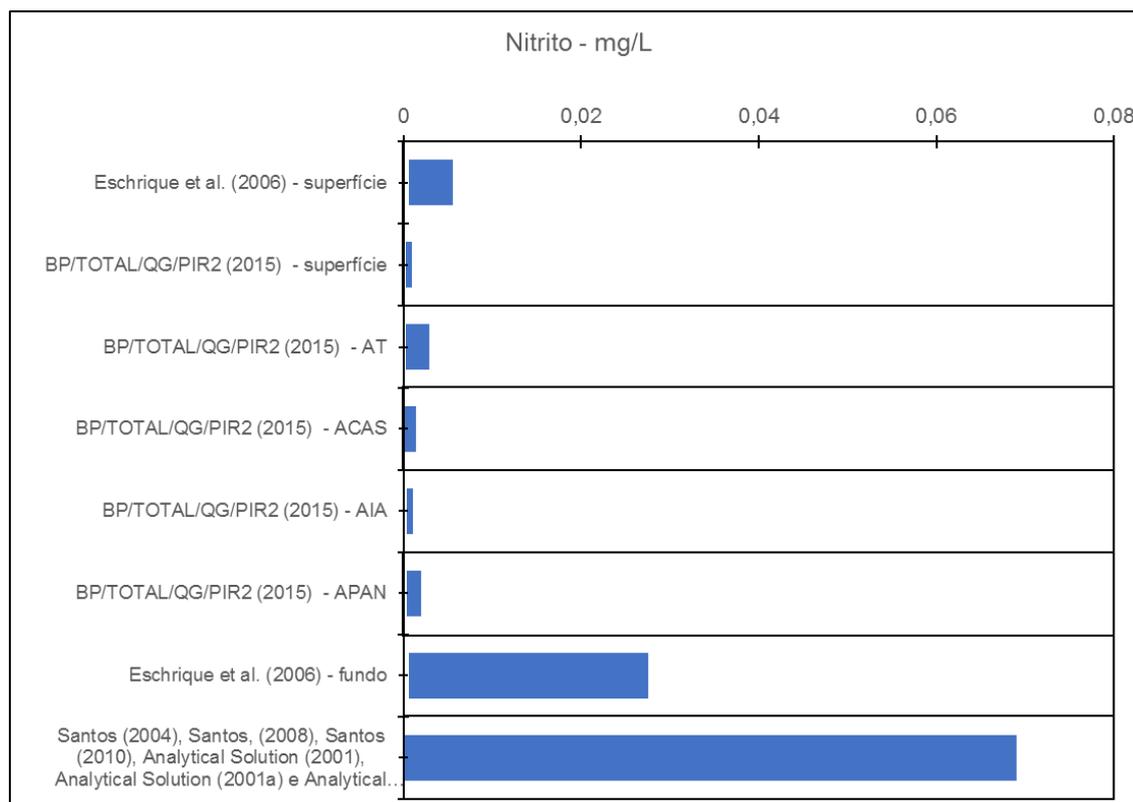
O estudo de BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015) encontrou os seguintes valores, mínimos e máximos:

- Subsuperfície - 0,0001 e 0,0010 mg/L;
- 110 m (AT) - 0,0001 e 0,0029 mg/L;
- 200 m (ACAS) – ND e 0,0014 mg/L;
- 800 m (AIA) – 0,0003 e 0,0011 mg/L;
- 2300 m (APAN) – 0,0003 e 0,0020 mg/L.

Este estudo destacou que os valores obtidos estão de acordo com outros estudos na área, como SANTOS (2004); SANTOS et al. (2008a); SANTOS; MUNIZ

(2010); ANALYTICAL SOLUTIONS (2000, 2001a, 2001b). Nestes estudos as concentrações mínimas variaram desde a não detecção a 0,0018 mg/L, com média de  $0,0014 \pm 0,0017$  mg/L para os valores detectados, enquanto que as concentrações máximas variaram de 0,0009 a 0,069 mg/L, com média de  $0,017 \pm 0,021$  mg/L.

A **Figura II.6.1.2.3-8** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concondância entre eles.



**Figura II.6.1.2.3-8** – Concentração de nitrito na Bacia da Foz do Amazonas de acordo com os estudos consultados.

□ *Nitrato*

O estudo de PETROBRAS/ICF (2009) cita que os valores obtidos por ESCHRIQUE et al. (2006) para a concentração de nitrato variaram, na camada eufótica, concentração mínima de 0,038 mg/L e a máxima de 0,324 mg/L e, na camada afótica, a concentração mínima foi de 0,079 mg/L e a máxima foi de 1,248 mg/L.

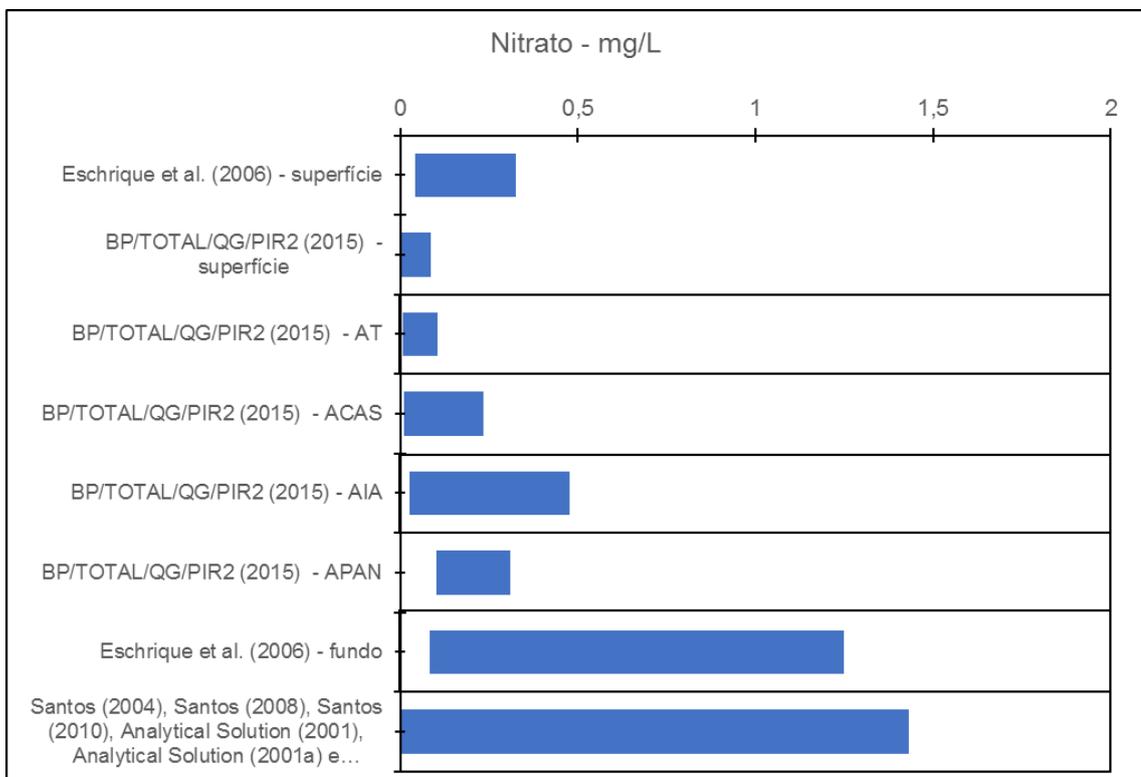
O estudo de BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015) encontrou os seguintes valores, mínimos e máximos:

- Subsuperfície - ND e 0,0851 mg/L;
- 110 m (AT) - 0,0029 e 0,1040 mg/L;
- 200 m (ACAS) – 0,0069 e 0,2329 mg/L;
- 800 m (AIA) – 0,0228 e 0,4779 mg/L;
- 2300 m (APAN) – 0,1002 e 0,3098 mg/L.

Este estudo destacou que os valores obtidos estão de acordo com outros estudos na área, como SANTOS (2004); SANTOS et al. (2008a); SANTOS; MUNIZ (2010); ANALYTICAL SOLUTIONS (2000, 2001a, 2001b).

Nestes estudos, as concentrações variaram de não detecção até 0,85mg/L, com média de  $0,21 \pm 0,30$ mg/L para os valores detectados, enquanto que as concentrações máximas variaram de 0,05 a 1,43 mg/L, com média de  $0,58 \pm 0,47$ mg/L.

A **Figura II.6.1.2.3-9** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concondância entre eles.



**Figura II.6.1.2.3-9** – Concentração de nitrato na Bacia da Foz do Amazonas de acordo com os estudos consultados.

□ Fosfato

O estudo de PETROBRAS/ICF (2009) cita que os valores obtidos por SIQUEIRA (2004) na camada superficial variaram de mínimo de 0,001 a 0,0634 mg/L. Na camada de fundo, este estudo cita valores mínimos de 0,001 mg/L a um teor máximo de 0,085 mg/L. O estudo cita ainda que foi observada uma tendência no aumento dos teores desse nutriente inorgânico na camada de fundo, possivelmente pela remobilização dos sedimentos de fundo e/ou por processos respiratórios na própria coluna de água.

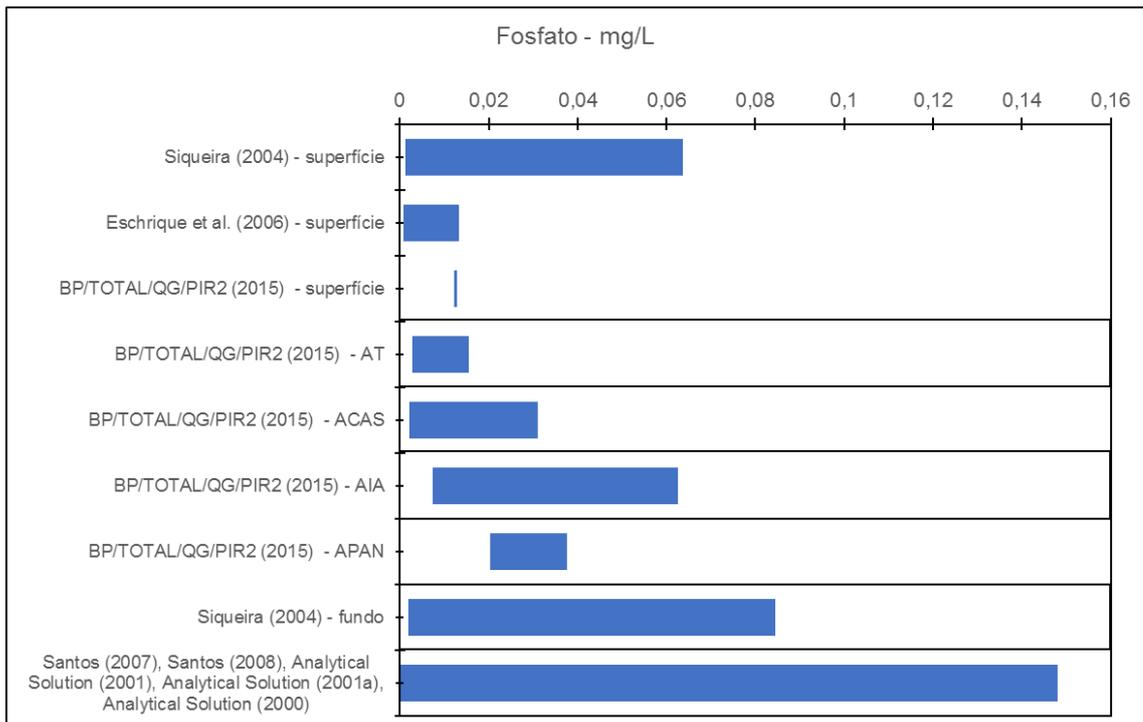
Já em ESCHRIQUE et al. (2006), de acordo com PETROBRAS/ICF (2009), os valores na camada eufótica variaram de 0,0006 mg/L a 0,0133 mg/L. Estes autores dizem que esse comportamento indica o consumo ou rápida modificação dessa forma dentro do ciclo do fósforo no ambiente marinho.

O estudo de BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015) encontrou os seguintes valores, mínimos e máximos:

- Subsuperfície - 0,0012 e 0,0129 mg/L;
- 110 m (AT) - 0,0026 e 0,0156 mg/L;
- 200 m (ACAS) – 0,002 e 0,031 mg/L;
- 800 m (AIA) – 0,0072 e 0,0626 mg/L;
- 2300 m (APAN) – 0,0200 e 0,0376 mg/L.

Este estudo destacou que os valores obtidos estão de acordo com outros estudos na área, como SANTOS et al. (2007), SANTOS et al. (2008a), ANALYTICAL SOLUTIONS (2000, 2001a, 2001b). Nestes estudos as concentrações mínimas variaram da não detectado a 0,094 mg/L, com média de  $0,025 \pm 0,03$  mg/L para os valores detectados. As concentrações máximas variaram de 0,006 a 0,148 mg/L, com média de  $0,074 \pm 0,046$  mg/L.

A **Figura II.6.1.2.3-10** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concondância entre eles.



