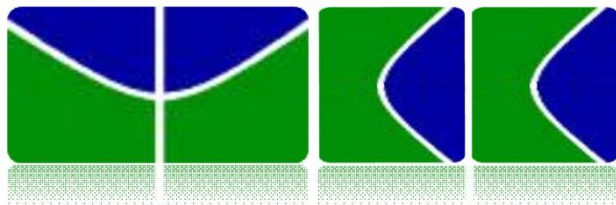


**Trabalho de Conclusão de Curso  
Licenciatura em Ciências Naturais**



**AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS GEOQUÍMICOS  
EM AMBIENTE AQUÁTICO: ESTUDO DE CASO DA  
VÁRZEA DO CURUAI, AMAZÔNIA, BRASIL**

***Natália Araújo Paiva***

**Orientadora: Poliana Dutra Maia**

**Universidade de Brasília**

**Faculdade UnB Planaltina**

***Fevereiro de 2013***

# AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS GEOQUÍMICOS EM AMBIENTE AQUÁTICO: ESTUDO DE CASO DA VÁRZEA DO CURUAI, AMAZÔNIA, BRASIL

Natália Araújo Paiva<sup>1</sup>  
Poliana Dutra Maia<sup>2</sup>

## RESUMO

A Bacia Amazônica é constituída também por planícies de inundação, conhecida como áreas de Várzeas, que ao longo do Rio Amazonas formam, aproximadamente, 6500 lagos. Esses lagos são componentes importantes da biogeoquímica, ecologia e hidrologia da bacia Amazônica e apresentam um papel importante no armazenamento temporário ou permanente do material dissolvido (água) e particulado (material em suspensão e sedimentos) de elementos químicos. Este estudo tem o objetivo de avaliar a dinâmica dos elementos químicos ferro (Fe), alumínio (Al) e manganês (Mn) em fase dissolvida (D) e particulada (P material em suspensão) durante um ciclo hidrológico no período de 2005 a 2006 em águas superficiais e na coluna d'água nos lagos de água branca e preta da Várzea do Curuai, Amazônia. Nas águas superficiais, os maiores valores médios de Al-D e Fe-D ( $98,15 \pm 123,27 \mu\text{g/L}$  e  $516,58 \pm 517,90 \mu\text{g/L}$ ) e de Al-P, Fe-P e Mn-P ( $93,90 \pm 38,85 \text{ mg/g}$ ;  $75,75 \pm 32,32 \text{ mg/g}$  e  $0,89 \pm 0,55 \text{ mg/g}$ ) ocorreram durante o período de enchente dos lagos de água branca quando a maioria deles recebem principalmente água do Rio Amazonas. Já os valores máximos de Mn-D foram registrados no período de seca nos lagos de água branca (nov/05  $21,01 \pm 24,91 \mu\text{g/L}$ ) quando as águas dos lagos estão saindo da Várzea para o Rio Amazonas. Além disso, na coluna d'água, durante o período de enchente dos lagos, os maiores valores de Fe, Al e Mn em fase dissolvida (respectivamente,  $1034,29 \mu\text{g/L}$ ;  $51,56 \mu\text{g/L}$  e  $89,53 \mu\text{g/L}$ ) e em fase particulada ( $139,15 \text{ mg/g}$ ;  $216,62 \text{ mg/g}$ ;  $7,75 \text{ mg/g}$ ) foram mensurados à 1/3 de profundidade da coluna d'água, localizados próximos aos sedimentos.

Palavras-chave: ferro, alumínio, manganês, água e Bacia Amazônica.

---

<sup>1</sup>Graduanda em Ciências Naturais. Discente, Faculdade UnB Planaltina, FUP. Planaltina, Brasília. <napaiva20@gmail.com>.

<sup>2</sup>Doutora em Ciências da Terra, especialista em geoquímica ambiental. Docente, Faculdade UnB Planaltina, FUP. Planaltina, Brasília. <polianamaia@unb.br >.

## 1. INTRODUÇÃO

A Bacia Amazônica, com aproximadamente  $6,1 \times 10^6$  Km<sup>2</sup>, é a maior bacia hidrográfica do planeta, representando 45% do continente sul-americano, no qual 63,8% encontra-se em território brasileiro. O Rio Amazonas apresenta a maior vazão (6300 km<sup>3</sup>/ano) o que corresponde a aproximadamente 20% de todo o volume de água lançado nos oceanos (Molinier *et al.* 1997). O fluxo do material em suspensão exportado pelo Rio Amazonas até a zona estuária foi estimado entre 600 a 800 x 10<sup>6</sup> t an<sup>-1</sup> no período de 1995-1998 (Filizola, 2003) até 964 x 10<sup>6</sup> t an<sup>-1</sup> entre 2001 a 2003 (Maurice-Bougoin *et al.* 2007). Os principais tributários do Rio Amazonas são os rios Solimões (103 x 10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>/s<sup>-1</sup>), Negro (28 x 10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>/s<sup>-1</sup>) e Madeira (31 x 10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>/s<sup>-1</sup>) (Callède *et al.* 2004).

Além disso, a Bacia Amazônica é constituída por planícies de inundação, conhecida como áreas de Várzeas que ao longo do Rio Amazonas formam aproximadamente 6500 lagos os quais variam em dimensão e forma (Melack 1984; Sippel *et al.*, 1992). As planícies e lagos da Amazônia são componentes importantes da biogeoquímica, ecologia e hidrologia da bacia. Estes lagos interferem no fluxo de nutrientes do rio (Richey *et al.* 1989), aumentando suas concentrações e influenciando a composição química dos mesmos (Melack, 1984; Devol *et al.*, 1995).

Considerando o balanço hidrológico e sedimentar do Rio Amazonas, as zonas de inundação têm um papel de armazenamento temporário ou permanente do material dissolvido e particulado sendo que o tempo de armazenamento pode variar de alguns meses (águas e substâncias dissolvidas) à algumas centenas ou milhares de anos (sedimentos). Estima-se que 80% do material transportado pelo Rio Amazonas transita pelas Várzeas (Mertes *et al.*, 1996; Dunne *et al.*, 1998) e que essas zonas representam áreas de deposição de sedimentos e de matéria orgânica (Moreira-Turq *et al.* 2004).

Um dos aspectos importantes no monitoramento ambiental refere-se à distribuição, mobilidade e disponibilidade de elementos químicos em ambientes aquáticos. A dinâmica desses elementos químicos depende tanto das suas concentrações nos diferentes compartimentos (água, sedimento, solo, etc), quanto das suas associações químicas, físicas e geológicas nos sistemas naturais, influenciados pelas condições naturais e/ou ações antrópicas. Nesse sentido, a geoquímica, especialmente nos estudos relacionados aos elementos maiores e traços em águas e sedimentos, oferece importantes informações sobre a dinâmica do ambiente aquático, bem como pode fornecer indicativos da origem desses elementos.

Os rios que deságuam na Bacia Amazônica são geoquimicamente heterogêneos. Fatores físicos (relevo, resistência do solo à erosão), químicos (litologia e pedologia) e biológicos (cobertura de proteção vegetal) determinam, em regiões de nascentes, os tipos de águas que ocorrem na Amazônia (Klinge e Ohle, 1964 *apud* Sioli, 1975). A primeira classificação dos rios amazônicos (Sioli, 1968) baseou-se na cor de suas águas:

- Rios de água branca (Solimões, Amazonas, Madeira, Purus, Juruá, Jutai) originadas nos Andes, apresentam baixa concentração em carbono orgânico, pH neutro e elevada turbidez devido a alta concentração de material em suspensão;
- Rios de água preta (Negro e Urubu) drenam, geralmente, áreas de florestas e solos podzólicos os quais são ricos em matéria orgânica degradada do tipo ácidos húmicos e fúlvicos, portanto suas águas apresentam um pH entre 4 e 5.

- Rios de águas claras (Tapajós, Trombetas, Xingú e Curuá-Una) são provenientes do relevo escudo brasileiro “guianese” que apresentam águas transparentes com pouco material em suspensão e de coloração esverdeada com muita atividade fitoplanctônica.

A heterogeneidade das águas amazônicas é também confirmada pela proporção relativa de alguns elementos maiores (Ca, K, Mg e Si). O Ca é o elemento dominante no Rio Solimões (52%), seguido pelo Si (32%), K (8,4%) e Mg (7,6%). No Rio Negro, devido à podzolização e areiação dos solos de sua bacia, o Si domina com 65%, seguidos por K, Ca e Mg com 16%, 14% e 5%, respectivamente (Konhauser *et al.* 1994).

