

**FRAÇÕES ORGÂNICAS DE CARBONO, FÓSFORO E NITROGÊNIO EM ESTUÁRIOS DO COMPLEXO INDUSTRIAL PORTUÁRIO DE SUAPE, PERNAMBUCO, BRASIL**Antonio de Castro SANTOS JÚNIOR<sup>1</sup>  
Manuel de Jesus FLORES MONTES<sup>1</sup>

Recebido em: 01/08/2013

Aceito em: 30/01/2014

**RESUMO**

Com o objetivo de verificar o impacto dos lançamentos de efluentes nos principais estuários localizados no Complexo Industrial Portuário de Suape (CIPS), foi realizado um estudo sobre a variação espacial e sazonal das frações orgânicas de carbono, fósforo e nitrogênio, procurando identificar as principais fontes e a importância dos processos de diluição, remineralização e transporte da matéria orgânica. No estuário do rio Ipojuca, as concentrações de carbono orgânico total variaram entre 1,39 e 14,00 mgL<sup>-1</sup>; fósforo e nitrogênio orgânicos dissolvidos oscilaram entre 0,08 e 2,82 μmol

L<sup>-1</sup> e 5,85 e 42,68 μmol L<sup>-1</sup>, respectivamente. No estuário do rio Massangana, as concentrações de carbono orgânico total variaram entre 1,43 e 14,11 mgL<sup>-1</sup>; fósforo e nitrogênio orgânicos dissolvidos oscilaram entre 0,12 e 4,63 μmol L<sup>-1</sup> e 4,08 e 44,93 μmol L<sup>-1</sup>, respectivamente. Constatou-se que, os estuários ultrapassaram seu suporte de carga, devido à elevada quantidade de efluentes ricos em matéria orgânica, resultando em perda da qualidade ambiental das águas estuarinas circulantes.

**Palavras-chave:** efluentes, matéria orgânica, qualidade ambiental.**ABSTRACT**

Aiming to verify the impact of effluents releases in main estuaries located in Suape Port and Industrial Complex (SPIC), a study was conducted on the variation spatial and seasonal of organic fractions of carbon, phosphorus and nitrogen, trying to identify the main sources and processes of dilution, remineralization and transport of organic material. In the estuary of Ipojuca River, the concentrations of total organic carbon varied from 1.39 to 14.00 mg L<sup>-1</sup>; dissolved organic phosphorus and nitrogen from 0.08 to 2.82

μmol L<sup>-1</sup> and 5.85 to 42.68 μmol L<sup>-1</sup>, respectively. In the estuary of Massangana River, the concentrations of total organic carbon varied from 1.43 to 14.11 mg L<sup>-1</sup>; dissolved organic phosphorus and nitrogen from 0.12 to 4.63 μmol L<sup>-1</sup> and 4.08 to 44.93 μmol L<sup>-1</sup>, respectively. It was observed that the estuaries exceeded their load-bearing, due to the high quantity of effluents, rich in organic matter, resulting in loss of environmental quality of estuarine waters circulating.

**Key words:** effluents, matter organic, environmental quality.**INTRODUÇÃO**

Aproximadamente 60% das grandes cidades distribuídas ao redor da Terra estão localizadas próximas às regiões estuarinas, atribuindo a essas áreas, grande importância biológica e socioeconômica para o planeta (MIRANDA et al., 2002). Decorrente da concentração do desenvolvimento humano nos estuários é comum observar impactos ambientais de diversas naturezas. Esses impactos variam desde o lançamento de efluentes domésticos, agrícolas ou industriais não tratados, e ricos em matéria orgânica, até a alteração da morfologia da bacia estuarina para que essa se adeque às necessidades humanas, tais como: dragagens, aterros, retificações de canais, construção de barragens e usinas (SCHETTINI et. al., 2000).

A matéria orgânica em ambientes aquáticos é geralmente dividida em duas frações principais: a fração dissolvida (MOD) e particulada (MOP), e seus teores de carbono são classificados como carbono orgânico dissolvido (COD) e carbono orgânico particulado (COP) respectivamente, sendo o somatório desses, constitui o carbono orgânico total (COT). No

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Oceanografia,  
Av. Arquitetura, s/n, Cidade Universitária, Recife, PE.  
E-mails: [acsj\\_ufpe@yahoo.com.br](mailto:acsj_ufpe@yahoo.com.br) / [manuel@ufpe.br](mailto:manuel@ufpe.br)

ambiente marinho, o COD constitui aproximadamente 95% do COT, enquanto que o COP representa aproximadamente 5% do COT (CHESTER, 2000).

A entrada de carbono orgânico em águas estuarinas e costeiras tem sido associada a problemas de eutrofização e aumento na demanda bioquímica de oxigênio e, conseqüentemente na diminuição dos níveis de oxigênio dissolvido. As maiores concentrações de carbono orgânico ocorrem em águas onde há a descarga de efluentes domésticos e industriais, nas quais as frações de COD e COP, somadas, ocasionalmente excedem os 100 mgL<sup>-1</sup>. As concentrações de COD em águas estuarinas e costeiras normalmente variam de 1 a 5 mgL<sup>-1</sup>, os níveis de COP geralmente variam aproximadamente de 0,5 a 5 mg L<sup>-1</sup> em estuários e de 0,1 a 1 mgL<sup>-1</sup> em águas costeiras. Já as concentrações de COT normalmente variam de 1 a 10 mgL<sup>-1</sup> nos estuários e de 1 a 6 mg L<sup>-1</sup> em águas costeiras (KENNISH, 1997).

As fontes da matéria orgânica nos estuários podem ser autóctones, ou seja, produzida no próprio ecossistema pelos produtores primários (fitoplâncton e macrófitas aquáticas), dependendo da disponibilidade dos nutrientes dissolvidos e luz; ou alóctones, quando é transportada para o estuário, via aportes fluviais ou efluentes (WESTERHOFF, 2000). As concentrações dentro do estuário dependem também das forçantes físicas, como vento, calor e correntes, bem como de sua morfologia, que condicionam a dinâmica hidrológica (PAULO et al., 2011).

Considerando o ciclo global do carbono, o ambiente costeiro é uma área especialmente importante. Embora representando apenas uma pequena superfície do ambiente marinho (cerca de 10%), é a área mais produtiva, principalmente devido à influência da entrada dos rios, enriquecendo as águas costeiras em matéria orgânica e nutrientes, garantindo uma rápida reutilização dos elementos regenerados (WOLLAST, 1991; CAUWETESIDOROV, 1996; millero, 2006), principalmente carbono, fósforo e nitrogênio que são os principais constituintes da matéria orgânica.

O COT não é apenas um componente importante associado com a qualidade da água, mas também um indicador de contaminação orgânica. Quantificar o *input* dos rios em relação ao COT é de grande importância para uma melhor compreensão dos processos do ciclo global do carbono e avaliações de poluição orgânica (NI et. al., 2008).

Segundo Baumgarten et al. (1998), quando as concentrações de COT ultrapassam a capacidade de diluição, absorção, reciclagem e autodepuração do corpo hídrico receptor, podem causar impactos e alterações na composição química natural das águas, gerando desequilíbrios ecológicos.

Correlações positivas entre as concentrações de determinados poluentes orgânicos e o COT já foram relatados anteriormente em diversos estudos (ARZAYUS et. al., 2001; ACCARDI-DEY; GSCHWEND, 2002; HINGA, 2003; CHEN et al., 2005; CHEN et al., 2006).

O COT possui um papel importante na quantificação da matéria carbonácea, principalmente em ambientes sujeitos à poluição orgânica, sendo um bom indicador da qualidade ambiental nos meios hídricos. Sua determinação tem sido reconhecida como o melhor parâmetro ambiental para determinar a matéria orgânica em uma amostra de água e o mais adequado para o controle de efluentes antrópicos (MANAHAN, 2000).

O presente trabalho teve como objetivo realizar um estudo sobre os aportes continentais das frações orgânicas de carbono, fósforo e nitrogênio em águas estuarinas do CIPS, litoral sul de Pernambuco, com diferentes tipos de intervenção antrópica, a fim de aumentar o conhecimento dos processos que controlam a qualidade de suas águas.

### ÁREAS DE ESTUDO

O rio Ipojuca, com uma extensão aproximada de 250 km, é o principal curso d'água da bacia. Ele nasce na Serra do Pau D'arco (Agreste setentrional do estado de Pernambuco), município de Arcoverde, a uma altitude de aproximadamente 900 m, recebe vários afluentes e tem sua foz ao sudeste da cidade de Ipojuca. Segue a direção geral oeste-leste da nascente até atingir o litoral, mais precisamente ao sul do Porto de Suape, portanto sendo considerado um rio translitorâneo. Seu regime fluvial é considerado intermitente desde a sua nascente até

as proximidades do município de Chã Grande (Zona da Mata), e daí em diante torna-se perene, onde se encontra cerca de 1/6 de seu curso (CPRH, 2005).

O estuário do rio Ipojuca está localizado a cerca de 40 km ao sul da cidade do Recife e possui uma extensão aproximada de 15 km até atingir o oceano Atlântico. O clima é quente, úmido e tropical, com chuvas de outono e inverno. A precipitação pluviométrica anual varia entre 1.850 e 2.634 mm, com temperatura média anual e a umidade relativa média anual de 24°C e superior a 80%, respectivamente. Os ventos predominantes são de sudeste, cuja velocidade média é em torno de 2,5 m s<sup>-1</sup> (NEUMANN-LEITÃO, 1994).

Quanto ao uso e ocupação do solo da bacia do rio Ipojuca, destacam-se: a ocupação urbana e industrial, cultivo da cana-de-açúcar (agroindústria), pecuária, policultura e zonas de interesse ambiental (áreas de mata atlântica e manguezal). Já o uso da água está destinado ao abastecimento público e recepção de efluentes domésticos, industriais e agroindustriais (CPRH, 2010).

O rio Massangana, localizado no litoral sul de Pernambuco, nasce no engenho Providência no município de Ipojuca e deságua ao sul do promontório de Santo Agostinho onde encontra o rio Tatuoca. Apresenta um percurso de 7,5km e recebe diferentes denominações ao longo do seu curso: riacho Velho, Algodoais, Tabatinga e Massangana, sucessivamente. Sua bacia apresenta uma área aproximada de 110km<sup>2</sup>, abrangendo parte dos municípios do Cabo e Ipojuca. Embora de dimensão reduzida, o rio Massangana desempenha um importante papel na manutenção dos ecossistemas e das comunidades locais (CPRH, 2001).

Pertence ao grupo dos pequenos rios litorâneos (GL2) e serve de limite entre os municípios de Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca, tendo como formadores os rios Tabatinga e Utinga de Baixo, ambos com nascentes no município de Ipojuca. No primeiro situa-se a Barragem do Bita, e no segundo, a Barragem do Utinga, mananciais integrantes do sistema de abastecimento hídrico do Complexo Industrial Portuário de Suape. Seu regime fluvial é considerado perene, que nasce e deságua na zona litorânea (CPRH, 2001).

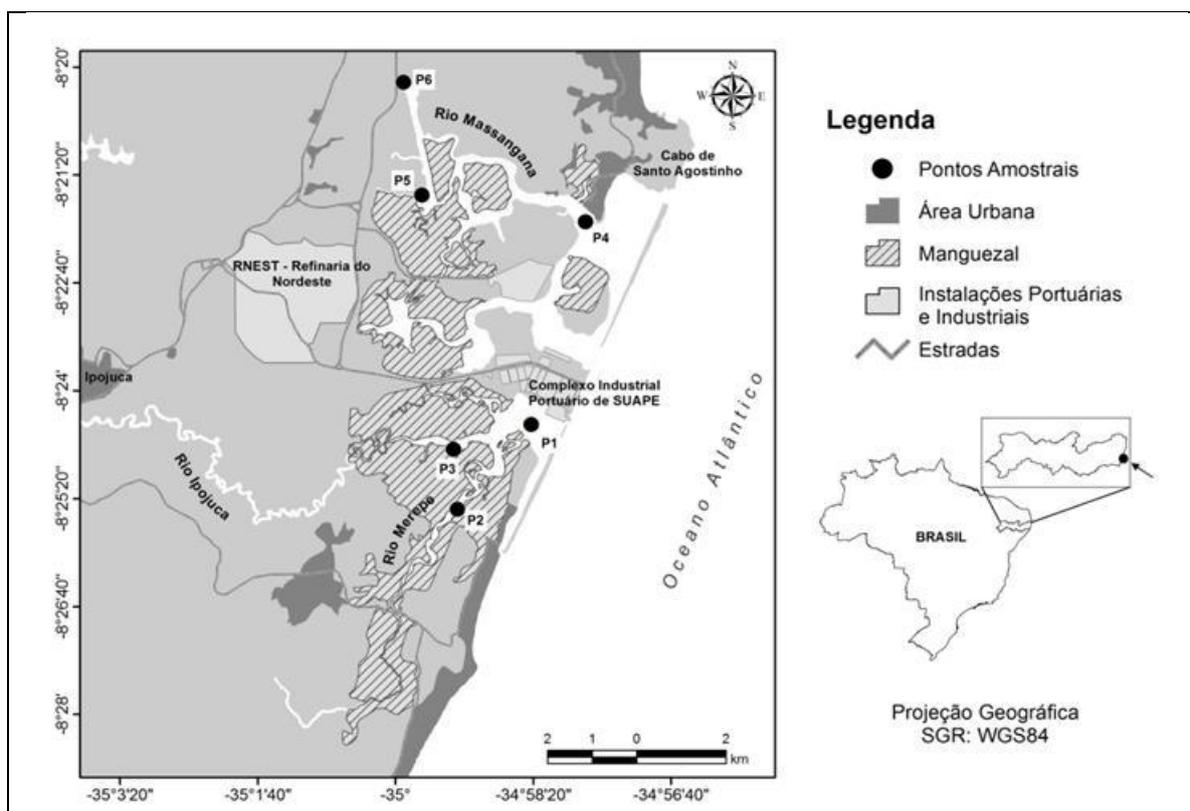
No que se refere à caracterização da bacia do rio Massangana com o uso e ocupação do solo está relacionado à: ocupação industrial, áreas cultivadas com cana-de-açúcar, policultura e áreas de mata atlântica e manguezal. Já o uso da água está destinado à recepção de efluentes industriais e agroindustriais (CPRH, 2010).