**Figura II.6.1.2.3-10** – Concentração de fosfato na Bacia da Foz do Amazonas de acordo com os estudos consultados.

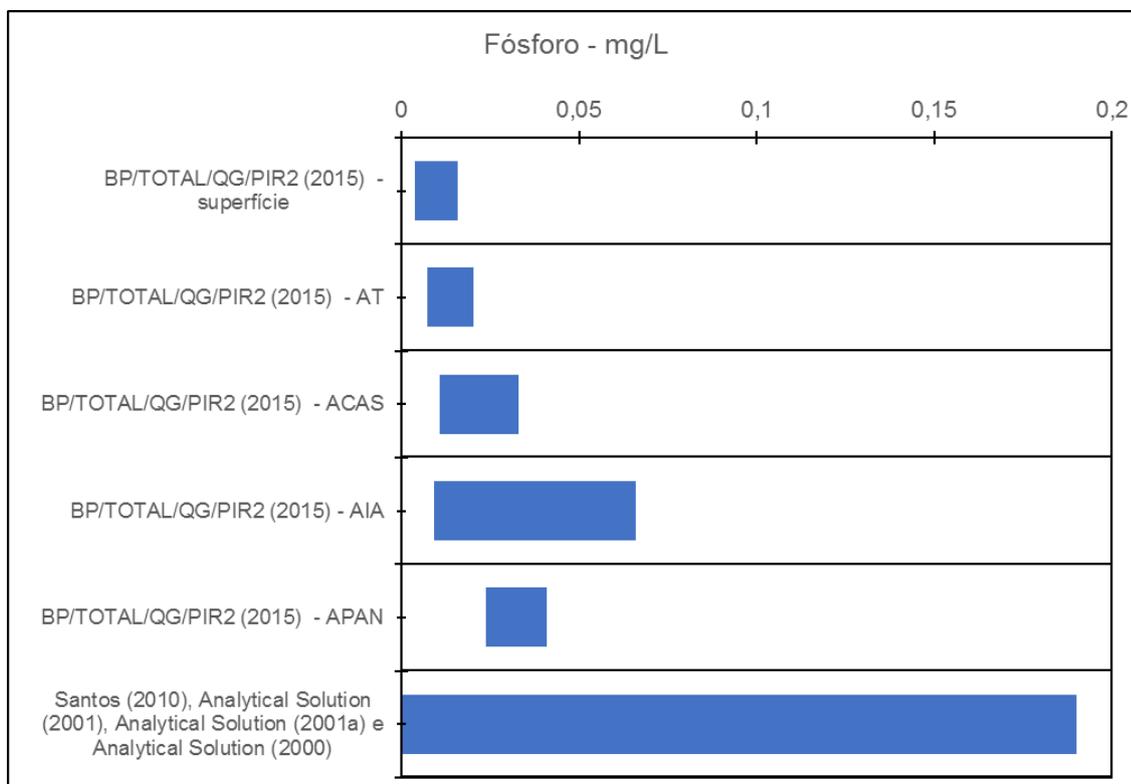
#### □ Fósforo

O estudo de BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015) encontrou os seguintes valores, mínimos e máximos:

- Subsuperfície - 0,0036 e 0,0157 mg/L;
- 110 m (AT) - 0,0070 e 0,0202 mg/L;
- 200 m (ACAS) – 0,0103 e 0,0330 mg/L;
- 800 m (AIA) – 0,0090 e 0,0659 mg/L;
- 2300 m (APAN) – 0,0233 e 0,0410 mg/L.

Este estudo destacou que os valores obtidos estão de acordo com outros estudos na área, como SANTOS; MUNIZ (2010), ANALYTICAL SOLUTIONS (2000, 2001a, 2001b). Nestes estudos as concentrações mínimas variaram da não detecção a 0,12 mg/L, com média de  $0,04 \pm 0,05$  mg/L para os valores detectados, enquanto que as concentrações máximas variaram de 0,03 a 0,19 mg/L, com média de  $0,11 \pm 0,06$  mg/L.

A **Figura II.6.1.2.3-11** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concondância entre eles.



**Figura II.6.1.2.3-11** – Concentração de fósforo na Bacia da Foz do Amazonas de acordo com os estudos consultados.

□ *Silicato*

O estudo de PETROBRAS/ICF (2009) cita que SIQUEIRA (2004) encontrou valores de silicato na superfície variando de 0,18 mg/L a um máximo de 6,91 mg/L e, para a camada de fundo, os valores foram de 0,14 a 6,11 mg/L. Os autores destacaram que os teores de silicato se elevaram consideravelmente quando a salinidade diminuiu, ou seja, quando, na mistura das águas dos rios Amazonas e Pará com a água salina, predomina a água doce dos referidos rios, principalmente na camada superficial, uma vez que a fonte desse parâmetro é terrígena.

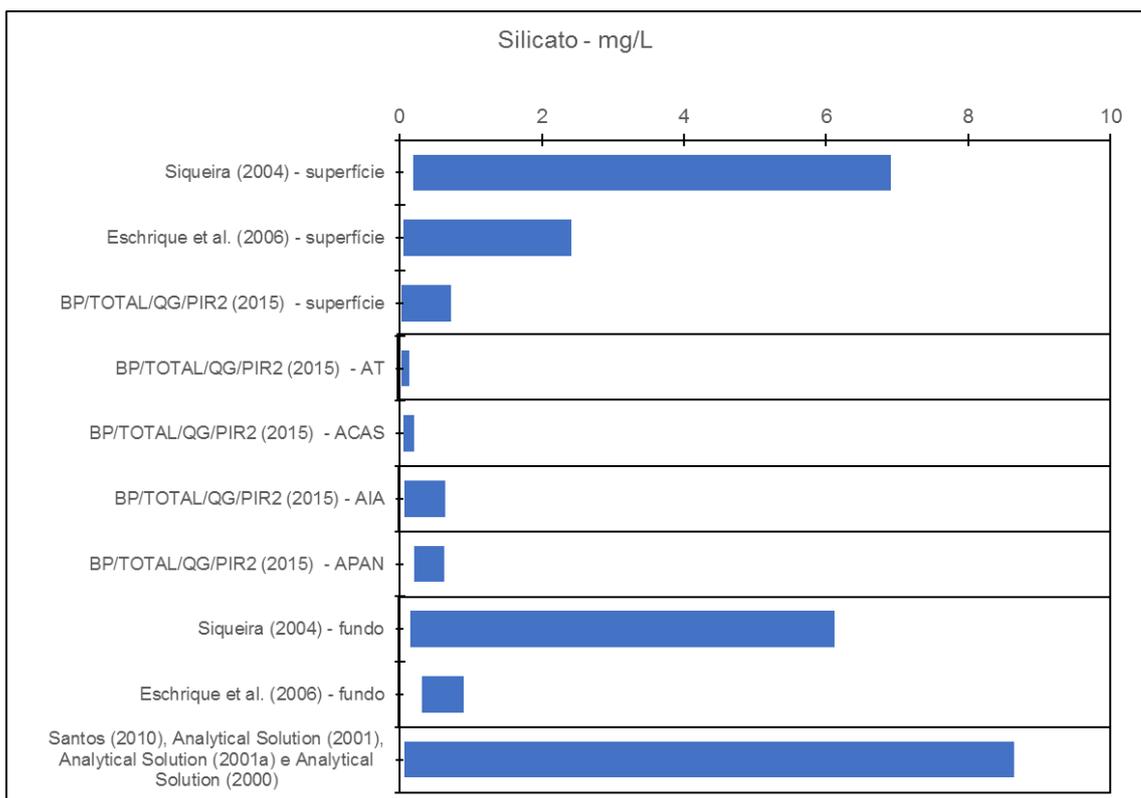
Já para ESCHRIQUE et al. (2006) citado por PETROBRAS/ICF (2009), os valores para silicato variaram de 0,031 a 2,417 mg/L, na camada fótica, e na camada eufótica entre 0,293 a 0,895 mg/L.

O estudo de BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015) encontrou os seguintes valores, mínimos e máximos:

- Subsuperfície - 0,0122 e 0,7162 mg/L;
- 110 m (AT) - 0,0144 e 0,1303 mg/L;
- 200 m (ACAS) – 0,0375 e 0,2085 mg/L;
- 800 m (AIA) – 0,0581 e 0,6378 mg/L;
- 2300 m (APAN) – 0,1877 e 0,6271 mg/L.

Este estudo destacou que os valores obtidos estão de acordo com outros estudos na área, como SANTOS; MUNIZ (2010), ANALYTICAL SOLUTIONS (2000, 2001a, 2001b). Nestes estudos as concentrações mínimas variaram de 0,05 a 8,46 mg/L, com média de  $1,26 \pm 2,73$  mg/L, e as concentrações máximas variaram de 0,10 a 8,64 mg/L, com média de  $1,87 \pm 2,67$  mg/L.

A **Figura II.6.1.2.3-12** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concordância entre eles.



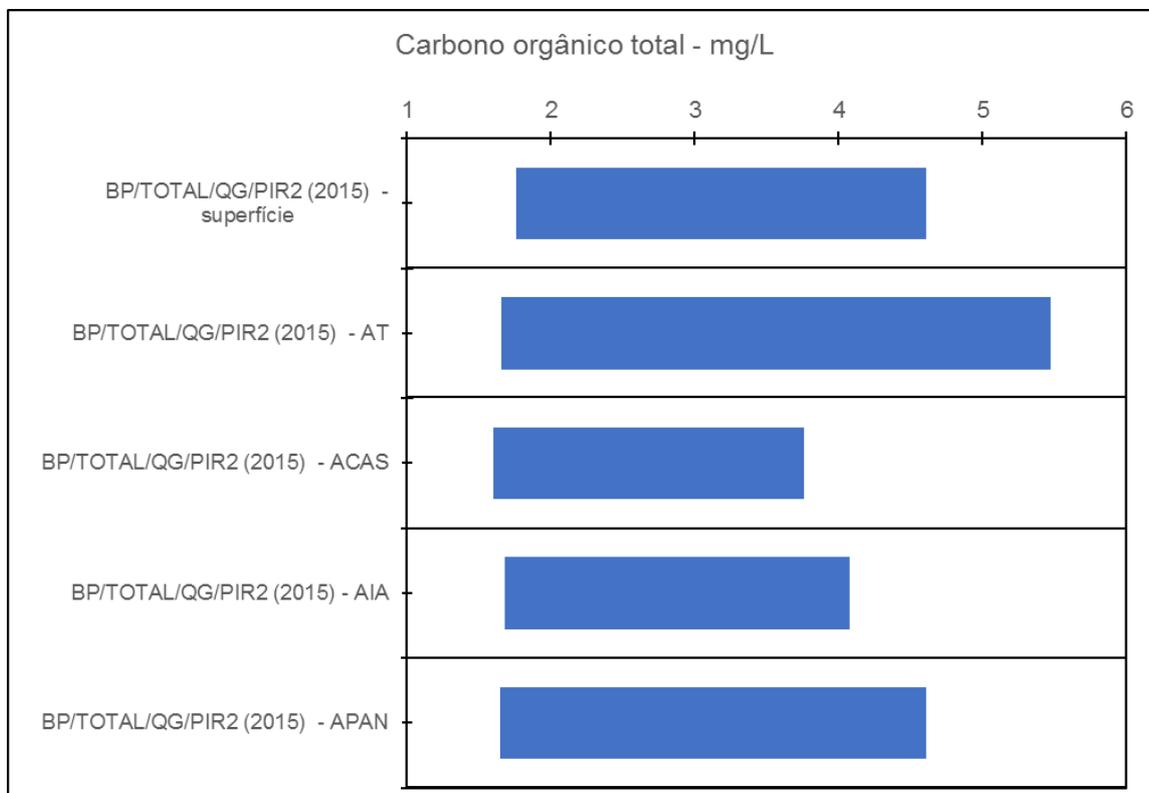
**Figura II.6.1.2.3-12** – Concentração de silicato na Bacia da Foz do Amazonas de acordo com os estudos consultados.

□ *Carbono orgânico total*

O estudo de BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015) encontrou os seguintes valores, mínimos e máximos:

- Subsuperfície - 1,75 e 4,61 mg/L;
- 110 m (AT) - 1,65 e 5,47 mg/L;
- 200 m (ACAS) – 1,59 e 3,76 mg/L;
- 800 m (AIA) – 1,67 e 4,08 mg/L;
- 2300 m (APAN) – 1,64 e 4,61 mg/L.

A **Figura II.6.1.2.3-13** mostra os valores obtidos no estudo consultado.



**Figura II.6.1.2.3-13** – Concentração de carbono orgânico total na Bacia da Foz do Amazonas de acordo com os estudos consultados.

□ *Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP)*

Para o estudo de BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015), todas as amostras de água obtidas não apresentaram HTP em concentrações detectáveis, ou de suas frações (HRP, n-alcanos e mistura complexa não resolvida), sendo o limite de detecção do método analítico utilizado de 15,0 µg/L para os compostos de hidrocarbonetos totais. O estudo cita que resultados quanto a este parâmetro foram encontrados na Bacia da Foz do Amazonas apenas dentre os esforços de monitoramento realizados pela BP em 2000 e 2001 (ANALYTICAL SOLUTIONS, 2000, 2001). Nestes esforços, as concentrações mínimas de HTP na água variaram da não detecção a 3,20 µg/L, enquanto que as concentrações máximas variaram de 2,6 a 94,0 µg/L (média de  $28,70 \pm 39,61$  µg/L).

□ *Hidrocarbonetos Poliaromáticos (HPA)*

O estudo de BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015) não detectou HPAs nas amostras de água obtidas nos cinco estratos da coluna d'água, sendo o limite de quantificação utilizado de 0,05µg/L. Os resultados de HPA compilados da literatura por este estudo, através de monitoramentos prévios realizados em áreas próximas aos blocos, variaram da não detecção a 3,2 µg/L, com média dos valores máximos detectados de  $1,2 \pm 1,4$  µg/L (ANALYTICAL SOLUTIONS, 2000, 2001).

□ *Sulfetos*

O estudo de BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015) não detectou sulfetos em nenhuma das amostras de água analisadas.

□ *Fenóis*

O estudo de BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015) não encontrou concentrações de fenóis em nenhuma das amostras de água analisadas, bem como não foram identificados resultados de fenóis totais dentre os dados secundários considerados (ANALYTICAL SOLUTIONS, 2000, 2001) para a região.

□ *Considerações finais sobre a qualidade da água na Bacia da Foz do Amazonas*

As concentrações dos compostos analisados neste capítulo tiveram valores em sua maioria usuais ao ambiente e os estudos tiveram valores concordantes entre si. Salienta-se que importantes indicadores da qualidade do ambiente, como sulfetos, hidrocarbonetos totais (HTP), hidrocarbonetos poliaromáticos (HPA) e fenóis, ou não foram detectados pelos estudos ou tiveram valores muito baixos.

Os nutrientes amônia e nitrito tiveram suas concentrações mais elevadas com o aumento de profundidade, a partir dos 110 m. Já os nutrientes nitrato, fosfato e o fósforo total tiveram um aumento expressivo a partir dos 200 m de profundidade, justamente onde se espera encontrar a termoclina, aumentando ainda nos estratos mais profundos. O silicato também mostrou uma tendência de aumento significativo em função das batimetrias mais elevadas.

A maioria das variações observadas nos parâmetros analisados na coluna d'água foram mais influenciadas pela presença das massas de água predominantes indicando, portanto, um ambiente de características oceanográficas e hidrológicas pouco perturbado.