Além dessa diversidade da Bacia Amazônica sobre a geoquímica de suas águas, sabe-se que nessa bacia encontra-se cerca de um terço das florestas tropicais e, estimativamente, 10% da biota do planeta. No Brasil, essa região representa uma das regiões prioritárias na política desenvolvimentista, devido ao potencial hídrico e a diversidade de espécies aquáticas. A Bacia Amazônica se destaca pela sua importância ambiental e econômica num contexto nacional e mundial. Portanto, levantamento de informações sobre essa bacia hidrográfica pode definir medidas de prevenção, correção e de monitoramento adequados à condução do processo de gestão ambiental, objetivando a manutenção ou mesmo o melhoramento da qualidade ambiental.

Diante desse contexto, o estudo da dinâmica de elementos químicos em fase particulada e dissolvida nos lagos de Várzeas é ferramenta fundamental para verificar a dinâmica geoquímica em áreas de inundação. Assim, este estudo tem o objetivo de avaliar a dinâmica dos elementos químicos ferro (Fe), alumínio (Al) e manganês (Mn) em fase dissolvida (D) e particulada (P material em suspensão) durante um ciclo hidrológico no período de 2005 a 2006 em águas superficiais e na coluna d'água nos lagos de água branca e preta da Várzea do Curuai, Amazônia.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

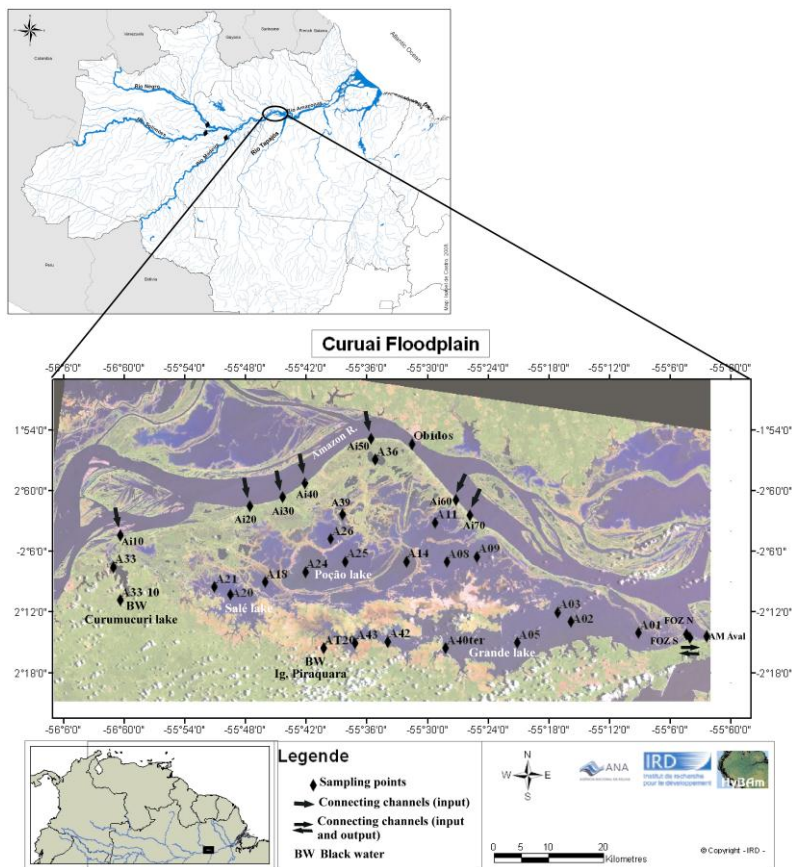
### 2.1. ÁREA DE ESTUDO – Várzea do Curuai, Amazônia - Brasil

A pesquisa foi realizada na Várzea do Curuai localizada na margem direita do Rio Amazonas à 900 km da sua desembocadura a qual é delimitada ao sul pelo solo altamente intemperizado, coberto por floresta densa de terra firme, e ao norte pelo Rio Amazonas (**Figura 1**). Os solos são na sua maioria composta de aluvião recente e laterítico, de formação "Alter do Chão" (Lucas, 1989). Os lagos dessa Várzea se conectam ao Rio Amazonas por nove canais principais, denominados Igarapés (AI10, Ai20, Ai30, Ai40, AI50, Ai60, Ai70, Foz N e Foz S), sendo que Foz Norte e Foz Sul são os únicos canais de saída de água da Várzea para o Rio (**Figura 1**). A principal fonte de água nos lagos é o Rio Amazonas, portanto a maioria dos lagos têm características geoquímica de água branca. A distribuição dos lagos de oeste para leste é: Curumucuri (A33), Porta (A18), Poção (A24), Açaí (A36), Sta. Ana (A11), Vermelho (A09), e Grande (A01). A oeste do Lago Grande, encontra-se um canal, o Igarapé (Ig.) Piraquara (AT20) o qual juntamente com o Lago Curumucuri (A33) apresentam características geoquímicas de água preta.

Vale ressaltar que desde 1999, a dinâmica hidrológica, sedimentar e geoquímica dessa Várzea são estudadas no programa piloto HYBAM (<http://www.orehybam.org>) em

cooperação com a Agência Nacional de Águas do Brasil (ANA), a Sociedade de Pesquisa em Recursos Minerais (CPRM) e Universidades brasileiras (UFF e UnB).

A área inundada na Várzea do Curuai é estimada em 3.600 km<sup>2</sup>, composta por mais de 30 lagos ligados entre si e/ou rio intermitente variando entre 575 km<sup>2</sup> em águas baixas e 2090 km<sup>2</sup> em águas altas (Martinez e LeToan, 2007). A amplitude da coluna de água nos lagos é de cerca de 7 m, comparável ao observado em Óbidos, entre maio-junho (9,61 m) com o menor valor observado entre novembro e dezembro (50 cm dezembro de 2005). A precipitação média é de 2447 mm/ano (média dos dados da ANEEL, ANA, entre 1990 e 1999), onde observa-se duas estações, uma chuvosa, de janeiro a maio com valores máximos da coluna de água em junho, e outra entre junho a dezembro, que corresponde ao período de água baixa (com um mínimo em dezembro).



**Figura 1:** Localização e pontos amostrados de água e material em suspensão nos lagos da Várzea do Curuai, Amazonas– Brasil (retirado de Maia *et al.*, 2009).

**Tabela 1:** Localização dos pontos nos seus respectivos lagos e classificação geoquímica de suas águas (SIOLI, 1968).

<b>Classificação geoquímica das água (Sioli, 1968)</b>	<b>Nome do lago</b>	<b>Código</b>
<b>Lagos de água branca</b>	<b>Salé</b>	<b>A20 A20-c A21</b>
	<b>Porta</b>	<b>A16 A18</b>
	<b>Poção</b>	<b>A23, 24b A24c, A25 A26, A26c</b>
	<b>Inferno</b>	<b>A14, A14c</b>
	<b>St Ana</b>	<b>A11 A11a A11ter</b>
	<b>Grande</b>	<b>A01, A01b A02, A02b A03, A03ter</b>
		<b>A04 A05 A05b</b>
		<b>A08, A09</b>
		<b>A40ter A42, A43</b>
	<b>Canais de entrada e saída de água</b>	<b>Foz N, Foz S</b>
<b>Lagos de água preta</b>	<b>Açai, Miuá</b>	<b>A36, A39</b>
	<b>Curumucuri</b>	<b>A33 A33a, A33-b A33 10</b>
	<b>Ig, Piraquara</b>	<b>AT20</b>

### 2.1.1 HIDRODINÂMICA

A variação temporal da troca de água entre a Várzea do Curuai e o Rio Amazonas foi modelado por Kosuth, (2002) e por Bonnet *et al.* (2008) os quais observaram que o armazenamento de água nos lagos começa entre dezembro e fevereiro a junho, enquanto a exportação de água para o rio ocorre de junho a dezembro, com fluxos máximos de exportação entre agosto e outubro. As principais fontes de água nos lagos são o Rio Amazonas com 77% dos fluxos totais com máxima em janeiro e as águas subterrâneas com 4% principalmente no final de dezembro, sendo que o erro relativo no saldo líquido de água trocada entre o rio e essa Várzea é de 15% (Bonnet *et al.* 2008). Durante o ano hidrológico 2001-2002, o volume total de água que entrou nessa Várzea esteve entre 2,1 e 5,6 vezes o volume máximo de água atingido pelos lagos, enquanto o volume exportado para o rio variou entre 2,8 e 6,5 vezes o volume máximo dos lagos (cerca de 4,2 km<sup>3</sup>). O volume de infiltração de água nesta bacia hidrográfica representou apenas 1/10 do total de água recebido pelos lagos durante esse período. O volume total de precipitação local e escoamento não excederam 0,5 e 0,3 vezes o volume máximo alcançado a cada ano pelos lagos da Várzea do Curuai. O tempo de residência da água do Rio Amazonas nos lagos inundados foi estimada em  $5,0 \pm 0,8$  meses, contra  $3,0 \pm 0,2$  meses para as outras fontes de água.

