



**PROJETO DE GERENCIAMENTO INTEGRADO DAS
ATIVIDADES DESENVOLVIDAS EM TERRA
NA BACIA DO SÃO FRANCISCO
ANA/GEF/PNUMA/OEA**

**Subprojeto 1.1.B – Determinação da Carga de Nutrientes do Rio São
Francisco na Região de sua Foz**



Resumo Executivo do Relatório Final

**DETERMINAÇÃO DA CARGA DE NUTRIENTES DO RIO
SÃO FRANCISCO NA REGIÃO DE SUA FOZ**



Universidade Federal de Alagoas

Maceió – AL

**PROJETO DE GERENCIAMENTO INTEGRADO
DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS EM TERRA
NA BACIA DO SÃO FRANCISCO
ANA/GEF/PNUMA/OEA**

**Subprojeto 1.1.B - Determinação da Carga de Nutrientes do Rio São
Francisco na Região de sua Foz**

Resumo Executivo do Relatório Final

**DETERMINAÇÃO DA CARGA DE NUTRIENTES DO RIO
SÃO FRANCISCO NA REGIÃO DE SUA FOZ**

Coordenador Técnico

Paulo Ricardo Petter Medeiros
Departamento de Geografia e Meio Ambiente
Universidade Federal de Alagoas

Consultores participantes

Bastiaan Knoppers - UFF
Geórgenes Hilário Cavalcante Segundo - UFAL
João Antônio Lorenzetti - INPE
Rivaldo Couto dos Santos Júnior - Instituto Xingó
Silvana Quintella Cavalvalcanti Calheiros - UFAL

Abril de 2003

DETERMINAÇÃO DA CARGA DE NUTRIENTES DO RIO SÃO FRANCISCO NA REGIÃO DE SUA FOZ

RESUMO EXECUTIVO

INTRODUÇÃO

O Subprojeto 1.1.B - Determinação da Carga de Nutrientes do rio São Francisco na Região de sua Foz é parte integrante da Componente I - Análise Ambiental da Bacia e de sua Zona Costeira, que compreende a identificação e quantificação do grau em que as atividades terrestres e a regularização do Rio São Francisco influenciam a hidrologia, a qualidade da água (especialmente o transporte de sedimentos e nutrientes), a pesca e a ecologia aquática em todo o sistema e, sobretudo, na zona costeira nas proximidades do estuário, do Projeto Gerenciamento Integrado das Atividades Desenvolvidas em Terra na Bacia do São Francisco (ANA/GEF/PNUMA/OEA) que objetiva promover o desenvolvimento sustentável da Bacia do Rio São Francisco e de sua zona costeira, com base na implantação do Programa Gerenciamento Integrado - PGI.

A bacia hidrográfica do rio São Francisco está localizada entre as latitudes de 7° S e 21° S, e as longitudes de 35° W e 47° W. A Bacia do São Francisco tem uma área de 634.000 km², que representa 7,5 % do território nacional, cerca de 83 % da área da bacia encontra-se nos estados de Minas Gerais e Bahia, 16 % nos Estados de Pernambuco, Alagoas e Sergipe, e o restante 1% nos Estados de Goiás e Distrito Federal.

O rio São Francisco tem uma extensão de 2.700 km, tendo suas nascentes na Serra da Canastra (MG). Atravessa a longa depressão encravada entre o Planalto Atlântico e as chapadas do Brasil Central, segue a orientação sul-norte até aproximadamente a cidade de Barra, dirigindo-se então para nordeste, até atingir a cidade de Cabrobó, quando inflete para sudeste, desembocando no Oceano Atlântico.

A região do rio São Francisco aonde se concentrou os estudos do subprojeto 1.1.B. Determinação da carga de nutrientes do rio São Francisco na região de sua Foz, foi entre as cidades de Propriá (SE) e Porto Real do Colégio (AL), onde se localiza a ponte rodoferroviária até sua foz no Oceano Atlântico (Figura 1). Na ponte foram medidas as concentrações de nutrientes e outros parâmetros químicos e físicos da água, com o objetivo de calcular a carga de nutrientes. Realizaram-se também medições na região estuarina e costeira adjacente do rio São Francisco.

O objetivo geral do subprojeto 1.1.B. é caracterizar a atual carga de nutrientes do rio São Francisco, bem como a sua variação sazonal. Entre os objetivos específicos estão:

- Identificar a importância do rio São Francisco para o enriquecimento de nutrientes do ambiente costeiro adjacente.
- Modelar o comportamento das vazões do rio e seus efeitos sobre o transporte de nutrientes nas condições atuais e futuras.

Este Relatório está dividido em seis capítulos que tratam desde a caracterização da área estudada, interferências das barragens, comportamento das vazões, até a importância do rio para o enriquecimento de nutrientes da região costeira.



Figura 1. Localização da Área (Fonte: Subprojeto 1.3 - Instituto Xingó)

1. CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DA FOZ

1.1. O ambiente limnício de Propriá-SE e Porto Real do Colégio-AL até a Foz do São Francisco

1.1.1. Hidrologia e clima – vazões e precipitações disponíveis

Na região da foz do rio São Francisco de acordo com em estudos realizados com base em dados obtidos no período compreendido entre 1944-1988 a variabilidade das precipitações pluviais, obedecem, uma média anual de 1200 mm para o período (Souza e Lima, 2000). O estudo mostra que existe uma grande irregularidade das chuvas anuais em relação à média dos anos observados. O ano de 1964 destacou-se como o mais chuvoso, 2339,8 mm, e o ano de 1973 como o menos chuvoso, 481,7 mm.

Conforme a classificação de köppen, o clima da região onde se localiza o complexo dunar da foz do rio São Francisco é tropical quente e úmido, com estação seca de primavera-verão com chuvas e eventuais trovoadas de Norte, e Noroeste, e às vezes de nordeste; estação chuvosa de outono-inverno, com chuvas de março vindas de norte, e chuvas do principal período, vindas de sudeste, de abril-maio até junho-julho, com interrupções; temperaturas de 17 a 28° C (Souza e Lima, 2000).

Observa-se na Figura 2, onde mostra a variação da média mensal da vazão na cidade de Pão de Açúcar (09° 45' 05'', 37° 26' 26'' e 45 m), durante o período de janeiro de 1943 a

fevereiro de 2002, observa-se à existência de períodos com vazões elevadas seguidas de redução no fluxo.

Gradativamente, é verificada a queda na amplitude entre os picos de vazão máxima e mínima. No ano de 1948, a vazão mínima foi de 1395 m³/s, observada no final do ano, sendo posteriormente elevada para 12967 m³/s no início de 1949; ao passo que, já em 1994, a vazão mínima registrada foi de 2029 m³/s e a máxima de 3009 m³/s, mostrando que a amplitude entre o máximo e o mínimo caiu drasticamente, devido à regularização das vazões pelas barragens construídas (Figura 2).

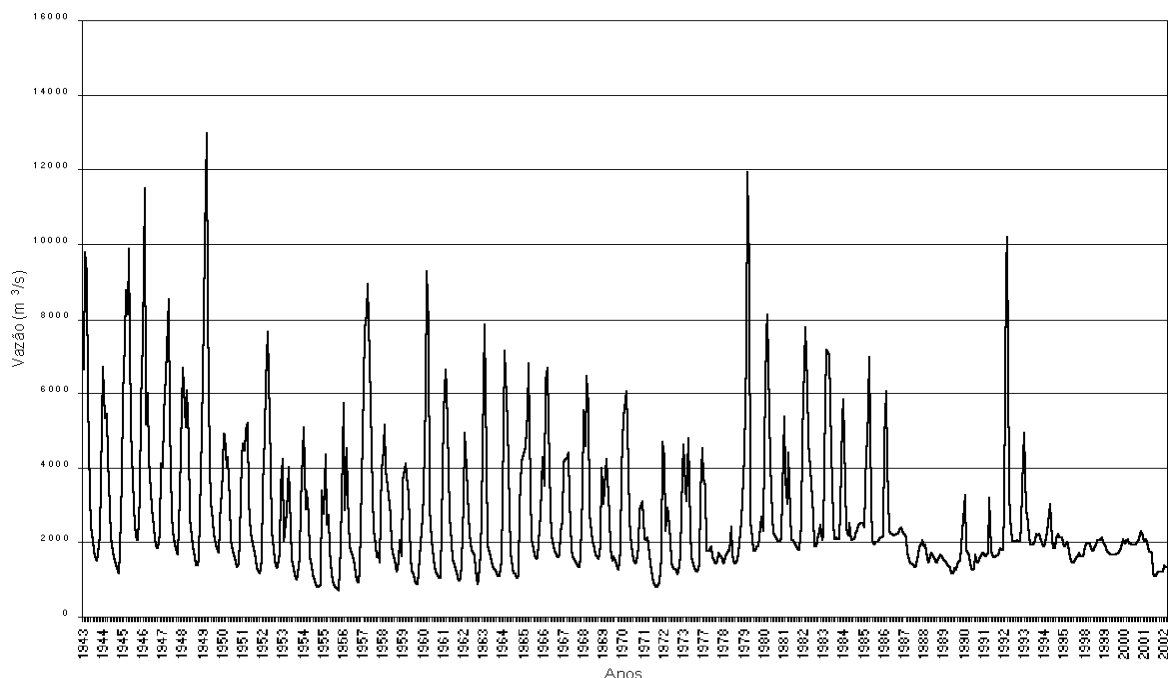


Figura 2. Variação da vazão média mensal na cidade de Pão de Açúcar, no período de janeiro 1943 a fevereiro 2002.

Grandes cheias como as de 1949, 1979 e 1992 provavelmente não serão mais registradas na região do Baixo São Francisco, devido à nova política do Operador Nacional do Sistema (ONS) que durante a época de grandes precipitações haverá um acúmulo nos reservatórios, para que seja garantida uma vazão constante durante o período de baixas precipitações na Bacia do São Francisco.

1.1.2. Uso do solo e demografia

A grande maioria da área está sendo utilizada para agricultura e pecuária separadamente ou associadas. A agricultura se torna claramente predominante nas porções mais próximas à foz do rio São Francisco, onde o regime de chuvas permite a implantação de culturas de ciclo mais longo, como a da cana-de-açúcar.

Usos Diversificados e Áreas Formadas, que representam áreas antropizadas perfazem juntas cerca de 48% de toda a área. Entre as coberturas naturais, a Caatinga Densa é a predominante, ocupando 13% de toda a área e, se a isto adicionar-se o percentual da Caatinga Densa Degradada, chega-se a mais de 22%. A Agricultura e Pastagem também apresentam importantes percentuais, apesar da primeira predominar apenas nas áreas mais próximas ao litoral.

1.1.3. Geologia, Solos e Geomorfologia

Na geologia da região do Baixo São Francisco, destaca-se a planície costeira com altitude inferior a 100 m e tabuleiros do Grupo Barreiras com altitude entre 200 e 100 m. A vegetação é de dois tipos: caatinga no trecho mais alto, e mata, na região costeira. As principais cidades são: Jeremoabo, na Bahia; Pesqueira e Bom Conselho, em Pernambuco; Propriá e Nossa Senhora da Glória, em Sergipe; e Arapiraca e Penedo, em Alagoas. A bacia do rio São Francisco inclui cerca de 14.631 km² de território alagoano, cerca de 53% da área total (27.793 km²) do Estado.

A parte sedimentar é formada essencialmente pelo Terciário (formação de Barreiras), o Quaternário (aluviões e dunas), e um pouco pelo Cretáceo. A formação Barreiras forma a maior parte dos sedimentos da parte sul da região. Ela se constitui de tabuleiros que geralmente são trabalhados pela erosão. Constituída de arenitos na base, de sedimentos argilo-arenosos, às vezes arenosos ou seixosos, esta formação é muito espessa no sul e diminui progressivamente no norte.

O limite sul, em contato com o Quaternário, forma uma barreira bem visível na paisagem. O limite norte, em contato com o cretáceo ou o embasamento cristalino, é menos nítido, especialmente na região de Arapiraca onde os tabuleiros da formação Barreiras e as colinas do embasamento cristalino são igualmente suave ondulado. Nas áreas dissecadas pelos vales, perto do limite norte, os afloramentos do cristalino são mais numerosos.

Os latossolos e os solos podzólicos vermelho amarelo formam a maior parte dos solos encontrados sobre esta formação. O Quaternário forma as aluviões do rio São Francisco e dos rios Perucaba e Piauí. Forma igualmente os depósitos arenosos, suave ondulado ou ondulado de origem marinha (dunas antigas fixadas e recentes) ou plano de origem fluvio-marinha, encontrados próximo ao mar, ou seja, no baixo curso dos rios Poxim, Neópolis, Penedo e Marituba.

Os principais solos encontrados sobre essas formações são os diversos solos aluviais, as areias quartzosas e os podzóis. O Cretáceo forma duas pequenas bacias; a primeira situa-se ao redor de Japoatã (limitada aproximadamente pelas cidades de Ladeira, Gravatá, Espinheiro, Visgueiro, malhada dos Bois, Própria, São Miguel, Pindoba); a segunda situa-se ao sul de Igreja Nova até o Tabuleiro, formada por uma depressão alongada. Os depósitos são de natureza variável (arenitos, argilas, argilas arenosas etc) e pertencem ao cretáceo inferior.

Na geomorfologia da região estudada, as serras dominantes nos arredores de Santana do Ipanema possuem elevações proeminentes, atingindo cerca de 800 m de altitude e desníveis da ordem de 400 m. No conjunto forma um maciço composto por migmatitos homogêneos e rochas granitóides. Entre Girau do Ponciano e Traipú, cristas de quartzitos destacam-se na topografia, atingindo desníveis de 200 metros.

As planícies cristalinas têm maior extensão na parte noroeste da área, estando presentes tipicamente nos arredores de Delmiro Gouveia. Apresentam um relevo ondulado muito uniforme, constituído por colinas de encostas suaves e vales largos, com cotas variando em torno de 200 metros.

Os tabuleiros, constituídos por sedimentos do Grupo Barreiras, ocorrem desde Penedo até as proximidades de Arapiraca, sendo caracterizados por elevações de topos planos e bordos escarpados, mergulhando suavemente no sentido do litoral e dos principais rios.

A planície fluvio-marinha e aluvial ocorre ao longo do rio São Francisco, desde Penedo até o litoral. Constitui uma paisagem monótona, de superfície planas, praticamente sem desníveis acentuados, formados pr sedimentos recentes, aluvionares, eólicos e praias.