Qualidade do Sedimento

□ *Granulometria*

De acordo com o estudo apresentado por SIQUEIRA; PEREIRA; APRILE (2006) apud PETROBRAS/ICF (2009), os sedimentos na região da foz do Amazonas são dominados pelas frações silte + argila (lama) e, de acordo com a classificação textural de Shepard (1954), são classificados como sedimentos silte-argilosos. Neste estudo o maior percentual da fração silte-argilosa obtido foi de 84,6%. Estes autores não puderam definir um padrão de distribuição dos sedimentos lamosos e arenosos em função da variação das isóbatas da plataforma oceânica, tendo em vista que as classes texturais foram distribuídas, fundamentalmente, em função da variação da energia cinética na área de influência entre o sistema de rios e o mar.

O estudo cita que a carga sedimentar procedente do rio Amazonas, e em menor concentração do rio Pará, é predominantemente composta por partículas finas, com uma concentração elevada de elementos siltosos. Esse material atinge a plataforma continental a partir de um sistema de energia muito intensa e forte e, por conta disso, conserva-se em suspensão e sob deriva. Sua sedimentação só ocorrerá no trecho norte-noroeste da plataforma continental, onde a influência do sistema rio-oceano é menor.

No estudo de BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015) a análise granulométrica do sedimento revelou a predominância das frações mais finas do sedimento, com a areia misturada à lama constituindo a maior parte do sedimento em todas as estações amostradas. O percentual total de silte nas amostras coletadas variou de 22,73% a 74,28%, seguida pela areia que variou de 2,38% a 70,34%, sendo que a argila mostrou sempre os menores percentuais, variando entre 6,91% e 28,98%. O estudo ressalta ainda que a análise granulométrica mostrou que as amostras de sedimento das estações foram consideradas muito pobremente selecionadas. Quanto aos demais parâmetros de classificação textural, as amostras coletadas foram classificadas como silte, na maioria das estações, ou, segundo a classificação de Folk, como lama ou lama arenosa.

Os resultados obtidos em ANALYTICAL SOLUTIONS (2000, 2001a, 2001b) indicaram pouca variação granulométrica para a maioria das amostras, indicando composição textural basicamente composta por lama a lama arenosa (comum em áreas com forte influência fluvial). Já LIMA et al. (2005) e SIQUEIRA; PEREIRA; APRILE (2006) descrevem uma variação entre texturas argilosas e arenosas, mas estes consideram também amostras sobre a plataforma continental.

□ *Carbonatos*

No estudo de BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015) os carbonatos apresentaram uma representatividade média de 10,34% nas amostras de sedimento coletadas nas estações. A composição carbonática variou de 0,2% a 35,1%. O estudo não conseguiu distinguir um padrão espacial claro na representatividade dos carbonatos nas diferentes estações da malha analisada, apesar de algumas diferenças observadas entre as estações.

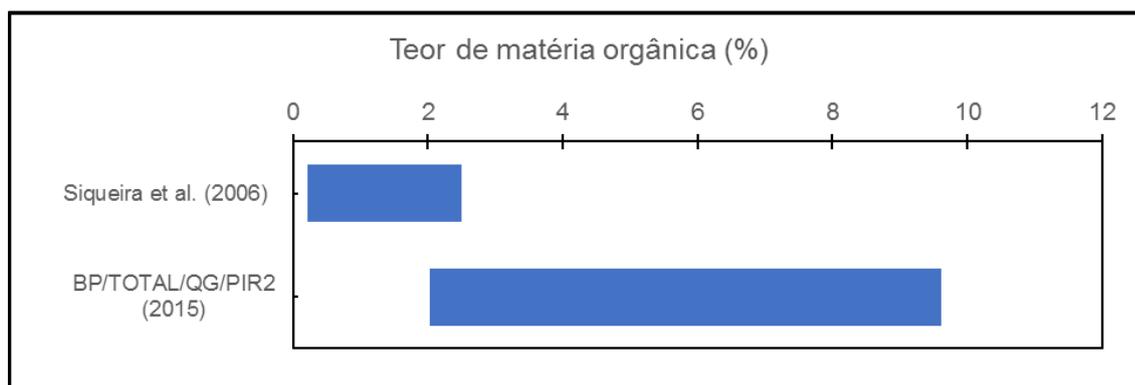
□ *Teor de matéria orgânica*

De acordo com SIQUEIRA; PEREIRA; APRILE (2006) os teores de matéria orgânica na região da Foz do Amazonas variam de 0,2 a 2,5%, com média de 1,3%  $\pm$  0,5.

No estudo de BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015) os percentuais de matéria orgânica total (MOT) variaram de 2,01% a 9,62% para matéria orgânica total.

O estudo de BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015) indica que por se tratar de uma área profunda e não perturbada, na região onde foram realizadas as coletas deve ocorrer periodicamente um incremento de frações orgânicas que se precipitam ao fundo marinho e que ao longo do tempo se acumulam no sedimento, promovendo assim concentrações elevadas desses compostos orgânicos. BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015) ressalta que as principais fontes naturais de matéria orgânica para os corpos hídricos são os produtores primários (fonte autóctone), produzida in situ e material terrestre oriundo da bacia de drenagem (fonte alóctone), que entra no sistema hídrico através de processos tais como escoamento superficial, erosão e lixiviação. O estudo conclui que os resultados obtidos na Bacia da Foz do Amazonas indicam ser este o caso, de aporte de matéria orgânica oriunda do rio Amazonas.

A **Figura II.6.1.2.3-14** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concondância entre eles.



**Figura II.6.1.2.3-14** – Teor de matéria orgânica nos sedimentos da Bacia da Foz do Amazonas de acordo com os estudos consultados.

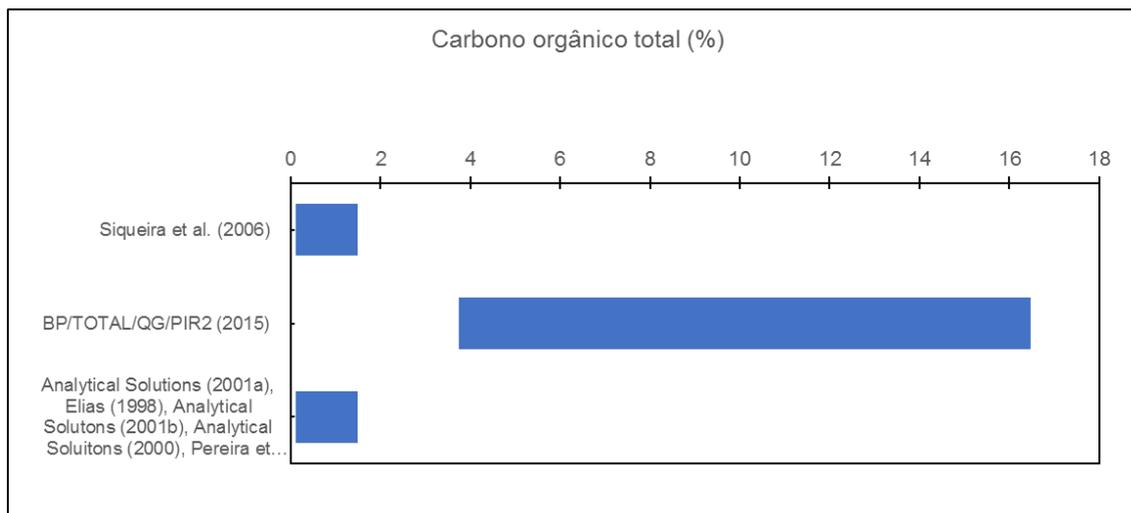
□ *Carbono orgânico total*

De acordo com SIQUEIRA; PEREIRA; APRILE (2006), os valores médios de carbono orgânico nos sedimentos na região da Foz do Amazonas são de  $0,8\% \pm 0,3$  com uma variação entre 0,1 e 1,5%. Estes autores constataram que a relação entre a distribuição do carbono orgânico e a análise textural é que as maiores concentrações do carbono orgânico estão associadas às frações lamosas. Os valores mais baixos de carbono orgânico obtidos nos sedimentos podem ser explicados devido à grande concentração de material em suspensão de origem continental, que são compostos por elementos argilosos e silte-argilosos oriundos das descargas dos rios Amazonas e Pará. Esta alta quantidade de material em suspensão ocasiona a redução da transparência da água e também a produção primária, o material de origem continental se agrega aos compostos orgânicos mantendo-os em suspensão.

No estudo de BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015) os percentuais de carbono orgânico total (COT) encontrados variaram de 3,73% a 16,47%.

Este estudo destacou que os valores obtidos estão de acordo com outros estudos na área, como ANALYTICAL SOLUTIONS (2000, 2001a, 2001b), (SIQUEIRA; PEREIRA; APRILE (2006), PEREIRA; LIMA; EL-ROBRINI (2006). Nestes estudos as concentrações mínimas variaram de 0,1 e 0,375 % (média de  $0,26558 \pm 0,128077$  %), enquanto que as concentrações máximas variaram 0,674 e 1,5 %.

A **Figura II.6.1.2.3-15** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concordância entre eles.



**Figura II.6.1.2.3-15** – Teor de carbono orgânico nos sedimentos da Bacia da Foz do Amazonas de acordo com os estudos consultados.

□ *Nitrogênio Total*

No estudo de BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015) as concentrações de nitrogênio total variaram entre 0,14% e 0,25%, estando de acordo com os obtidos por PEREIRA; LIMA; EL-ROBRINI (2006), que variaram entre aproximadamente 0,03 e 0,21% para a mesma região.

□ *Fósforo*

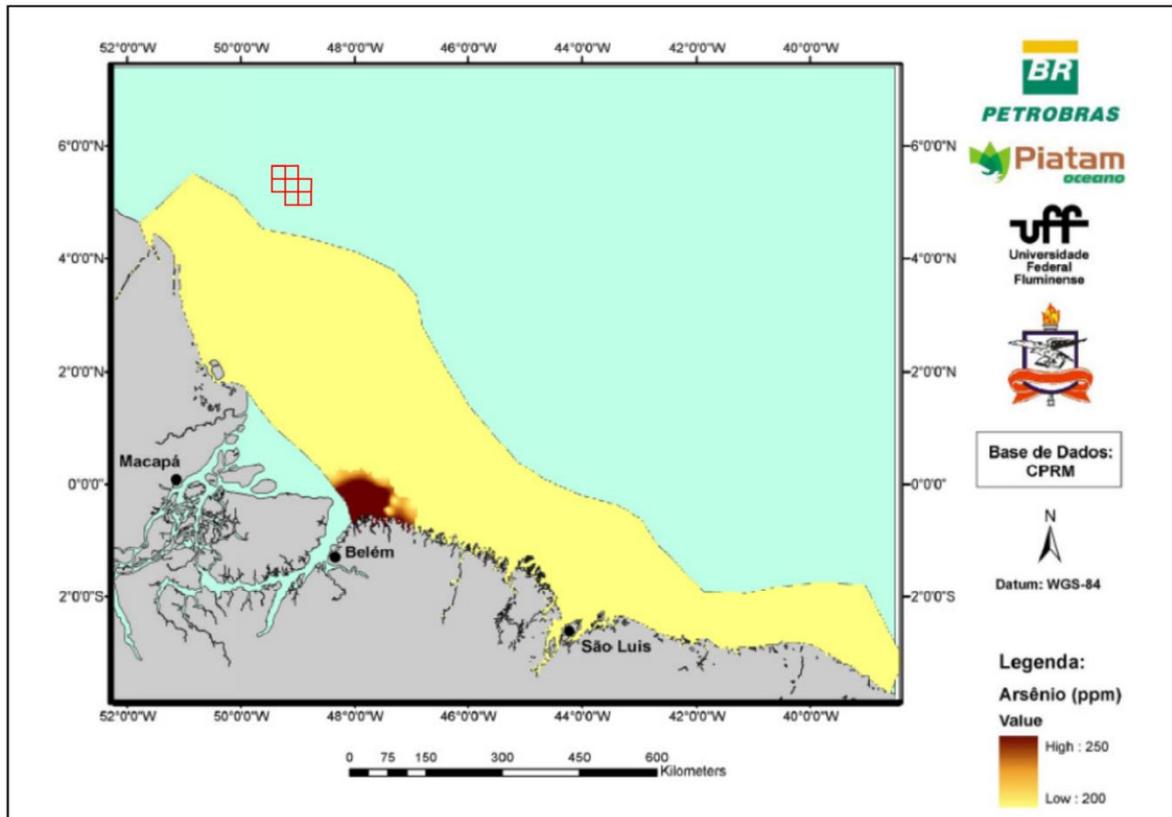
No estudo de BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015) as concentrações de fósforo total nas amostras de sedimento analisadas variaram entre 0,013% e 0,121%. Em PEREIRA; LIMA; EL-ROBRINI (2006), as concentrações mínimas de fósforo total variaram entre 0,06 e 0,075%, aproximadamente.