### 2.1.2 DINÂMICA SEDIMENTAR

Um balanço sedimentar referente à Varzea do Curuai foi publicado por Maurice Bourgoïn *et al.* (2007) e entre 2000-2004, os cálculos de fluxo de sólidos dentro e fora do sistema foram realizados a partir de um modelo de reservatório (Kosuth, 2002) associado com os dados de uma rede de medidas decadais de material em suspensão (MES) obtidos no rio e no canal de saída da Várzea desenvolvido dentro do programa HYBAM. Os cálculos foram realizados para 3 anos hidrológicos consecutivos, de novembro de 2000 a outubro de 2003. Este modelo foi utilizado para estimar os fluxos de sedimentos diários trocados entre a planície de inundação e o Rio Amazonas e não estão integrados com o tempo mensal e anual. Em um ciclo hidrológico, Maurice-Bourgoïn *et al.* (2007) observam uma fase de enchimento da planície de novembro a maio (taxas calculadas positivo), e uma fase de esvaziamento de junho a novembro (calculado fluxos negativos). Para os três anos estudados, a estimativa de MES que entrou na Várzea variou relativamente pouco (cerca de 1,5 milhões de toneladas  $\pm 9\%$  de sedimentos de entrada).

Em 2001 e 2003, as diversas hipóteses utilizadas não afetam significativamente os resultados (cerca de 740.000 toneladas armazenadas em 2001 e 830.000 toneladas em 2003, com um desvio padrão  $<18\%$  de média). Os primeiros resultados da simulação em 2001 e 2003 estimaram que a quantidade de sedimento armazenado na Várzea do Curuai correspondeu a 47% do fluxo sólido total que entra no sistema. A taxa de deposição estimada foi de  $517 (\pm 23\%) \text{ t km}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ . Além disso, a quantidade máxima de sedimentos exportados da Várzea Curuai para o Rio Amazonas, foi medido durante os períodos de águas baixas, entre outubro e dezembro, devido a ressuspensão dos sedimentos do fundo pelo vento que induz um enriquecimento de MES, principalmente nos lagos Poção, Salé e Grande.

## 2. 2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nesse estudo foram realizadas 4 etapas metodológicas:

**1ª Etapa:** Estudo bibliográfico: leitura de livros e artigos para uma melhor formação técnica e acadêmica;

**2ª Etapa:** Elaboração de planilhas e gráficos referentes à distribuição dos elementos Fe, Al e Mn em amostras águas superficiais e na coluna de água coletas no período de 2005-2006. Essas Amostras foram coletadas pela Prof. Dr<sup>a</sup>. Poliana Dutra Maia, em 4 saídas de campo, organizadas ao longo do Rio Amazonas, entre Manaus e Santarém pelo Programa de Pesquisa Hidrologia e Geoquímica da Bacia Amazônica, (HYBAM) em cooperação com o *Institute de Recherche pour le Developpement* (IRD, França) e várias instituições brasileiras ANA, UnB, UFF, CPRM.

**3ª etapa:** Interpretação de resultados geoquímicos;

**4ª etapa:** Elaboração do relatório final.

### 2.2.1 AMOSTRAGEM DE ÁGUAS

Antes da coleta das amostras de águas, realizada pela Prof. Poliana Dutra Maia, os materiais de campo foram limpos, segundo as técnicas de "ultra-limpa" conforme descrito em (Coquery *et al.*, 1995), (Blanco *et al.*, 2000) e (Parker e Bloom, 2005), sendo que para a coleta e armazenamento de águas superficiais, garrafas de Teflon de 2L e de 250 mL (Nalgene<sup>®</sup> FEP) foram utilizadas e em março de 2006, as amostras na coluna de água foram coletadas utilizando uma garrafa vertical tipo GoFlo. Para a análise dos elementos Fe, Al e Mn as amostras foram filtradas em membranas de acetato de celulose (porosidade 0,45 µm).

Durante o período de 2005 a 2006, amostras de água foram coletadas na estação de Óbidos, localizados ao longo do Rio Amazonas, e em lagos da Várzea do Curuai durante três períodos correspondentes a um ciclo hidrológico:

- Março 2005 e 2006, corresponde ao período de enchente dos lagos pelo Rio Amazonas,
- Junho 2005, corresponde ao pico de cheia do Rio Amazonas, e
- Novembro 2005, corresponde ao período de água baixa, quando a maioria dos lagos encontram-se isolados do Rio Amazonas.

### 2.2.2 ANÁLISES QUÍMICAS

#### a. Determinação de ferro (Fe), alumínio (Al) e manganês (Mn)

Os elementos Al, Fe e Mn dissolvidos (Al-D, Fe-D e Mn-D) foram determinados por espectrometria de absorção atômica com chama (EAA) e espectrometria de massa para a fonte plasma (ICP-MS quadrupolar Elan Perkin-Elmer 6000<sup>®</sup>).

Para controle da qualidade da amostragem de água e da filtração, os brancos de campo foram realizados para quantificar uma possível contaminação das amostras durante a coleta e armazenamento das amostras.



Para as análises do Al, Fe e Mn particulado (Al-P, Fe-P e Mn-P) utilizou-se membranas de acetato de celulose (porosidade 0,45  $\mu\text{m}$ ) as quais foram pré-pesadas e secas e, em seguida, foram colocadas no ultra-som durante 15 min/filtro para recuperação do material em suspensão. Posteriormente, o excesso de água foi evaporada a 70° C, e foram realizados os seguintes procedimentos de ataque ácido, conforme descrito em (Maia, 2008).

As concentrações de Fe-P e Mn-P foram determinados por espectrometria de massa fonte de plasma (ICP-MS quadrupolar Elan Perkin-Elmer 6000<sup>®</sup>), enquanto que as concentrações de Al-P foram determinadas por espectrometria de emissão óptica (ICP-OES). A reprodutibilidade foi sempre inferior a 5%.

### b. controle das análises químicas no material em suspensão

Os limites de detecção (LD) para análises de Al-P, Fe-P e Mn-P foram calculadas multiplicando por três o desvio padrão de repetições dos brancos de campo (**Tabela 2**).

**Tabela 2:** Limites de detecção obtidos para análise de Fe-P e Mn-P (medido por ICP/MS, 6000 Elan) e Al-P (medido por ICP-OES).

	Al-P ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Fe-P ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Mn-P ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )
<b>Membranas Brancas</b>	$32,31 \pm 6,34$ (n = 10)	$28,33 \pm 0,25$ (n = 10)	$0,72 \pm 0,17$ (n = 10)
<b>LD (3 x sd dos brancos)</b>	19,02	0,75	0,51

A qualidade destes ensaios e a precisão do método foram controlados a partir de um material de referência elaborado pelo NIST, o "San Joaquin Soil (SJS)" o qual foi mineralizado durante as análises. Os valores obtidos são comparáveis com os valores certificados (**Tabela 3**).

**Tabela 3:** Valores certificados no material de referência "San Joaquin Soil (NIST)" e valores medidos para os elementos particulados (Al-P, Fe-P e Mn-P).

SJS	Al-P (%)	Fe-P (%)	Mn-P ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )
<b>Valor Certificado</b>	$7,50 \pm 0,06$	$3,50 \pm 0,11$	$538 \pm 17$
<b>Valor Medido</b>	$6,18 \pm 0,58$ (n = 10)	$3,18 \pm 0,17$ (n = 10)	$523 \pm 33$ (n = 10)

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A importância de estudar a dinâmica dos elementos químicos Fe, Al e Mn está relacionada ao fato que no meio aquático os processos de oxidação e redução (reações químicas redox) ocorrem com frequência para esses elementos químicos. As formas químicas dos íons  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{4+}$  são comuns em ambientes oxidantes e na ausência de oxigênio predomina-se os íons  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  (Davison, 1985). Nos lagos o oxigênio é consumido pelas bactérias durante a degradação da matéria orgânica o que pode originar zonas anóxicas como, por exemplo, os sedimentos e uma parte da coluna d'água, usualmente próximo aos sedimentos. Nas zonas óxida e anóxida, certos elementos químicos podem transitar entre a fase particulada e a fase dissolvida. Muita dessas reações redox são ocasionadas por microorganismos nos quais seus metabolismos dependerão da transferência de elétrons originários dessas reações, principalmente na presença dos

elementos Fe e Mn. Portanto, nos sistemas aquáticos os processos de oxidação são a origem de uma variedade de reações químicas e microbiológicas interdependentes e de grande complexidade devido a diversidade dos processos biológicos.