1.2. A região estuarina e oceânica adjacente

1.2.1. Compartimento estuarino

Estuários são formados na embocadura de rios, na região limite entre o oceano e a terra. Sua forma e extensão são constantemente alteradas, pela erosão e deposição de sedimentos, pelos drásticos efeitos causados pôr pequenas subidas ou descidas do nível do mar (Dyer, 1997). Os ecossistemas estuarinos são definidos de diversas formas.

A definição mais comumente usada e adaptada é de Cameron & Pritchard (1963), definido “estuário é um corpo de água costeiro semi-fechado que apresenta uma livre conexão com o oceano aberto, no qual ocorre diluição da água marinha, pela água doce originada da drenagem continental”.

Na foto 1 pode-se visualizar o estuário do Rio São Francisco (Foto tirada no estuário em direção a foz).



Foto 1. Vista do compartimento estuarino na foz do rio São Francisco.

1.2.2. Compartimento costeiro adjacente

A largura da plataforma continental na região adjacente a foz do rio São Francisco varia de 20 a 40 km, com gradientes variando de 1:7000 a 1:100. A margem da plataforma continental é

localizada entre 30 e 50 m de profundidade. A sedimentação para o nordeste é essencialmente de carbonatos, com dominância de fragmentos de algas calcáreas (*Halimeda* sp.).

A zona costeira (Foto 2) se caracteriza pôr mesomarés (a Maré de Sizígia atinge 2,6 m). O estuário do rio São Francisco apresenta marés do tipo semi-diurna, ou seja duas préa-mar e duas baixa mar a cada 24 horas.

O regime de ondas é de alta energia, com periodicidade e alturas de 1 a 1,5 m (Dominguez, 1996). O padrão de ondas é condicionado pelos ventos, os quais dependem da movimentação de centros de alta pressão.



Foto 2. Vista do compartimento costeira na foz do rio São Francisco.

No nordeste do Brasil, ondas de NE e E-SE predominam ao longo do ano, com ondas de E mais importantes de janeiro para maio e setembro para novembro. Nos meses de inverno também ocorrem ondas do quadrante sul.

A corrente do Brasil e a corrente norte do Brasil são as principais correntes superficiais da Margem Continental Brasileira (Stramma, 1991 apud. Dominguez, 2000). São originadas da corrente sul equatorial a latitudes de 5° a 6° S, fluindo na direção sul com velocidade de 50 a 70 cm/s.

2. INTERFERÊNCIAS DAS BARRAGENS NA REGIÃO COSTEIRA, ESTUÁRIO E RIO

2.1. Tipos de interferências

Os rios transportam materiais resultantes da erosão continental em direção aos estuários e oceanos. Segundo Vörösmarty et al. (1997), o transporte de sedimentos dos continentes para os oceanos, é uma característica fundamental da geologia e biogeoquímica de nosso planeta,

embora as tentativas de estimar a magnitude deste transporte global, ainda sejam matéria de debate.

Além de sedimentos, os rios transportam importantes elementos biogênicos como nitrogênio, fósforo e silicato, tanto na forma orgânica, quanto na inorgânica. Em condições naturais os rios são importantes fontes desses elementos para o oceano.

A discussão sobre o impacto de barragens é de preocupação internacional (Loicz, 1994; Vorosmarty et al., 1994; Hay, 1998; WCD, 2000), e nacional (Tundisi et al., 1998). Estas promovem alterações físicas, químicas e biológicas na água e no sedimento armazenados. Influenciando desta forma, processos biogeoquímicos nos rios, estuários e ecossistemas costeiros, de diversas maneiras, como o metabolismo de estuários e padrões de migração de espécies. Outro efeito associado à construção de represas é a modificação significativa do regime natural da descarga dos rios.

Dentre os impactos associados à instalação de barragens destacam-se: os rios Nilo, Ganges e Danúbio, com grande perda de recursos pesqueiros, decréscimo da produtividade primária, redução da carga de nutrientes, desestabilização/erosão da linha de costa e intrusão de água marinha nos seus deltas (Degens & Spitzky, 1983; Halim 1991; Sinha et al. 1996; Humborg et al. 1997).

No Delta do Volga e Mar Cáspio redução da produtividade primária, incremento da salinidade e declínio da captura de peixes.

No rio Don e Mar de Azov, incremento da salinidade e declínio da captura de espécies nativas (Rosemberg et al. 1997).

2.2. Barragens no rio São Francisco e suas implicações (vazões, material em suspensão, características químicas)



Figura 3. Localização das barragens do rio São Francisco.

Os reservatórios em cascata construídos no rio São Francisco (Figura 3) provocaram notáveis modificações nas condições originais do rio, tais como na sua vazão, concentração de material em suspensão. No Brasil, estudos enfatizaram os impactos ocasionados no continente, principalmente, no que tange os reservatórios das barragens (Tundisi et alli., 1998).

As perturbações criadas ou sendo criadas pelo impacto de barragens na Zona Costeira foram altamente negligenciadas, tanto a nível científico, sócio-econômico e político. Costa e Neves (1992) estudaram a variação interanual da descarga de água e matéria em suspensão no Rio Paraíba do Sul (RJ), que possui inúmeras barragens. No ano 2000, foi iniciado o Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades Desenvolvidas em Terra na Bacia do São Francisco (ANA/GEF/PNUMA/OEA). Representa o primeiro projeto integrado que inclui o impacto de barragens na Zona Costeira do Brasil.

O rio São Francisco apresenta um número significativo de hidroelétricas associadas à represas (Quadro 1) construídas ao longo de sua bacia. Estas incluem Três Marias no curso superior do Rio,

Quadro 1. Hidroelétricas localizadas ao longo do rio São Francisco.

Hidroelétricas	Ano de Funcionamento	Capacidade de Armazenamento de água (km ³)	Localização na bacia
Três Marias	1962	19,00	Alto curso
Sobradinho	1980	34,00	Médio curso
Itaparica	1988	10,80	Médio curso
Moxotó (Apolônio Sales)	1977	1,20	Médio curso
Complexo de Paulo Afonso (I II III e IV)	1954-1979	0,15	Médio curso
Xingó	1994	3,80	Baixo curso

Sobradinho, Itaparica, Moxotó (Apolônio Sales), o complexo de Paulo Afonso (I, II, III e IV, 1954-77) e Xingó (1994), localizada no baixo curso do rio, próximo a cidade de Piranhas (boletim CHESF). O impacto destas usinas sobre o aporte fluvial de água e matéria à costa ainda não foi estabelecido, mas os dados a seguir apontam algumas tendências.

3. TRABALHOS REALIZADOS DE AMOSTRAGEM E MEDIÇÕES

3.1. Considerações sobre a frequência de amostragem

As medições dos parâmetros físicos, químicos e biológicos e as coletas de amostras de água foram feitas mensalmente na ponte rodoviária entre os municípios de Própria/SE e Porto Real do Colégio/AL (Foto 3), a partir de novembro de 2000 até março de 2002 com objetivo de determinar a carga de nutrientes.



Foto 3. Ponte rodoviária em entre Própria (SE) e Porto Real do Colégio (AL).

Na região estuarina e oceânica adjacente à foz do rio São Francisco, estas medições e coletas feitas durante as estações de inverno (junho-setembro) e verão (dezembro-março), com realização de duas coletas adicionais.

3.2. Metodologia de coleta e parâmetros medidos “in situ”

As amostras de água para a análise foram coletadas utilizando-se o barco tipo Traineira Vespúcio (Foto 4), no próprio rio, assim como na sua região estuarina e costeira adjacente.



Foto 4. Barco utilizado para as coletas no rio e oceano.

Parâmetros medidos no local de coleta

As amostras coletadas foram posteriormente analisadas no Laboratório de Hidroquímica do Laboratório Integrado de Ciências do Mar e Naturais da Universidade Federal de Alagoas. Os seguintes parâmetros foram medidos “in situ”:

Temperatura	com a utilização de condutivímetro WTW LF 193.
Salinidade	com a utilização de condutivímetro WTW LF 193 e sonda multiparamétrica YSI 6600
Condutividade elétrica	com a utilização de condutivímetro WTW LF 193 e sonda multiparamétrica YSI 6600
pH	com a utilização de pHmêtro WTW LF 193 e sonda multiparamétrica YSI 6600
Transparência da água	com utilização de disco de Secchi
Coordenadas geográficas	todos pontos de coletadas foram georreferenciados, com a utilização de GPS Garmin modelo 75

3.3. Procedimentos de conservação e preservação das amostras de água coletada

As amostras de água coletadas para a análise de oxigênio dissolvido foram feitas em frascos de DBO, sendo fixadas no local segundo Strickland & Parsons (1972). Já as amostras de água coletadas para as análises de nutrientes, material em suspensão foram refrigeradas, após serem coletadas e durante o transporte, até o Laboratório de Hidroquímica do LABMAR/UFAL.

3.4. Parâmetros químicos medidos em laboratório e metodologia analítica utilizada

Os parâmetros medidos foram:

- Amônia
- Nitrito
- Nitrato
- Fosfato
- Fósforo total
- Silicato
- Clorofila “a”
- Material em suspensão
- Oxigênio dissolvido

Com exceção de material em suspensão (pesagem) e oxigênio dissolvido (titulação), os demais parâmetros foram medidos com auxílio de **espectrofotômetro UVI**, marca JENWAY, modelo 6100 (Foto 5).



Foto 5. Espectrofotômetro UVI.

3.5. Condutividade elétrica

A condutividade elétrica serve para indicar a capacidade da água conduzir a corrente elétrica. A concentração de eletrólitos determina a capacidade da água em conduzir uma corrente elétrica através de íons dissociados (Schäfer, 1985). Logo, com o aumento do conteúdo de eletrólitos diminui a resistência de uma solução aquática ao fluxo de elétrons, aumentando, desta maneira, sua condutividade elétrica.

3.6. Transparência

Do ponto de vista ótico a transparência da água pode ser considerada o oposto da turbidez, sendo esta definida como a capacidade da água em dispersar a radiação (Esteves, 1998). A avaliação da transparência é feita de maneira mais simples através de um disco branco de 20 a 30 cm de diâmetro, denominado disco de Secchi.

3.7. pH

O pH serve para determinar a concentração de íons hidrogênio. Este representa o logaritmo negativo, na base 10, da concentração de íons hidrogênio. Em águas naturais o pH tem valores, normalmente encontrados, entre 6 e 9.

3.8. Nitrogênio

O nitrogênio é um dos elementos mais importantes no metabolismo de ecossistemas aquáticos. Esta sua importância deve-se principalmente, à sua participação na formação das proteínas, um dos componentes básicos da biomassa. Quando presente em baixas concentrações, pode atuar como fator limitante na produção primária de ecossistemas aquáticos (Esteves, 1998).

3.9. Amônia (NH₃) e sua forma dissociada (NH₄⁺)

Geralmente apresenta-se dissociada, na dependência do pH, sob a forma iônica (NH₄⁺). A amônia (NH₃), juntamente com a sua forma dissociada (NH₄⁺), representa a primeira fase de oxidação da matéria orgânica nitrogenada. É também, a forma de assimilação de nitrogênio, preferida pelo fitoplâncton, em razão de não haver necessidade de sua redução, como ocorre no caso do nitrato.

3.10. Nitrito (NO₂⁻)

O nitrito possui importante papel, como passo intermediário na oxidação da amônia a nitrato. Já dentro do balanço geral dos nitrogenados dissolvidos, em função de sua instabilidade química, geralmente são encontrados em baixas concentrações, notadamente em ambientes oxigenados.

3.11. Nitrato (NO₃⁻)

O nitrato representa o último estágio da oxidação do nitrogênio, sendo também a sua forma de maior estabilidade química, sendo considerado o único estágio de oxidação estável termodinamicamente do nitrogênio na presença de oxigênio (Grasshoff, 1983), sua concentração depende da disponibilidade de oxigênio dissolvido, uma vez que os microorganismos que oxidam nitrito a nitrato são aeróbicos. Os nitratos juntamente com a amônia, são utilizados como nutrientes pelo fitoplâncton. Em alguns ecossistemas aquáticos o nitrato pode ser o fator limitante.

3.12. Fósforo (P)

Segundo Esteves (1998) há muito tempo é conhecida a importância do fósforo nos sistemas biológicos. Essa importância deve-se a participação deste elemento em processos fundamentais do metabolismo dos seres vivos tais como: armazenamento de energia e estruturação da membrana celular.

3.13. P-ortofosfato (PO₄⁻³)

Representa a principal forma de fosfato assimilada pelo fitoplâncton, sendo, portanto sua medição importante em estudos limnológicos. Podendo o íon ortofosfato (PO₄⁻³) estar

presente sob H_3PO_4 , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} ou na forma iônica propriamente dita (PO_4^{3-}). A presença e predominância das espécies químicas do íon fosfato anteriormente citadas, são uma função do pH do meio aquático.

3.14. Fósforo total (P-Total)

O fósforo total, como o próprio nome sugere, é o somatório de todas as formas de fósforo encontrados no meio aquático. Desta forma o fósforo total corresponde ao:

- Fósforo inorgânico particulado (mineral e adsorvidos a agregados inorgânicos)
- Orgânico particulado (adsorvidos a agregados orgânicos e os da composição de organismos)
- Fósforo total dissolvido (ortofostato, colóides orgânicos e polifosfatos).

3.15. Silicato dissolvido (SiO_4^{4-})

Segundo Esteves (1998) a sílica (SiO_2), presente no ambiente aquático é proveniente, principalmente da decomposição de minerais de silicato de alumínio (ex. feldspato), que são mais freqüentes em rochas sedimentares do que magmáticas. Na água a sílica pode estar sob três formas principais:

- Solúvel na forma de íon SiO_4^{4-}
- Sílica coloidal
- Sílica particulada, incorporada principalmente ao fitoplâncton (sílica biogênica ou SiO_2) ou aos detritos orgânicos, sob a forma de quartzo e minerais de silicatos em suspensão, e ainda, adsorvida a compostos orgânicos e inorgânicos.

3.16. Clorofila “a”

Clorofila é um pigmento verde encontrado na maioria das plantas coloridas, ela dá suporte ao processo de fotossíntese. Clorofila é encontrada no citoplasma de algas verde-azuladas, e no cloroplasto das células de plantas superiores.

3.17. Material em suspensão

Corresponde a quantidade de material particulado mantido em suspensão, devido à energia da água. A amostra de água é filtrada através de um filtro pré-pesado, o qual é lavado para retirar os sais higroscópicos (no caso da água do mar), seco e repesado.