□ *Metais e semimetais*

– *Arsênio - As*

No estudo de BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015) as concentrações obtidas variaram de ND a 421,0 mg/kg. SCARPELLI (2005) através de uma compilação de estudos, mostra que valores elevados de arsênio são usuais na região da foz do Amazonas. Ressalta ainda que esse elemento possui sua principal origem nos Andes e é carregado através dos rios como Solimões até a Foz do Amazonas. Os estudos

realizados pelo PIATAM Oceano, AMASseds e Analytical Solutions com algumas estações situadas na mesma área já tinham demonstrado que concentrações de arsênio e cádmio são esperadas na região - **Figura II.6.1.2.3-16**. No PIATAM Oceano, considerando os dados obtidos pela CPRM, existe ainda um mapa de distribuição do arsênio no sedimento que mostra maiores concentrações na região mais costeira e próxima da Foz do Amazonas

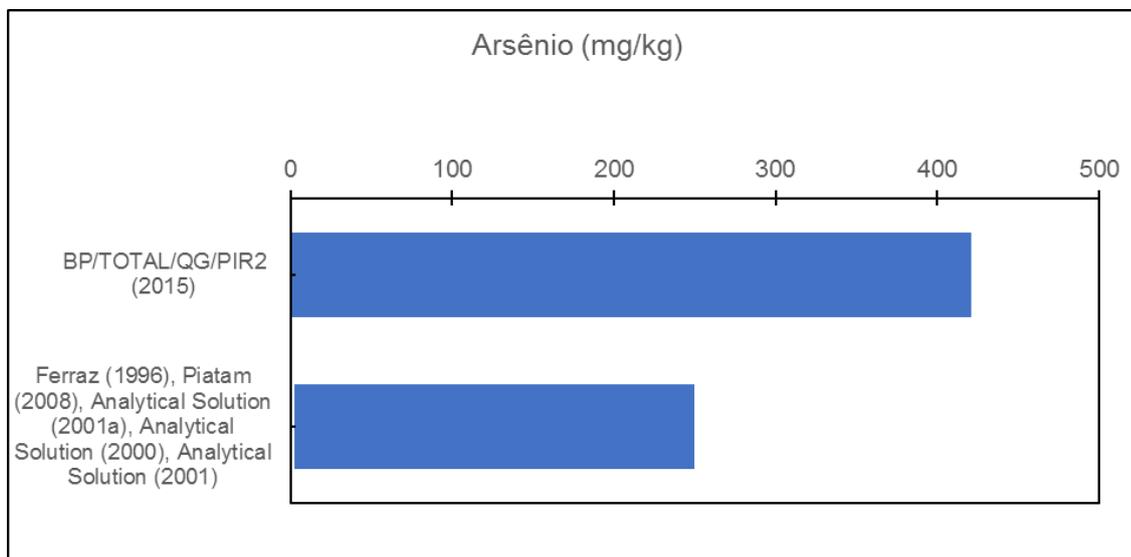


Fonte: Modificado de PIATAM (2008).

**Figura II.6.1.2.3-16** – Mapa de distribuição espacial das concentrações de arsênio (ppm) no sedimento marinho, segundo a base de dados da CPRM.

O estudo de BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015) destacou que os valores obtidos estão de acordo com outros estudos na área, como ANALYTICAL SOLUTIONS (2000, 2001a, 2001b), PIATAM (2008). Nestes estudos, as concentrações mínimas de arsênio no sedimento variaram de 2,5 a 200,0 mg/kg, média de  $43,8 \pm 87,3$  mg/kg, enquanto que as concentrações máximas variaram de 2,6 a 250,0 mg/kg, com média de  $60,4 \pm 106,4$  mg/kg.

A **Figura II.6.1.2.3-17** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concordância entre eles.



**Figura II.6.1.2.3-17** – Concentração de arsênio nos sedimentos da Bacia da Foz do Amazonas de acordo com os estudos consultados.

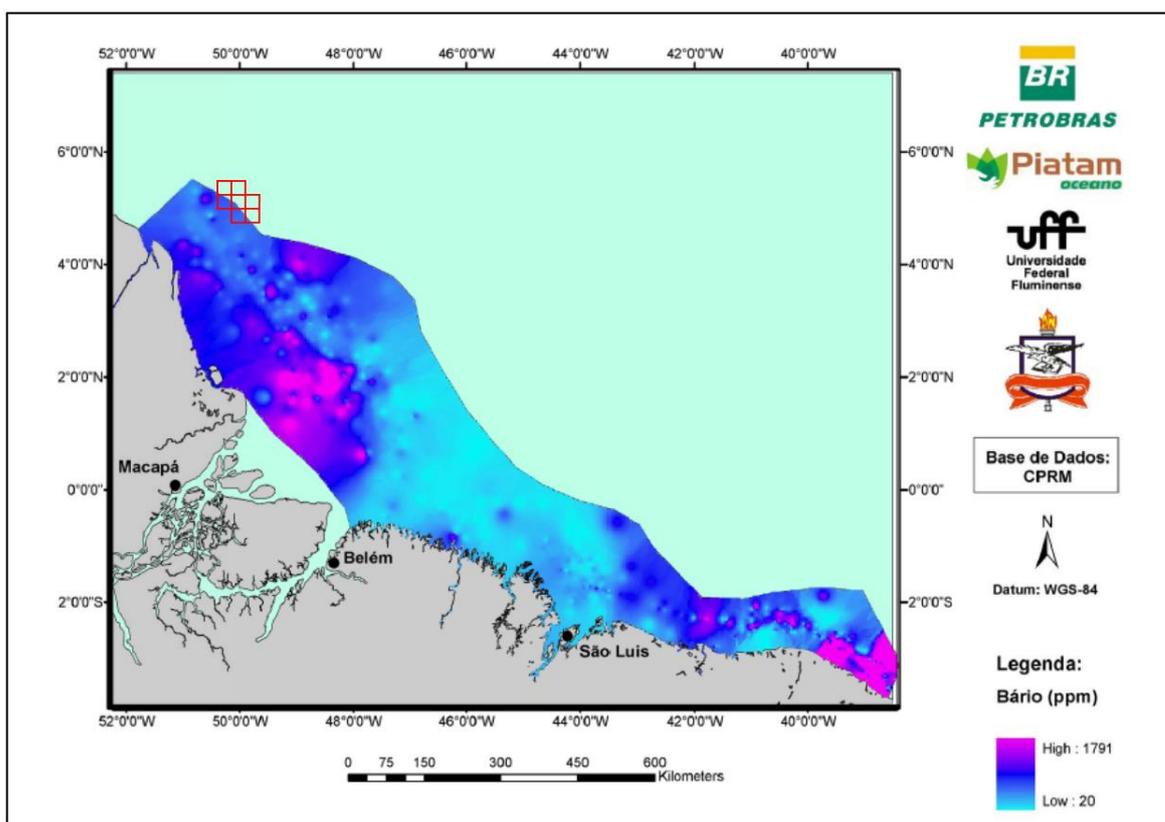
– Alumínio – Al

No estudo de BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015) a concentração de alumínio no sedimento variou de 7.471 a 15.793,2 mg/kg. O estudo destacou que espacialmente não pôde ser distinguido nenhum padrão quanto às concentrações de alumínio observada nas diferentes estações e os seus posicionamentos nos blocos.

– Bário - Ba

No estudo de BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015) a concentração de bário no sedimento variou de 8,65 a 128,4 mg/kg. Este estudo destacou que os valores obtidos estão de acordo com outros estudos na área, ANALYTICAL SOLUTIONS (2000, 2001a, 2001b), PIATAM (2008). Nestes estudos, as concentrações mínimas de bário variaram de 15,0 a 177,0 mg/kg (média de 79,1 ± 81,5 mg/kg), enquanto que as concentrações máximas variaram de 153,0 a 1791,0 mg/kg, (média de 517,6 ± 714,3 mg/kg).

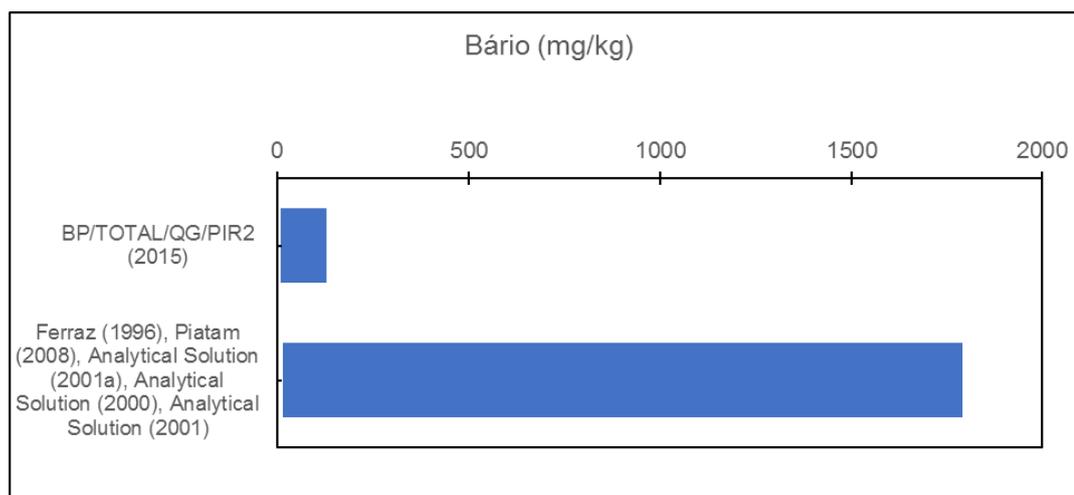
A **Figura II.6.1.2.3-16** mostra a distribuição espacial da concentração de bário obtida por PIATAM (2008).



Fonte: Modificado de PIATAM (2008).

**Figura II.6.1.2.3-18** – Mapa de distribuição espacial das concentrações de bário (ppm) no sedimento marinho, segundo a base de dados da CPRM.

A **Figura II.6.1.2.3-19** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concondância entre eles.

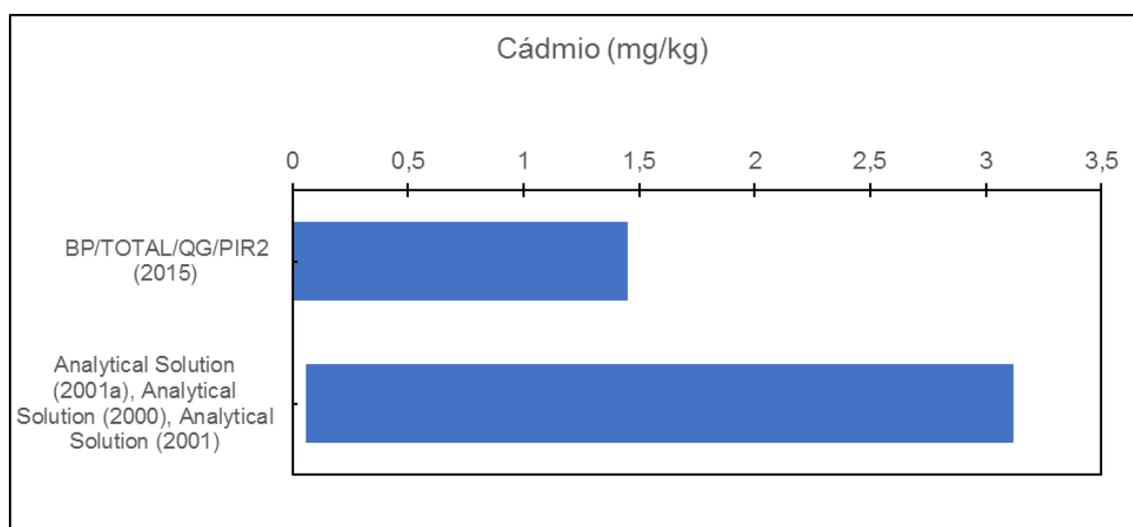


**Figura II.6.1.2.3-19** – Concentração de bário nos sedimentos da Bacia da Foz do Amazonas de acordo com os estudos consultados.

– *Cádmio*

No estudo de BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015) a concentração de cádmio no sedimento variou de ND a 1,45 mg/kg (apenas uma estação obteve valores possíveis de serem determinados). Este estudo destacou que os valores obtidos estão de acordo com outros estudos na área, como ANALYTICAL SOLUTIONS, (2000, 2001a, 2001b), cujas concentrações mínimas variaram de 0,06 a 2,47 mg/kg, com média de  $1,25 \pm 1,21$  mg/kg, enquanto que as concentrações máximas variaram de 0,20 a 3,12 mg/kg, com média de  $2,07 \pm 1,62$  mg/kg.

A **Figura II.6.1.2.3-20** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concordância entre eles.

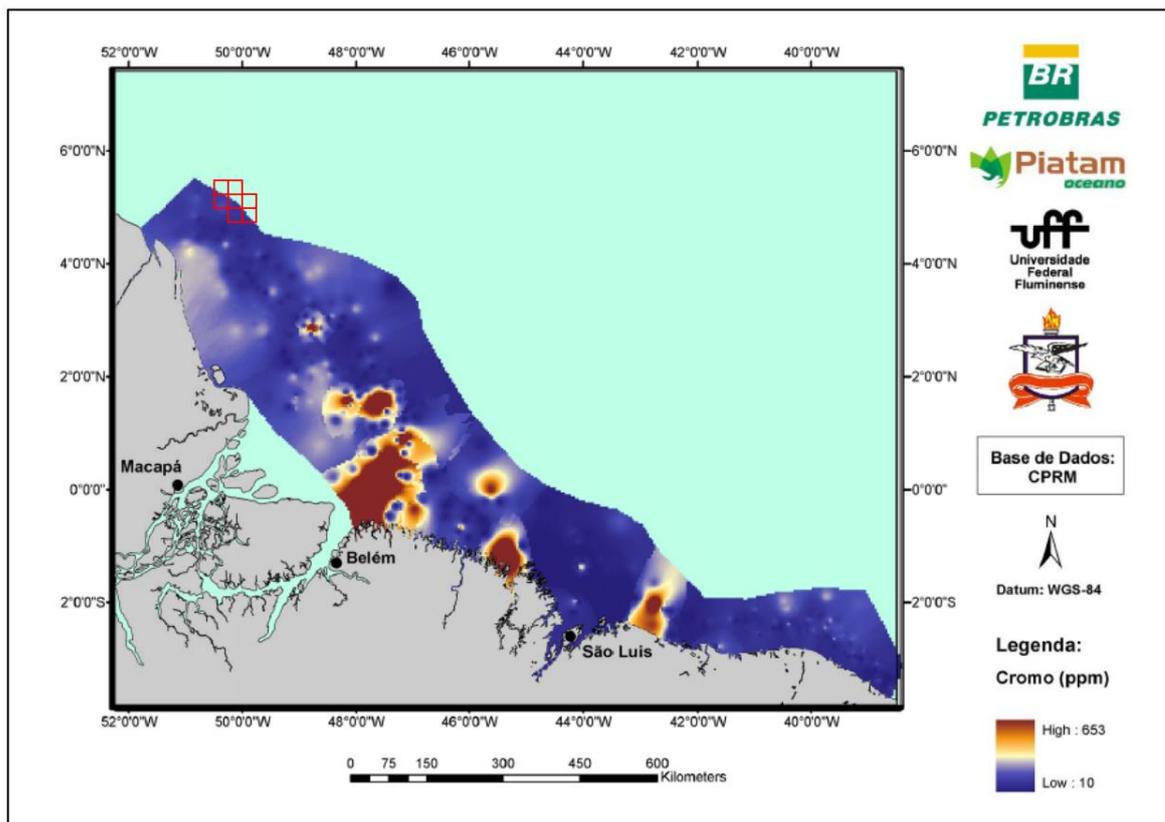


**Figura II.6.1.2.3-20** – Concentração de cádmio nos sedimentos da Bacia da Foz do Amazonas de acordo com os estudos consultados.