### 3.1 Variação dos parâmetros físico-químicos nas águas superficiais

De acordo com os dados da **Tabela 4**, observa-se pouca variação espaço-temporal da temperatura e do pH nos lagos da Várzea do Curuai. Entretanto, variações importantes de material em suspensão (MES), condutividade e turbidez são observadas, sendo que os valores máximos de MES foram obtidos nos lagos de água branca em novembro de 2005 (seca) quando a maioria dos lagos estão isolados do Rio Amazonas. Esse fato está associado a ressuspensão de sedimentos de fundo ocasionado pelo ação do vento (Maurice-Bourgoin *et al.* 2007) e bioturbação (Maia *et al.* 2009) nos lagos os quais apresentaram uma profundidade máxima de 50 cm nesse período. Além disso, valores máximos de condutividade (196  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e turbidez (235,5) foram registrados nos lagos de água branca durante a enchente dos lagos (março 2005/2006), devido a influência das águas do Rio Amazonas conforme verificado por Maurice-Bourgoin *et al.* (2007) e Maia *et al.* (2009).

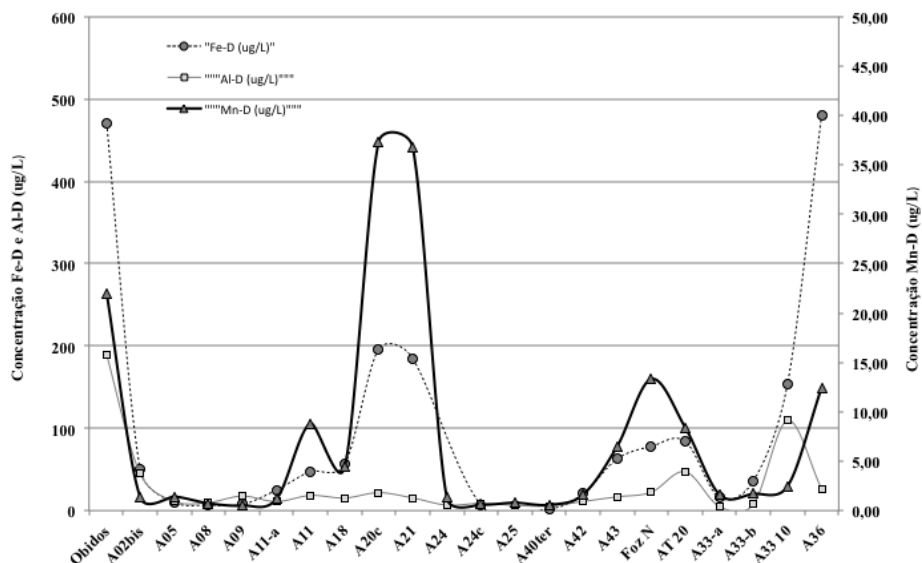
**Tabela 4:** Valores mínimos e máximos de material em suspensão (MES), temperatura (T), condutividade (cond.) ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), turbidez e pH mensurados no Rio Amazonas e nos lagos da Várzea do Curuai entre os anos de 2005 e 2006. Essas medições foram realizadas em diferentes períodos: subida das águas do Rio Amazonas (março 05 e 06), cheia do Rio Amazonas (junho 05) e seca (nov 05). Os lagos da Várzea do Curuai se diferenciam em água branca e água preta.

		Períodos Hidrológicos	Mês amostrado	MES mg/l	T °C	Cond. $\mu\text{S}/\text{cm}$	Turbidez	pH
Rio Amazonas		subida das águas	Mar. 05 e 06	36,46 - 121,35	--	--	-	--
		cheia	Junho 05	19,64 - 53,97	--	--	-	--
		seca	Nov 05	89,35 - 92,08	30,26	89	50,9	7,14
Lagos Várzea do Curuai	Água branca	subida das águas	Mar.05 e 06	1,6 - 164,09	28,61 - 30,95	21 - 196	0,7 - 235,5	6,46 - 8
		cheia	Junho 05	0,5 - 27,36	28,87 - 30,28	45 - 81	21,4 - 48,7	6,25 - 7,42
		seca	nov/05	14,91 - 2180,15	21,09 - 33,06	21 - 101,7	23,2 - 478	6,86 - 7,41
	Água preta	subida das águas	Mar. 05 e 06	7,55 - 52,36	28,7 - 32,3	55 - 76	12,6 - 31,9	6,89 - 7,17
		cheia	Junho 05	7	--	--	--	--
		seca	Nov 05	80,46	31,05 - 32,56	14	25,2 - 29,2	5,6 - 6,27

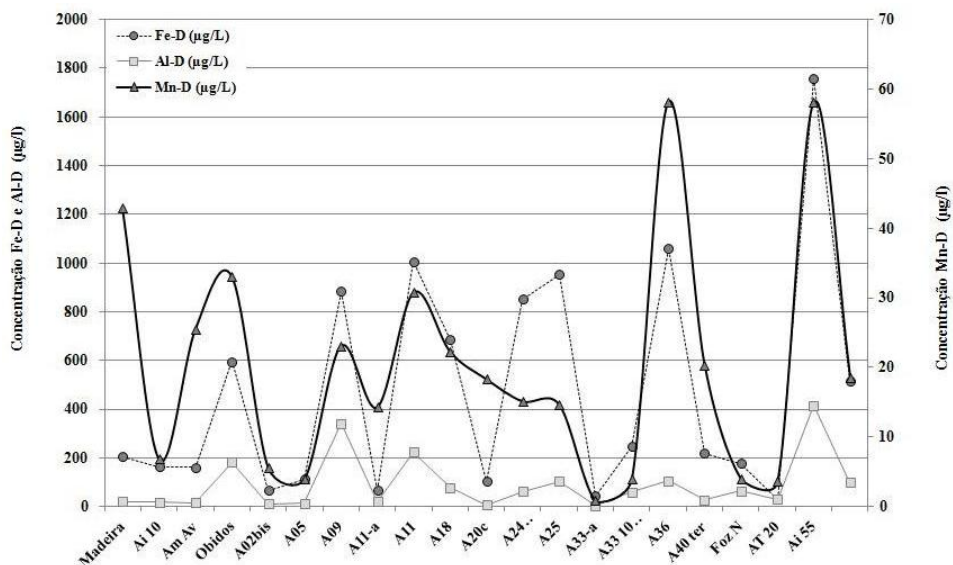
### 3.2 Variação de Fe, Al, Mn dissolvido nas águas superficiais da Várzea do Curuai

Conforme observa-se nas **figuras 2 e 3**, durante o período de enchente dos lagos (Março 2005 e 2006), os maiores valores de Fe-D (1758,65  $\mu\text{g}/\text{l}$ ) e Al-D (416,08  $\mu\text{g}/\text{l}$ ) foram observados nos lagos de água preta (Ai 55), valores estes com pouca variação em relação aos dados mensurados no Rio Amazonas. Portanto, nesse período, observa-se a influência do Rio Amazonas nesses lagos os quais, aparentemente, recebem principalmente água de lixiviamento do solo. Já em lagos de água branca, observa-se os maiores valores

para o Mn-D, variando de 36,77 a 37,32  $\mu\text{g/l}$  os quais estão próximos aos mensurados no Rio Amazonas.