4. COMPORTAMENTO DAS VAZÕES DO RIO E SEUS EFEITOS SOBRE O TRANSPORTE DE SEDIMENTOS E NUTRIENTES

4.1. Dados obtidos nas diversas medições

4.1.1. Locais de medições

As medições foram realizadas na seção transversal localizada sob a ponte entre os municípios de Própria/SE e Porto Real do Colégio/AL, no estuário do rio e na região oceânica adjacente a foz do rio São Francisco.

4.1.2. Vazões e precipitações do período estudado

O controle do regime fluviométrico através das barragens é bastante claro, principalmente quando se observa a diminuição tanto nos picos de vazão, quanto nas amplitudes entre as máximas e as mínimas durante os anos estudados e os dados históricos. Para o período de estudo do projeto, as variações das descargas tiveram comportamentos distintos em função do regime de chuvas atuante durante este período.

Analisando a Figura 4 se observa no ano de 1999 que a descarga média esteve em torno de 1780 m³/s, apresentado uma descarga abaixo do normal que é em torno de 2200 m³/s, ao final de 1999 a vazão sofreu um pequeno aumento, este aumento se manteve no ano de 2000 atingindo valores acima de 2200 m³/s no final deste ano.



Figura 4. Variação da média mensal no período de janeiro de 1999 a fevereiro de 2002.

Esta redução no regime fluviométrico é confirmada através da análise dos gráficos de precipitação (Figura 5), onde se verifica a redução das chuvas no ano de 2001 a partir do mês junho em São Romão, com índices abaixo da média climatológica para as regiões.

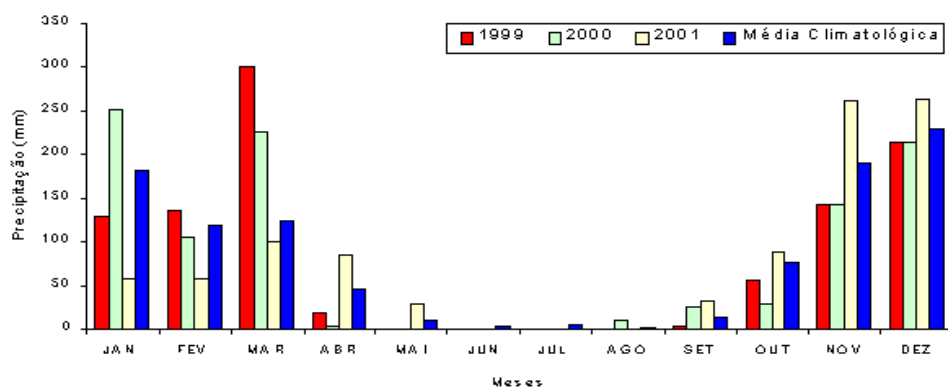


Figura 5. Comparação da precipitação média mensal em São Romão, para os anos de 1999, 2000 e 2001, com a média climatológica.

4.1.3. Variação temporal dos Nutrientes inorgânicos

Os resultados abaixo apresentados, provêm de amostras de águas coletadas na ponte rodoferroviária localizada entre as cidades de Propriá (SE) e Porto Real do Colégio. Estes resultados são médias de pontos de coletas transversais ao rio São Francisco na referida ponte.

• Amônia

A figura 6 mostra a variação temporal da amônia durante o período amostrado. Ela variou amônia de em torno de $1\ \mu\text{mol/l}$ até próximo a $4\ \mu\text{mol/l}$. Não apresentou um padrão claro de variação, embora fiquem evidenciadas três tendências de aumento de concentração ao longo do período estudado.

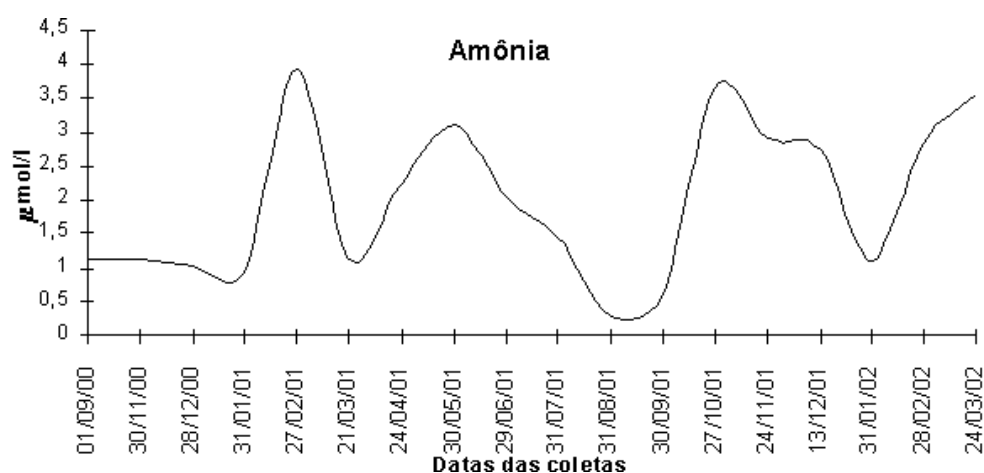


Figura 6. Variação da amônia no rio São Francisco, sob a ponte de Propriá (SE) - Porto Real o Colégio (AL).

• Nitrito

A Figura 7 mostra a variação do nitrito durante o período estudado. Este parâmetro variou de valores próximos ao limite de detecção, em torno de $0,03\ 1\ \mu\text{mol/l}$ até próximo $0,9\ \mu\text{mol/l}$, apresentando grande variação durante o período estudado.

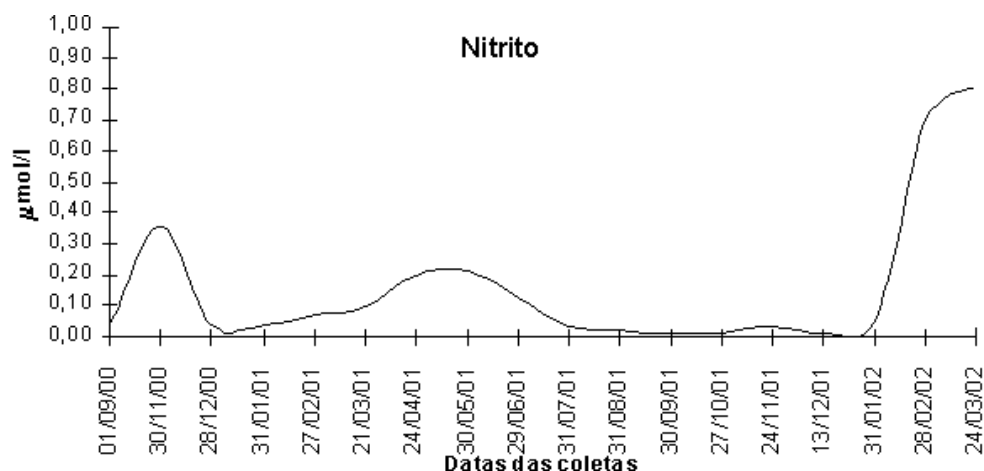


Figura 7. Comportamento do nitrito no rio São Francisco, sob a ponte de Propriá (SE) - Porto Real o Colégio (AL).

4.1.4. Variação temporal do Material em suspensão

A Figura 8 representa a concentração de material em suspensão. Este variou de em torno de 3 mg/l até 14 mg/l. Apresentou duas tendências de aumento de concentração.



Figura 8. Distribuição da variação do material em suspensão no rio São Francisco, sob a ponte de Propriá (SE) - Porto Real o Colégio (AL).

4.1.5. Variação temporal da Clorofila “a”

A Figura 9 representa a concentração de clorofila. Apresentou variação de em torno de 0,6µg/l até 3,5 µg/l. Apresentou também uma tendência clara de aumento de concentração.

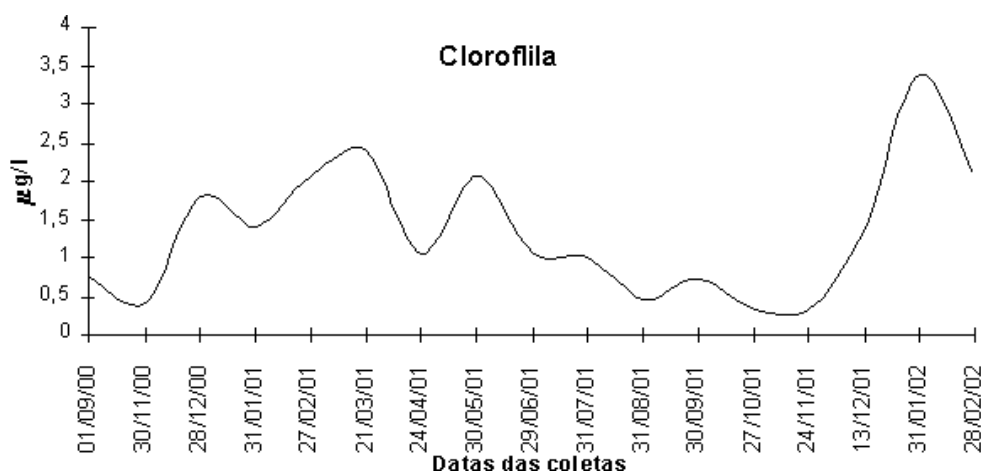


Figura 9. Distribuição da clorofila no rio São Francisco, sob a ponte de Propriá (SE) - Porto Real o Colégio (AL).

4.1.6. Variação temporal da Temperatura

A Figura 10 mostra a variação temperatura. A temperatura da água tendeu a seguir a marcha anual da temperatura do ar.

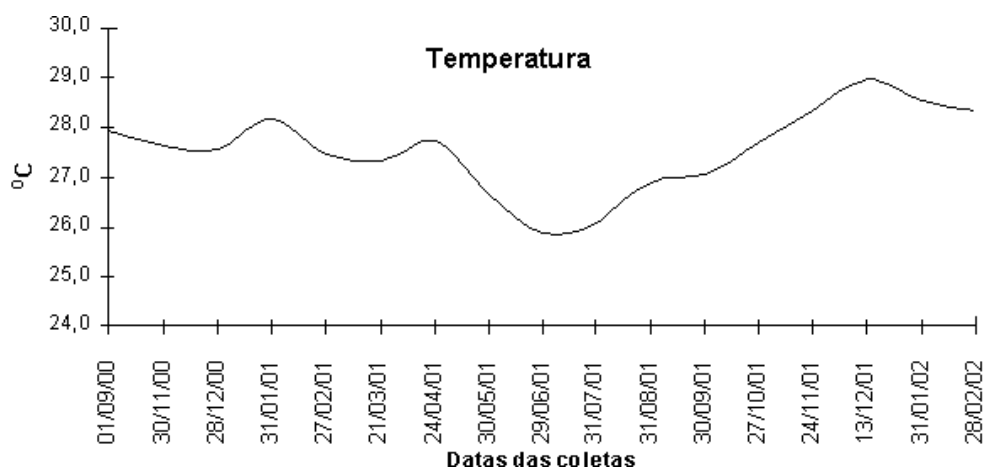


Figura 10. Distribuição da temperatura no rio São Francisco, sob a ponte de Propriá (SE) - Porto Real o Colégio (AL).

4.1.7. Variação temporal pH

A Figura 11 mostra os valores de pH durante o período estudado. Este apresentou pequena variação no período estudado, indo desde valores próximos a 7 até 8. Não apresentou uma tendência clara de variação.

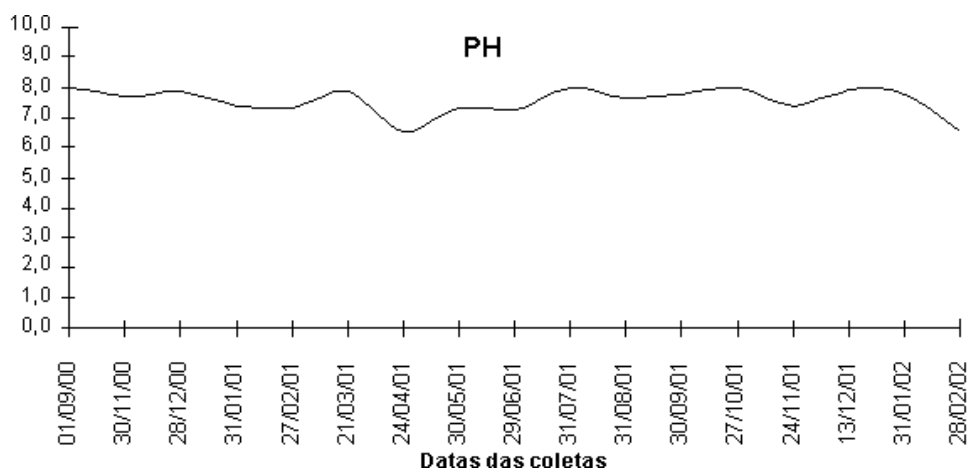


Figura 11. Distribuição do pH no rio São Francisco, sob a ponte de Propriá (SE) - Porto Real o Colégio (AL).

4.1.8. Variação temporal do oxigênio dissolvido

A Figura 12 mostra os valores de oxigênio dissolvido. Sendo que variou de valores em torno de 6 mg/l (80 % da saturação) até 7,5 mg/l (94 %). Observou-se uma tendência de declínio de oxigênio nos meses do final do ano de 2001.

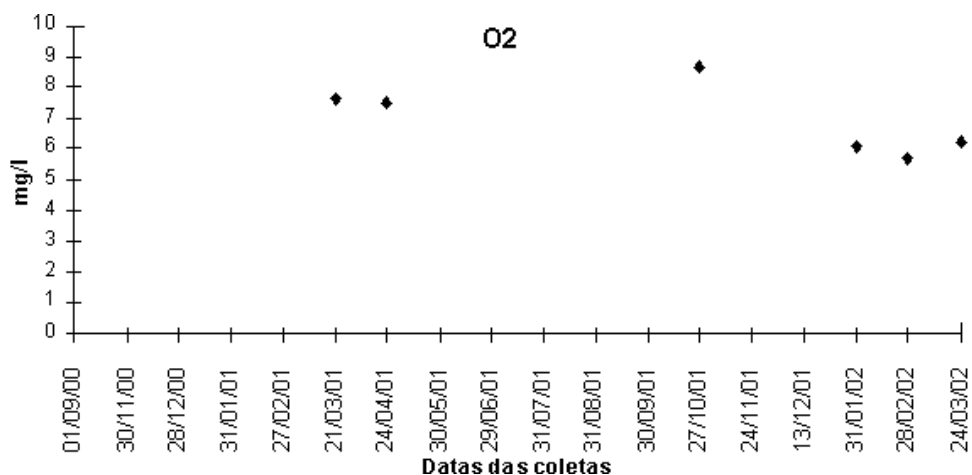


Figura 12. Distribuição do oxigênio dissolvido no rio São Francisco, sob a ponte de Propriá (SE) - Porto Real o Colégio (AL).