– *Cromo – Cr*

No estudo de PETROBRAS/ICF (2009), as concentrações mínima e máxima de Cr, determinadas na fração móvel, foram de 0,4 e 3 mg/kg. O valor médio para a fração móvel foi de  $1,15 \pm 0,68$  mg/kg. Na fração geoquímica total, o valor mínimo e máximo foram de 25 e 79 mg/kg. O valor médio para essa fração total foi de  $54,94 \pm 16,58$  mg/kg.

A **Figura II.6.1.2.3-21** mostra a distribuição espacial da concentração de cromo obtida por PIATAM (2008).

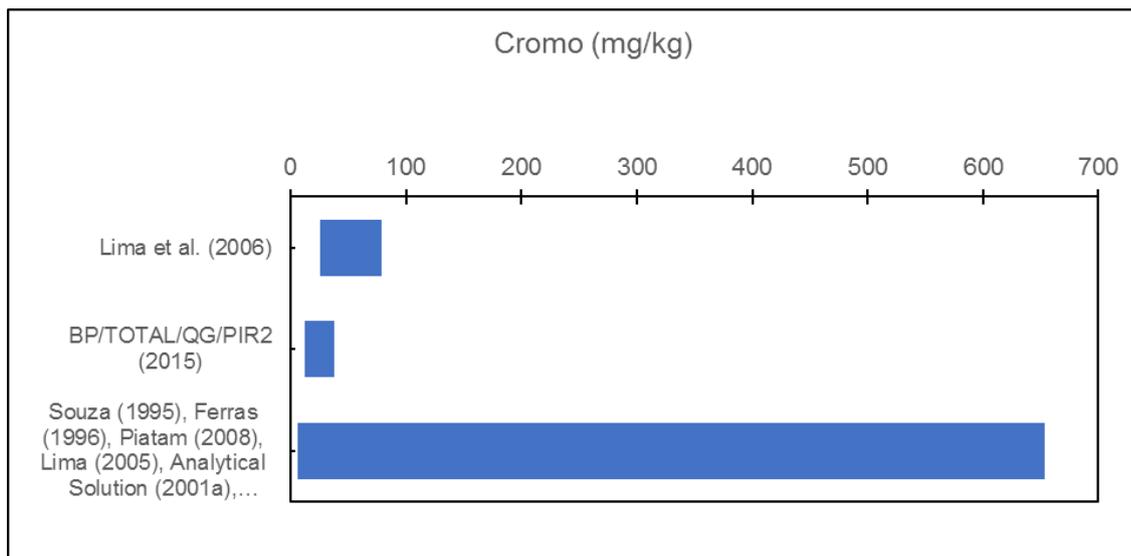


Fonte: Modificado de (PIATAM, 2008).

**Figura II.6.1.2.3-21** – Mapa de distribuição espacial das concentrações de cromo (ppm) no sedimento marinho, segundo a base de dados da CPRM.

Já no estudo de (BP/TOTAL/QG/PIR2, 2015) os valores variaram de 11,7 a 37,7 mg/kg. O estudo destacou que estes valores estão condizentes com os valores obtidos por ANALYTICAL SOLUTIONS (2000, 2001a, 2001b), PIATAM (2008) na mesma região. Nestes estudos as concentrações variaram de 6,0 a 74,0 mg/kg, com média de  $26,30 \pm 24,48$  mg/kg, enquanto que as concentrações máximas variaram de 16,35 a 653,0 mg/kg, com média de  $142,20 \pm 229,54$  mg/kg.

A **Figura II.6.1.2.3-22** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concordância entre eles.



**Figura II.6.1.2.3-22** – Concentração de cromo nos sedimentos da Bacia da Foz do Amazonas de acordo com os estudos consultados.

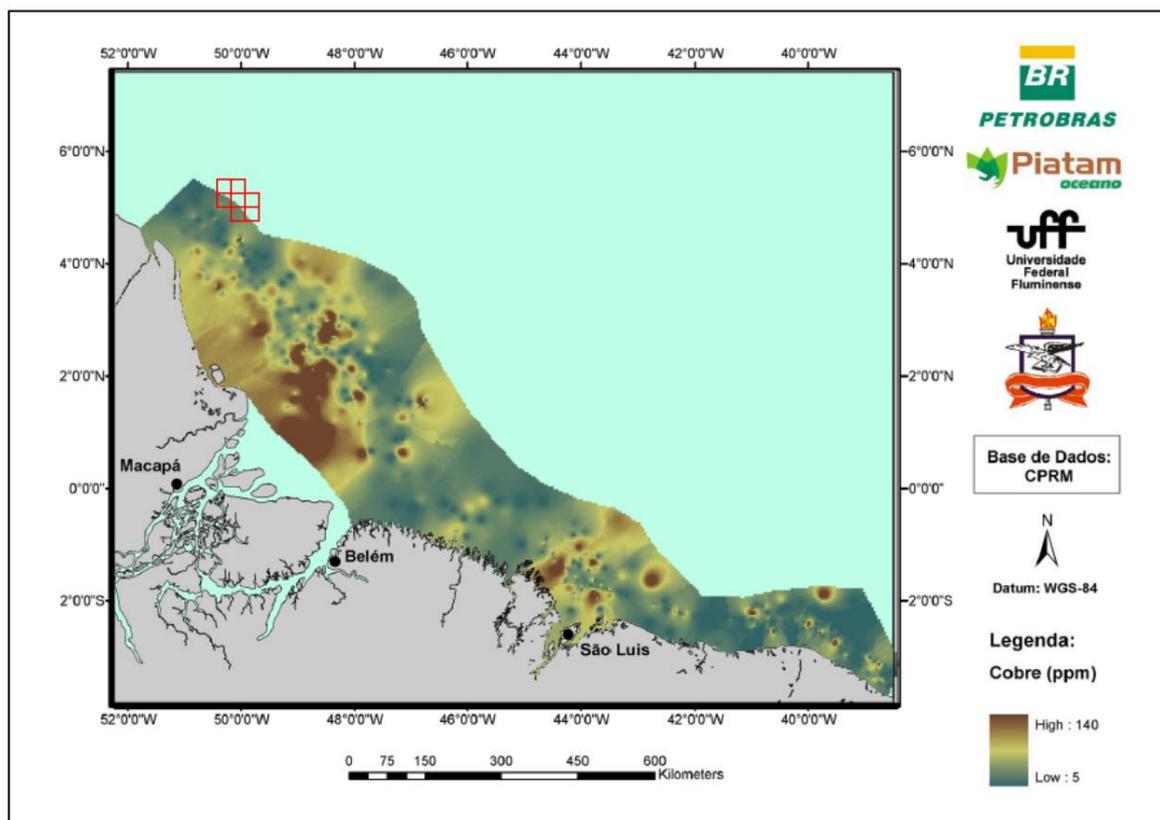
– Cobre – Cu

De acordo com LIMA; SIQUEIRA; LIMA (2006), os valores obtidos para o Cu possuem concentrações na fração total que oscilaram entre 11 e 75 mg/kg . Estes valores apresentaram valores médios de  $31 \pm 15,43$  mg/kg para a região da Bacia da Foz do Amazonas. Segundo estes autores, o Cu possui menor solubilidade em ambientes redutores do que em ambientes oxidantes, desta maneira uma pequena variação no pH e a presença de sulfato permitem com que esse metal traço seja depositado no sedimento de fundo. A concentração mínima e máxima determinada para a fração geoquímica móvel de Cu foi de 1 e 20 mg/kg. O valor médio para essa fração foi de  $8,5 \pm 5,13$  mg/kg. Em geral, a maior fração do Cu foi encontrada como não biodisponível, isto é, associada à fração geoquímica total. A concentração do Cu nos sedimentos de fundo da plataforma continental amazônica apresenta uma distribuição decrescente em direção ao mar aberto, tanto na fração móvel como no total.

Para o estudo de BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015) os valores variaram de ND a 23,1 mg/kg. O estudo destaca que outros estudos na área, como ANALYTICAL SOLUTIONS (2000, 2001a, 2001b), PIATAM (2008) obtiveram valores semelhantes. Nestes estudos, as concentrações mínimas de cobre observadas

variaram de 4,9 a 16,0 mg/kg (média de  $10,54 \pm 4,84$  mg/kg), e máximas de 16,35 a 140,0 mg/kg.

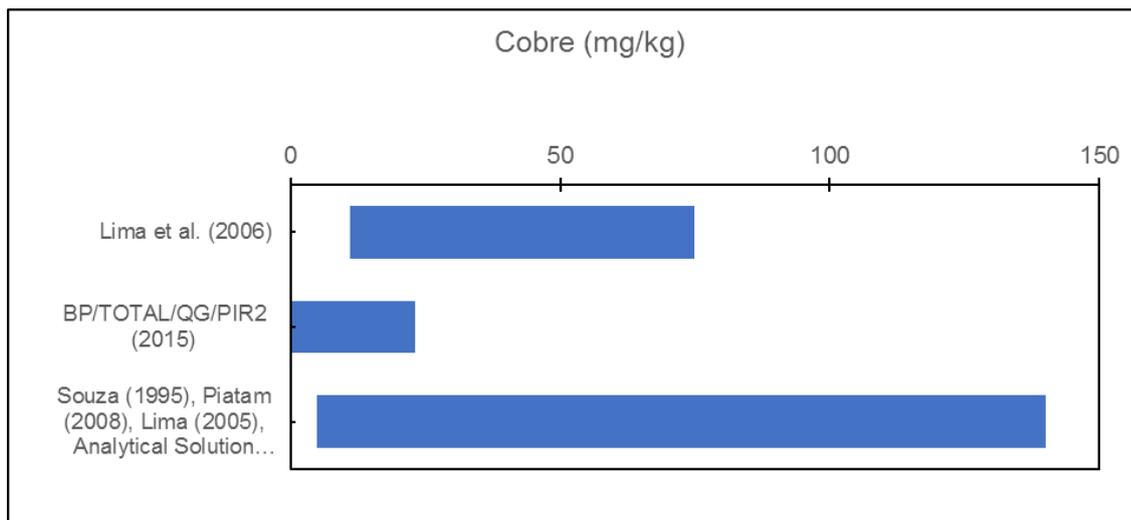
A **Figura II.6.1.2.3-23** mostra a distribuição espacial da concentração de cobre obtida por PIATAM (2008).



Fonte: Modificado de PIATAM (2008).

**Figura II.6.1.2.3-23** – Mapa de distribuição espacial das concentrações de cobre (ppm) no sedimento marinho, segundo a base de dados da CPRM.

A **Figura II.6.1.2.3-24** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concordância entre eles.



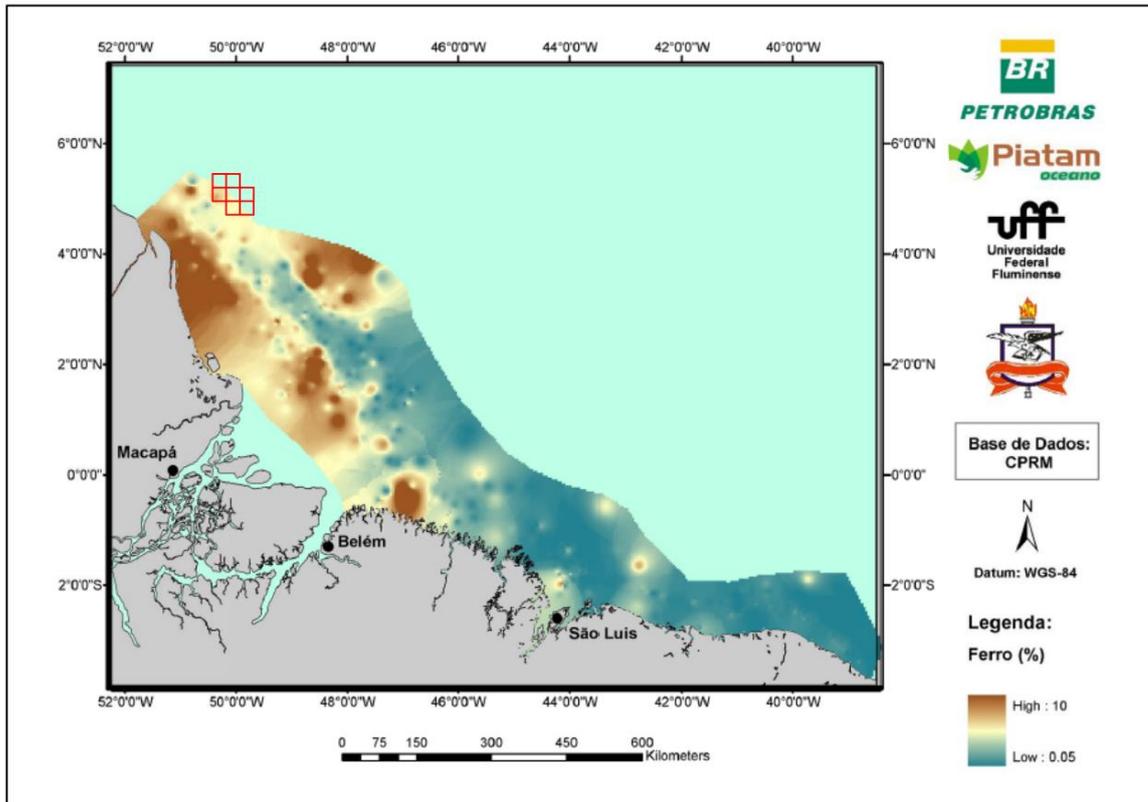
**Figura II.6.1.2.3-24** – Concentração de cobre nos sedimentos da Bacia da Foz do Amazonas de acordo com os estudos consultados.

– Ferro

No estudo de LIMA; SIQUEIRA; LIMA (2006), o percentual médio obtido nas amostras de sedimentos para o Fe do conteúdo total foi de  $36.900 \pm 12.900$  mg/kg, apresentando um máximo de 53.000 e mínimo de 13.200 mg/kg.