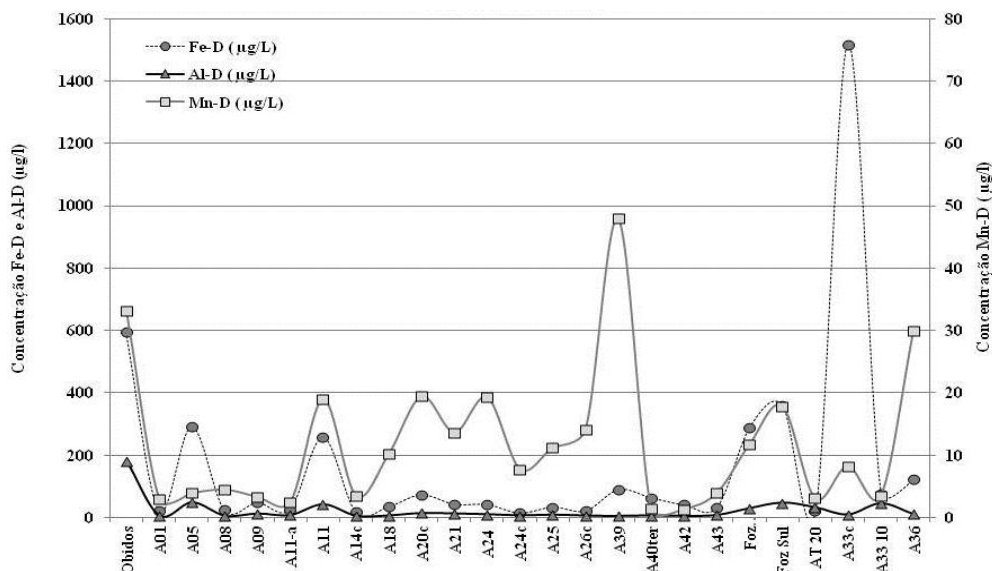
**Figura 2 :** Distribuição do Fe, Al e Mn dissolvido em águas superficiais no Rio Amazonas e nos lagos da Várzea do Curuai, Amazonas – Brasil em Março 2005 período de enchente dos lagos.



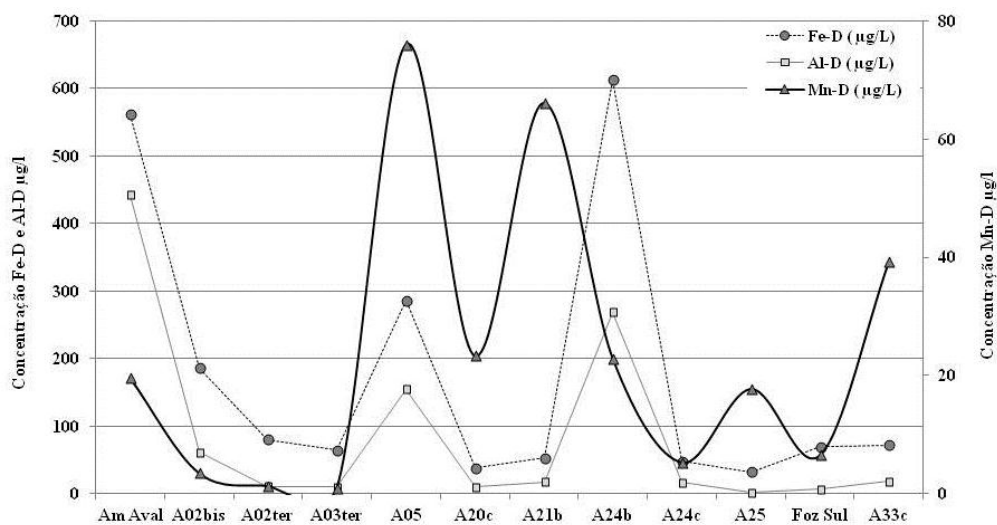
**Figura 3:** Distribuição do Fe, Al e Mn dissolvido em águas superficiais no Rio Amazonas e nos lagos da Várzea do Curuai, Amazonas – Brasil em Março 2006 período de enchente dos lagos.

Já em Junho de 2005 (**figura 4**), período de cheia dos lagos, o maior valor de Fe-D (1517,56  $\mu\text{g/l}$ ) ocorre nos lagos de água preta o qual é superior ao valor encontrado no Rio Amazonas (595,37  $\mu\text{g/l}$ ), logo a maior parte desse elemento químico, deve estar sendo proveniente da água de lixiviamento do solo local. Entretanto, os maiores valores de Al-D (48,62  $\mu\text{g/l}$ ) e Mn-D (47,96  $\mu\text{g/l}$ ) são encontrados em lagos de água branca, os quais correspondem aos valores encontrados no Rio Amazonas (Al-D 182,01  $\mu\text{g/l}$  e Mn-D 33,14  $\mu\text{g/l}$ ) indicando a contribuição do mesmo na distribuição desses elementos nesses lagos.

Durante o período de estiagem, Novembro 2005 (**figura 5**), quando a coluna de água na maioria dos lagos de água branca atingiu 50 cm de profundidade, observa-se que os maiores valores de Fe-D (612,68 µg/l), Al-D (268,70 µg/l) e Mn-D (75,87 µg/l), ocorreram nos lagos de água branca e que esses valores são próximos aos mensurados no Rio Amazonas (Fe-D 561,62 µg/l, Al-D 442,54 µg/l e Mn-D 19,67 µg/l), no entanto como esses lagos estão isolados do Rio Amazonas nesse período, essas contribuições são provenientes, provavelmente, da ressuspensão dos sedimentos.



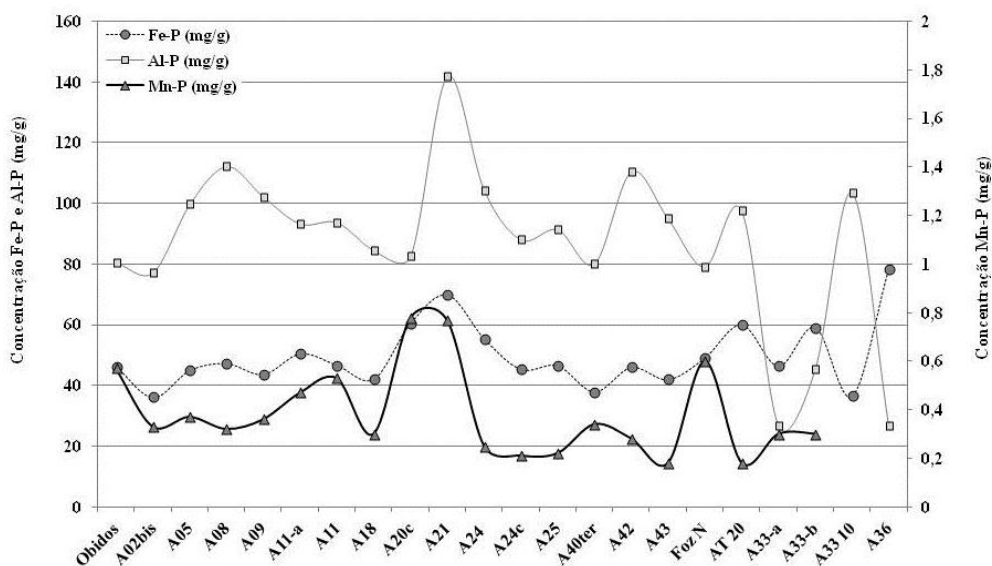
**Figura 4:** Distribuição dos Elementos Químicos Fe, Al e Mn dissolvido em águas superficiais da Várzea do Curuai, Amazonas – Brasil em Junho 2005 período de cheia dos lagos.



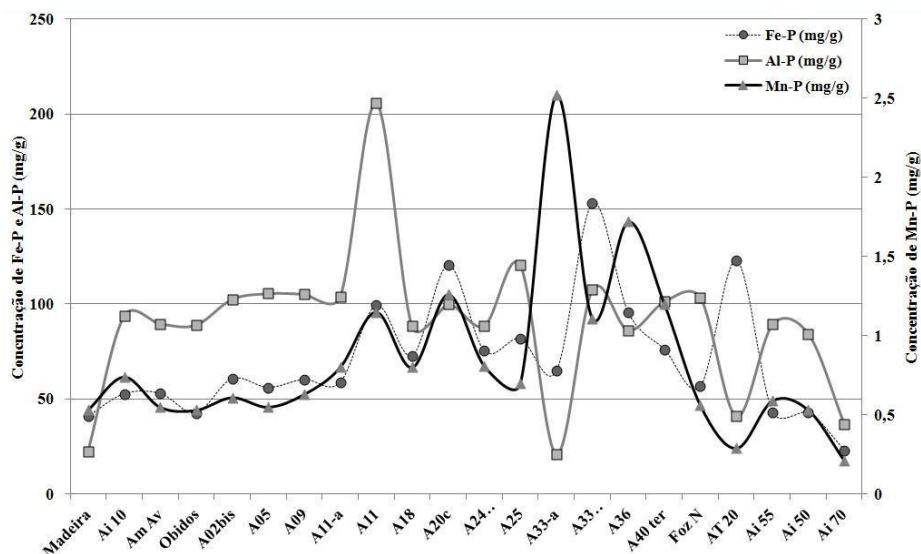
**Figura 5:** Distribuição dos Elementos Químicos Fe, Al e Mn dissolvido em águas superficiais da Várzea do Curuai, Amazonas – Brasil em Novembro 2005 período de estiagem dos lagos.