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizadas seis campanhas para coletas hidrológicas durante um ciclo sazonal característico da região, nos meses de setembro, novembro/2008 e janeiro/2009, correspondentes ao período de estiagem e março, maio e julho/2009, correspondentes ao período chuvoso.

Estabeleceram-se seis pontos de coleta: três nos estuários dos rios Ipojuca/Merepe (P1, P2 e P3) e três no estuário do rio Massangana (P4, P5 e P6)(Figura 1). As amostras de água foram coletadas na camada superficial, por meio de garrafa oceanográfica tipo Niskin, durante os estofos de baixa-mar e preamar diurnas, em maré de sizígia.

Para a avaliação e classificação da qualidade das águas nas áreas de estudo foi seguida a Resolução CONAMA nº 357/2005.



**Figura 1** – Mapa das áreas de estudo com a localização dos pontos amostrais nos estuários dos rios Ipojuca, Merepe e Massangana, Pernambuco, Brasil.

Após as coletas, as amostras para as análises hidrológicas foram transportadas ao Departamento de Oceanografia/Laboratório de Oceanografia Química (DOCEAN/LOQuim) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), onde foram catalogadas, processadas e analisadas, de acordo com as metodologias específicas, descritas abaixo.

Os parâmetros físicos e químicos da água, que foram determinados e analisados, são apresentados a seguir, com as respectivas metodologias: temperatura da água (termômetro oceanográfico de inversão); transparência da água (disco de Secchi); salinidade (método de Mohr-Knudsen, descrito por Strickland e Parsons (1972)); oxigênio dissolvido (método de Winkler modificado, descrito por Strickland e Parsons (1972)); percentual de saturação de oxigênio dissolvido (UNESCO, 1973); demanda bioquímica de oxigênio (APHA, 1995); pH (pHmetro eletrônico de bancada Hanna); material particulado em suspensão (método gravimétrico descrito por Baumgarten et al. (2010)); fósforo e nitrogênio orgânicos dissolvidos (de acordo com as metodologias descritas por Grasshoff et al. (1983)); e os teores de carbono orgânico total (método titulométrico), descrito por Strickland e Parsons (1972), adaptado por Baumgarten et al. (1996)).

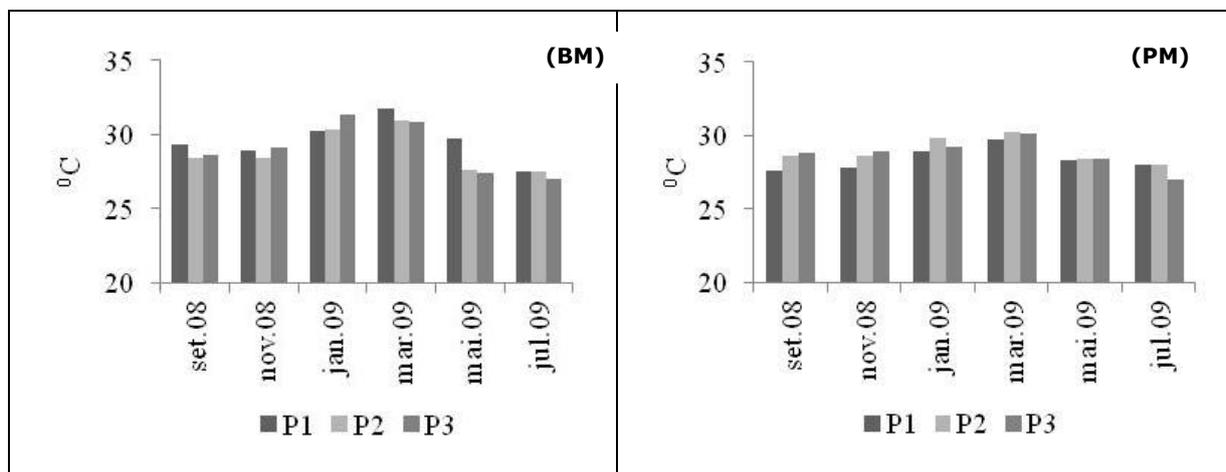
Uma análise de estatística descritiva foi realizada para os períodos sazonais, pontos de coleta e marés, obtendo-se os valores mínimo, máximo e mediana. Para a padronização dos dados, os mesmos foram transformados em  $\log(x+1)$  e submetidos à Análise de Variância (ANOVA One-way), a fim de obter os valores de F. Para essa análise foi utilizado o programa Statistica versão 8.0 (StatSoft Inc.). Todos os testes estatísticos foram realizados ao nível de significância de 5%.

Análise de Componentes Principais (ACP) teve como objetivo determinar o grau de interação entre os parâmetros físicos e químicos da água. Para essa análise foi utilizado o programa NTSYSp versão 2.1.

## RESULTADOS

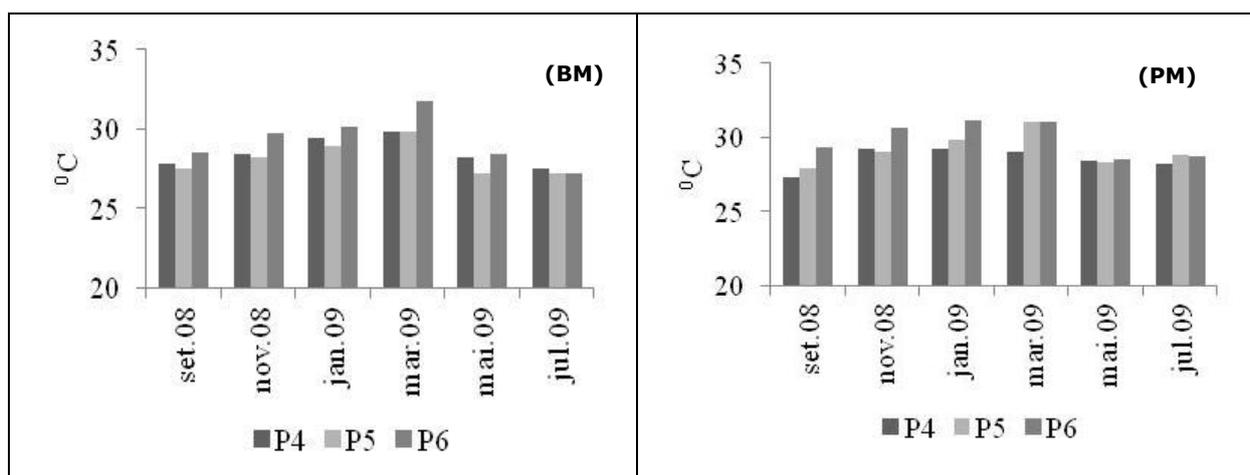
### Temperatura da Água

Os valores da temperatura da água no estuário do rio Ipojuca variaram entre 27,00 e 31,70°C, com mediana de 28,70°C. O valor mínimo foi registrado no P3, tanto na baixa-mar quanto na preamar em julho/2009, e o máximo verificado no P1, durante a baixa-mar em março/2009 (Figura 2). Segundo os resultados da ANOVA, os valores da temperatura da água não apresentaram diferenças significativas quando comparados com os períodos do ano ( $F=0,2$ ;  $p=0,633$ ), pontos de coleta ( $F=0,1$ ;  $p=0,948$ ) e marés ( $F=1,7$ ;  $p=0,201$ ).



**Figura 2** – Variação espacial e sazonal da temperatura da água no estuário do rio Ipojuca, na baixa-mar (BM) e preamar (PM), durante os períodos de estiagem (set/08, nov/08 e jan/09) e chuvoso (mar/09, mai/09 e jul/09).

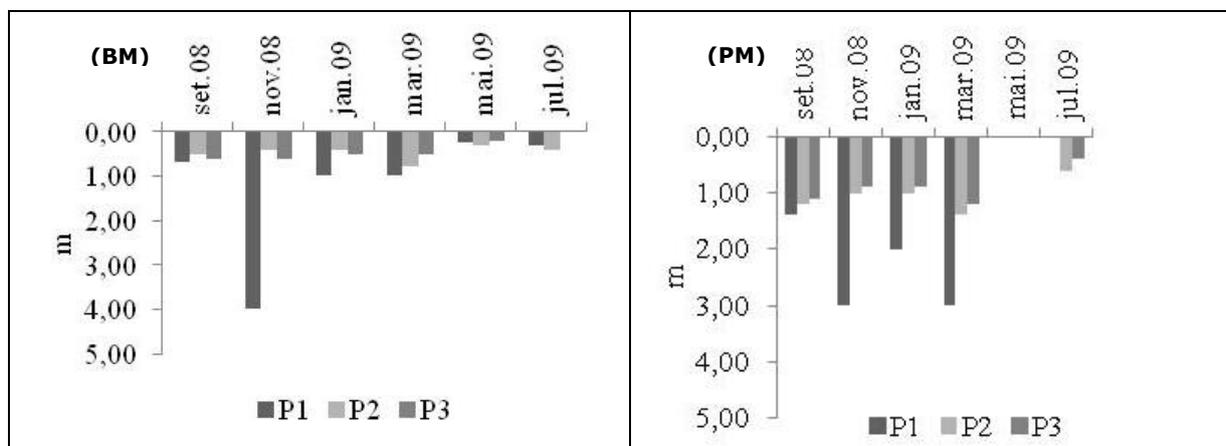
Os valores da temperatura da água no estuário do rio Massangana oscilaram entre 27,20 e 31,70°C, com mediana de 28,75°C. O valor mínimo foi registrado nos P5 e P6, durante a baixa-mar em maio e julho/2009, respectivamente, e o máximo verificado no P6, durante a baixa-mar em março/2009 (Figura 3). Os valores da temperatura da água também não apresentaram diferenças significativas quando comparados com os períodos do ano ( $F=0,2$ ;  $p=0,659$ ), pontos de coleta ( $F= 3,0$ ;  $p=0,064$ ) e marés ( $F=2,0$ ;  $p=0,167$ ).



**Figura 3** – Variação espacial e sazonal da temperatura da água no estuário do rio Massangana, na baixa-mar (BM) e preamar (PM), durante os períodos de estiagem (set/08, nov/08 e jan/09) e chuvoso (mar/09, mai/09 e jul/09).

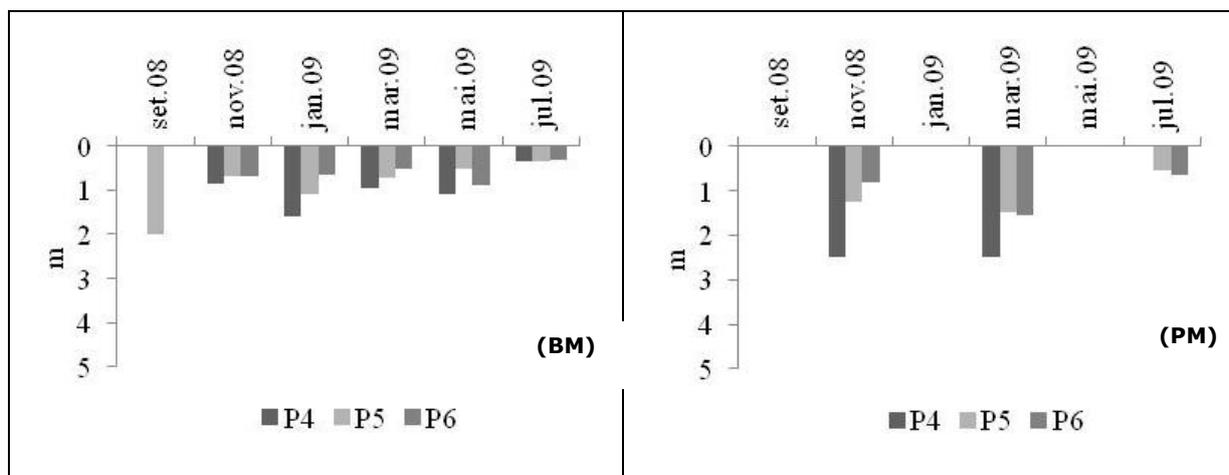
## Transparência da Água

Os valores da transparência da água no estuário do rio Ipojuca variaram entre 0,20 e 4,00 m, com mediana de 0,80 m. O valor mínimo foi registrado no P3 em maio/2009, e o máximo verificado no P1 em novembro/2008, ambos durante a baixa-mar (Figura 4).



**Figura 4** – Variação espacial e sazonal da transparência da água no estuário do rio Ipojuca, na baixa-mar (BM) e preamar (PM), durante os períodos de estiagem (set/08, nov/08 e jan/09) e chuvoso (mar/09, mai/09 e jul/09).