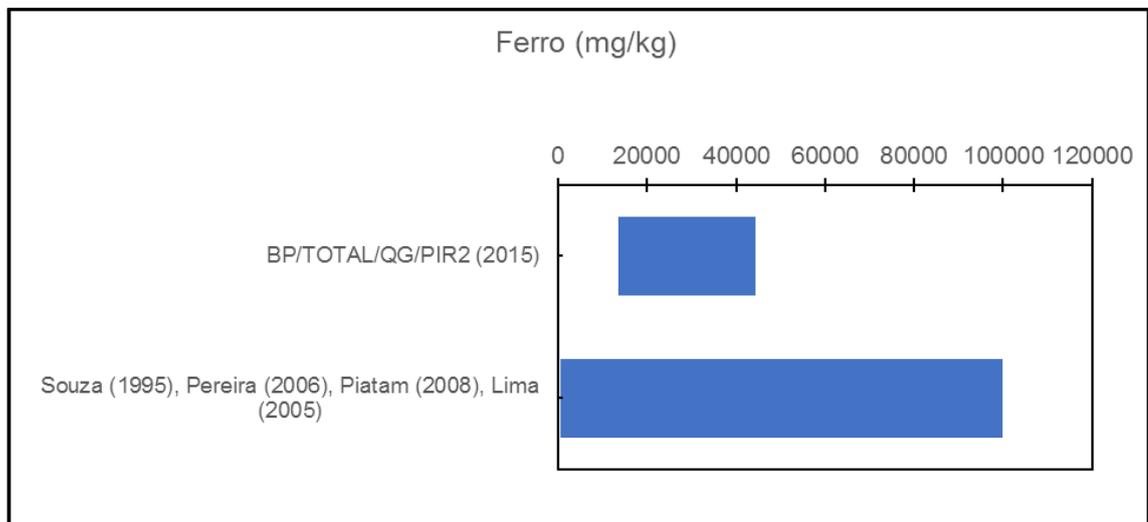
No estudo de BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015) os valores estiveram entre 13.412 a 44.268,3 mg/kg. Especialmente, o estudo destaca que não foi possível distinguir nenhum padrão quanto às concentrações. Ainda, o estudo cita que os valores obtidos estão de acordo com outros estudos na região, como PEREIRA; LIMA; EL-ROBRINI (2006), PIATAM (2008). Nestes estudos as concentrações mínimas variaram de 500,0 a 34.594,0 mg/kg (média de  $16.106,7 \pm 17.228,6$  mg/kg), enquanto que as concentrações máximas variaram de 53.030,0 a 100.000,0 mg/kg (média de  $73.401,7 \pm 24.096,1$  mg/kg).

A **Figura II.6.1.2.3-25** mostra a distribuição espacial da concentração de ferro obtida por PIATAM (2008). A **Figura II.6.1.2.3-26** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concordância entre eles.



Fonte: Modificado de PIATAM (2008).

**Figura II.6.1.2.3-25** – Mapa de distribuição espacial das concentrações de ferro (ppm) no sedimento marinho, segundo a base de dados da CPRM.



**Figura II.6.1.2.3-26** – Concentração de ferro nos sedimentos da Bacia da Foz do Amazonas de acordo com os estudos consultados.

– *Mercúrio - Hg*

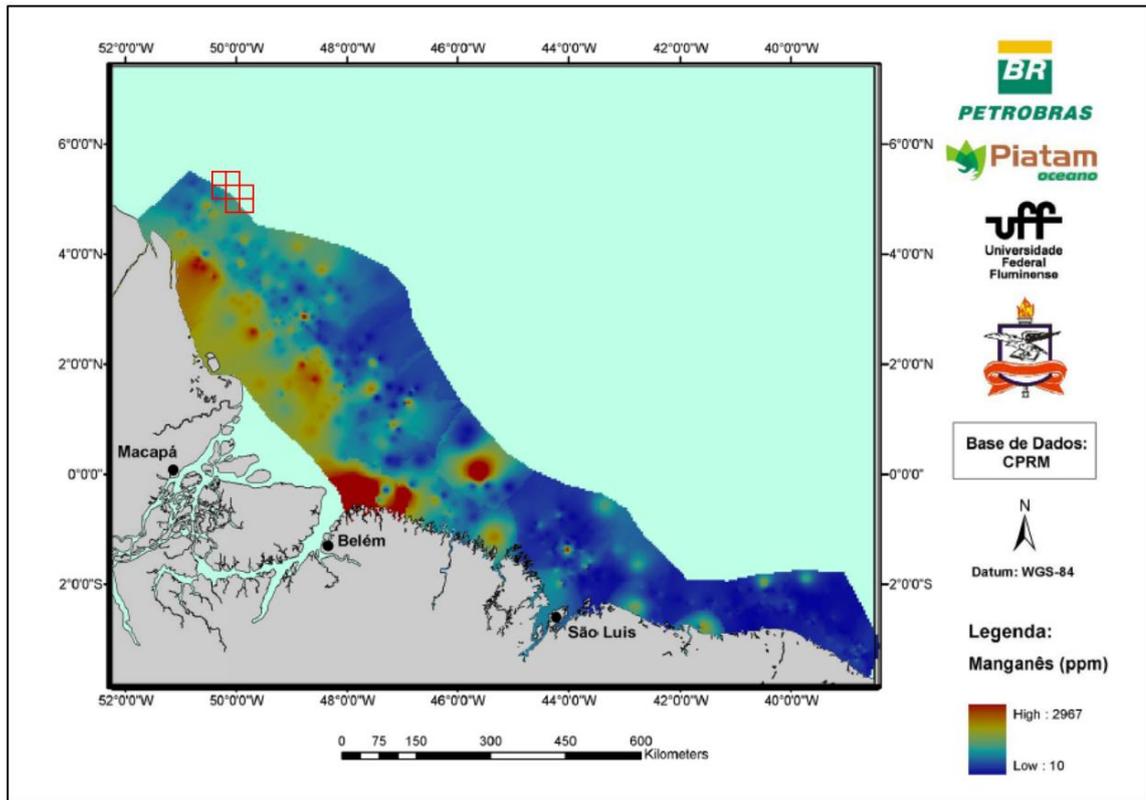
No estudo de BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015), em nenhuma das amostras analisada foi possível identificar a concentração de Hg no sedimento. Compilando dados de ANALYTICAL SOLUTIONS (2000, 2001a, 2001b), este estudo encontrou concentrações mínimas variando de 0,05 a 0,35 mg/kg, (média de  $0,15 \pm 0,14$  mg/kg), e concentrações máximas de 0,12 a 1,43 mg/kg (média de  $0,54 \pm 0,61$  mg/kg).

– *Manganês – Mn*

No estudo de LIMA; SIQUEIRA; LIMA (2006), o Mn foi o elemento que apresentou maior biodisponibilidade, com concentrações mínima e máxima determinadas na fração móvel de 97 a 733 mg/kg. A média foi de  $360,75 \pm 197,61$  mg/kg. Para a fração geoquímica total, os valores mínimo e máximo foram de 198 a 939 mg/kg, com valor médio de  $612,28 \pm 234,37$  mg/kg. O percentual médio biodisponível foi de  $56,7 \pm 14,35$  %, com valor mínimo de 20,75% e máximo, de 82,64%, respectivamente. De acordo com estes autores, fica evidenciado que o Mn é um metal com grande grau de biodisponibilidade para a biota marinha da Bacia da Foz do Amazonas.

No estudo de BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015) os valores de concentração de Mn variaram de 162,6 a 3064,5 mg/kg. O estudo cita que os valores obtidos estão de acordo com outros estudos na região, como PIATAM (2008), ANALYTICAL SOLUTIONS (2000, 2001a, 2001b). Nestes estudos, as concentrações mínimas variaram de 2,47 a 568,0 mg/kg, média de  $155,66 \pm 219,07$ mg/kg, enquanto que as concentrações máximas variaram de 2,60 a 2967,0 mg/kg, com média de  $1019,01 \pm 1021,66$  mg/kg.

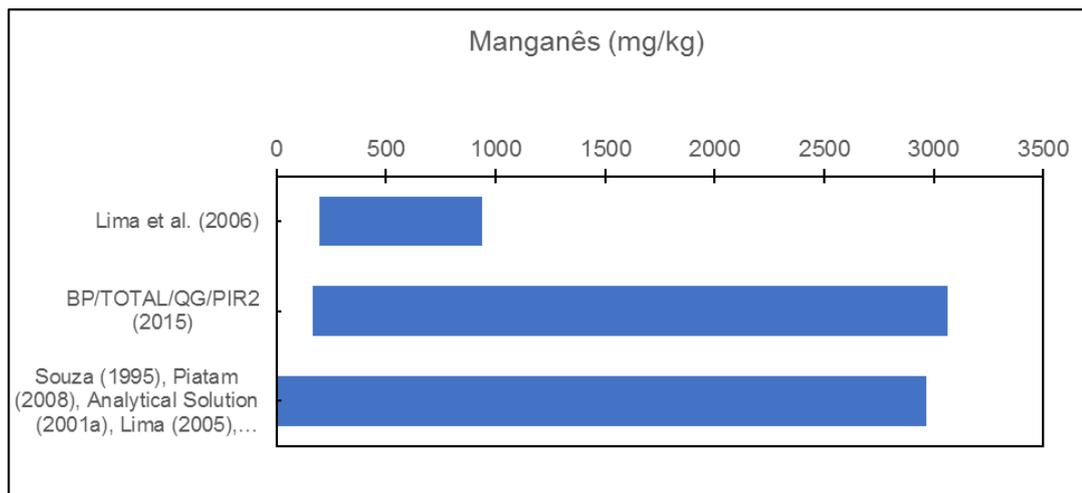
A **Figura II.6.1.2.3-27** mostra a distribuição espacial da concentração de manganês obtida por PIATAM (2008).



Fonte: Modificado de PIATAM (2008).

**Figura II.6.1.2.3-27** – Mapa de distribuição espacial das concentrações de manganês (ppm) no sedimento marinho, segundo a base de dados da CPRM.

A **Figura II.6.1.2.3-28** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concondância entre eles.



**Figura II.6.1.2.3-28** – Concentração de manganês nos sedimentos da Bacia da Foz do Amazonas de acordo com os estudos consultados.

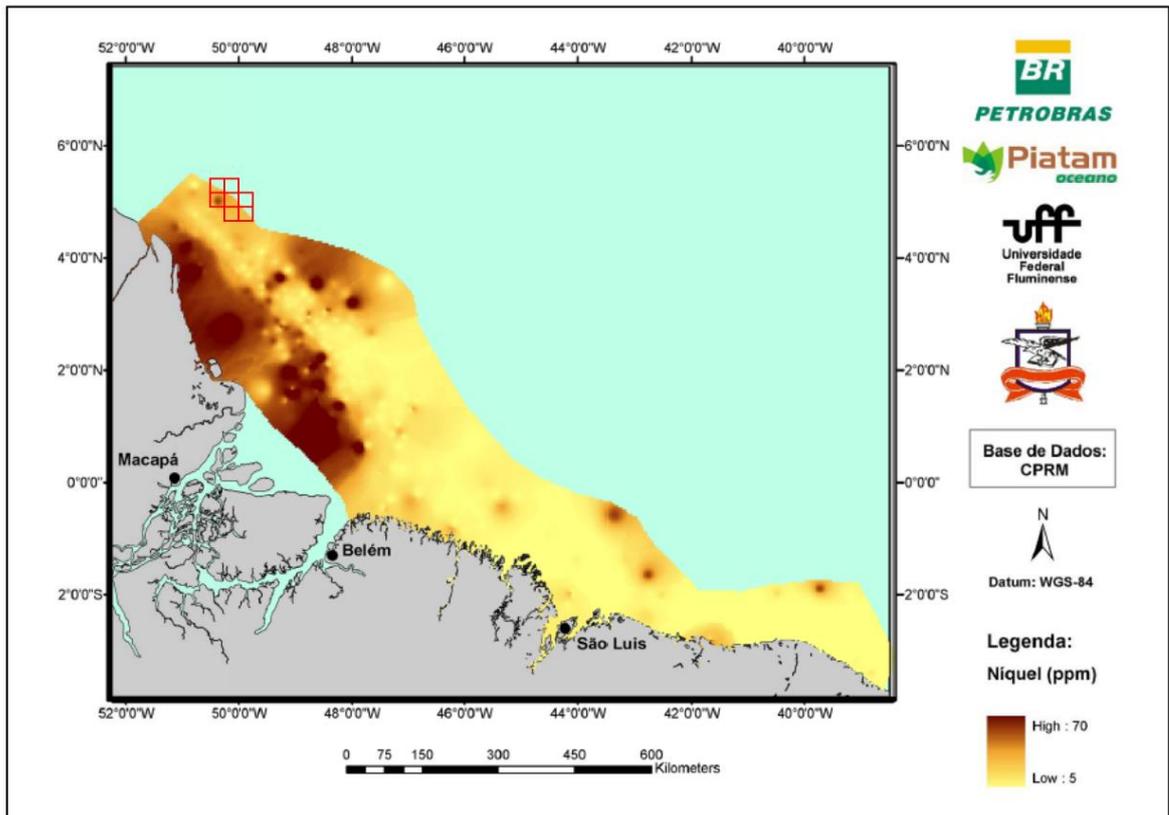
– *Níquel*

No estudo de SIQUEIRA; PEREIRA; APRILE (2006), na região da foz do Amazonas, a fração total de níquel oscilou entre 21,69 e 47,44 mg/kg , com média de 40,00 mg/kg  $\pm$ 9,54.

Já no estudo de LIMA; SIQUEIRA; LIMA (2006), as concentrações de Ni na fração total oscilaram de 30 a 79 mg/kg, com média de 57,31  $\pm$  13,91 mg/kg para os sedimentos da área de estudo.

Em BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015) os valores ficaram concentrados entre 3,9 e 30,8 mg/kg. Este estudo cita que estes valores estão de acordo com outros estudos na área, como PIATAM (2008). Nestes estudos as concentrações mínimas variaram de 5,0 a 30,0 mg/kg (média de 18,17  $\pm$  8,35 mg/kg), enquanto que as concentrações máximas variaram de 27,69 a 79,0 mg/kg (média de 52,62  $\pm$  19,54mg/kg).