4.1.9. Variação temporal da condutividade elétrica

A Figura 13 condutividade elétrica variou de em torno de 70 $\mu\text{S}/\text{cm}$ até em torno de 120 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Nota-se duas tendências de aumento da condutividade elétrica ao longo do período estudado.

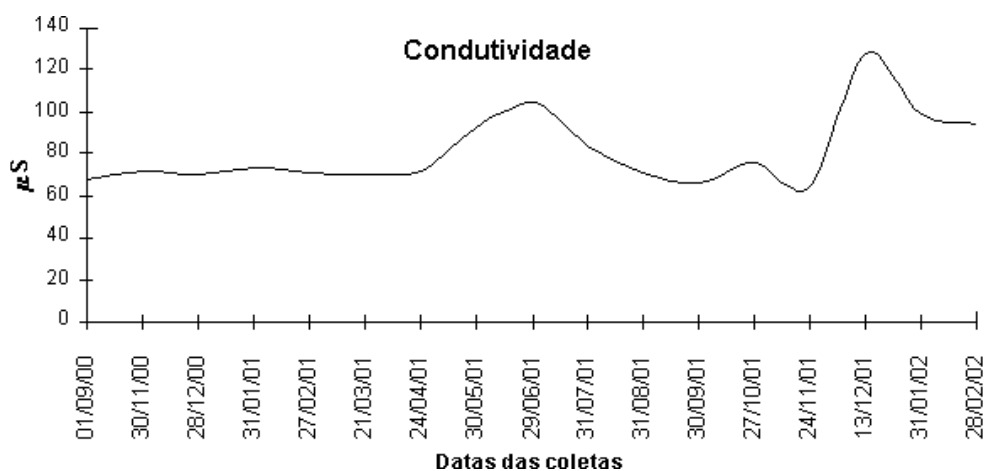


Figura 13. Variação da condutividade elétrica no rio São Francisco, sob a ponte de Propriá (SE) - Porto Real o Colégio (AL).

4.1.10. Carga de nutrientes

A carga de nutrientes e material em suspensão foi medida na ponte rodoferroviária, localizada entre as cidades de Propriá (SE) e Porto Real do Colégio (AL) (Figura 14). Nela se verificam a presença de um canal central que representa aproximadamente a metade da área da seção transversal total. Um segundo e menor canal abrange o setor III.

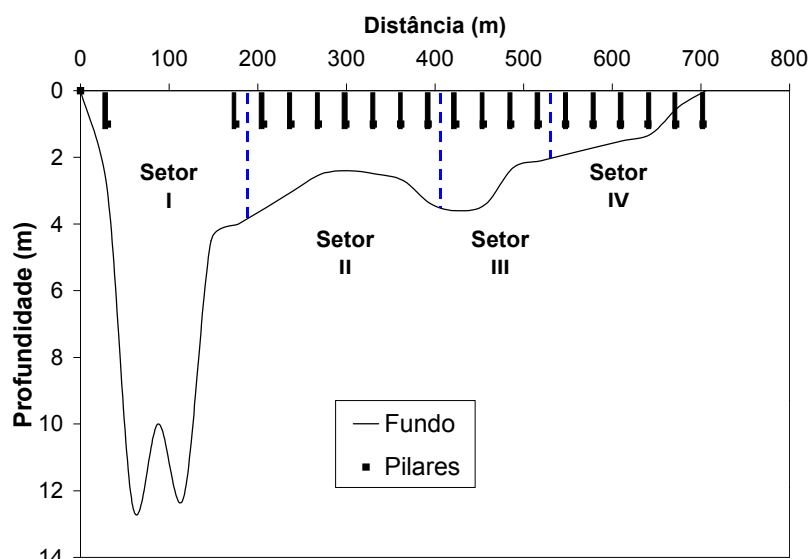


Figura 14. Seção transversal da estação fixa de monitoramento de Propriá, na data de calibração de 24 de março de 2002, incluindo os quatro setores estabelecidos.

4.1.11. Calibração e Cálculo dos Fluxos da Vazão

A estação fixa de monitoramento localizada na ponte rodo-ferroviária entre as cidades de Porto Real do Colégio (AL) e Propriá (SE), apresenta 19 vãos, 1 Vão Grande (VG) e 18 Vãos Pequenos (VP), da que tiveram suas seções analisadas quanto à área e velocidade do fluxo. Dentre estes, foram determinados quatro setores em função de comportamento semelhante em relação aos fluxos e principalmente quanto a sua compatibilidade com a distribuição dos pontos de amostragem dos parâmetros físico-químicos durante o período de monitoramento, de setembro de 2000 a março de 2002.

A amostragem foi executada sistematicamente nos quatro setores estabelecidos com ao menos 1 ponto de amostragem em cada setor, sendo para o setor I o Vão Grande, para o setor II o 5º Vão Pequeno, para o setor III o 9º Vão Pequeno e para o setor IV o 13º e 18º Vão Pequeno. Durante parte do período da crise de energia elétrica, de setembro de 2001 a janeiro de 2002, não foram executadas amostragens no 13º e 18º Vão Pequeno devido ao baixo nível de água do rio; o setor IV permaneceu assoreado

4.1.12. Modelo do Fluxo Instantâneo

A determinação do fluxo de materiais em um determinado ponto de um rio envolve dois passos básicos que são expressos pela equação:

$$F_m = C_m \times Q$$

Onde F_m é o fluxo do material de concentração C_m e Q representa a vazão. Usualmente a magnitude das diferentes concentrações podem em geral, serem consideradas como bem inferiores à magnitude das diferenças nas vazões, tanto espacialmente ao longo da seção transversal de um rio quanto sazonalmente. Desta forma pode-se considerar que a maior parte dos erros e incertezas envolvidas e que serão propagados para a determinação do fluxo de materiais, esta relacionada à determinação da vazão.

4.1.13. Cálculo dos Fluxos Instantâneos

O cálculo do fluxo instantâneo foi realizado como descrito acima no item 6.2 Modelo do Fluxo Instantâneo, para os valores de silicato onde se observa a importância dos setores I e II. Os resultados dos fluxos instantâneos, expressos em valores diários.

Devido a aparente ausência de relação com as vazões os fluxos dos materiais são aqui apresentados pela data de coleta como uma tentativa de melhor compreender os processos envolvidos nas alterações dos fluxos que provavelmente envolvem a dinâmica de operação dos reservatórios das UHE's, os diferentes processos biogeoquímicos produzidos pelos diferentes níveis dos reservatórios, e a semelhante magnitude da “sazonalidade” induzida pela crise de energia elétrica e da variabilidade diária das vazões liberadas pela UHE Xingó.

4.1.14. Comparação das Vazões

As diferenças observadas entre as vazões da UHE Xingó e da estação fluviométrica de Propriá (Figuras 15, 16 e 17) revelam que em uma escala de tempo mensal, estas os valores observados não apresentam uma diferença significativa, mas quando observados os valores diários, estas diferenças se tornam significativas, em virtude, principalmente, da defasagem espacial e temporal entre as estações de Propriá e a UHE Xingó, como também, a grande variabilidade horária da vazão controlada da UHE Xingó.

Desta forma, quando da modelagem dos fluxos de materiais, a utilização das vazões da estação fluviométrica de Propriá se faz necessária para a determinação do fluxo instantâneo diário, que representa o primeiro passo para construção de modelos do transporte de material em escalas mensais e anuais. No entanto as vazões horárias turbinadas pela UHE Xingó se prestam para identificar uma das principais fontes de incerteza envolvidas na modelagem dos fluxos de materiais, que é a extrema variabilidade diária das vazões do rio São Francisco que podem alcançar diferenças da ordem de 25 %.

Uma melhor visualização das incertezas envolvidas na determinação na utilização dos dados de vazão da estação fluviométrica de Propriá para a modelagem do fluxo de matérias nos dias de amostragem dos parâmetros físico-químicos, é apresentada nas Figuras 15 e 16. Nestas figuras são apresentadas as curvas de vazão horárias da UHE Xingó, das vazões da estação fluviométrica de Propriá e o ponto de calibração nos meses de abril e junho de 2000..

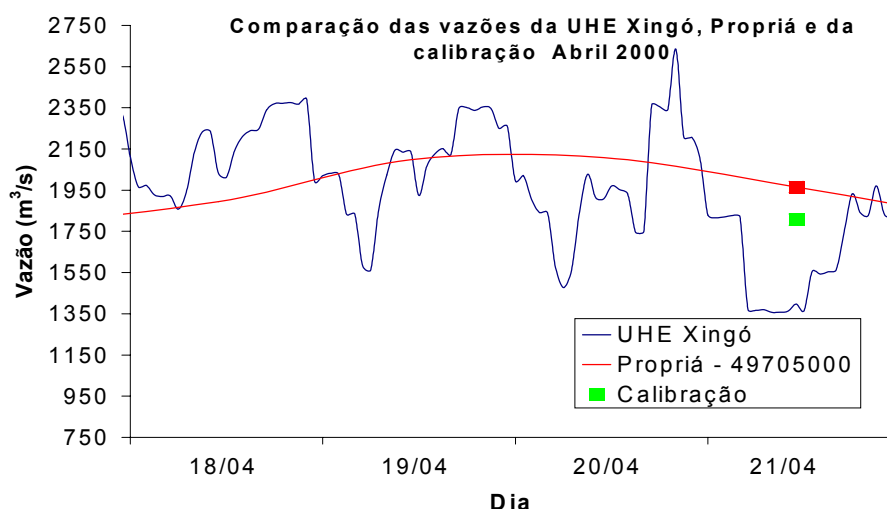


Figura 15. Comparação das vazões defluentes da UHE Xingó, da estação fluviométrica de Propriá (49705000) e do dia da calibração no mês de abril de 2000.

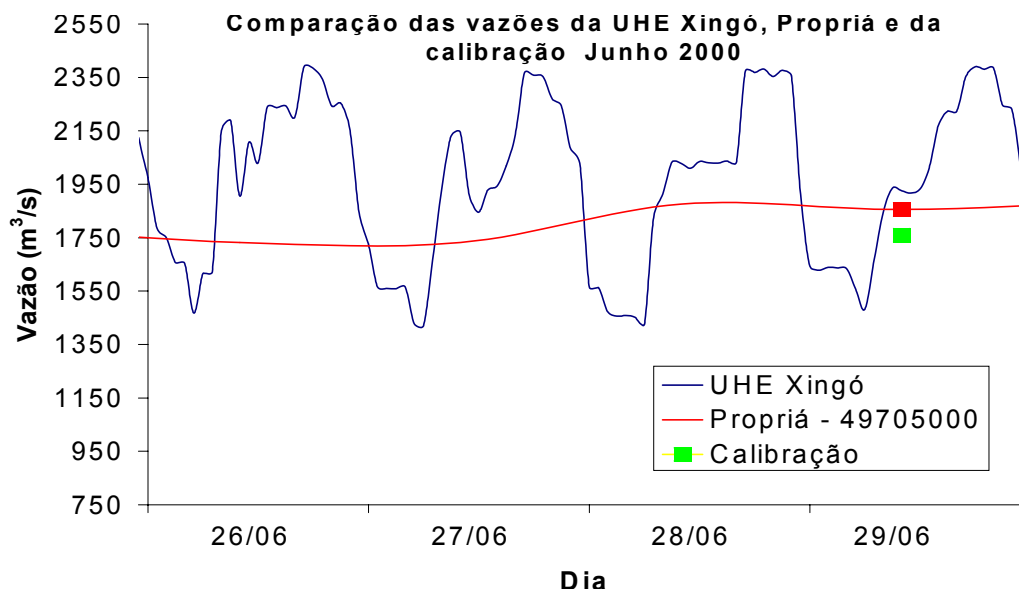


Figura 16. Comparação das vazões defluentes da UHE Xingó, da estação fluviométrica de Propriá (49705000) e do dia da calibração no mês de junho de 2000.

Entretanto, permanece ainda certa variabilidade interanual e sazonal, motivado pelos ciclos de demanda energética em suas escalas sazonais, semanais e diárias, conforme indicado na Figura 17, que compara a vazão turbinada da UHE Xingó (CHESF) com a vazão da estação fluviométrica de Propriá (49705000-ANA/ANEEL) para o período de janeiro de 1999 a fevereiro de 2002. Este período incorpora grande parte do estudo de monitoramento de setembro de 2000 a março de 2002. As diferenças observadas entre as duas estações para o período inteiro foram em média $3,7 \pm 3,0 \%$ indicando que, na ausência de informações na estação de Propriá, pode-se, dentro desta margem de erro, utilizar os dados das médias mensais da vazão turbinada de Xingó para estimativas da carga de matéria em Propriá.

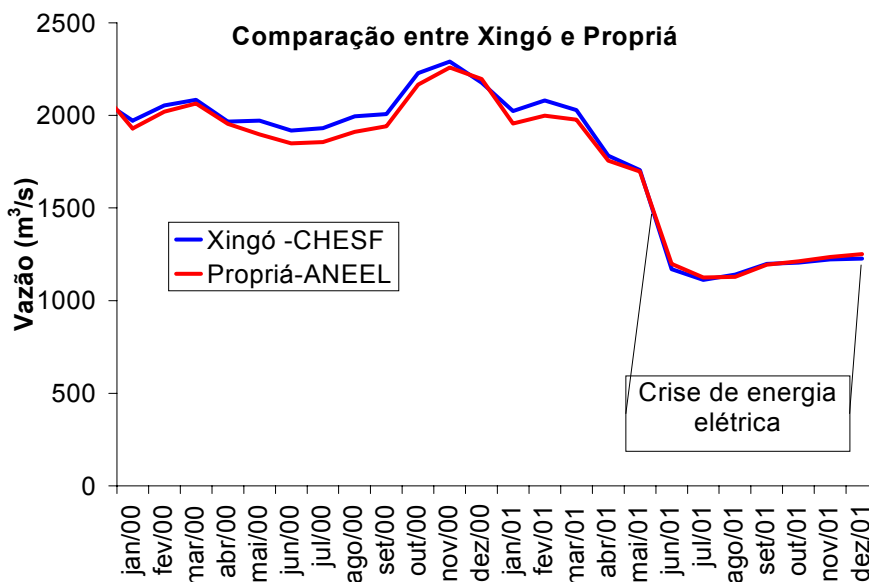


Figura 17. Comparação das vazões médias mensais fornecidas para a estação de Propriá (ANEEL) e UHE Xingó (CHESF) para o período de estudo de monitoramento. Nota-se o período afetado pela crise de energia elétrica.