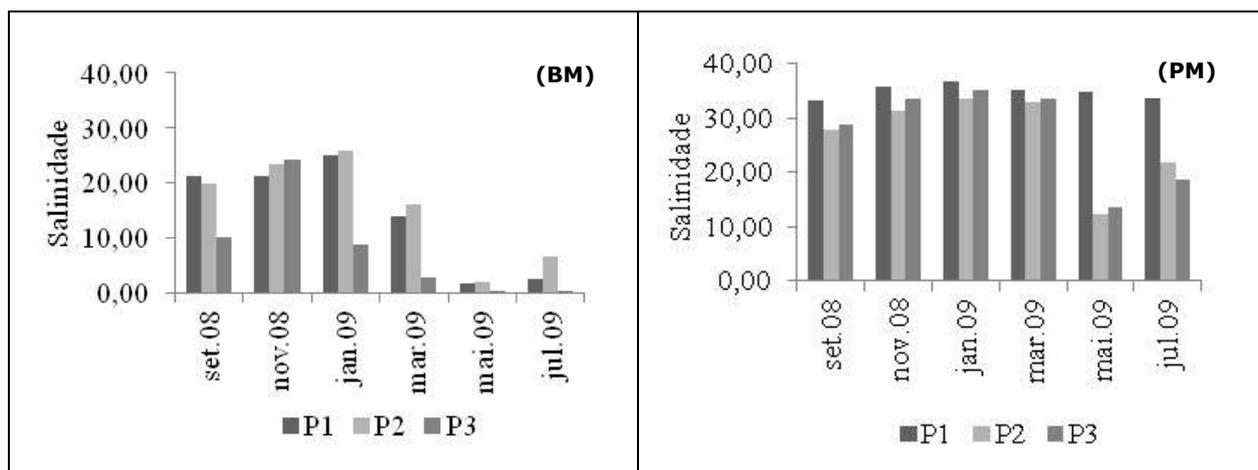
Os valores da transparência da água no estuário do rio Massangana oscilaram entre 0,30 e 2,50 m, com mediana de 0,83 m. O valor mínimo foi registrado no P6, durante a baixa-mar em julho/2009, e o máximo verificado no P4, durante a preamar em novembro/2008 e março/2009 (Figura 5).



**Figura 5** – Variação espacial e sazonal da transparência da água no estuário do rio Massangana, na baixa-mar (BM) e preamar (PM), durante os períodos de estiagem (set/08, nov/08 e jan/09) e chuvoso (mar/09, mai/09 e jul/09).

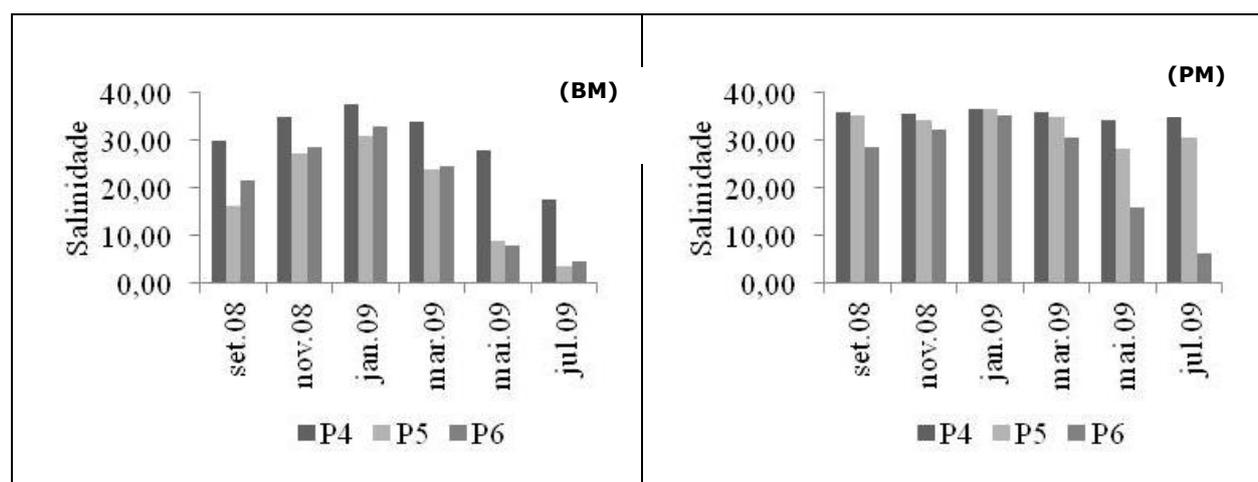
## Salinidade

Os valores da salinidade no estuário do rio Ipojuca variaram entre 0,20 e 36,63, com mediana de 22,55. O valor mínimo foi registrado no P3, durante a baixa-mar em julho/2009, e o máximo verificado no P1, durante a preamar em janeiro/2009 (Figura 6). Os valores da salinidade apresentaram diferenças significativas quando comparados com os períodos do ano ( $F=10,18$ ;  $p=0,003$ ) e marés ( $F=19,99$ ;  $p<0,001$ ). Não foram observadas diferenças significativas entre os pontos de coleta ( $F=1,07$ ;  $p=0,353$ ).



**Figura 6** – Variação espacial e sazonal da salinidade no estuário do rio Ipojuca, na baixa-mar (BM) e preamar (PM), durante os períodos de estiagem (set/08, nov/08 e jan/09) e chuvoso (mar/09, mai/09 e jul/09).

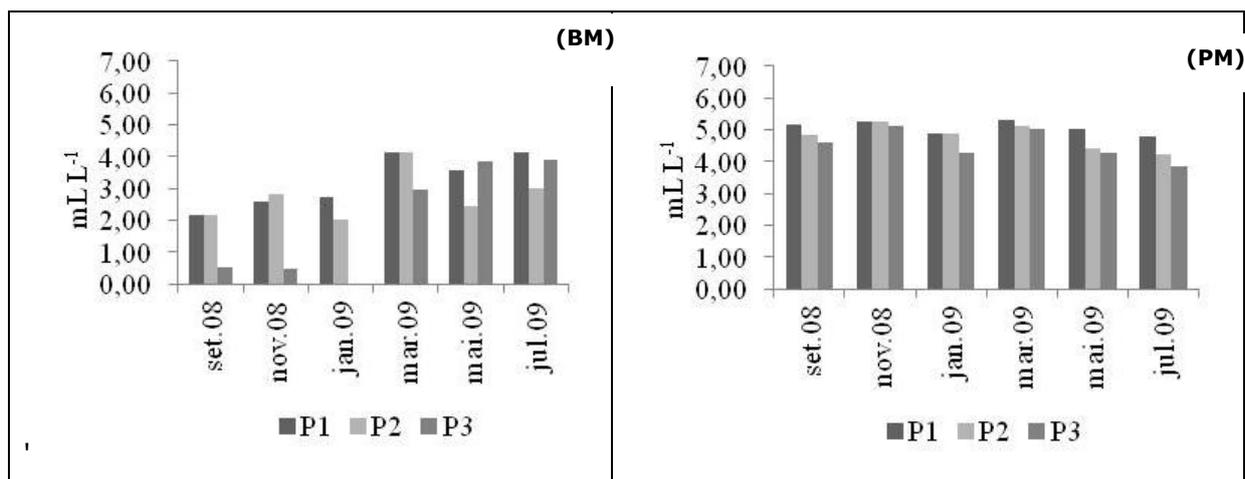
Os valores da salinidade no estuário do rio Massangana oscilaram entre 3,70 e 37,70, com mediana de 30,72. O valor mínimo foi registrado no P5, durante a baixa-mar em julho/2009, e o máximo verificado no P4, durante a baixa-mar em janeiro/2009 (Figura 7). Os valores da salinidade também apresentaram diferenças significativas quando comparados com os períodos do ano ( $F=8,25$ ;  $p=0,007$ ) e marés ( $F=4,82$ ;  $p=0,035$ ). Não foram observadas diferenças significativas entre os pontos de coleta ( $F=2,79$ ;  $p=0,076$ ).



**Figura 7** – Variação espacial e sazonal da salinidade no estuário do rio Massangana, na baixa-mar (BM) e preamar (PM), durante os períodos de estiagem (set/08, nov/08 e jan/09) e chuvoso (mar/09, mai/09 e jul/09).

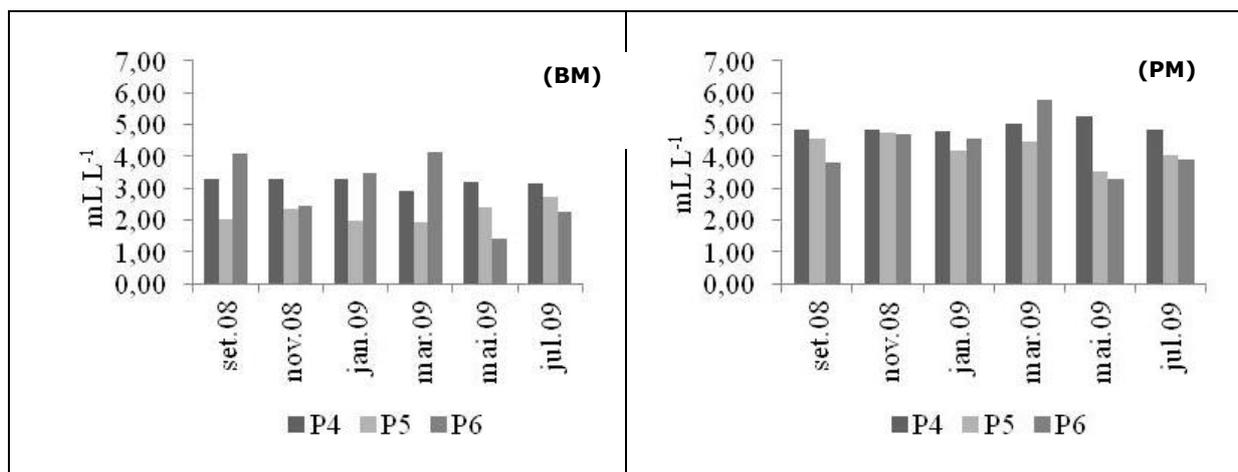
### Oxigênio Dissolvido (OD)

As concentrações de OD no estuário do rio Ipojuca variaram entre 0,00 e 5,28 mL L<sup>-1</sup>, com mediana de 4,12 mL L<sup>-1</sup>. A concentração mínima foi registrada no P3, durante a baixa-mar em janeiro/2009, e a máxima verificada no P1, durante a preamar em março/2009 (Figura 8). As concentrações de OD apresentaram diferenças significativas quando comparadas entre as marés ( $F=23,43$ ;  $p<0,001$ ). Não foram observadas diferenças significativas com os períodos do ano ( $F=4,06$ ;  $p=0,052$ ) e pontos de coleta ( $F=1,77$ ;  $p=0,187$ ).



**Figura 8** – Variação espacial e sazonal do OD no estuário do rio Ipojuca, na baixa-mar (BM) e preamar (PM), durante os períodos de estiagem (set/08, nov/08 e jan/09) e chuvoso (mar/09, mai/09 e jul/09).

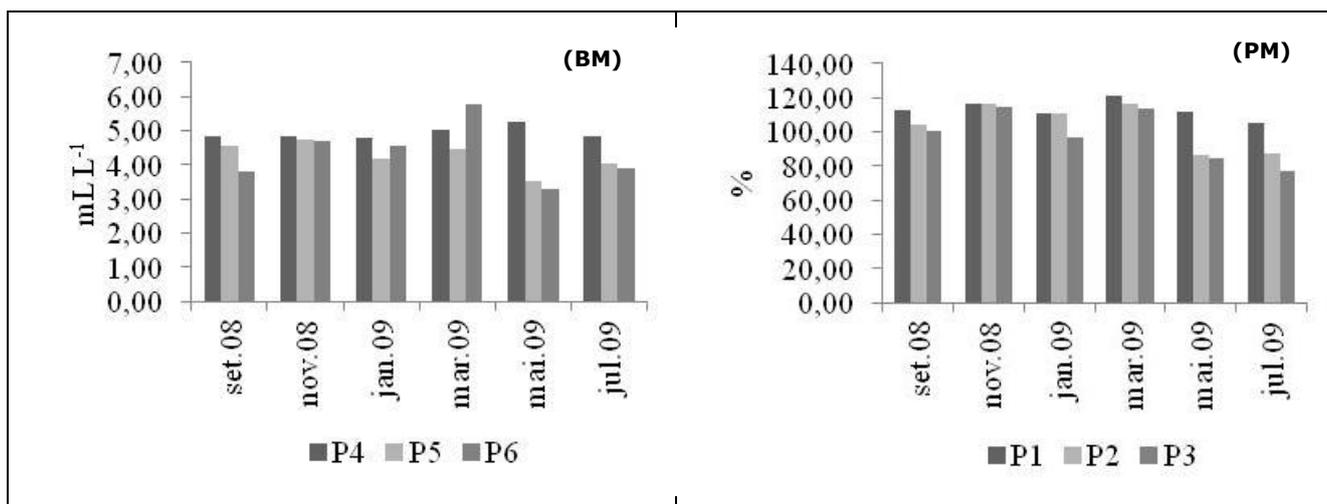
As concentrações de OD no estuário do rio Massangana oscilaram entre 1,41 e 5,75 mL L<sup>-1</sup>, com mediana de 3,67 mL L<sup>-1</sup>. A concentração mínima foi registrada no P6, durante a baixa-mar em maio/2009, e a máxima verificada também no P6, durante a preamar em março/2009 (Figura 9). As concentrações de OD também apresentaram diferenças significativas quando comparadas com as marés ( $F=48,91$ ;  $p<0,001$ ). Não foram observadas diferenças significativas com os períodos do ano ( $F=0,30$ ;  $p=0,588$ ) e pontos de coleta ( $F=1,79$ ;  $p=0,182$ ).



**Figura 9** – Variação espacial e sazonal do OD no estuário do rio Massangana, na baixa-mar (BM) e preamar (PM), durante os períodos de estiagem (set/08, nov/08 e jan/09) e chuvoso (mar/09, mai/09 e jul/09).