### 3.3 Variação Fe, Al, Mn particulado nas águas superficiais da Várzea do Curuai

Conforme ilustra as **figuras 6 e 7**, durante o período de enchente dos lagos (Março 2005 e 2006), os maiores valores de Fe-P (153,12 mg/g) e Al-P (205,83 mg/g) foram observados nos lagos de água preta (A33 – Lago Curumucuri) e água branca (A11 – Lago Santa Ana) respectivamente, valores estes com pouca variação em relação aos dados mensurados no Rio Amazonas (Fe-P 52,94 mg/g e Al-P 93,78 mg/g). Portanto, nesse período, observa-se a influência do Rio Amazonas em ambos os lagos. Já em lagos de água preta, os maiores valores para o Mn-D variam de 1,72 mg/g a 2,52 mg/g os quais estão acima dos valores aos mensurados no Rio Amazonas (0,74 mg/g), indicando uma outra fonte desses elementos químicos, provavelmente do solo local.



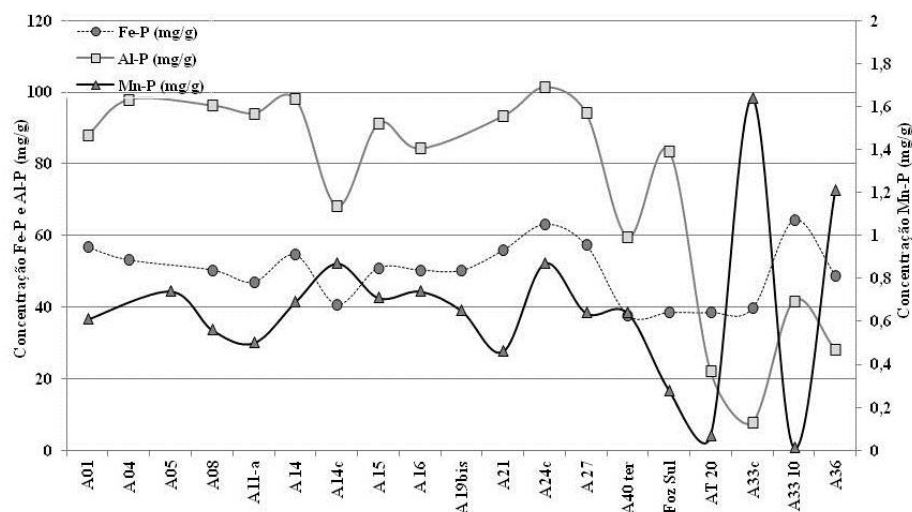
**Figura 6:** Distribuição dos Elementos Químicos Fe, Al e Mn particulado em águas superficiais da Várzea do Curuai, Amazonas – Brasil em Março 2005 período de enchente dos lagos.



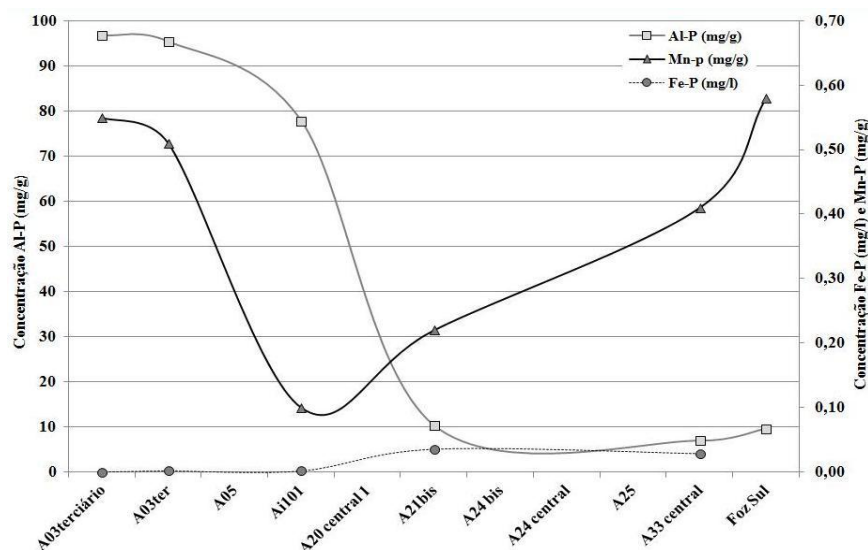
**Figura 7:** Distribuição dos Elementos Químicos Fe, Al e Mn particulado em águas superficiais da Várzea do Curuai, Amazonas – Brasil em Março 2006 período de enchente dos lagos.

Já em Junho de 2005 (**figura 8**), período de cheia dos lagos, os maiores valores de Fe-P (63,08 mg/g), Al-P (101,27 mg/g) e Mn-P (0,87 mg/g) foram encontrados no lagos de água branca. Os lagos de água preta (A3310 - Lago Curumucuri e A33c) apresentaram maior concentração de Fe-P (64,20 mg/g) e de Mn-P (1,64 mg/g) que nos lagos de água branca. Essa diferença provavelmente está associada ao fato de os lagos de água preta receberem principalmente contribuição dos elementos químicos provenientes do solo e não do Rio Amazonas.

Durante o período de estiagem, Novembro 2005 (**figura 9**), quando a coluna de água na maioria dos lagos de água branca atingiu 50cm de profundidade, observa-se que os maiores valores de Fe-P (0,0352 mg/l), Al-P (77,80 mg/g ) e Mn-P (0,58 mg/g), ocorreram nos lagos de água branca proveniente, provavelmente, da ressuspensão dos sedimentos.



**Figura 8:** Distribuição dos Elementos Químicos Fe, Al e Mn particulado em águas superficiais da Várzea do Curuai, Amazonas – Brasil em Junho 2005 período de cheia dos lagos.



**Figura 9:** Distribuição dos Elementos Químicos Fe, Al e Mn particulado em águas superficiais da Várzea do Curuai, Amazonas – Brasil em Novembro 2005 período de estiagem dos lagos.

### 3.4 Variação dos parâmetros físico-químicos na coluna de água

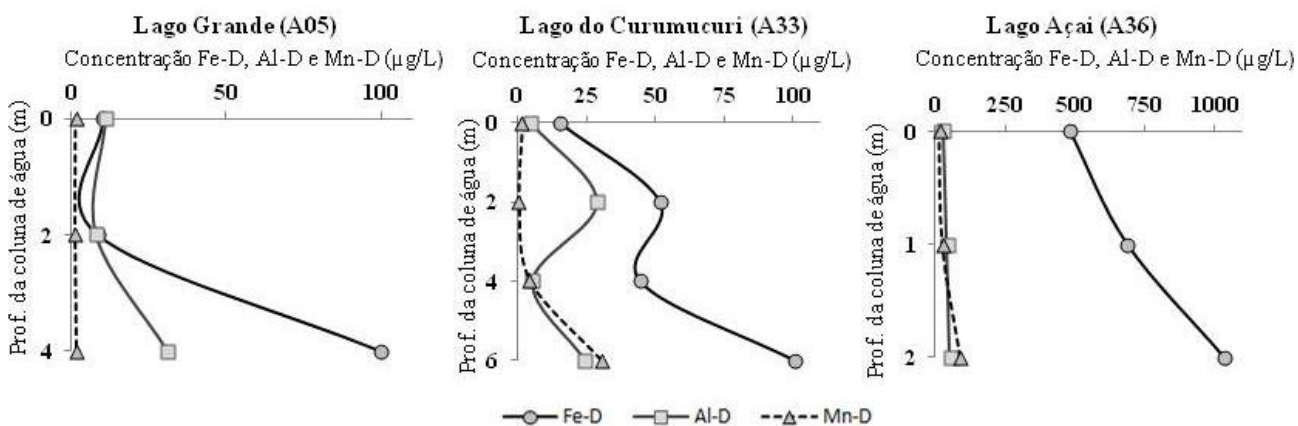
De acordo com os dados da **Tabela 5**, observa-se pouca variação espaço-temporal da temperatura e do pH na coluna d'água dos lagos da Várzea do Curuai. Entretanto, variações importantes de condutividade e O<sub>2</sub>D são observadas, sendo que os valores máximos e mínimos foram obtidos nos lagos de água preta (subida das águas).