4.1.15. Cálculo das Cargas Mensais

Os fluxos mensais e a média do período de amostragem obtidos pelo procedimento de extrapolação dos fluxos momentâneos são apresentada nas Figuras 18 a 22, para os fluxos da matéria em suspensão, silicato, nitrato, amônia ,fosfato e fósforo total, respectivamente.

Os fluxos da matéria em suspensão-MS (Figura 18) apresentaram, ao longo do período de amostragem, um comportamento que reflete a operação da UHE Xingó nos estágios pré-crise de energia elétrica, crise de energia elétrica e recuperação dos reservatórios.

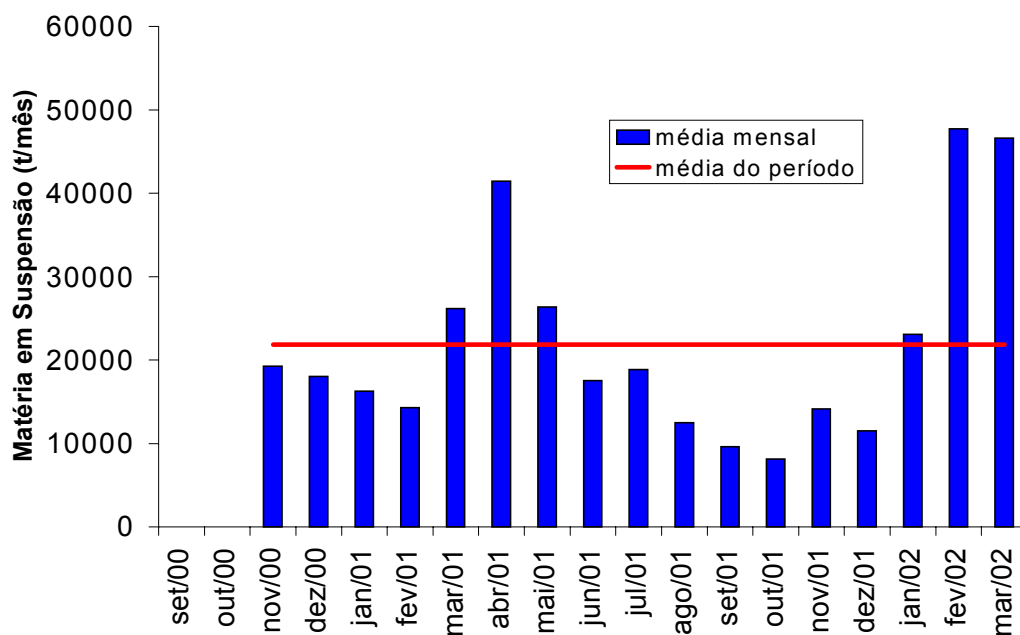


Figura 18. Comparação dos fluxos mensais e médias do período de estudo para a matéria em suspensão (MS) obtida pelo método de extrapolação.

No estágio pré-crise de energia elétrica, os fluxos de matéria em suspensão apresentam um comportamento crescente com um máximo local em abril de 2001, devido as maiores vazões para o suprimento de energia nacional.

A partir de maio de 2001, quando os reservatórios começaram a apresentar níveis críticos, a crise de energia elétrica se estabelece criando um novo estágio de baixos fluxos e vazões até dezembro de 2001. No período de recuperação, janeiro a março de 2002, os fluxos de matéria em suspensão se elevam a níveis superiores ao período pré-crise.

Deve-se, provavelmente, a diminuição do tempo de residência das águas do reservatório gerado pelo aumento da vazão em relação ao menor volume alcançado durante crise, como também, pela a lavagem e/ou erosão da calha do rio à jusante da UHE Xingó.

Os fluxos de silicato (Figura 19) apresentam um comportamento bastante similar ao visto para o material em suspensão. O máximo dos fluxos de silicato durante o estágio de pré-crise é observado em dezembro de 2000, com aproximadamente 64.000 t/mês, os fluxos são decrescentes até maio de 2001 (cerca de 23.000 t/mês), quando se estabilizam no período da crise de energia elétrica em seu nível mais baixo até outubro de 2001 (cerca 22.500 t/mês) . A partir de novembro de 2001 (cerca de 61.500 t/mês) os fluxos de silicato aumentam abruptamente com um máximo em março de 2002, com aproximadamente (71.000 t/mês).

Nitidamente, os fluxos de silicato sofrem a influência não somente da operação e nível dos reservatórios das UHE's, mas também, e provavelmente de forma mais acentuada, dos processos de intemperismo na bacia e ciclagem no reservatório.

Usualmente os reservatórios são tidos como sumidouros para o silicato devido à produção primária dos organismos fitoplanctônicos assimiladores de silicato, as diatomáceas (Ittekkot et al., 2001).

No entanto, a diminuição do suprimento de silicato oriunda do intemperismo, devido a menor precipitação no período pré-crise e crise, as alterações físico-químicas provocadas pelas variações no tempo de residência de água e materiais, e da exposição dos sedimentos dos reservatórios em cascata, dificultam uma interpretação mais precisa do comportamento deste nutriente na escala deste estudo.

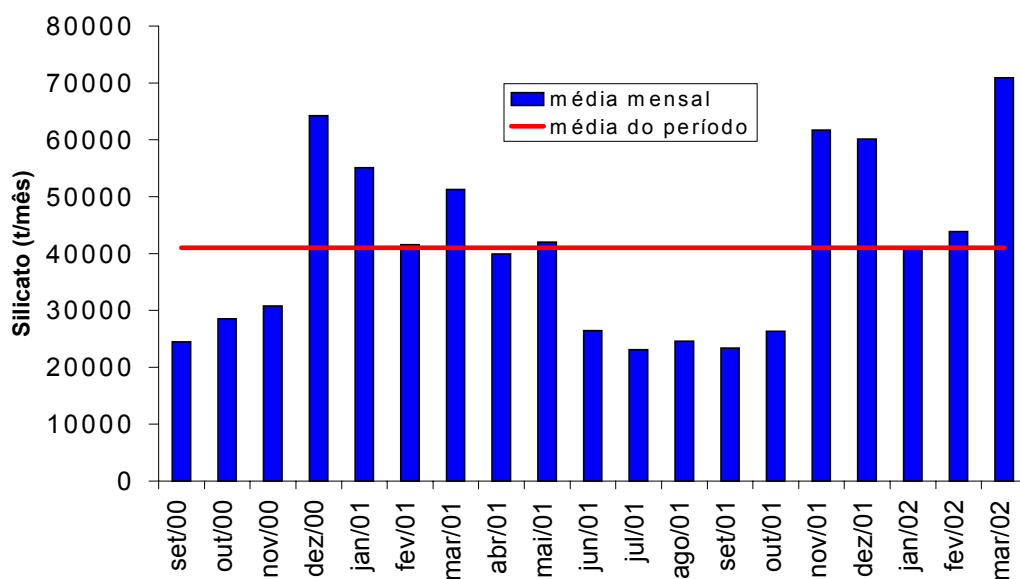


Figura 19. Comparação dos fluxos mensais e médias do período de estudo para o silicato ($\text{SiO}_4\text{-Si}$) expresso em toneladas de sílica por mês (t/mês) obtidos pelo método de extrapolação.

Investigações mais aprofundadas do comportamento deste nutriente nos reservatórios e o balanço entre a assimilação e dissolução seriam necessários para a sua melhor compreensão.

Os fluxos das principais formas nitrogenadas dissolvidas (Nitrato e Amônia – Figuras 20 e 21), revelam uma acentuada diminuição da magnitude do somatório das formas nitrogenadas a partir de maio de 2001, provavelmente como resultado da diminuição das vazões no período da crise de energia-elétrica. Outro aspecto marcante nos fluxos das formas nitrogenadas é a inversão da predominância dos fluxos de nitrato (pré-crise) para amônia (crise e recuperação).

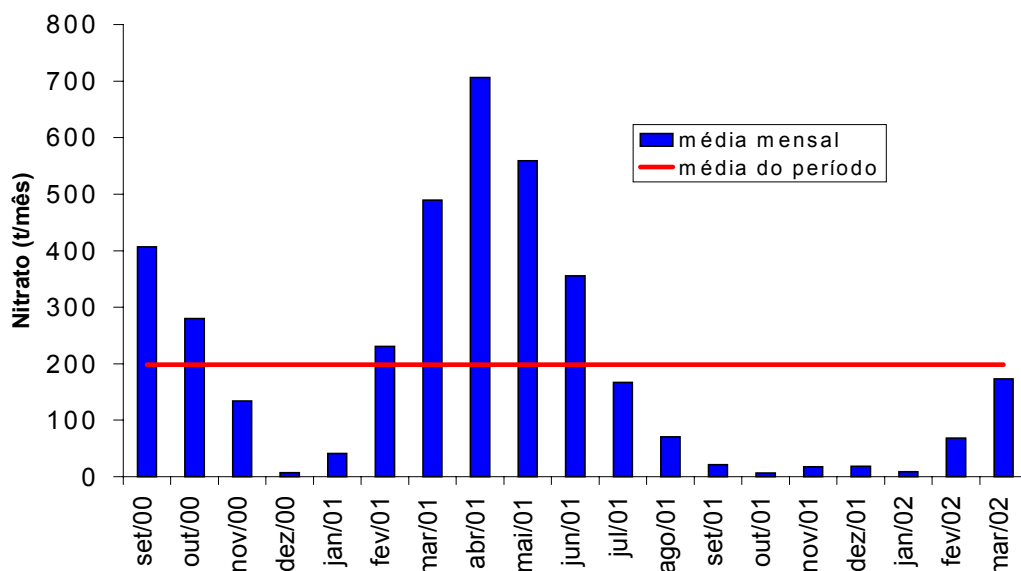


Figura 20. Comparação dos fluxos mensais e médias do período de estudo para o nitrato expresso em toneladas de nitrogênio por mês (t/mês) obtidos pelo método de extrapolação.

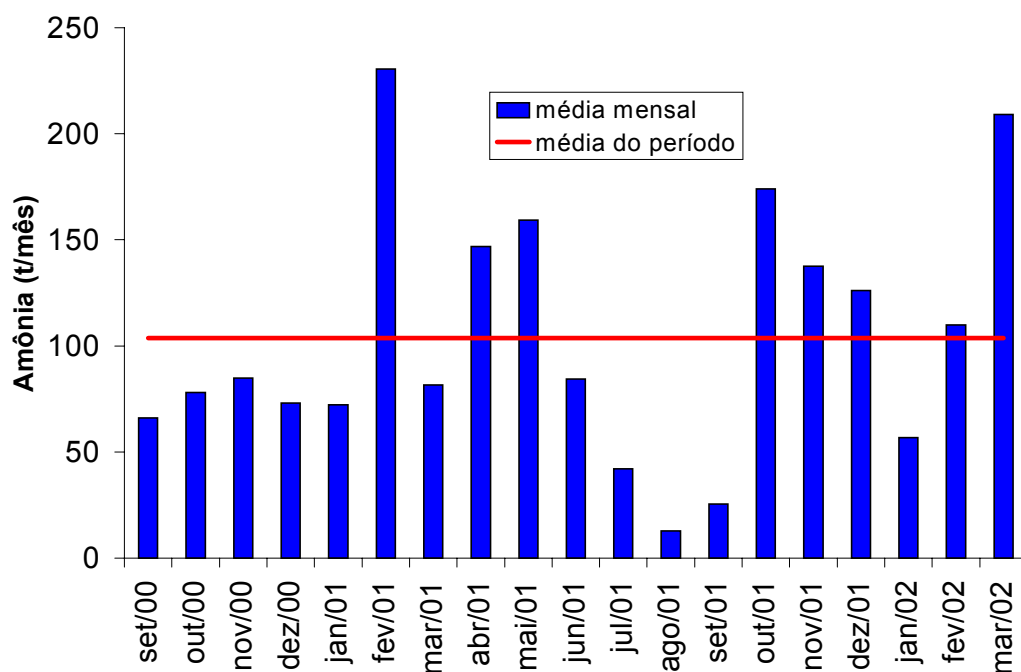


Figura 21. Fluxos mensais e médias do período de estudo para a amônia expresso em toneladas de nitrogênio por mês (t/mês) obtidos pelo método de extrapolação.

Esta inversão ocorre de forma mais acentuada nos meses de outubro a dezembro de 2001 (Período de baixas vazões devido à crise de energia). Podem ser justificados pela modificação dos processos biogeoquímicos que atuam nos reservatórios. Estes incluem o aumento no tempo de residência e da decomposição de matéria orgânica e da remineralização. Outros fatores, tal como o incremento da contribuição relativa de matéria pelos empreendimentos de aqüicultura e esgotos domésticos em relação ao volume do reservatório e do rio a jusante da UHE Xingó devem ser considerados. Analogamente tais processos podem ser responsáveis pelo drástico aumento dos fluxos das formas de fósforo a partir de outubro de 2001 (Figuras 22 e 23).

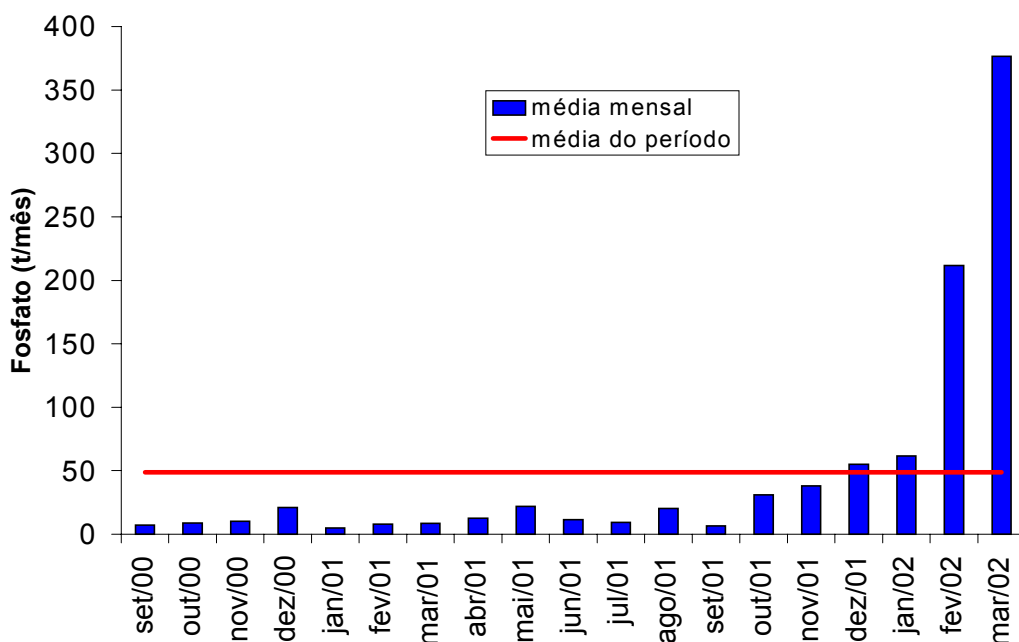


Figura 22. Comparação dos fluxos mensais e médias do período de estudo para o fosfato expresso em toneladas de fósforo por mês (t/mês) obtidos pelo método de extrapolação.