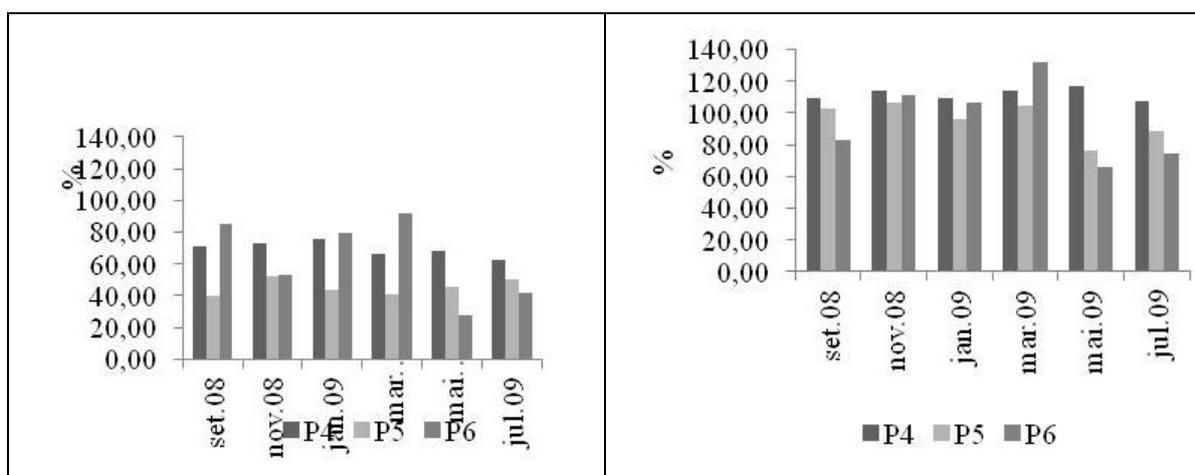
### Percentual de Saturação de Oxigênio Dissolvido (OD%)

Os valores do OD% no estuário do rio Ipojuca variaram entre 0,00 e 120,92%, com mediana de 85,59%. O valor mínimo foi registrado no P3, durante a baixa-mar em janeiro/2009, e o máximo verificado no P1, durante a preamar em março/2009 (Figura 10). Os valores do OD% não apresentaram diferenças significativas quando comparados com os períodos do ano ( $F=1,26$ ;  $p=0,269$ ), pontos de coleta ( $F=1,24$ ;  $p=0,304$ ) e marés ( $F=1,43$ ;  $p=0,239$ ).



**Figura 10** – Variação espacial e sazonal do OD% no estuário do rio Ipojuca, na baixa-mar (BM) e preamar (PM), durante os períodos de estiagem (set/08, nov/08 e jan/09) e chuvoso (mar/09, mai/09 e jul/09).

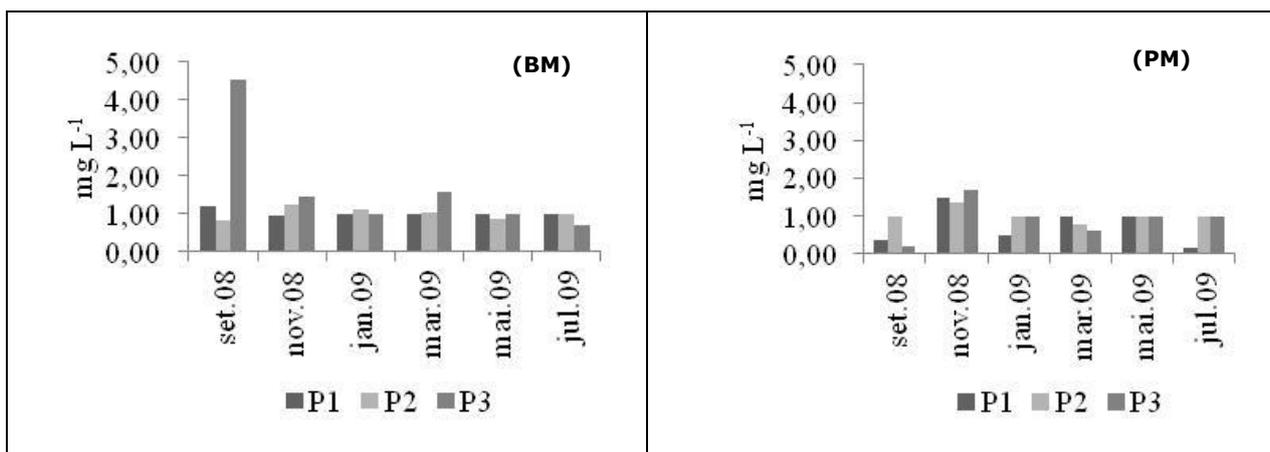
Os valores do OD% no estuário do rio Massangana oscilaram entre 27,20 e 131,89%, com mediana de 77,61%. O valor mínimo foi registrado no P6, durante a baixa-mar em maio/2009, e o máximo verificado também no P6, durante a preamar em março/2009 (Figura 11). Os valores do OD% apresentaram diferenças significativas quando comparados com as marés ( $F=27$ ;  $p<0,001$ ). Não foram observadas diferenças significativas com os períodos do ano ( $F=1$ ;  $p=0,280$ ) e pontos de coleta ( $F=2$ ;  $p=0,172$ ).



**Figura 11** – Variação espacial e sazonal do OD% no estuário do rio Massangana, na baixa-mar (BM) e preamar (PM), durante os períodos de estiagem (set/08, nov/08 e jan/09) e chuvoso (mar/09, mai/09 e jul/09).

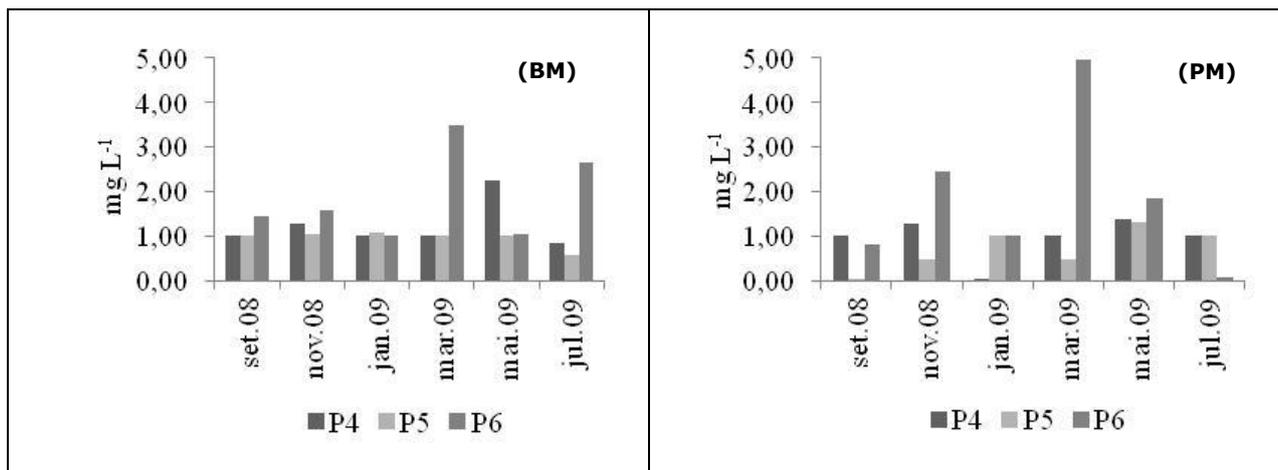
### Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

Os valores da DBO no estuário do rio Ipojuca variaram entre 0,15 e 4,53 mg L<sup>-1</sup>, com mediana de 1,00 mg L<sup>-1</sup>. O valor mínimo foi registrado no P1, durante a preamar em julho/2009, e o máximo verificado no P3, durante a baixa-mar em setembro/2008 (Figura 12). Os valores da DBO não apresentaram diferenças significativas quando comparadas com os períodos do ano ( $F=1,27$ ;  $p=0,268$ ), pontos de coleta ( $F=1,12$ ;  $p=0,339$ ) e marés ( $F=3,60$ ;  $p=0,066$ ).



**Figura 12** – Variação espacial e sazonal da DBO no estuário do rio Ipojuca, na baixa-mar (BM) e preamar (PM), durante os períodos de estiagem (set/08, nov/08 e jan/09) e chuvoso (mar/09, mai/09 e jul/09).

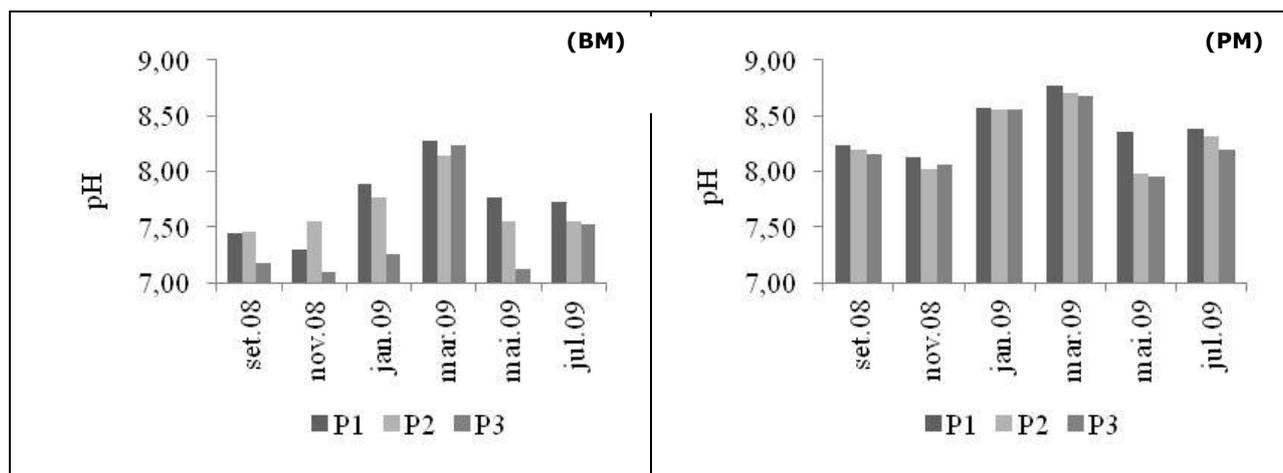
Os valores da DBO no estuário do rio Massangana oscilaram entre 0,02 e 4,95 mgL<sup>-1</sup>, com mediana de 1,00 mg L<sup>-1</sup>. O valor mínimo foi registrado no P4, durante a preamar em janeiro/2009, e o máximo verificado no P6, durante a preamar em março/2009 (Figura 13). Os valores da DBO apresentaram diferenças significativas quando comparadas com os pontos de coleta ( $F=3,98$ ;  $p=0,028$ ). Não foram observadas diferenças significativas com os períodos do ano ( $F=1,79$ ;  $p=0,190$ ) e marés ( $F=1,33$ ;  $p=0,257$ ).



**Figura 13** – Variação espacial e sazonal da DBO no estuário do rio Massangana, na baixa-mar (BM) e preamar (PM), durante os períodos de estiagem (set/08, nov/08 e jan/09) e chuvoso (mar/09, mai/09 e jul/09).

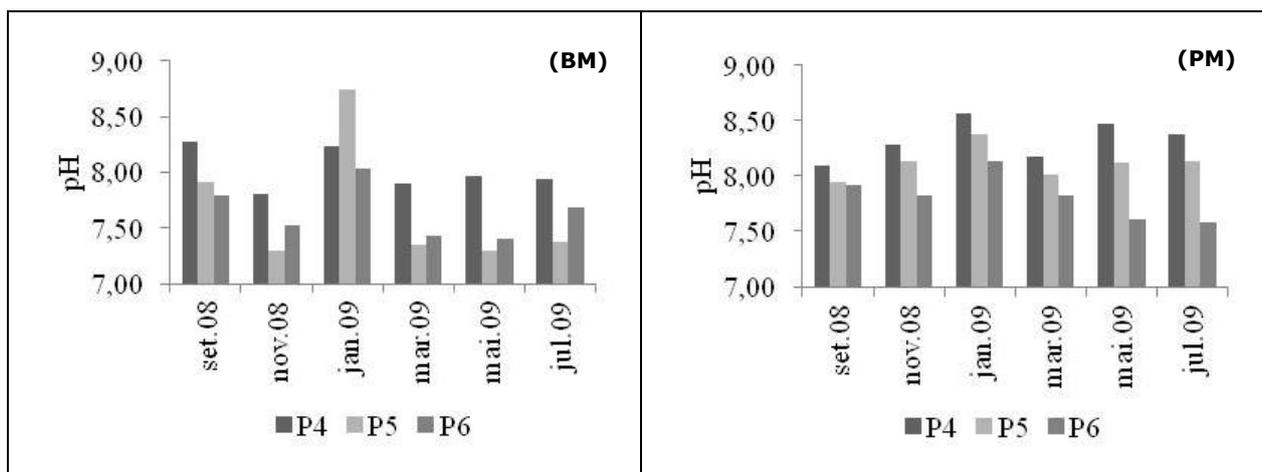
### Potencial Hidrogeniônico (pH)

Os valores do pH no estuário do rio Ipojuca variaram entre 7,10 e 8,77, com mediana de 8,04. O valor mínimo foi registrado no P3, durante a baixa-mar em novembro/2008, e o máximo verificado no P1, durante a preamar em março/2009 (Figura 14). Os valores do pH apresentaram diferenças significativas quando comparados com as marés ( $F=46,8$ ;  $p<0,001$ ). Não foram observadas diferenças significativas com os períodos do ano ( $F=1,78$ ;  $p=0,191$ ) e pontos de coleta ( $F=0,78$ ;  $p=0,466$ ).