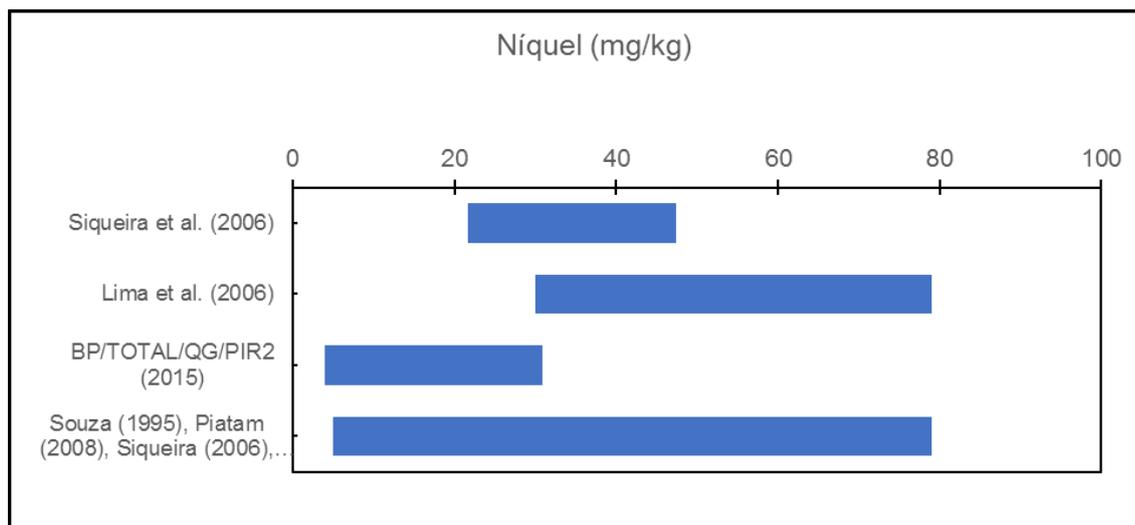
A **Figura II.6.1.2.3-29** mostra a distribuição espacial da concentração de níquel obtida por PIATAM (2008).



Fonte: Modificado de PIATAM (2008).

**Figura II.6.1.2.3-29** – Mapa de distribuição espacial das concentrações de níquel (ppm) no sedimento marinho, segundo a base de dados da CPRM.

A **Figura II.6.1.2.3-30** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concondância entre eles.

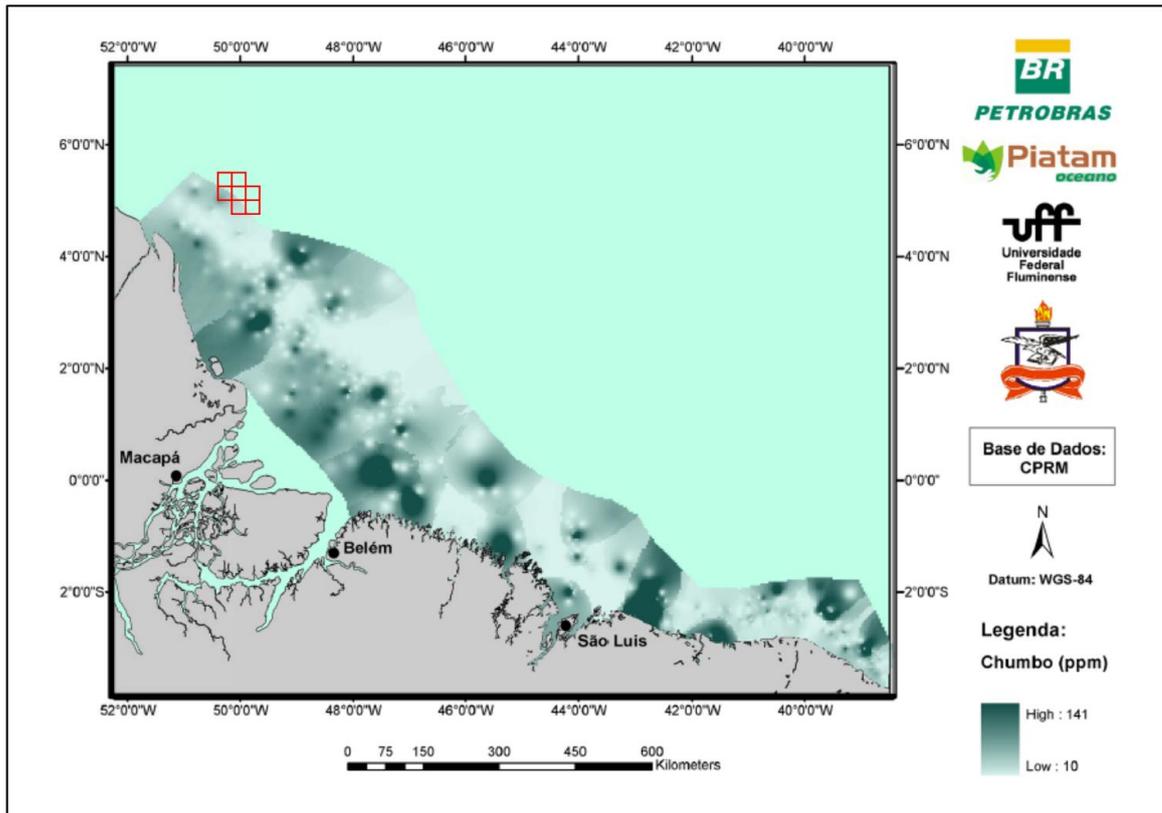


**Figura II.6.1.2.3-30** – Concentração de níquel nos sedimentos da Bacia da Foz do Amazonas de acordo com os estudos consultados.

– Chumbo – Pb

No estudo de BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015) as concentrações de chumbo no sedimento variaram de 6,36 a 40,6 mg/kg. Este estudo cita que estes valores estão de acordo com estudos anteriores, como PIATAM (2008), ANALYTICAL SOLUTIONS (2000, 2001a, 2001b). Nestes estudos as concentrações mínimas variaram de 6,9 a 33,11 mg/kg (média de  $18,78 \pm 12,43$  mg/kg), enquanto que as concentrações máximas variaram de 15,0 a 141,0 mg/kg (média de  $52,28 \pm 57,25$  mg/kg).

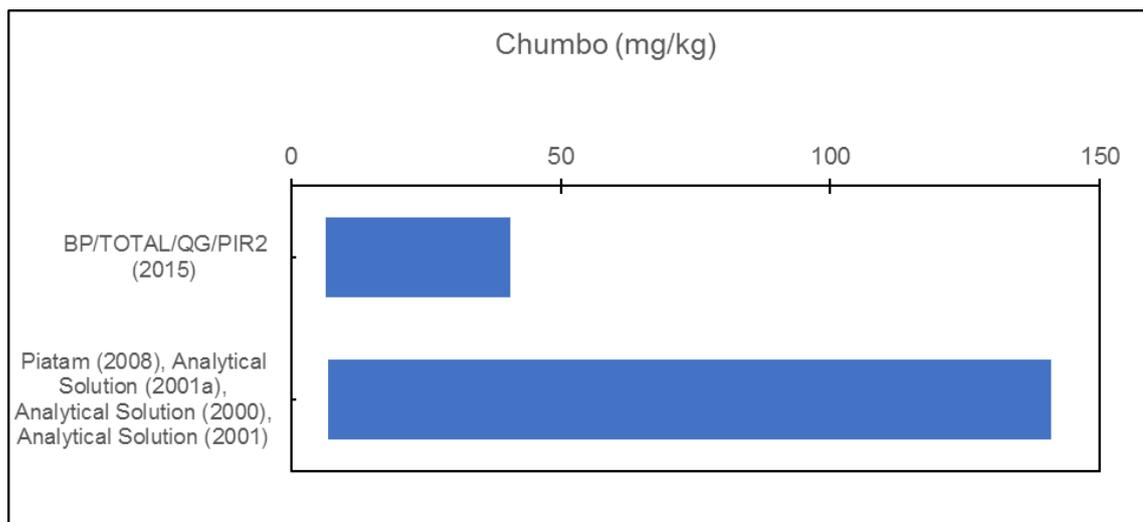
A **Figura II.6.1.2.3-31** mostra a distribuição espacial da concentração de chumbo obtida por PIATAM (2008).



Fonte: Modificado de PIATAM (2008).

**Figura II.6.1.2.3-31** – Mapa de distribuição espacial das concentrações de chumbo (ppm) no sedimento marinho, segundo a base de dados da CPRM.

A **Figura II.6.1.2.3-32** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concordância entre eles.

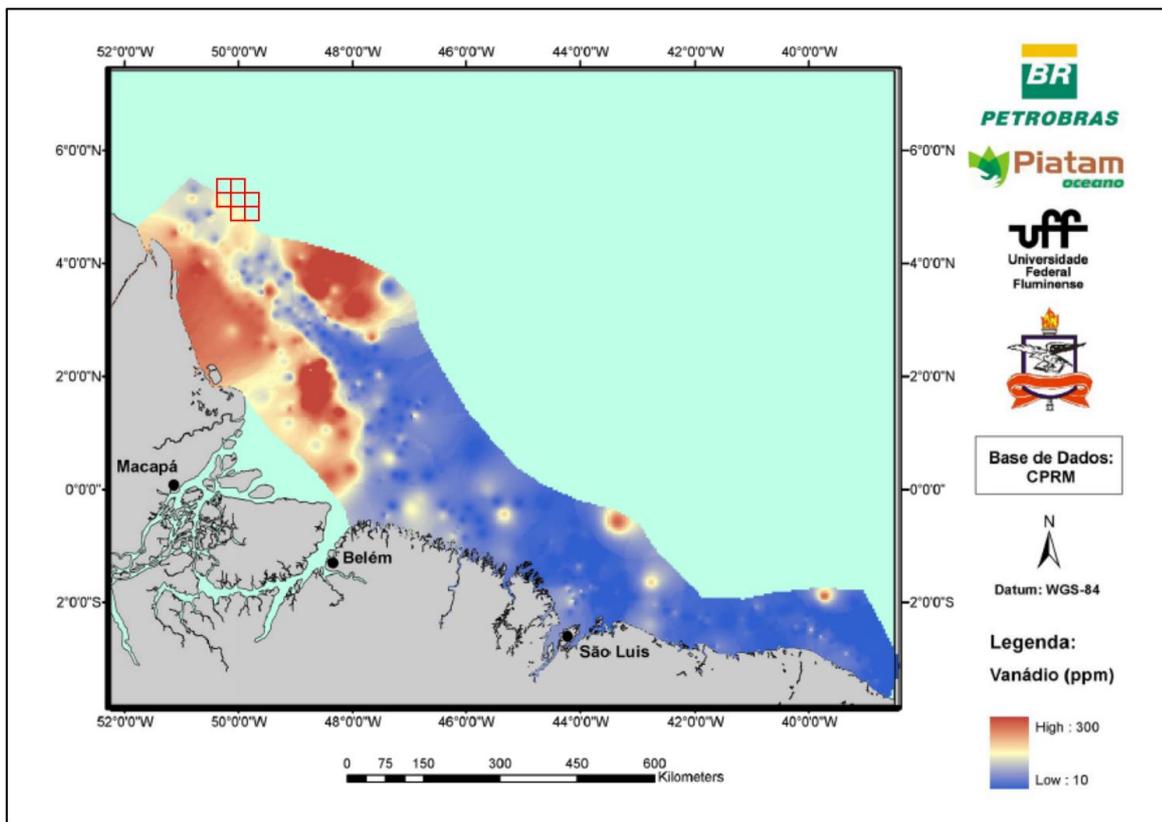


**Figura II.6.1.2.3-32** – Concentração de chumbo nos sedimentos da Bacia da Foz do Amazonas de acordo com os estudos consultados.

– Vanádio - V

Em BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015) a concentração de vanádio variou de 22,5 a 191,6 mg/kg, estando de acordo com estudos pretéritos na área, como ANALYTICAL SOLUTIONS (2000, 2001a, 2001b). Nestes estudos, as concentrações mínimas variaram de 10,0 a 34,5 mg/kg, média de  $20,84 \pm 10,27$  mg/kg, enquanto que as concentrações máximas variaram de 49,62 a 300,0 mg/kg, com média de  $118,51 \pm 121,35$  mg/kg.

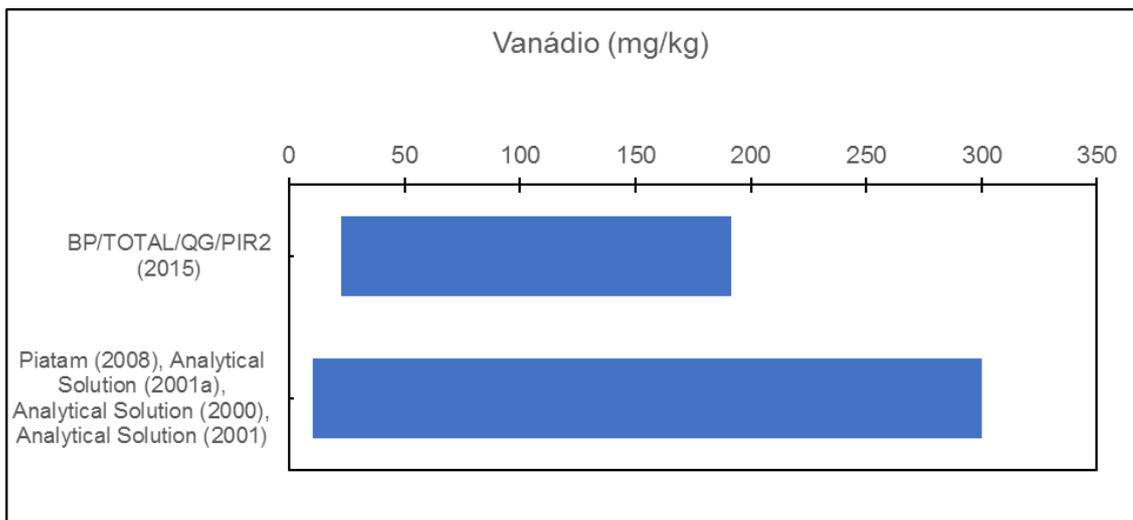
A **Figura II.6.1.2.3-33** mostra a distribuição espacial da concentração de vanádio obtida por PIATAM (2008).