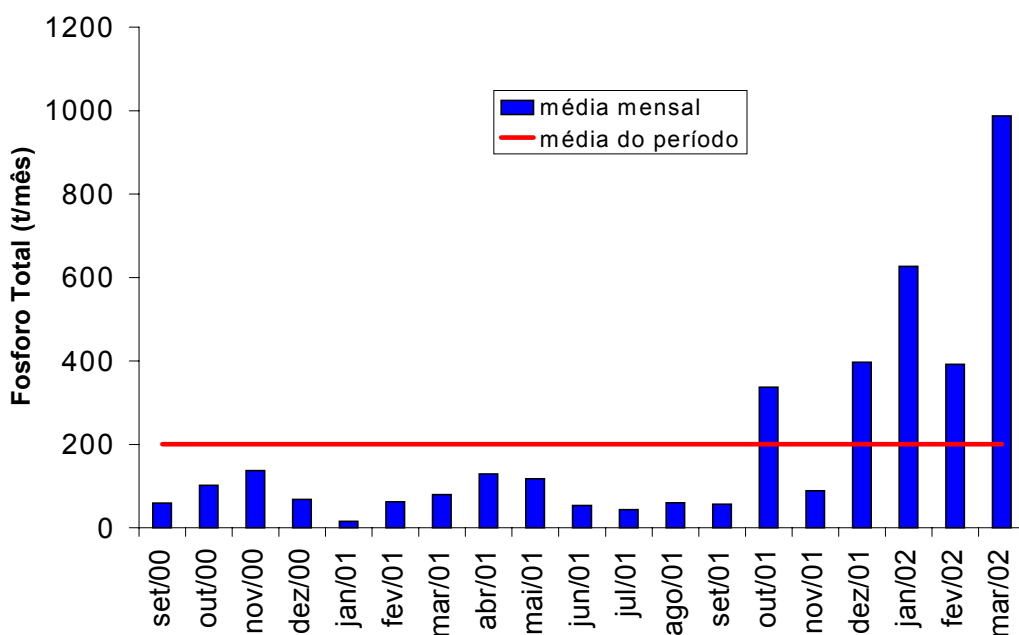


Figura 23. Fluxos mensais e médias do período de estudo para o fósforo total expresso em toneladas de fósforo por mês (t/mês) obtidos pelo método de extrapolação.

4.1.16. Comportamento da vazão em relação à concentração

As relações concentração versus vazão podem fornecer uma indicação do comportamento dos materiais nos diferentes estágios da vazão amostrados. No entanto tais relações podem ser sensivelmente prejudicadas, como no caso do presente estudo. Devido à presença de diversas barragens, eventos climáticos atípicos, os quais causaram manejo diferenciado da vazão. Em razão disso não foram encontradas relações entre os parâmetros medidos e a vazão, quando se aplicou modelos de correlações lineares e log-lineares.

4.1.17. Comparação entre os Modelos

Os resultados dos modelos foram analisados (Quadro 2) quanto à aplicação dos dados totais de setembro 2000 a março de 2002 (Σ) e para o período da crise de energia elétrica a partir de abril 2001 até março 2002 (Σ^1), de forma testar melhores ajustes das correlações entre a vazão e o fluxo de materiais, em função da influência da variabilidade gerada pela crise de energia elétrica.

O Quadro 2 descreve as comparações através das seguintes definições:

- a. Somatório de todos os dados Σ - Representa a soma de todos os dados de fluxo instantâneo obtidos durante o período de setembro de 2000 a março de 2002 para cada parâmetro.
- b. Somatório de dados Σ^1 - Representa a soma dos dados de fluxo instantâneo somente para o período de crise de energia elétrica de setembro de 2000 a março de 2002 para cada parâmetro.
- c. Diferenças percentuais entre os valores somatórios observados e estimados (Diferença %¹) – Representam a diferença entre a soma do número (n) dos dados observados (fluxos instantâneos) e o número (n) dos dados obtidos pelos modelos de correlação (log retransformada ou direta) para cada parâmetro. Estas diferenças fornecem informações a respeito do ajuste dos modelos de correlação em maiores escalas temporais, anuais ou superiores.
- d. Média das diferenças percentuais entre os dados observados e estimados. (Diferença %²) – Representam a média das diferenças entre o valor de cada campanha, *caso a caso*, do valor observado e o valor estimado pelos modelos de correlação (log retransformada ou direta) para cada parâmetro. Estas diferenças fornecem informações a respeito do ajuste dos modelos de correlação em menores escalas temporais, em escalas diárias ou mensais.

A comparação da soma dos dados analisados de cada parâmetro, a aplicação do modelo de correlação direta (não transformados para o espaço logarítmico) apresenta menores diferenças percentuais, de 0,0 a 4,7 % (Diferença %¹ – Quadro 2), quando comparados aos resultados obtidos pela correlação log retransformada de 0,1 a 7,8 % (Diferença %¹). Isto foi observado em ambas as análises para os dados do período de setembro de 2000 a março de 2001 (Σ) e aqueles somente do período da crise de energia elétrica (Σ^1).

De uma forma geral o modelo de correlação log retransformado obteve melhores resultados para as diferenças caso a caso, Diferença %² – Quadro 2, entre 9 e 460 %, para a média das diferenças dos resultados caso a caso quando comparados aos resultados da correlação direta, 9,9 a 570 %.

Entretanto as diferenças caso a caso foram extremamente elevadas indicando o pequeno ajuste das curvas aos dados observados. No ajuste para o período da crise de energia elétrica, foram obtidos melhores resultados para as diferenças caso a caso, Diferença %² – Quadro 2, entre os valores observados e os estimados pelos modelos de correlação. Entretanto estas diferenças se mostraram maiores quando da análise dos dados somatórios, Diferença %¹ – Quadro 2.

Quadro 2. Comparação entre o somatório dos dados brutos (observados) e das correlações (estimadas) log retransformada e direta entre o fluxo de matéria em suspensão (MS), silicato, fosfato e nitrato com a vazão, corrigidas pelo *smearing estimator*. Σ = Somatório de todos os dados (n= 18, exceto para o MS com n= 17), Σ^1 = Somatório dos dados, somente dos dados do período da crise de energia elétrica (n= 13, exceto para o MS com n= 12). Diferença %¹ = Diferenças percentuais entre os valores somatórios observados e estimados. Diferença %² = média das diferenças percentuais entre os dados observados e estimados. Valores percentuais negativos indicam menores estimativas do que os valores observados.

Dados utilizados	Observados	Estimados						
		Correlação log retransformada			Correlação Direta			
(n)	toneladas	toneladas	Diferença % ¹	Diferença % ²	toneladas	Diferença % ¹	Diferença % ²	
Σ	MS	12306	12340	+ 0,3	+ 24,8	12329	+ 0,2	+ 26,2
	SiO ₄	24733	24765	+ 0,1	+ 12,9	24753	+ 0,1	+ 13,4
	NO ₃ ⁻	115	120	+ 4,2	+ 550	116	+ 0,8	570
	PO ₄ ⁻³	30,4	30,1	- 0,8	+ 255	30,4	0,0	+ 280
Σ^1	MS	9205	9283	+ 0,8	+ 14,4	9219	+ 0,2	+ 13,8
	SiO ₄	15907	15970	+ 0,4	+ 9,0	15938	+ 0,2	+ 9,9
	NO ₃ ⁻	71,5	66,0	- 7,8	+ 460	71,9	+ 0,4	+ 415
	PO ₄ ⁻³	28,4	26,4	- 7,2	+ 230	29,8	+ 4,7	+ 200

As equações obtidas para o período da crise, foram aplicadas a todos os dados do período de estudo, como forma de avaliar o comportamento do modelo de correlação frente a dados não perfeitamente ajustados ao modelo. Esta estratégia revelou, que o modelo log retransformado tende a ser mais robusto quando da presença de dados que não se ajustam à relação vazão-fluxo de materiais descrita pelo modelo e sugere que este modelo possa ser melhor aplicado em estimativas prognósticas no futuro após obtenção de um maior elenco de dados. Com o número restrito de dados deste estudo, esta aplicação não é recomendada.

5. IMPORTÂNCIA DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O ENRIQUECIMENTO DE NUTRIENTES E SEDIMENTOS AO AMBIENTE OCEÂNICO ADJACENTE

5.1. Imagens de satélite da foz do rio São Francisco e região costeira adjacente

Com o objetivo de ajudar a avaliar a influência do rio São Francisco, em termos de contribuição de sedimentos para a região costeira adjacente, foram adquiridas imagens de satélites. Inicialmente foram solicitadas imagens de satélites das datas de coletas realizadas no oceano. Infelizmente, não foram conseguidas imagens, que coincidissem exatamente com as datas de coletas, em razão de cobertura de nuvens e horário de passagem do satélite.

Entretanto, foram obtidas imagens de satélites, em datas mais próximas das coletas realizadas, juntamente com a descrição das condições oceanográficas (marés, ventos de superfície).

5.2. Processamento digital de imagens Landsat como subsídio ao estudo dos sedimentos em suspensão na região da foz do rio São Francisco e região costeira adjacente

5.2.1. O sistema Landsat e algoritmos de detecção por satélite de sedimentos em suspensão na água

Os satélites LANDSAT representam uma série que se iniciou em julho de 1972 com o lançamento do primeiro, denominado ERTS (Earth Resources Technology Satellite). Estes satélites foram concebidos especialmente para a coleta de dados orbitais multi-espectrais de alvos agrícolas, florestais, geológicos e oceânicos. As resoluções espaciais, espectrais e o tempo de revisita foram otimizados para alvos terrestres.

Particularmente para cenas oceânicas, onde a dinâmica envolve escalas temporais mais curtas de algumas horas a dias, o tempo de revisita de 18 ou 16 dias destes satélites não representa condições ótimas. Cada imagem LANDSAT compreende na terra uma região de 185 km x 185 km. O ângulo de inclinação da órbita é de cerca de 99° em relação ao equador. Esta inclinação faz com que o plano orbital apresente uma precessão em sincronia com o deslocamento da Terra em redor do Sol ao longo do ano. A altura orbital variou de 917 km para os primeiros LANDSAT para 705 km para os satélites LANDSAT 4, 5 e 7.

Para a carga de sedimentos em suspensão em plumas de rios, a forte estratificação vertical é outro fator complicador. A camada turva superior pode ser relativamente fina e separada abruptamente da camada inferior de água clara oceânica. Em outros casos, se a velocidade da água é muito baixa, então as partículas de sedimento vão afundando progressivamente.

Nestes casos pode acontecer que a água turva fique abaixo da camada de superfície. Quando a camada de água turva está sobre a água clara, a concentração de sedimentos fornecida pelo algoritmo usando a banda TM-2 pode ser bem mais baixa que a concentração real, pois ela integra uma camada de água maior que inclui a água clara. Como a penetração da luz na faixa de .660 μ m é bem menor, nas mesmas circunstâncias, o algoritmo usando a banda TM-3 deve fornecer uma concentração mais realista da camada turva (Tassan, 1997).

Este autor propõe a análise da razão das concentrações de sedimentos determinadas nas duas bandas TM para se decidir por qual algoritmo a ser usado. Assim, se $S_3/S_2 > 1$, então o caso é o das águas mais turvas abaixo da superfície e deve-se usar o algoritmo de banda TM-3. No outro caso teríamos a água turva sobre a camada mais clara abaixo e o algoritmo a ser usado deveria ser aquele da banda TM-2.

5.2.2. O processamento digital das imagens Landsat para estimativa da concentração de sedimentos

A seguir são mostradas as imagens de satélites (Figuras 24, 25, 26 e 27) obtidas mais próximas o possível das datas de coleta: **10 de fevereiro de 2001, 17 de junho de 2001, 22 de agosto de 2001, 19 de setembro de 2001 e 26 de janeiro de 2002**, realizadas pela equipe do coordenador subprojeto 1.1.b - Paulo Ricardo Petter Medeiros.



Figura 24. Sub-cena imagem TM LANDSAT, órbita ponto 214/67 da Foz do Rio São Francisco. Data: 24 de julho de 2000. Horário: 12:06:40 GMT. Composição colorida RGB (TM 3,2,1). Linhas sobre a água representam as isobatimétricas de 10, 20, 50 e 200 m.



Figura 25. Sub-cena imagem TM LANDSAT, órbita ponto 214/67 da Foz do Rio São Francisco. Data: 31 de dezembro de 2000. Horário: 12:09:16 GMT. Composição colorida RGB (TM 3,2,1). Linhas sobre a água representam as isobatimétricas de 10, 20, 50 e 200 m.