**Figura 14** – Variação espacial e sazonal do pH no estuário do rio Ipojuca, na baixa-mar (BM) e preamar (PM), durante os períodos de estiagem (set/08, nov/08 e jan/09) e chuvoso (mar/09, mai/09 e jul/09).

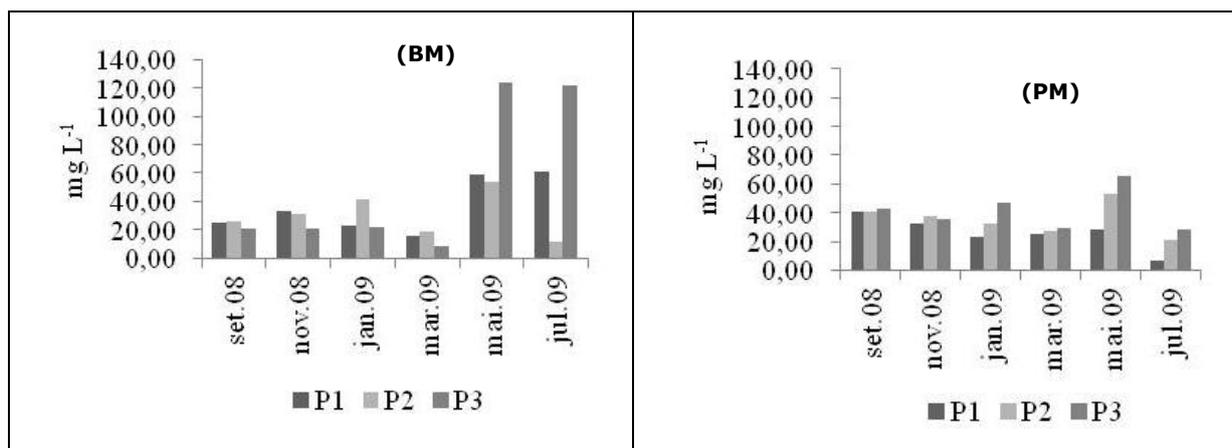
Os valores do pH no estuário do rio Massangana oscilaram entre 7,30 e 8,74, com mediana de 7,95. O valor mínimo foi registrado no P5, durante a baixa-mar em novembro/2008, e o máximo verificado também no P5, durante a baixa-mar em janeiro/2009 (Figura 15). Os valores do pH apresentaram diferenças significativas quando comparados com os pontos de coleta ( $F=5,4$ ;  $p=0,009$ ) e marés ( $F=7,7$ ;  $p=0,009$ ). Não foram observadas diferenças significativas entre os períodos do ano ( $F=3,8$ ;  $p=0,059$ ).



**Figura 15** – Variação espacial e sazonal do pH no estuário do rio Massangana, na baixa-mar (BM) e preamar (PM), durante os períodos de estiagem (set/08, nov/08 e jan/09) e chuvoso (mar/09, mai/09 e jul/09).

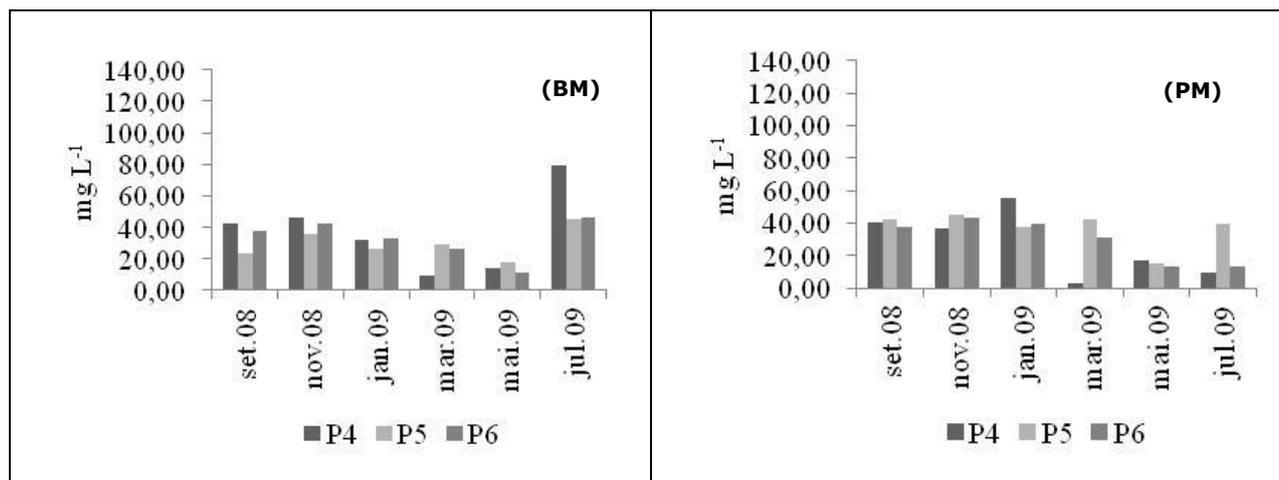
### Material Particulado em Suspensão (MPS)

Os valores do MPS no estuário do rio Ipojuca variaram entre 6,60 e 123,57  $\text{mgL}^{-1}$ , com mediana de 30,20  $\text{mg L}^{-1}$ . O valor mínimo foi registrado no P1, durante a preamar em julho/2009, e o máximo verificado no P3, durante a baixa-mar em maio/2009 (Figura 16). Os valores do MPS não apresentaram diferenças significativas quando comparados com os períodos do ano ( $F=0,00$ ;  $p=0,975$ ), pontos de coleta ( $F=0,64$ ;  $p=0,536$ ) e marés ( $F=0,02$ ;  $p=0,905$ ).



**Figura 16** – Variação espacial e sazonal do MPS no estuário do rio Ipojuca, na baixa-mar (BM) e preamar (PM), durante os períodos de estiagem (set/08, nov/08 e jan/09) e chuvoso (mar/09, mai/09 e jul/09).

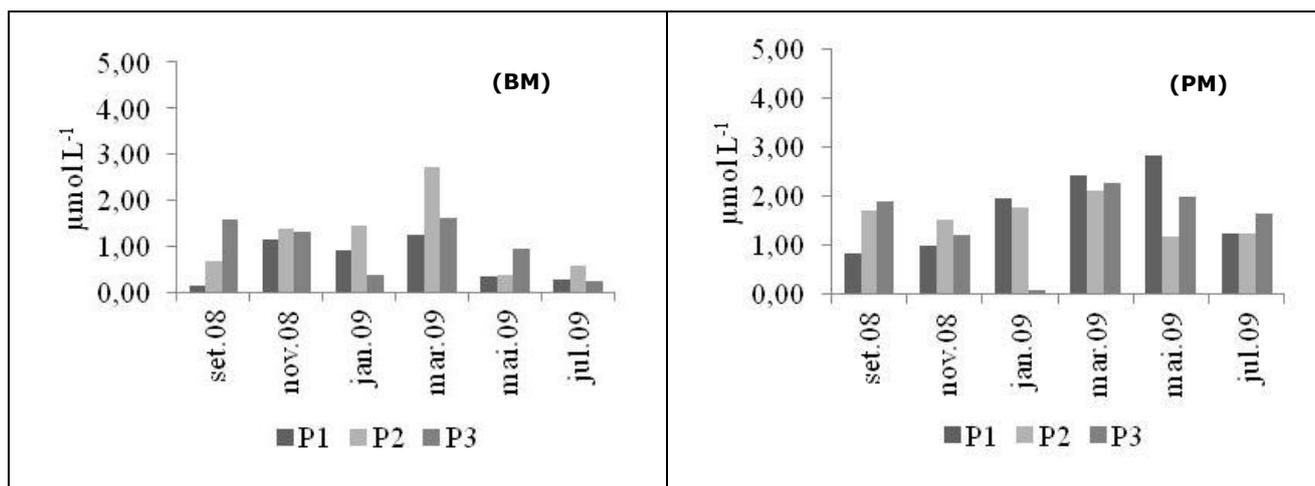
Os valores do MPS no estuário do rio Massangana oscilaram entre 2,80 e 79,40 mgL<sup>-1</sup>, com mediana de 36,50 mgL<sup>-1</sup>. O valor mínimo foi registrado no P4, durante a preamar em março/2009, e o máximo verificado também no P4, durante a baixa-mar em julho/2009 (Figura 17). Os valores do MPS apresentaram diferenças significativas quando comparados com os períodos do ano ( $F=12,17$ ;  $p=0,001$ ). Não foram observadas diferenças significativas com os pontos de coleta ( $F=0,58$ ;  $p=0,566$ ) e marés ( $F=0,32$ ;  $p=0,577$ ).



**Figura 17** – Variação espacial e sazonal do MPS no estuário do rio Massangana, na baixa-mar (BM) e preamar (PM), durante os períodos de estiagem (set/08, nov/08 e jan/09) e chuvoso (mar/09, mai/09 e jul/09).

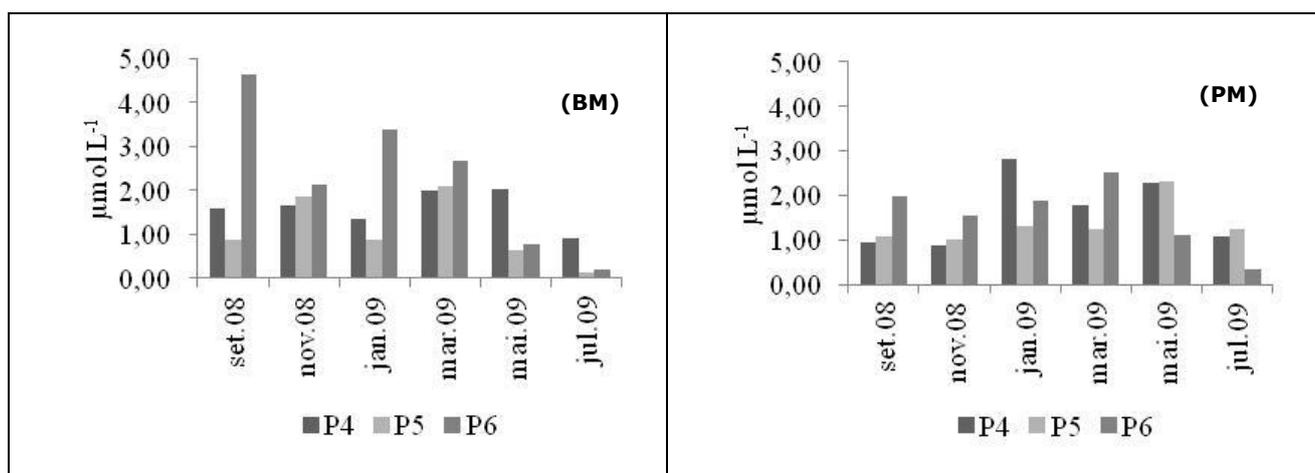
### Fósforo Orgânico Dissolvido (POD)

As concentrações de POD no estuário do rio Ipojuca variaram entre 0,08 e 2,82  $\mu\text{mol L}^{-1}$ , com mediana de 1,23  $\mu\text{mol L}^{-1}$ . A concentração mínima foi registrada no P3, durante a preamar em janeiro/2009, e a máxima verificada no P1, durante a preamar em maio/2009 (Figura 18). As concentrações de POD apresentaram diferenças significativas quando comparadas com as marés ( $F=8,40$ ;  $p=0,007$ ). Não foram observadas diferenças significativas com os períodos do ano ( $F=0,48$ ;  $p=0,492$ ) e pontos de coleta ( $F=0,36$ ;  $p=0,702$ ).



**Figura 18** – Variação espacial e sazonal do POD no estuário do rio Ipojuca, na baixa-mar (BM) e preamar (PM), durante os períodos de estiagem (set/08, nov/08 e jan/09) e chuvoso (mar/09, mai/09 e jul/09).

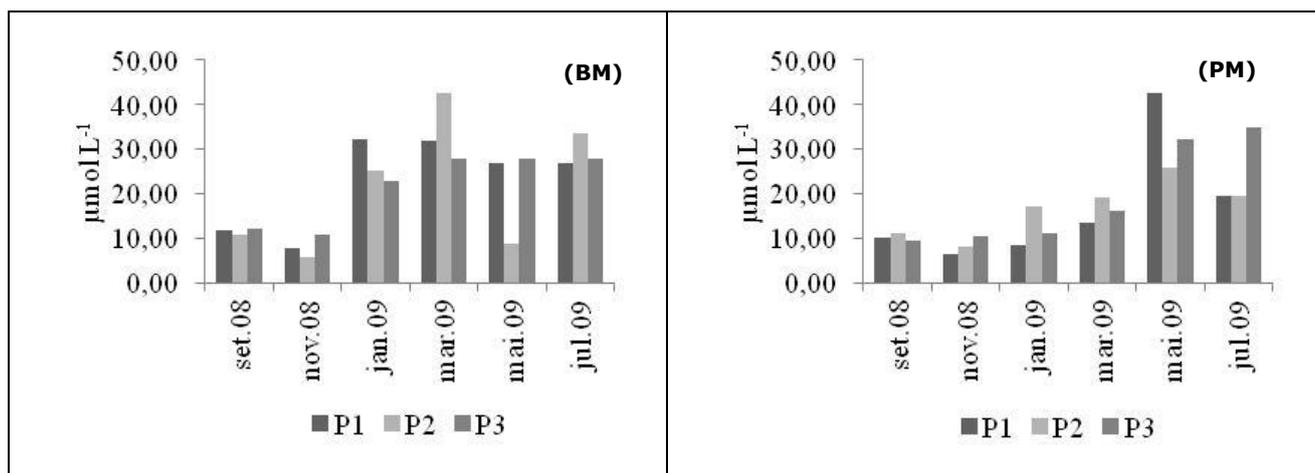
As concentrações de POD no estuário do rio Massangana oscilaram entre 0,12 e 4,63  $\mu\text{mol L}^{-1}$ , com mediana de 1,43  $\mu\text{mol L}^{-1}$ . A concentração mínima foi registrada no P5, durante a baixa-mar em julho/2009, e a máxima verificada no P6, durante a baixa-mar em setembro/2008 (Figura 19). As concentrações de POD não apresentaram diferenças significativas quando comparadas com os períodos do ano ( $F=1,74$ ;  $p=0,196$ ), pontos de coleta ( $F=1,39$ ;  $p=0,264$ ) e marés ( $F=0,00$ ;  $p=0,990$ ).