Fonte: Modificado de PIATAM (2008).

**Figura II.6.1.2.3-33** – Mapa de distribuição espacial das concentrações de vanádio (ppm) no sedimento marinho, segundo a base de dados da CPRM.

A **Figura II.6.1.2.3-34** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concordância entre eles.



**Figura II.6.1.2.3-34** – Concentração de vanádio nos sedimentos da Bacia da Foz do Amazonas de acordo com os estudos consultados.

– Zinco – Zn

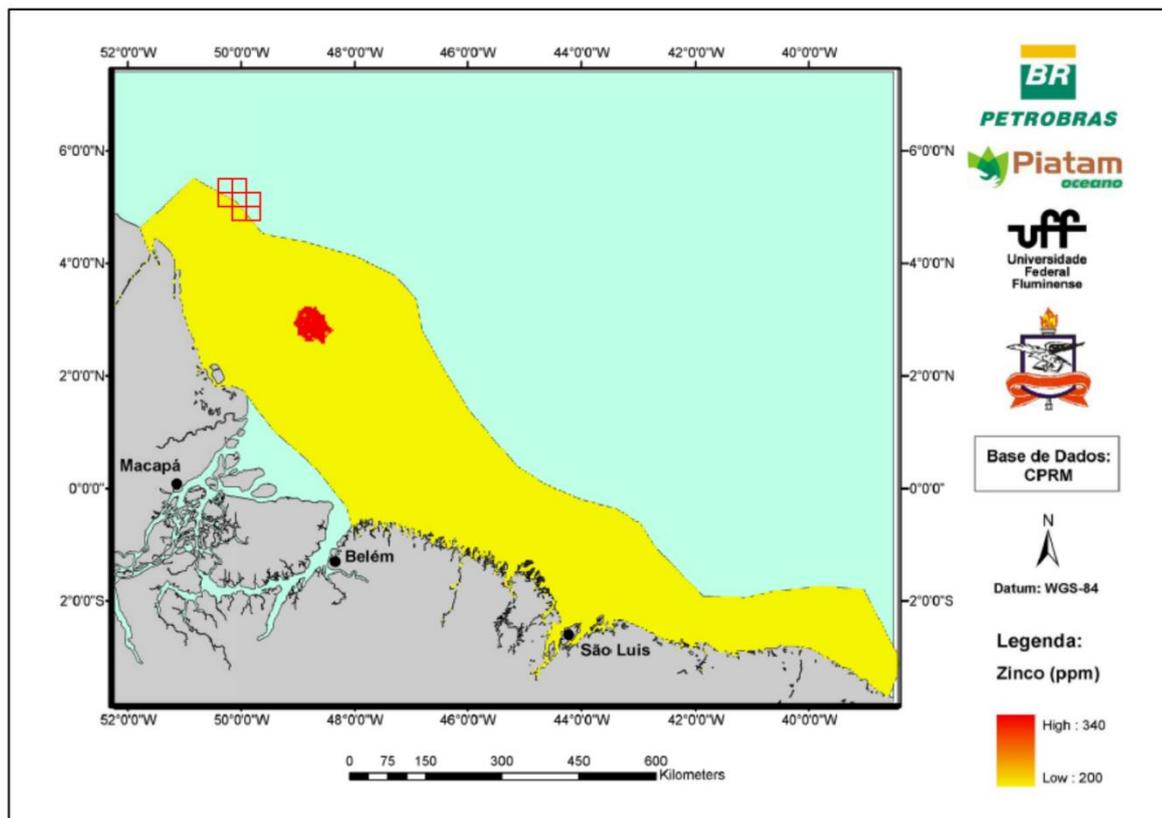
De acordo com o trabalho de SIQUEIRA; PEREIRA; APRILE (2006), os teores de zinco obtidos a partir das amostras coletadas na região da foz do Amazonas, as concentrações variaram entre 52,83 e 159,46 mg/kg com média de 127,74 mg/kg  $\pm$  39,18.

Já de acordo com LIMA; SIQUEIRA; LIMA (2006), as concentrações máximas e mínimas na fração geoquímica móvel de Zn na Bacia da Foz do Amazonas foram de 34 e 9 mg/kg e o valor médio para essa fração foi de 19,78  $\pm$  5,77 mg/kg. Os valores mínimo e máximo, na fração geoquímica total, foram de 40 e 153 mg/kg, e o valor médio para essa fração foi de 112,4  $\pm$  35,84 mg/kg. O percentual biodisponível médio determinado de Zn foi de 18,62  $\pm$  5,12%. Desta forma, os resultados obtidos mostram que o Zn se encontra em maior proporção ligado à fração móvel e em uma escala inferior à estrutura de minerais mais resistentes. Este fato evidencia que o Zn sofre ação dos fenômenos de adsorção e precipita nas formas convencionais de oxi-hidróxido de Fe e Mn (LIMA; SIQUEIRA; LIMA, 2006).

No estudo de BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015) os valores estiveram entre 41,7 e 192,5 mg/kg, concordando com valores de PIATAM (2008), SIQUEIRA; PEREIRA;

APRILE (2006), ANALYTICAL SOLUTIONS (2000, 2001a, 2001b). Nestes estudos as concentrações mínimas variaram de 20,0 a 200,0 mg/kg (média de  $66,04 \pm 66,56$ mg/kg), enquanto que as concentrações máximas variaram de 51,38 a 340,0 mg/kg (média de  $122,69 \pm 113,50$  mg/kg).

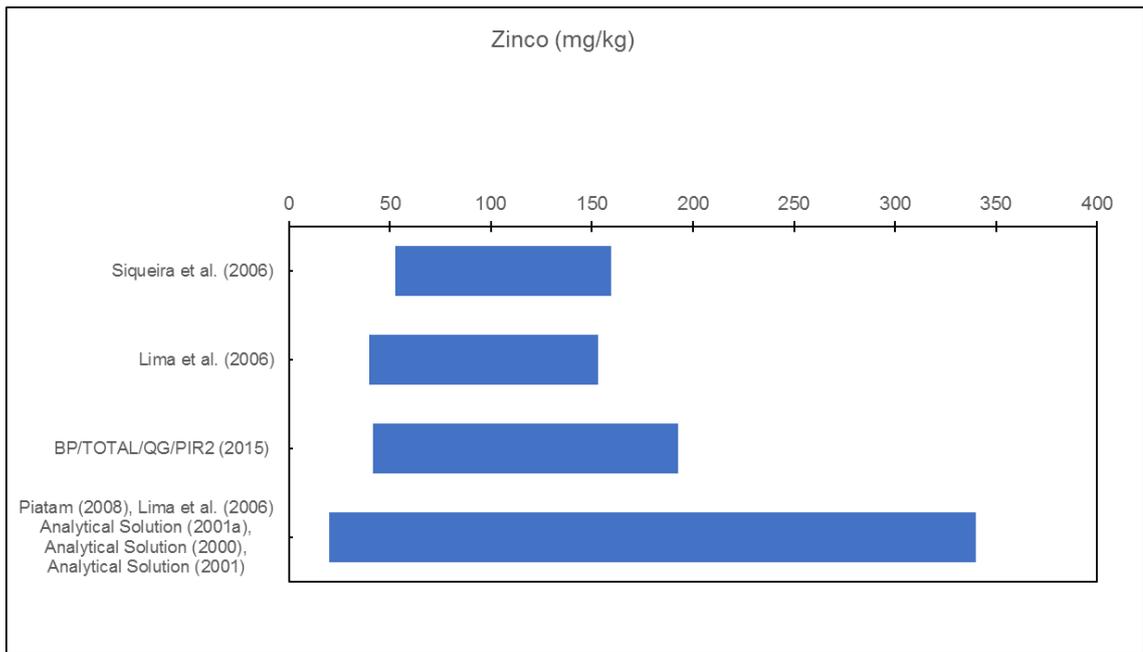
A **Figura II.6.1.2.3-35** mostra a distribuição espacial da concentração de zinco obtida por PIATAM (2008).



Fonte: Modificado de PIATAM (2008).

**Figura II.6.1.2.3-35** – Mapa de distribuição espacial das concentrações de zinco (ppm) no sedimento marinho, segundo a base de dados da CPRM.

A **Figura II.6.1.2.3-36** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concordância entre eles.

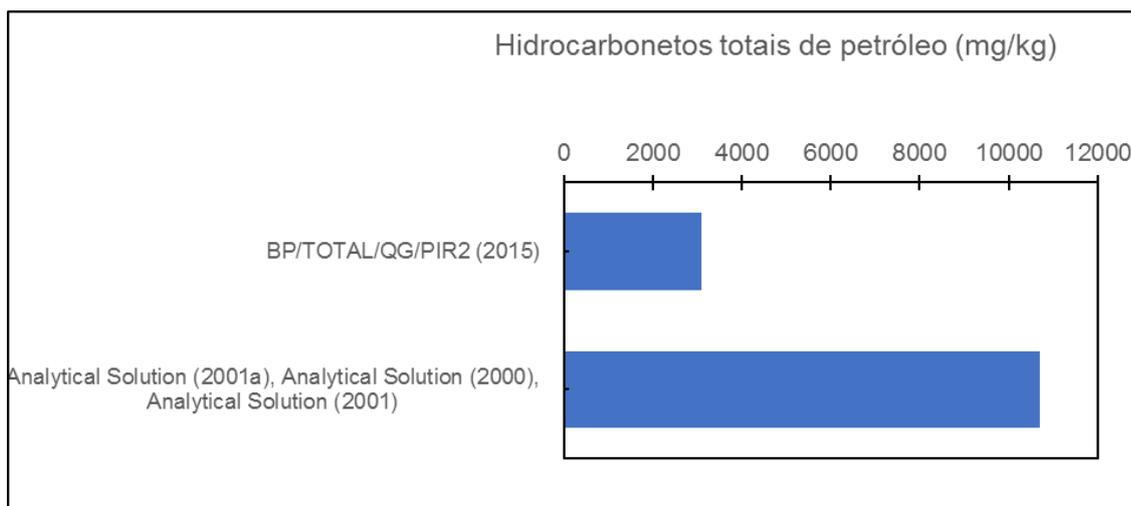


**Figura II.6.1.2.3-36** – Concentração de zinco nos sedimentos da Bacia da Foz do Amazonas de acordo com os estudos consultados.

□ *Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP)*

No estudo de BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015) os valores variaram de ND a 3080 mg/kg. O estudo destacou que se comparando estes valores com dados da literatura, dos mais diversos ambientes e regiões fica evidente que os resultados encontrados devem ser considerados usuais, uma vez que as concentrações de hidrocarbonetos totais encontradas na presente caracterização se situaram na sua maioria bem abaixo das demais. Na mesma região, os estudos de ANALYTICAL SOLUTIONS (2000, 2001a, 2001b) encontraram concentrações mínimas variando de ND a 1.314,0 mg/kg (média de  $712,03 \pm 663,88$  mg/kg dos resultados detectados), enquanto que as concentrações máximas variaram de 302,10 a 10.700,0 mg/kg.

A **Figura II.6.1.2.3-37** mostra a comparação entre os valores obtidos nos estudos consultados, evidenciando a concondância entre eles.



**Figura II.6.1.2.3-37** – Concentração de hidrocarbonetos totais de petróleo nos sedimentos da Bacia da Foz do Amazonas de acordo com os estudos consultados.

□ *Hidrocarbonetos Poliaromáticos (HPA)*

No estudo de BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015) não foram encontradas concentrações detectáveis de HPAs totais no sedimento. Este estudo cita que em ANALYTICAL SOLUTIONS (2000, 2001a, 2001b) as concentrações mínimas variaram de ND a 2,30mg/kg (média de  $0,77 \pm 1,33$  mg/kg), enquanto que as concentrações máximas variaram de 0,11 a 73,0 mg/kg (média de  $26,37 \pm 40,49$  mg/kg).

□ *n-alcanos*

No estudo de BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015) não foram encontradas concentrações detectáveis de n-alcanos nas amostras. Entretanto, o estudo destaca que este resultado não significa a ausência desses compostos nas amostras, mas que podem estar presentes em concentrações diminutas em relação a outros compostos majoritários.

□ *Mistura Complexa Não Resolvida (MCNR)*

No estudo de BP/TOTAL/QG/PIR2 (2015) os valores variaram entre ND e 224.700 mg/kg. O estudo indica que como em todas as estações não foram

detectados n-alcenos nas amostras analisadas, pode-se supor que não há na área acréscimos recentes ao sedimento de hidrocarbonetos de origem antrópica. Além disso, frações mais antigas de serem degradadas como a fração MCNR também foram encontradas na presente campanha, indicando que existem frações dos hidrocarbonetos mais complexas e resistentes à biodegradação. Portanto, os resultados das concentrações de mistura complexa não resolvida (MCNR) encontradas nas estações corroboram tal fato e mostram hidrocarbonetos altamente intemperizados e de origem mais antiga e não um incremento recente ao sedimento.

- *Considerações finais sobre a qualidade dos sedimentos na Bacia da Foz do Amazonas*

Os parâmetros físico-químicos analisados no sedimento das estações amostradas durante a caracterização ambiental dos blocos situados na Bacia da Foz do Amazonas mostraram valores, em sua maioria, usuais ao ambiente e dentro dos limites esperados para a região, com os estudos apresentando valores concordantes entre si. Importantes indicadores da qualidade ambiental como os hidrocarbonetos poliaromáticos (HPAs) não foram detectados nos estudos aqui consultados.

Não foi possível definir um padrão de distribuição dos sedimentos lamosos e arenosos em função da variação das isóbatas da plataforma oceânica, tendo em vista que as classes texturais foram distribuídas, fundamentalmente, em função da variação da energia cinética na área de influência entre o sistema de rios e o mar.

A carga sedimentar procedente do rio Amazonas, e em menor concentração do rio Pará, é predominantemente composta por partículas finas, com uma concentração elevada de elementos silteosos. Esse material atinge a plataforma continental a partir de um sistema de energia muito intensa e forte e, por conta disso, conserva-se em suspensão e sob deriva. Sua sedimentação só ocorrerá no trecho norte-noroeste da plataforma continental, onde a influência do sistema rio-oceano é menor, não sendo detectado ao sul, nas bacias Pará-Maranhão e Barreirinhas.