**Tabela 5:** Valores mínimos e máximos de temperatura (T), condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), pH, O<sub>2</sub>D (mg/l) mensurados no Rio Amazonas e nos lagos da Várzea do Curuai entre os anos de 2005 e 2006. Essas medições foram realizadas em diferentes períodos: subida das águas do Rio Amazonas (março 05 e 06)

		T	Cond.	pH	O <sub>2</sub> D	Mês
		°C	$\mu\text{S}/\text{cm}$		mg/L	Amostrado
Lagos de água branca	Grande (A05)	29,9-30,7	59-60	6,66-6,72	6,22-6,44	Mar/05
	Poção (A25)	29,5-32,4	64-69	6,74-7,3	5,57-5,96	
Lagos de água preta	Curumucuri (A33a)	29,7-29,8	26-196	6,46-6,62	0,27-6,59	
	Açaí (A36)	28-7-32,3	74-76	6,95-7,17	0,29-2,73	
<hr/>						
Lagos de água branca	Grande (A05)	29,08-29,11	55	7,07	6,84-6,98	Mar/06
	Poção (A25)	29,12-30,52	51-54	6,92-7,1	6,43-8,00	
Lagos de água preta	Curumucuri (A33a)	29,1-29,64	21-22	6,47-6,69	2,32-5,79	
	Açaí (A36)	28,96-29,9	55-56	6,89-6,97	2,08-3,76	

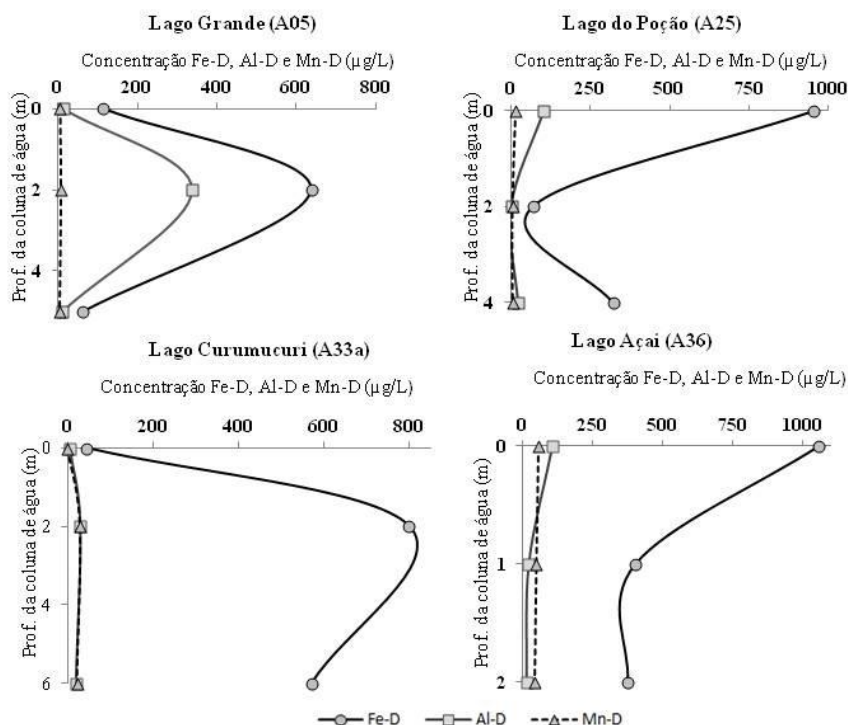
### 3.5 Variação Fe, Al, Mn dissolvido na coluna de água da Várzea do Curuai

Durante a entrada das águas do Rio Amazonas nos lagos da Várzea do Curuai, Março 2005 e 2006, observa-se que em Março 2005 (**figura 10**), os lagos Grande (A05), Curumuri (A33) e Açaí (A36) apresentam as maiores concentrações de Fe-D a 1/3 de profundidade, próximo ao sedimento de fundo. Já as distribuições de Al-D e Mn-D foram uniformes na coluna d'água.



**Figura 10:** Distribuição dos Elementos Químicos Fe, Al e Mn dissolvido na coluna de água da Várzea do Curuai, Amazonas – Brasil em Março 2005 período de enchente dos lagos.

Entretanto, em Março 2006 (**figura 11**), observa-se uma distribuição homogênea de Mn-D na coluna d'água em todos os lagos, enquanto que os valores máximos de Fe-D foram obtidos a ½ de profundidade da coluna d'água nos lagos Grande e Curumucuri o que indica uma produção in situ desse elemento químico. Já nos demais lagos, esses valores foram mensurados na superfície. Já para a distribuição do Al-D, o valor máximo foi verificado a ½ da coluna d'água no lago Grande e para os demais lagos os valores máximos foram registrados em superfície o que remete a uma contribuição principalmente das águas do Rio Amazonas.

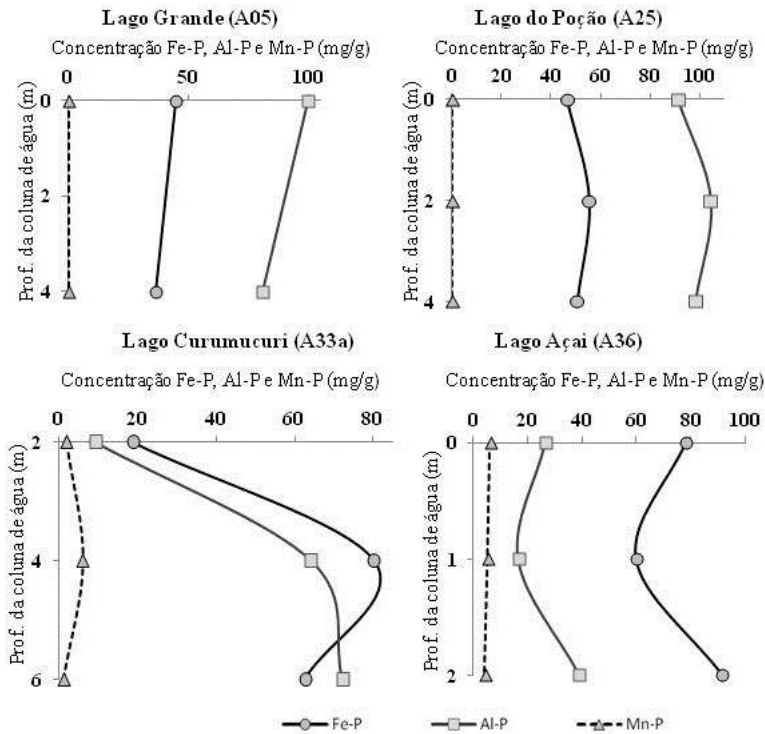


**Figura 11:** Distribuição dos Elementos Químicos Fe, Al e Mn dissolvido na coluna de água da Várzea do Curuai, Amazonas – Brasil em Março 2006 período de enchente dos lagos.

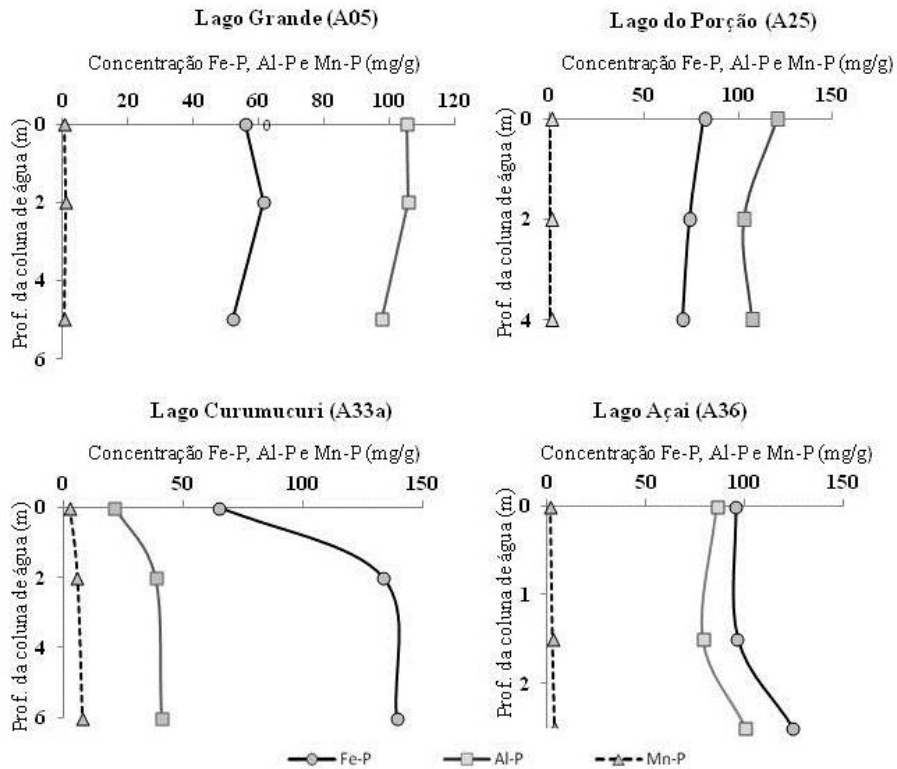
### 3.6 Variação Fe, Al, Mn particulado na coluna de água da Várzea do Curuai

Em todos lagos da Várzea do Curuai observa-se uma variação homogênea de Mn-P na coluna d'água durante o período de enchente dos lagos, ou seja Março 2005 (**figura 12**) ou Março 2006 (**figura 13**). Entretanto, nesse período observa-se uma variação significativa das concentrações de Al-P e Fe-P na coluna d'água dos lagos de água preta (Curumucuri e Açai) com valores máximos a 1/3 da coluna d'água o que sugere uma contribuição desses elementos químicos na coluna d'água proveniente dos sedimentos de fundo. Já nos demais lagos, a variação desses elementos químicos foi homogênea na coluna d'água.