**Figura 19** – Variação espacial e sazonal do POD no estuário do rio Massangana, na baixa-mar (BM) e preamar (PM), durante os períodos de estiagem (set/08, nov/08 e jan/09) e chuvoso (mar/09, mai/09 e jul/09).

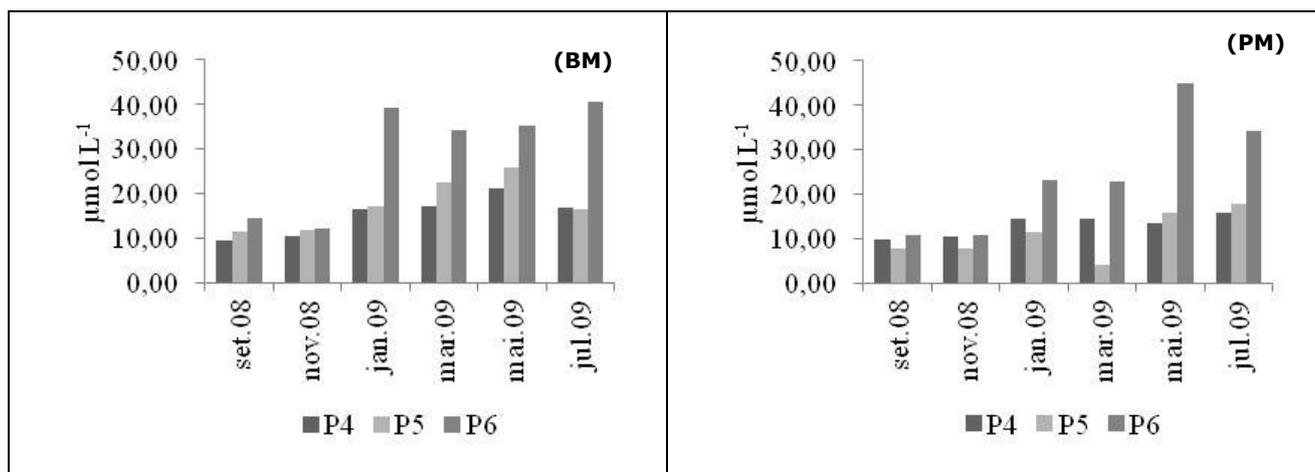
### Nitrogênio Orgânico Dissolvido (NOD)

As concentrações de NOD no estuário do rio Ipojuca variaram entre 5,85 e 42,68  $\mu\text{mol L}^{-1}$ , com mediana de 18,02  $\mu\text{mol L}^{-1}$ . A concentração mínima foi registrada no P2, durante a baixa-mar em novembro/2008, e a máxima verificada no P1, durante a preamar em maio/2009 (Figura 20). As concentrações de NOD apresentaram diferenças significativas quando comparadas com os períodos do ano ( $F=27,59$ ;  $p<0,001$ ). Não foram observadas diferenças significativas com os pontos de coleta ( $F=0,14$ ;  $p=0,868$ ) e marés ( $F=1,33$ ;  $p=0,257$ ).



**Figura 20** – Variação espacial e sazonal do NOD no estuário do rio Ipojuca, na baixa-mar (BM) e preamar (PM), durante os períodos de estiagem (set/08, nov/08 e jan/09) e chuvoso (mar/09, mai/09 e jul/09).

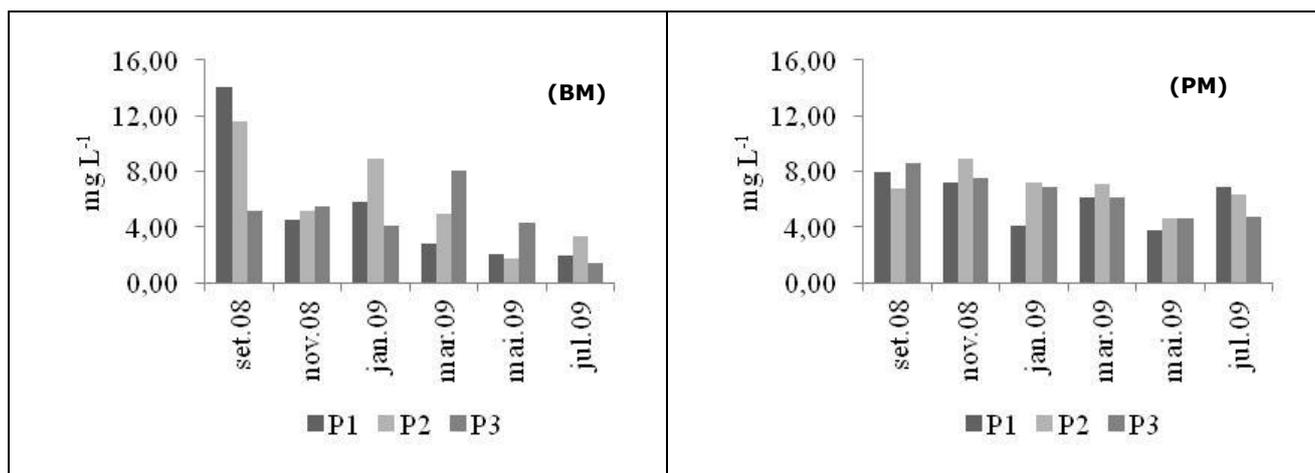
As concentrações de NOD no estuário do rio Massangana oscilaram entre 4,08 e 44,93  $\mu\text{mol L}^{-1}$ , com mediana de 15,84  $\mu\text{mol L}^{-1}$ . A concentração mínima foi registrada no P5, durante a preamar em março/2009, e a máxima verificada no P6, durante a preamar em maio/2009 (Figura 21). As concentrações de NOD apresentaram diferenças significativas quando comparadas com os períodos do ano ( $F=9,20$ ;  $p=0,005$ ) e pontos de coleta ( $F=6,80$ ;  $p=0,003$ ). Não foram observadas diferenças significativas entre as marés ( $F=2,95$ ;  $p=0,095$ ).



**Figura 21** – Variação espacial e sazonal do NOD no estuário do rio Massangana, na baixa-mar (BM) e preamar (PM), durante os períodos de estiagem (set/08, nov/08 e jan/09) e chuvoso (mar/09, mai/09 e jul/09).

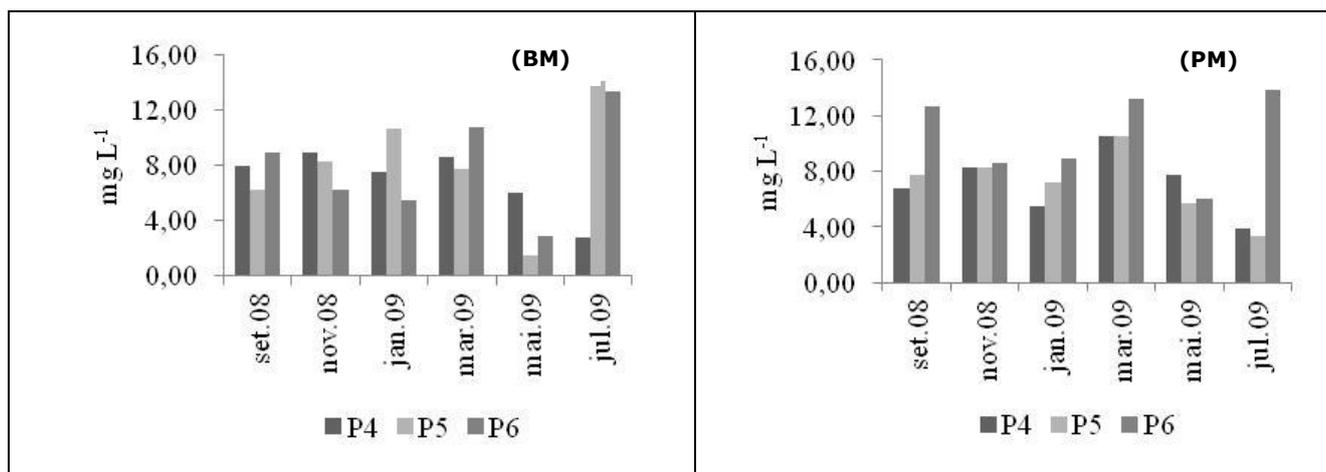
### Carbono Orgânico Total (COT)

As concentrações de COT no estuário do rio Ipojuca variaram entre 1,39 e 14,00  $\text{mg L}^{-1}$ , com mediana de 5,66  $\text{mg L}^{-1}$ . A concentração mínima foi registrada no P3, durante a baixa-mar em julho/2009, e a máxima verificada no P1, durante a baixa-mar em setembro/2008 (Figura 22). As concentrações de COT apresentaram diferenças significativas quando comparadas com os períodos do ano ( $F=13,39$ ;  $p<0,001$ ) e marés ( $F=4,23$ ;  $p=0,047$ ). Não foram observadas diferenças significativas entre os pontos de coleta ( $F=0,39$ ;  $p=0,677$ ).



**Figura 22** – Variação espacial e sazonal do COT no estuário do rio Ipojuca, na baixa-mar (BM) e preamar (PM), durante os períodos de estiagem (set/08, nov/08 e jan/09) e chuvoso (mar/09, mai/09 e jul/09).

As concentrações de COT no estuário do rio Massangana oscilaram entre 1,43 e 14,11 mg L<sup>-1</sup>, com mediana de 7,90 mg L<sup>-1</sup>. A concentração mínima foi registrada no P5, durante a baixa-mar em maio/2009, e a máxima verificada também no P5, durante a baixa-mar em julho/2009 (Figura 23). As concentrações de COT não apresentaram diferenças significativas quando comparadas com os períodos do ano ( $F=0,76$ ;  $p=0,389$ ), pontos de coleta ( $F=1,02$ ;  $p=0,372$ ) e marés ( $F=0,60$ ;  $p=0,443$ ).



**Figura 23** – Variação espacial e sazonal do COT no estuário do rio Massangana, na baixa-mar (BM) e preamar (PM), durante os períodos de estiagem (set/08, nov/08 e jan/09) e chuvoso (mar/09, mai/09 e jul/09).

As amostras dos pontos de coleta localizados no estuário do rio Ipojuca apresentaram diferenças significativas em relação às concentrações de COT quando comparadas com as do estuário do rio Massangana ( $F=8,0$ ;  $p=0,006$ ).

### Análise de Componentes Principais (ACP)

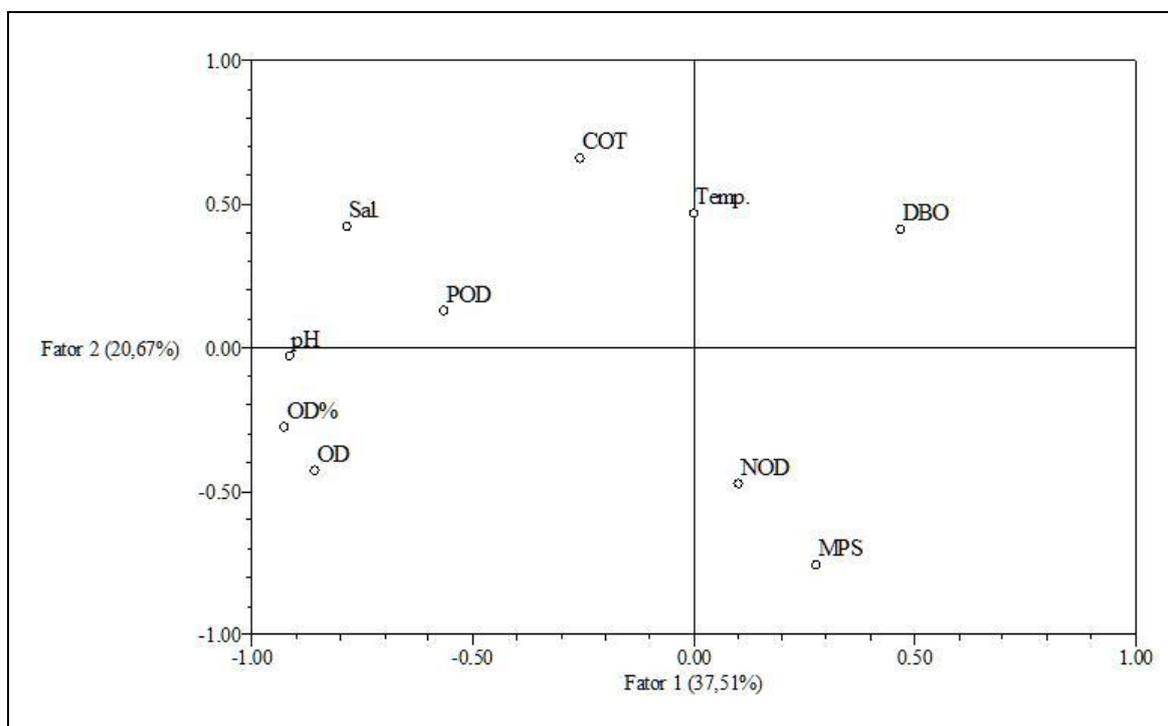
Para o estuário do rio Ipojuca, os dois primeiros fatores explicaram 58,18% da variância observada (Tabela 1).