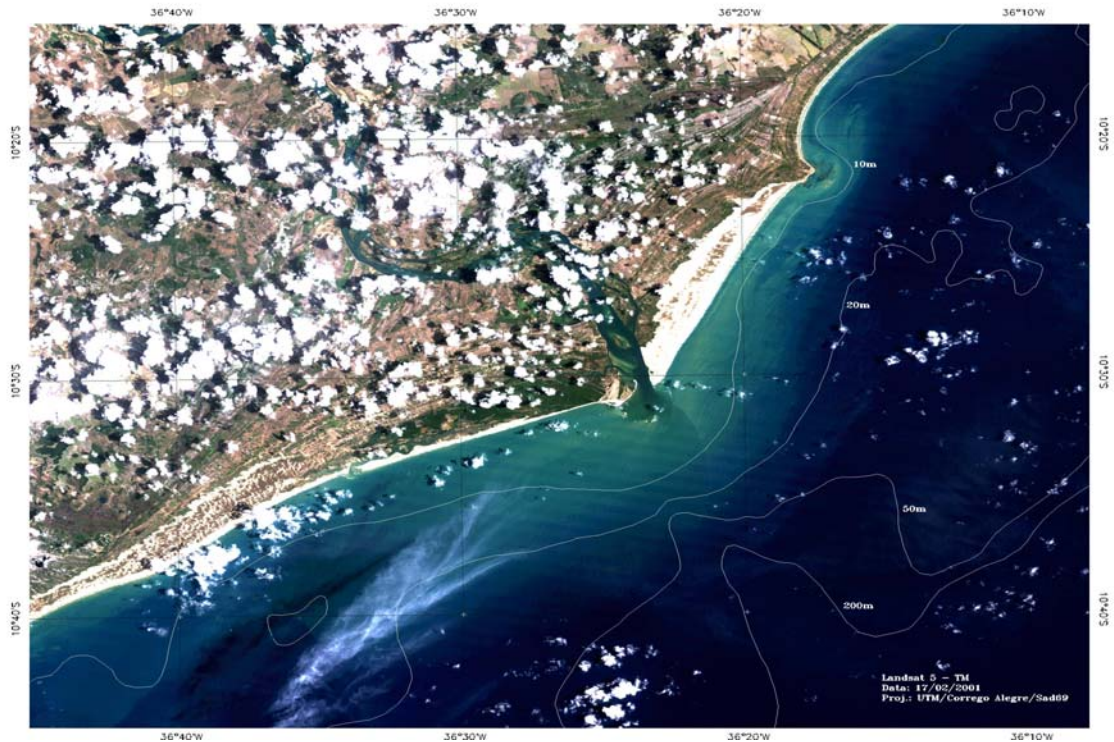


Figura 26. Sub-cena imagem TM LANDSAT, órbita ponto 214/67 da Foz do Rio São Francisco. Data: 17 de fevereiro de 2001. Horário: 12:09:36 GMT. Composição colorida RGB (TM 3,2,1). Linhas sobre a água representam as isobatimétricas de 10, 20, 50 e 200 m.



Figura 27. Sub-cena imagem TM LANDSAT, órbita ponto 214/67 da Foz do Rio São Francisco. Data: 05 de setembro de 2001. Horário: 12:18:09 GMT. Composição colorida RGB (TM 3,2,1). Linhas sobre a água representam as isobatimétricas de 10, 20, 50 e 200 m.

5.2.3. Dados ambientais da situação no momento das imagens

5.2.4. Conversão de refletância em concentração de sedimento em suspensão

A análise realizada na imagem obtida em 31/12/2000 (Figura 28) pode-se observar a baixa concentração de material em suspensão na região da foz do rio, por consequência da baixa carga transportada pelo rio, como podemos observar no seu estuário (Figura 28).

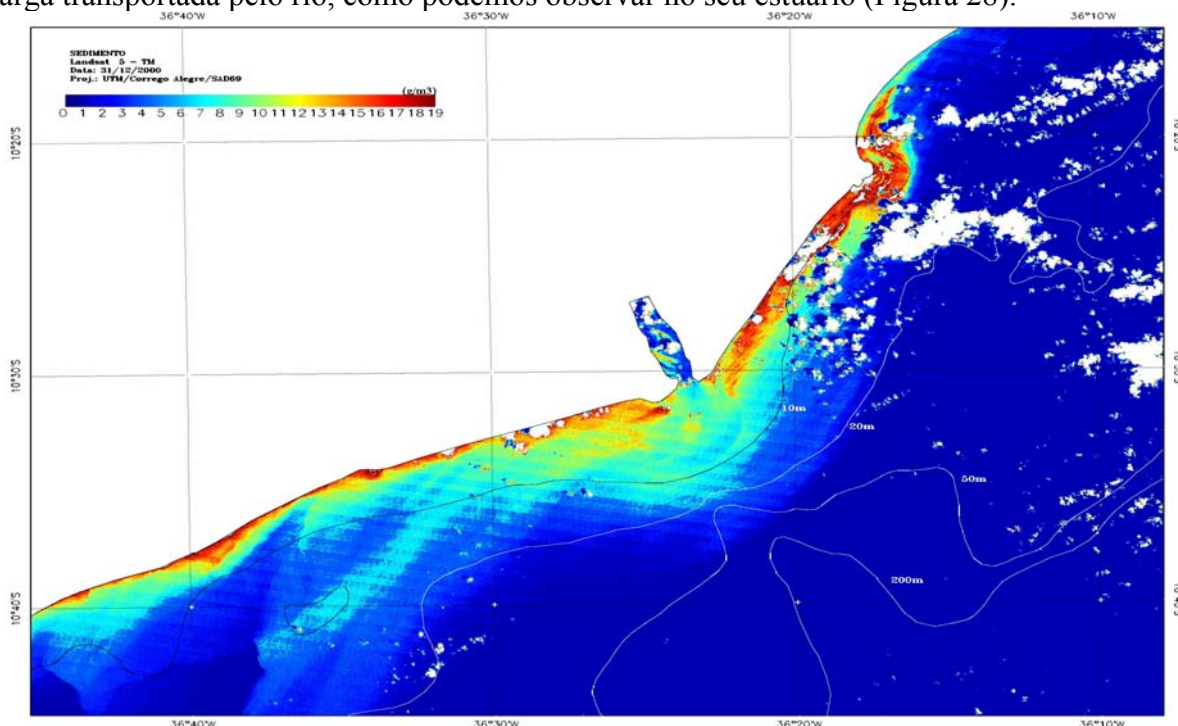


Figura 28. Concentração de sedimentos em suspensão no mar ($g\ m^{-3}$) obtida a partir dos dados TM2 Landsat para 31/12/2000 e algoritmo logarítmico (2).

Na Figura 29 nota-se significativa concentração de material em suspensão no interior do rio, após eventos de maré enchente, quando o material re-suspensão da região costeira é transportado para seu interior.

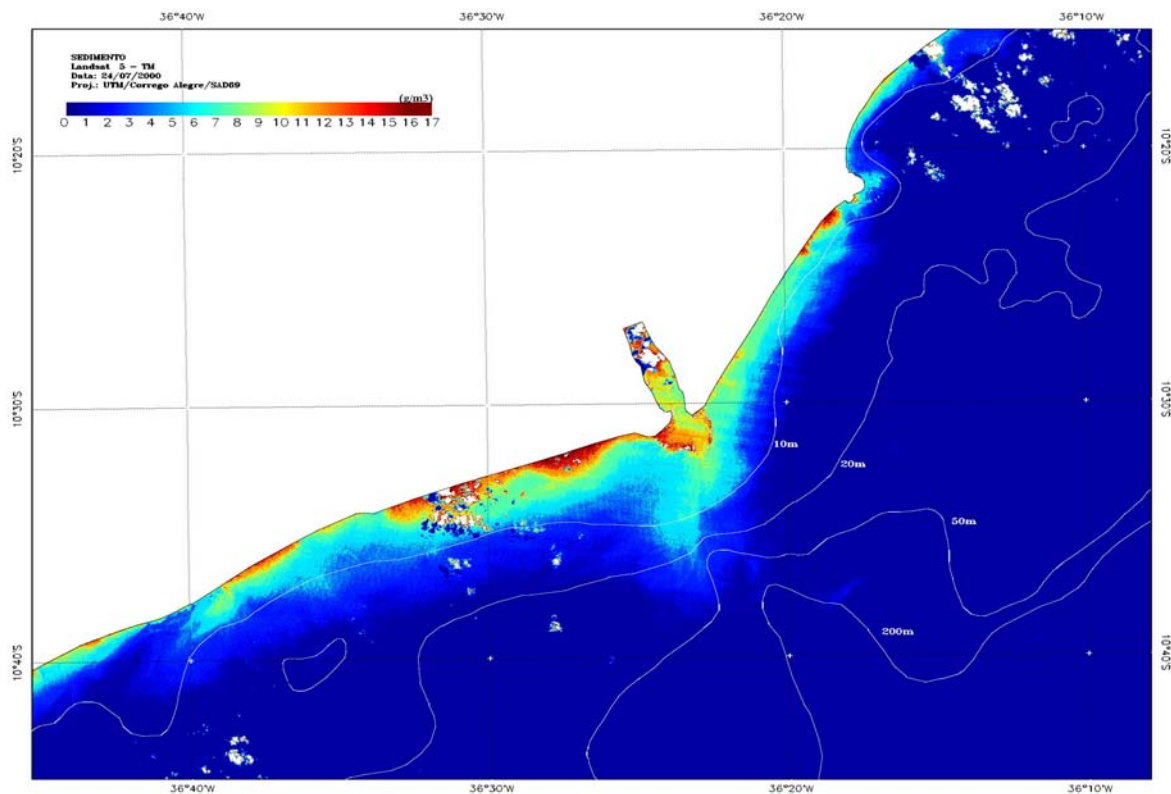


Figura 29. Concentração de sedimentos em suspensão no mar (g m^{-3}) obtida a partir dos dados TM2 Landsat para 24/07/2000 e algoritmo logarítmico (2).

5.2.5. Aferição do algoritmo logarítmico

A aferição dos dois algoritmos logarítmicos propostos por Tassan (1987) foi realizada comparando-se para três datas as estatísticas, média e desvio padrão das concentrações de sedimentos em suspensão, observadas *in situ*, contra valores retirados de diversas caixas escolhidas nas imagens processadas na mesma região amostrada em campo. É importante ser ressaltado, entretanto, que estas comparações não são absolutas, uma vez que as datas de coleta em campo diferem por alguns dias com as imagens

Os resultados mostrados nas três quadros anteriores indicam que os valores médios e desvios padrão de concentração de sedimentos em suspensão, estimados por satélite através do modelo logarítmico, comparam-se bastante bem com relação aos valores medidos *in situ*. Estes resultados permitem supor que os dados obtidos por satélite podem ser utilizados como extrapoloadores das medidas *in situ* para toda a região adjacente à foz do Rio São Francisco.

5.3. Distribuição espaço temporal dos parâmetros físicoquímicos e biológicos na região da foz e oceânica adjacente

5.3.1. Elaboração do mapa base, seleção de datas de coletas e georeferenciamento dos pontos de coleta

Os pontos georeferenciados e as variáveis a serem espacializadas, correspondem as coletas de: **10 de fevereiro de 2001, 17 de junho de 2001, 22 de agosto de 2001, 19 de setembro de 2001 e 26 de janeiro de 2002** entregues por Paulo Ricardo Petter Medeiros cujo processo de transformação para UTM utilizou-se de interpolações lineares dos coeficientes tabelados pelo FIBGE (1995).

O mapeamento gerado foi transposto para *overlays* e escandido (uso do scanner) gerando arquivo no formato *TIF* (tons de cinza, de 8 Bits não compactado), com resolução de 75 *DPI* (mapas na escala 1:100 000) . Com esta especificação, foram introduzidos no SAGA (Sistema de Análise Geo-Ambiental), SGI adotado no presente trabalho, para posterior georreferenciamento e edição dos dados. É importante frisar que antes de escanir os dados, foram realizados procedimentos de compatibilização, tais como o **lançamento de pontos de localização** em coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) e a **vistoria dos dados** visando à consistência destes dados (CARVALHO FILHO, 1995; CARVALHO FILHO & ABDO, 1999).

O S.A.G.A. (versão 4.04), sistema adotado, desenvolvido pelo LAGEOP - Laboratório de Geoprocessamento, do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, opera em dois ambientes (*DOS* e *WINDOWS*) e com estruturas de captura e armazenamento no formato *raster*. Apresenta três módulos básicos: Montagem, Traçador Vetorial e Análise Ambiental. Nesse trabalho apenas os dois primeiros módulos foram utilizados.

5.3.2. Mapa base e plotagem dos pontos de coleta

O georeferenciamento foi limitado pelas coordenadas quilométricas (UTM) no módulo apresentado nos cantos inferior esquerdo 8822000 N e 764000 E, e superior direito 8852000 N e 788000 E, garantindo a inserção dos demais cartogramas digitais (Nitrato, Silício, Clorofila, Material em Suspensão e Salinidade) na rede UTM do Corte Cartográfico Internacional. Assim sendo, ficou definido, um malha visualizada numa matriz com 288 000 pixel (480x600 *pixel*).

Após a seleção das datas de coleta (**10 de fevereiro de 2001, 17 de junho de 2001, 22 de agosto de 2001, 19 de setembro de 2001 e 26 de janeiro de 2002**) foram plotados no mapa base os pontos de coletas no mapa base da região da foz do rio São Francisco, para posterior espacialização dos resultados.

5.3.3. Espacialização dos resultados

Após a construção do **Mapa Base e Georreferenciamento dos pontos de coleta**, foram traçadas as faixas de isotores (nitrate, salinidade, silício, clorofila e material em suspensão). A seguir serão apresentados alguns resultados de variáveis espacializadas, em coletas selecionadas. Foram escolhidos o material em suspensão, nitrate e clorofila

• Nitrate

Na Figura 30 pode-se visualizar uma rápida diluição do nitrate a partir da desembocadura. Na foz a concentração de nitrate ficou em torno de 7,55 μM , em aproximadamente menos de 20 km a concentração reduziu-se para em torno 1,35 μM

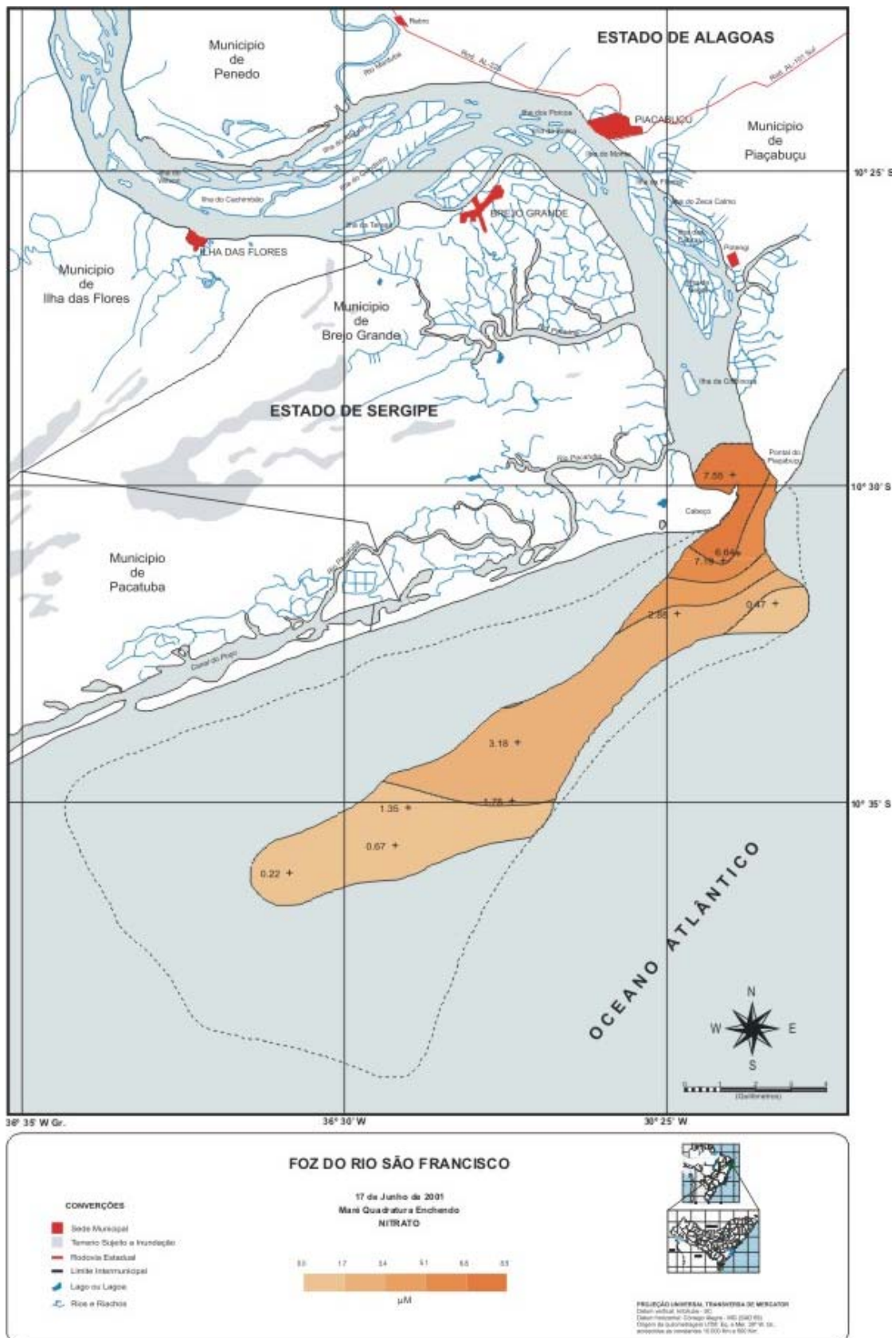


Figura 30. Distribuição do nitrato na Foz do Rio São Francisco em 17/06/2001.