**Figura 12:** Distribuição dos Elementos Químicos Fe, Al e Mn particulado na coluna de água da Várzea do Curuai, Amazonas – Brasil em Março 2005 período de enchente dos lagos.



**Figura 13:** Distribuição dos Elementos Químicos Fe, Al e Mn particulado na coluna de água da Várzea do Curuai, Amazonas – Brasil em Março 2006 período de enchente dos lagos.

#### 4. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados apresentados, observa-se que a distribuição dos elementos químicos Fe, Al e Mn dissolvido e particulado nas águas superficiais dos lagos da Várzea do Curuai são muito influenciadas pela hidrodinâmica do Rio Amazonas durante os diferentes períodos hidrológicos avaliados, pois os maiores valores dos elementos químicos foram verificados durante o período de enchente dos lagos (Março 2005 e 2006), quando as águas desse Rio estão entrando na Várzea. Entretanto, os lagos de água preta apresentam contribuições desses elementos químicos oriundos das águas de lixiviamento do solo, principalmente enriquecidos em Fe dissolvido e particulado.

No entanto, na coluna de água, na maioria dos lagos, as maiores concentrações de Fe e Al dissolvido e particulado foram registradas à 1/3 de profundidade, próximo aos sedimentos, o que remete, provavelmente, a uma contribuição dos sedimentos ocasionado pela resuspensão dos mesmos, ou ainda uma produção *in situ* desses elementos químico dissolvido. Além disso, a dinâmica do Mn na coluna d'água parece ser influenciada principalmente pelas águas do Rio Amazonas, uma vez que observa-se valores constantes na coluna d'água.

Ademais, recomenda-se o estudo da variação desses elementos químicos nos solos locais para verificar a contribuição do mesmo na distribuição de Fe, Al e Mn nos lagos da Várzea do Curuai.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLANCO R. M.; VILLANUEVA M. T.; URJA JES; SANZ-MEDEL A. **Field sampling, preconcentration and determination of mercury species in river waters.** Anal Chim Acta, 419(2): 137-144, 2000.

BONNET M. P.; BARROUX G.; MARTINEZ J. M.; SEYLER F.; MOREIRA TURCQ P.; COCHONNEAU G.; MELACK J.; BOAVENTURA G., MAURICE-BOURGOIN L., LEON J. G.; ROUX E.; CALMANT S.; KOSUTH P.; GUYOT J. L.; SEYLER P. **Floodplain hydrology in an Amazon floodplain lake (Lago Grande de Curuai).** J. of Hydrology, 349: 18-30, 2008.

CALLÈDE J.; GUYOT, J. L.; RONCHAIL, J.; L'HÔTE, Y.; NIEL, H.; OLIVEIRA, E. **Évolution du débit de l'Amazone à Óbidos de 1903 à 1999.** Hydrol. Sci. J., 49(1) 85-97, 2004.

COQUERY, M.; COSSA, D. **Mercury speciation in surface waters of the north sea.** Nether. J. Sea Res., 34(4): 245-257, 1995.

DAVISON W. **Iron and manganese in lakes.** Earth-Sci. Reviews, 34(2): 119-163, 1985.

DEVOL, A.; FORSBERG, B.; RICHEY, J.; PIMENTEL, T. **A variação sazonal na distribuição de produtos químicos no rio Solimões Amazônia.** Uma série temporal plurianual global processo biogeoquímicos, 1995.

DUNNE, T; MERTES, L. A. K.; MEADE, R. H.; RICHEY, J. E.; FORSBERG, B. R. **Exchanges of sediment between the floodplain and channel of the Amazon River in Brazil.** *Geol. Soc. Of America Bull.*, vol. 110, p.450-467,1998.

FILIZOLA N. **Transfert sédimentaire actuel par les fleuves amazoniens.** 292 p.. Ph D., Université P. Sabatier, Toulouse, 2003.

KONHAUSER, K. O.; FYFE, W. S.; KROMBERG, B. I. **Multi-element chemistry of some Amazonian water and soils.** *Chemical Geology*, 111: 155-175, 1994.

KOSUTH P. **Hydrological Dynamics Of The Varzea Of Lago Grande De Curuai.** In 2<sup>Nd</sup> Lba (Large Scale Biosphere Atmosphere) Scientific Conference, Manaus, Brazil, 2002.

LUCAS Y. **Systèmes pédologiques en Amazonie brésilienne.** Equilibres, déséquilibres et transformations. PhD dissertation, Univ. of Poitiers (France), 1989.

MAIA, P. D. **Le rôle des échanges entre le fleuve Amazone et la plaine d'inondation dans les processus de transport, de spéciation et de piégeage du mercure.** 2008.

MAIA, P. D.; MAURICE, L. ; TESSIER, E.; AMOUROUX, D. ; COSSA, D.;PÉREZ, M.; MOREIRA, T., PATRICIA ; RHÉAULT, I. **Mercury distribution and exchanges between the Amazon River and connected floodplain lakes.** *Science of the Total Environment*, v. 407, p. 6073-6084, 2009.

MARTINEZ J. M., LE TOAN, T. **Mapping of flood dynamics and spatial distribution of vegetation in the amazon floodplain using multitemporal sar data.** *Remote Sens Environ*, 108: 209-223, 2007.

MAURICE-BOURGOIN, L., BONNET M. P.; MARTINEZ, J.M.; KOSUTH, P.; COCHONNEAU, G.; MOREIRA TURCQ, P.; GUYOT, J. L.; VAUCHEL, P.; FILIZOLA, N.; SEYLER, P. **Temporal dynamics of water and sediment exchanges between the Curuaí floodplain and the Amazon River main stream, Brazil.** *J. of Hydrology*, 335: 140-156, 2007.

MELACK, J. M. **Amazon floodplain lakes: Shape, fetch and stratification.** *Verhandlungen International Vereiningen Limnologie*, vol. 22, p. 1278-1282, 1984.

MERTES, L. A. K.; DUNNE, T; MARTINELLI, L. A. **Channel-floodplain geomorphology along the Solimões-Amazon River, Brazil.** *Geol. Soc. Of America Bull.*, vol. 108, p. 1089-1107, 1996.

MOLINIER, M.; GUYOT. J. L.; CALLÈDE, J.; GUIMARÃES, V.; OLIVEIRA, E.; FILIZOLA, N. **Hydrologie du bassin amazonien.** In: THERY H. (ed.) *Environnement et développement en Amazonie Brésilienne*, Publ. Berlin, Paris, p. 24-41, 1997.

MOREIRA-TURCQ, P.; JOUANNEAU, J. M.; TURCQ, B; SEYLER, P.; WEBWE, O.; GUYOT, J.L. **Carbon sedimentation at Lago Grande de Curuai, a floodplain lake in**

**the low Amazon region: insights into sedimentation rates.** *Palaeogeography, palaeoclimatology, Palaecology*, vol. 214, n. 1-2, p. 27-40, 2004.

PARKER J. L, BLOOM N. **Preservation and storage techniques for low-level aqueous mercury speciation.** *Sci Total Environ*, 337: 253-263, 2005.

RICHEY, J.E; MERTES, L; DUNNE, T.; VICTORIA, R.; FORSBERG, B. R.; TANCREDI, A.; OLIVEIRA, E. **Source and routing of the Amazon river flood wave.** *Global biogeochemical cycles*, 3:191-204, 1989.

SIOLI, H. **Hydrochemistry and geology in the Brazilian Amazon region.** *Amazoniana* 1: 267-277, 1968.

SIOLI H. **Amazon tributaries and drainage basins, landscapes of river basins (South America).** In: Springer Verlag, New York, pp. 199-213, 1975.

SIPPEL, S. J.; HAMILTON, S. K.; MELAK, J. M. **Inundation area and morphometry of lakes on the Amazon River floodplain, Brazil.** *Arch Hydrobiol.*, vol. 123, p. 385-400, 1992.