O fator 1 explicou 37,51% da variância total dos dados e correlacionou positivamente a DBO e o MPS. Verificou-se correlação negativa a salinidade, o OD, o percentual de saturação de oxigênio dissolvido (OD%), o pH e o POD (Tabela 1 e Figura 24).

O fator 2 explicou 20,67% da variância total dos dados e correlacionou positivamente a temperatura da água, a salinidade, a DBO e o COT. Foi observada correlação negativa o OD, o MPS e o NOD. Verificou-se o forte contraste entre o MPS e o COT (Tabela 1 e Figura 24).

**Tabela 1** – Pesos e variâncias explicados pelos dois primeiros fatores para os parâmetros físicos e químicos da água no estuário do rio Ipojuca, nos estágios de baixa-mar e preamar, durante os períodos de estiagem e chuvoso. Os valores mais significativos estão em negrito.

Parâmetros	Fator 1 (37,51%)	Fator 2 (20,67%)
Temp. (°C)	0.0013	<b>0.4687</b>
Sal.	<b>-0.7871</b>	<b>0.4224</b>
OD (mL L <sup>-1</sup> )	<b>-0.8590</b>	<b>-0.4240</b>
OD (%)	<b>-0.9276</b>	-0.2726
DBO (mgL <sup>-1</sup> )	<b>0.4690</b>	<b>0.4111</b>
MPS (mgL <sup>-1</sup> )	<b>0.2769</b>	<b>-0.7574</b>
pH	<b>-0.9156</b>	-0.0254
POD (µmol L <sup>-1</sup> )	<b>-0.5666</b>	0.1289
NOD (µmol L <sup>-1</sup> )	0.1015	<b>-0.4697</b>
COT (mgL <sup>-1</sup> )	-0.2592	<b>0.6589</b>



**Figura 24** – Pesos nos dois primeiros fatores, na análise feita com os parâmetros físicos e químicos da água para o estuário do rio Ipojuca, nos estágios de baixa-mar e preamar, durante os períodos de estiagem e chuvoso.

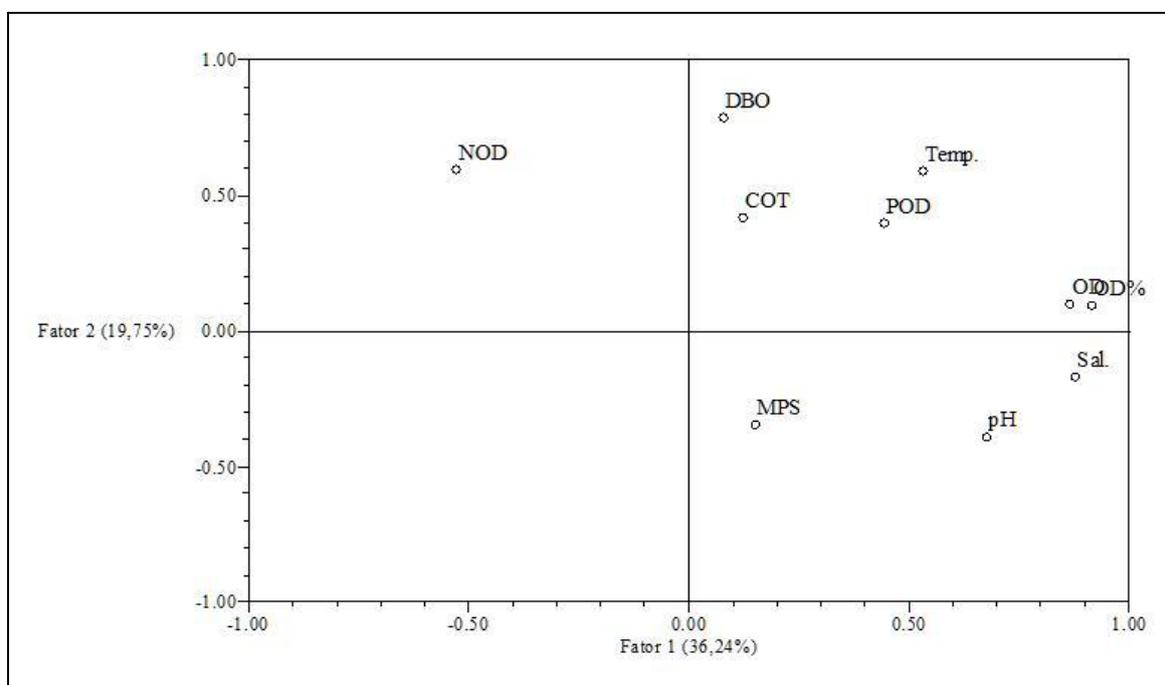
Para o estuário do rio Massangana, os dois primeiros fatores explicaram 55,99% da variância observada (Tabela 2).

O fator 1 explicou 36,24% da variância total dos dados e correlacionou positivamente a temperatura da água, a salinidade, o OD, o percentual de saturação de oxigênio dissolvido (OD%), o pH e o POD. Verificou-se correlação negativa o NOD (Tabela 2 e Figura 25).

O fator 2 explicou 19,75% da variância total dos dados e correlacionou positivamente a temperatura da água, a DBO, o POD, o NOD e o COT. Foi observada correlação negativa a salinidade, o MPS e o pH (Tabela 2 e Figura 25).

**Tabela 2** – Pesos e variâncias explicados pelos dois primeiros fatores para os parâmetros físicos e químicos da água no estuário do rio Massangana, nos estágios de baixa-mar e preamar, durante os períodos de estiagem e chuvoso. Os valores mais significativos estão em negrito.

Parâmetros	Fator 1 (36,24%)	Fator 2 (19,75%)
Temp. (°C)	<b>0.5323</b>	<b>0.5900</b>
Sal.	<b>0.8787</b>	<b>-0.1671</b>
OD (mL L <sup>-1</sup> )	<b>0.8664</b>	0.0981
OD (%)	<b>0.9153</b>	0.0962
DBO (mgL <sup>-1</sup> )	0.0788	<b>0.7895</b>
MPS (mgL <sup>-1</sup> )	0.1510	<b>-0.3463</b>
pH	<b>0.6780</b>	<b>-0.3910</b>
POD (μmol L <sup>-1</sup> )	<b>0.4447</b>	<b>0.3985</b>
NOD (μmol L <sup>-1</sup> )	<b>-0.5279</b>	<b>0.5929</b>
COT (mgL <sup>-1</sup> )	0.1218	<b>0.4165</b>



**Figura 25** – Pesos nos dois primeiros fatores, na análise feita com os parâmetros físicos e químicos da água para o estuário do rio Massangana, nos estágios de baixa-mar e preamar, durante os períodos de estiagem e chuvoso.

## DISCUSSÃO

O crescimento das atividades econômicas está intimamente relacionado aos estuários, pois são locais adequados para a instalação de portos; são férteis e produtores de matéria orgânica; constituem uma via de acesso importante para o interior do continente; grande riqueza de fauna e flora; e suas águas são renovadas periodicamente sob a influência das marés. Além disso, as regiões estuarinas são o receptáculo de substâncias naturais e produtos das atividades antrópicas, os quais podem ocasionar a degradação da qualidade das águas (MIRANDA et al., 2002).

Diante desse contexto, os estuários dos rios Ipojuca e Massangana apresentam uma grande importância ecológica e socioeconômica para o litoral sul de Pernambuco, uma vez que vem se instalando ao longo do tempo, em suas margens, diversas atividades urbanas e industriais, entre essas, o CIPS, além de sua utilização para recreação, navegação, pesca e aquicultura. No entanto, as águas vêm recebendo elevada carga de efluentes domésticos, industriais e agrícolas, adicionando grande quantidade de matéria orgânica e nutrientes ao sistema. Essa excessiva carga orgânica pode causar um acentuado desequilíbrio dos parâmetros hidrológicos, principalmente com o OD, a DBO, o POD, o NOD e o COT.

De acordo com os resultados da ACP, a salinidade, o OD, o percentual de saturação de oxigênio dissolvido, o pH e o POD apresentaram alta correlação. Isso indicou a importância da intrusão das águas marinhas, mais salinas e oxigenadas, que diluem e dispersam os aportes continentais. Diferenças significativas entre os estágios de baixa-mar e preamar para esses parâmetros foram registradas.

A temperatura da água esteve elevada e com pouca variação sazonal e espacial, sendo influenciada pelas condições meteorológicas, com os menores valores registrados nos meses de diminuição da incidência da radiação solar.

Águas mais turvas foram observadas nos pontos mais internos dos estuários, onde os valores da profundidade de desaparecimento do disco de Secchi foram menores e durante o período chuvoso, com elevado carreamento de material em suspensão e efluentes urbanos, decorrentes da drenagem continental provocada pela lixiviação do solo. Os maiores valores de transparência foram observados durante o estágio de preamar, mostrando a influência da maré no processo de transporte das águas marinhas, menos turvas, nas áreas.

A salinidade nos estuários dos rios Ipojuca e Massangana apresentou significativamente uma variação sazonal definida. No período de estiagem, o aumento dos valores foi consequência principalmente do menor aporte fluvial, da diminuição das chuvas e da lâmina d'água. No período chuvoso, a precipitação pluviométrica e o aporte de água doce alteraram o balanço hídrico nas áreas positivamente (precipitação > evaporação).

As variações espaciais da salinidade apresentaram um gradiente negativo nos pontos mais internos dos estuários, devido a uma maior influência fluvial, com variações sazonais decorrentes do ciclo lunar das marés. Quanto ao regime salino variou do limnético ao euhalino para o estuário do rio Ipojuca, e do oligohalino ao euhalino para o estuário do rio Massangana.

A influência das marés foi determinante na disponibilidade dos teores de OD em ambos os estuários. As maiores concentrações foram registradas na preamar e nos locais com maior influência marinha, devido à entrada de águas mais oxigenadas, enquanto que na baixa-mar o consumo de OD, tanto por processos de oxidação como de respiração, superou a produção.

Os baixos valores de OD registrados nos pontos mais internos dos estuários indicaram uma carga elevada de poluição orgânica transportada para as áreas costeiras, que sofrem ao longo dos estuários, processos de sedimentação, remineralização e dispersão. O lançamento de efluentes domésticos *in natura*, industriais e agrícolas não tratados e ricos em matéria orgânica, nutrientes inorgânicos e poluentes orgânicos, ao longo do percurso dos rios, provoca uma maior demanda de oxigênio dissolvido que limitam o desenvolvimento equilibrado dos organismos aquáticos.

No presente estudo, cerca de 30% dos valores registrados para o OD em ambos os estuários, estiveram abaixo do limite mínimo que é de  $4,00 \text{ mgL}^{-1} \text{ O}_2$  ( $2,80 \text{ mL L}^{-1} \text{ O}_2$ ) estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para as águas salobras de Classe 2.

Segundo a classificação de Macêdo e Costa (1978) que utilizaram o percentual de saturação de oxigênio dissolvido como indicador, o estuário do rio Ipojuca variou de ambiente poluído (<25%) a saturado (50-100%) na baixa-mar, e na preamar, de saturado a supersaturado (>100%). Para o estuário do rio Massangana, a variação foi de ambiente semipoluído (25-50%) a saturado na baixa-mar, e na preamar, de saturado a supersaturado.

O fato da matéria orgânica chegar parcialmente degradada nos estuários, assim como ao efeito benéfico de dispersão e diluição provocado pelo fluxo e refluxo das marés, além das raízes dos manguezais que retêm as partículas, diminuindo os efeitos da influência antrópica, reduziu os níveis da DBO que apresentou a maioria dos valores dentro da faixa recomendada pela legislação ambiental. Com isso, ocorre uma maior disponibilidade dos teores de OD nas áreas.

Nos estuários estudados, os valores do pH permaneceram alcalinos, variando significativamente de acordo com o ciclo das marés, maiores na preamar e menores na baixa-mar, o que mostra o efeito do sistema carbonato marinho, mantendo o pH dentro dos limites aceitáveis para a vida marinha, que segundo Perkins (1974), fica entre 6,5 e 9,0. Cabe ressaltar que, os baixos valores do pH coincidiram com a redução dos níveis de OD, que foram registrados nos pontos mais internos dos estuários. Esse fato foi associado à influência fluvial, à produção e degradação da matéria orgânica e ao aumento do MPS.

Os processos de lixiviação do solo ficam mais intensos durante o período chuvoso e em áreas com uso inadequado do solo, o que foi verificado nos estuários pesquisados. Esse material é carregado pelo escoamento superficial, oriundo da erosão dos solos da bacia de drenagem e margens dos rios, efluentes domésticos, além da ressuspensão do sedimento de fundo, principalmente o material de baixa densidade e fino, provocando um aumento da turbidez nas águas. De acordo com Pereira Filho et al. (2003), a elevada turbidez pode limitar a atividade fotossintética no meio aquático, devido à diminuição da penetração da luz na coluna d'água.

No estuário do rio Massangana, foram registradas as maiores concentrações de POD no ponto mais interno do estuário e durante a baixa-mar. Esse aumento deve ser consequência dos efluentes de indústrias (especialmente do setor alimentício) localizadas às margens do riacho Algodoais, onde monitoramentos ambientais (PEDROSA, 2010) têm indicado elevados valores da DBO e aos processos de lixiviação de solos na área adjacente.

Em relação ao NOD, as concentrações no estuário do rio Ipojuca estiveram mais elevadas que as do rio Massangana, indicando a influência dos aportes de esgotos domésticos e indústrias do tipo sucroalcooleiras ao longo do rio e o transporte fluvial para o estuário. No rio Massangana foi observado, como aconteceu para o POD, um aumento de NOD nos pontos mais internos do estuário. Esse fato deve ser também consequência das atividades industriais no local.

A dinâmica da matéria orgânica em ambientes estuarinos é bastante complexa, sendo influenciada por vários fatores, como a descarga fluvial, processos físicos de ressuspensão e mistura devido à forçante da maré, temperatura, uso e ocupação do solo da bacia de drenagem, concentração populacional e industrial, entre outros (O'Higgins e Wilson, 2005). Segundo Bianchi (2007), as variações do COT fornecem informações essenciais sobre a dinâmica espacial e sazonal da matéria orgânica.

Os processos biogeoquímicos de ciclagem da matéria orgânica envolvem a assimilação de nutrientes pelos produtores primários e sua conversão em matéria orgânica (PEREIRA FILHO et al., 2003). O enriquecimento orgânico das águas estuarinas e costeiras, a partir de uma variedade de fontes antrópicas, como os efluentes domésticos e industriais ricos em matéria orgânica, nitrogênio e fósforo, podem levar a uma série de mudanças na estrutura e metabolismo da comunidade aquática (Day et al., 1989).

Abril et al. (2002) realizaram um estudo em nove estuários europeus e concluíram que, as atividades humanas, através do lançamento de efluentes domésticos, contribuíram significativamente para o aumento dos teores de COT nas áreas. Além disso, eles afirmaram que a introdução de tratamentos de esgotos em regiões densamente povoadas, resultou em diminuição das concentrações de COT próximo a níveis considerados naturais. Os teores de COT encontrados por esses autores foram próximos aos registrados para os estuários dos rios Ipojuca e Massangana.

No presente estudo, observou-se uma pequena variação das concentrações do COT entre os pontos de coleta. Essa variação pode ser justificada devido aos processos de circulação e mistura, homogeneizando a quantidade de matéria orgânica que os estuários recebem, seja de origem natural ou antrópica.

Dahm et al. (1981) registraram no rio Columbia (EUA) concentrações de COT também próximas ao presente estudo. Eles atribuíram o aumento dos valores, em função do rápido crescimento populacional, e das atividades agrícolas e industriais presentes na área.

O rio Ipojuca por ser translitorâneo, recebe diferentes tipos de efluentes, com grande carga de matéria orgânica, como verificado pela CPRH (2010) no monitoramento da bacia hidrográfica dos rios pernambucanos. Parte dessa matéria entra no estuário já transformada ou diluída (devido a grande extensão do rio), reduzindo os efeitos antrópicos na área estuarina. Enquanto que o rio Massangana recebe efluentes oriundos principalmente das atividades industriais do setor alimentício do CIPS e, por ser litorâneo, apresenta como principal fator de transformação da matéria orgânica, o processo de diluição pelas águas marinhas, resultando em concentrações de COT mais elevadas em relação ao estuário do rio Ipojuca.

No estuário do rio Ipojuca, diferenças significativas dos teores de COT foram registradas entre os períodos sazonais, com maiores concentrações no período de estiagem, coincidindo com o período da safra da cana-de-açúcar, cujos resíduos líquidos são extremamente ricos em matéria orgânica e nutrientes.

De acordo com os resultados obtidos, cerca de 70% das concentrações de COT em ambos os estuários, estiveram superiores a  $5,00 \text{ mgL}^{-1}$  que é o limite máximo permitido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas salobras de Classe 2.

Os ecossistemas aquáticos, em especial os estuários, possuem a capacidade de diluição e purificação naturais. Quando uma carga poluidora é lançada nesses ambientes, eles sofrem um processo natural de estabilização, realizado através de fenômenos físicos, químicos e biológicos denominado de autodepuração que é fundamental para a assimilação da poluição por parte de um rio. A quantidade lançada pode até ser considerada aceitável, dependendo da capacidade de autodepuração e se a carga poluidora apresentar baixo potencial de toxicidade (BRANCO, 1986).

O aumento dos teores de COT nos dois estuários pode ser explicado em função dos mesmos terem ultrapassado seu suporte de carga, em virtude da elevada quantidade de resíduos ricos em matéria orgânica, relacionados com o lançamento de efluentes domésticos, industriais e agrícolas, caracterizando uma poluição orgânica nas áreas.

Pettine et al. (1998) observaram no rio Po (Itália) que os teores de carbono orgânico total não foram alterados significativamente pelas atividades antrópicas, devido a capacidade de autodepuração do rio.

Através do presente estudo foi observado que as principais fontes de poluição no estuário do rio Ipojuca são os efluentes industriais (sucroalcooleiras, produtos alimentares, etc.), os aportes domésticos não tratados (provenientes dos grandes centros urbanos), os resíduos sólidos lançados a céu aberto (lixo urbano), além das atividades agrícolas (monocultura da cana-de-açúcar). No estuário do rio Massangana as principais fontes de poluição são as atividades industriais (Polo de Alimentos, indústrias de cerâmicas, etc.) e agrícolas (monocultura da cana-de-açúcar).

Os resultados obtidos indicaram ecossistemas estuarinos impactados, apresentando valores baixos de OD e um aumento das concentrações de POD e NOD, bem como de COT.

Os aportes de matéria orgânica registrados de forma contínua nos estuários dos rios Ipojuca e Massangana, vêm causando impactos ambientais em ambos os ecossistemas, e o grau de degradação dependerá da hidrodinâmica e da capacidade de autodepuração de cada estuário. Tais impactos virão afetar a produção primária e conseqüentemente a secundária, podendo causar o desaparecimento de espécies de animais e vegetais, de importância ecológica e comercial.

### AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Petrobras S.A. pelo financiamento do trabalho e à Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) pelo suporte técnico.

### REFERÊNCIAS

AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS – CPRH. **Diagnóstico sócioambiental e ZEEC – Zoneamento Ecológico Econômico Costeiro – Litoral sul de Pernambuco**. Recife, PE: CPRH, 156 p. 2001.

\_\_\_\_\_. **Relatório de monitoramento da qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Ipojuca e reservatório de Tapacurá em 2004**. Recife, PE: CPRH, 33 p. 2005.

\_\_\_\_\_. **Relatório de monitoramento da qualidade da água de bacias hidrográficas do estado de Pernambuco em 2009**. Recife, PE: CPRH, 96 p. 2010.

ABRIL, G.; NOGUEIRA, M.; ETCHEBER, H.; CABEÇADAS, G.; LEMAIRE, E.; BROGUEIRA, M. J. Behaviour of organic carbon in nine contrasting european estuaries. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 54, p. 241-262, 2002.

ACCARDI-DEY, A.; GSCHWEND, P. M. Assessing the combined roles of natural organic matter and black carbon as sorbents in sediments. **Environmental Science and Technology**, v. 36, p. 21-29, 2002.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19. ed. Washington, USA: Ed. APHA. 1995.

ARZAYUS, K. M.; DICKHUT, R. M.; CANUEL, E. A. Fate of atmospherically deposited polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Chesapeake Bay. **Environmental Science and Technology**, v. 35, p. 2178-2183, 2001.

BAUMGARTEN, M. G. Z.; NIENCHESKI, L. F. H.; ROCHA, J. M. B. **Manual de análises em oceanografia química**. Rio Grande: Ed. da FURG, 115 p. 1996.

\_\_\_\_\_; AZNAR, C. E.; ROCHA, J. M.; ALMEIDA, M. T.; KINAS, P. G. Contaminação química das águas receptoras do principal efluente doméstico da cidade do Rio Grande (RS). **Atlântica**, v. 20, p. 35-54, 1998.

\_\_\_\_\_; WALLNER-KERSANACH, M.; NIENCHESKI, L. F. H. **Manual de análises em oceanografia química**. 2. ed. Rio Grande: Ed. da FURG, 172 p. 2010.

BIANCHI, T. S. **Biogeochemistry of estuaries**. New York: Oxford University Press, 721 p. 2007.

BRANCO, S. M. **Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária**. 3. ed. São Paulo: CETESB/ASCETESB, 640 p. 1986.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Brasília. 2005.

CAUWET, G.; SIDOROV, I. The biogeochemistry of Lena River: organic carbon and nutrients distribution. **Marine Chemistry**, v. 53, p. 211-227, 1996.

CHEN, L. G.; RAN, Y.; XING, B. S.; MAI, B. X.; HE, J. H.; WEI, X. G.; FU, J. M.; SHENG, G. Y. Contents and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons and organochlorine pesticides in vegetable soils of Guangzhou, China. **Chemosphere**, v. 60, p. 879-890, 2005.

- CHEN, S. J.; LUO, X. J.; MAI, B. X.; FU, J. M.; SHENG, G. Y.; ZENG, E. Y. Distribution and mass inventories of polycyclic aromatic hydrocarbons and organochlorine pesticides in sediments of the Pearl River Estuary and the northern South China Sea. **Environmental Science and Technology**, v. 40, p. 709-714, 2006.
- CHESTER, R. **Marine geochemistry**. 2. ed. Malden, MA: Blackwell Science, 506 p. 2000.
- DAHM, C. N.; GREGORY, S. V.; PARK, P. K. Organic carbon transport in the Columbia River, **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 13, p. 645-658, 1981.
- DAY, J. W.; HALL, C. A. S.; KEMP, W. M.; YÁÑES-ARANCIBIA, A. **Estuarine Ecology**. New York: John Wiley & Sons, 558 p. 1989.
- GRASSHOFF, F. K.; EMRHARDT, M.; KREMLING, K. **Methods of seawater analysis**. 2. ed. New York: Velag Chemie, 419 p. 1983.
- HINGA, K. R. Degradation rates of low molecular weight PAH correlate with sediment TOC in marine subtidal sediments. **Marine Pollution Bulletin**, v. 46, p. 466-474, 2003.
- KENNISH, M. J. **Practical handbook of estuarine and marine pollution**. New York: CRC Press, 524 p. 1997.
- MACÊDO, S. J.; COSTA, K. M. P. Estudos ecológicos da região de Itamaracá, Pernambuco, Brasil. Condições hidrológicas do estuário do rio Botafogo. **Ciência e Cultura**, vol. 30, n. 7, p. 346-368, 1978.
- MANAHAN, S. E. **Environmental Chemistry**. 7<sup>o</sup>. ed. Boca Raton: Lewis Publishers, 898 p. 2000.
- MILLERO, F. J. **Chemical oceanography**. 3<sup>o</sup>. ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 469 p. 2006.
- MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. **Princípios de oceanografia física de estuários**. São Paulo: EDUSP, 417 p. 2002.
- NEUMANN-LEITÃO, S. **Impactos antrópicos na comunidade zooplanctônica estuarina. Porto de Suape – PE – Brasil**. 273 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 1994.
- NI, H. G.; LU, F. H.; LUO, X. L.; TIAN, Y. H.; ZENG, E. Y. Riverine inputs of total organic carbon and suspended particulate matter from the Pearl River Delta to the coastal ocean off South China. **Marine Pollution Bulletin**, v. 56, p. 1150-1157, 2008.
- O'HIGGINS, T. G.; WILSON, J. G. Impact of the river Liffey discharge on nutrient and chlorophyll concentrations in the Liffey estuary and Dublin Bay (Irish sea). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 64, p. 323-334, 2005.
- PAULO, J. G.; FLORES MONTES, M. J.; SANTOS JÚNIOR, A. C.; BATISTA, T. N. F.; TRAVASSOS, R. K.; NASCIMENTO FILHO, G. A.; FEITOSA, F. A. N.; GASPAR, F. L.; PITANGA, M. E. Allochthonous and autochthonous organic matter in an urban tropical estuarine area of northeastern Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 64, p. 1798-1801, 2011.
- PEDROSA, D. C. D. **Proposição de um modelo de gestão ambiental para a microbacia do Algodóis, Cabo de Santos Agostinho – PE**. 77 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental). Instituto de Tecnologia de Pernambuco, Recife, PE, 2010.
- PEREIRA FILHO, J.; SPILLERE, L. C.; SCHETTINI, C. A. F. Dinâmica de nutrientes na região portuária do estuário do rio Itajaí-Açu, SC. **Atlântica**, v. 25, n. 1, p. 11-20, 2003.
- PERKINS, E. J. **The biology of estuaries and coastal waters**. London: Academic Press, 678 p. 1974.
- PETTINE, M.; PATROLECCO, L.; CAMUSSO, M.; CRESCENZIO, S. Transport of carbon and nitrogen to the northern Adriatic sea by the Po River. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 46, p. 127-142, 1998.

SCHETTINI, C. A. F.; PEREIRA FILHO, J.; SPILLERE, L. Caracterização oceanográfica e biogeoquímica dos estuários dos rios Tavares e Defuntos, Reserva Extrativista de Pirajubaé, Florianópolis, SC. **Notas Técnicas FACIMAR**, v. 4, p. 11-28, 2000.

STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS, T. R. **A practical handbook of seawater analysis**. 2. ed. Ottawa: Fisheries Research Board of Canada, Bulletin 167, 311 p. 1972.

UNESCO. **International Oceanographic Table**. Wormley: National Institute of Oceanography of Great Britain, v. 2, 141 p. 1973.

WESTERHOFF, P.; ANNING, D. Concentrations and characteristics of organic carbon in surface water in Arizona: influence of urbanization. **Journal of Hydrology**, v. 236, p. 202-222, 2000.

WOLLAST, R. The coastal organic carbon cycle: fluxes, sources and sinks. In: MANTOURA, R. F. C.; MARTIN, J. M.; WOLLAST, R. (Eds.). **Ocean margin processes in global change**. New York: Wiley, 469 p. 1991.