Na Figura 31 pode-se visualizar uma rápida diluição do nitrato a partir da desembocadura. Na foz a concentração de nitrato ficou em torno de 7,55 μM , em aproximadamente menos de 20 km a concentração reduziu-se para em torno 1,35 μM

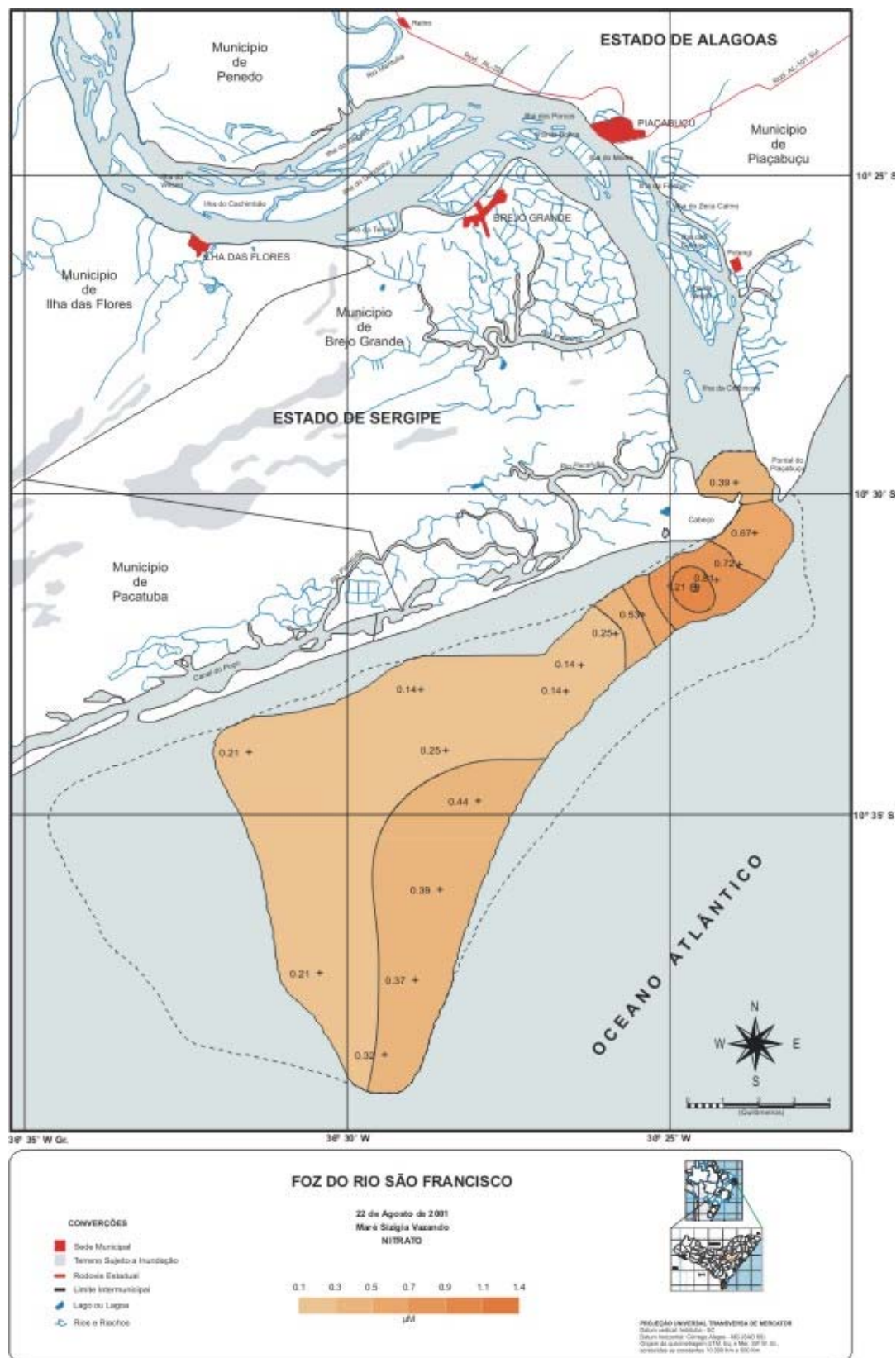


Figura 31. Distribuição do nitrato na Foz do Rio São Francisco em 22/08/2001.

• **Clorofila**

Na Figura 32 a concentração próxima à desembocadura fica entre $0,67\mu\text{M}$ e $0,72\mu\text{M}$. Novamente em torno de aproximadamente 20 km a concentração já esta bastante reduzida.

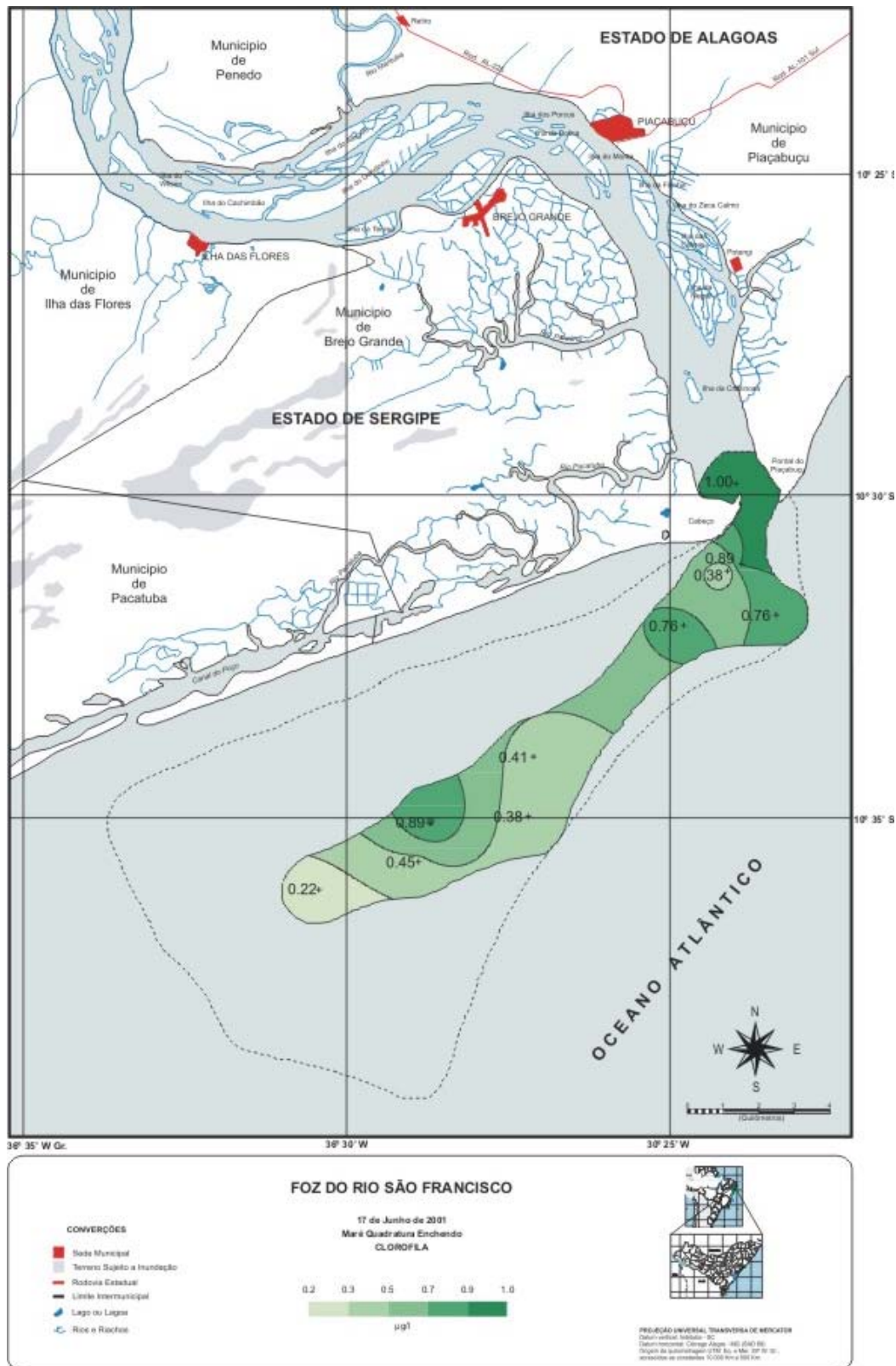


Figura 32. Distribuição da clorofila na Foz do Rio São Francisco em 17/06/2001.

Na Figura 33 nota-se a baixa concentração de clorofila existente na foz do Rio São Francisco, a qual tende a diminuir quando nos afastamos desta, possivelmente devidos a processos de re-suspensão e a carência de nutrientes.

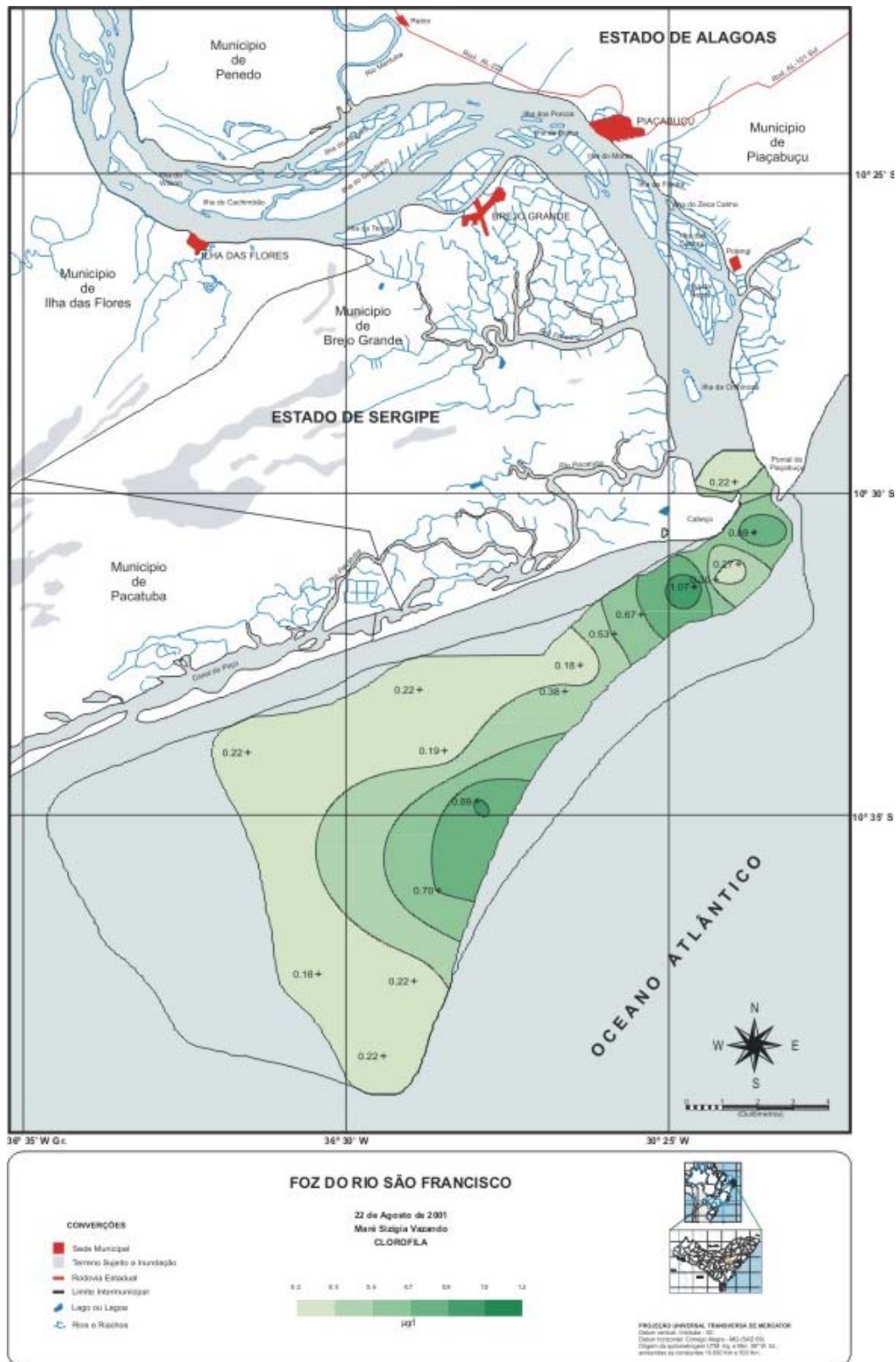


Figura 33. Distribuição da clorofila na Foz do Rio São Francisco em 22/08/01.

• Material em suspensão

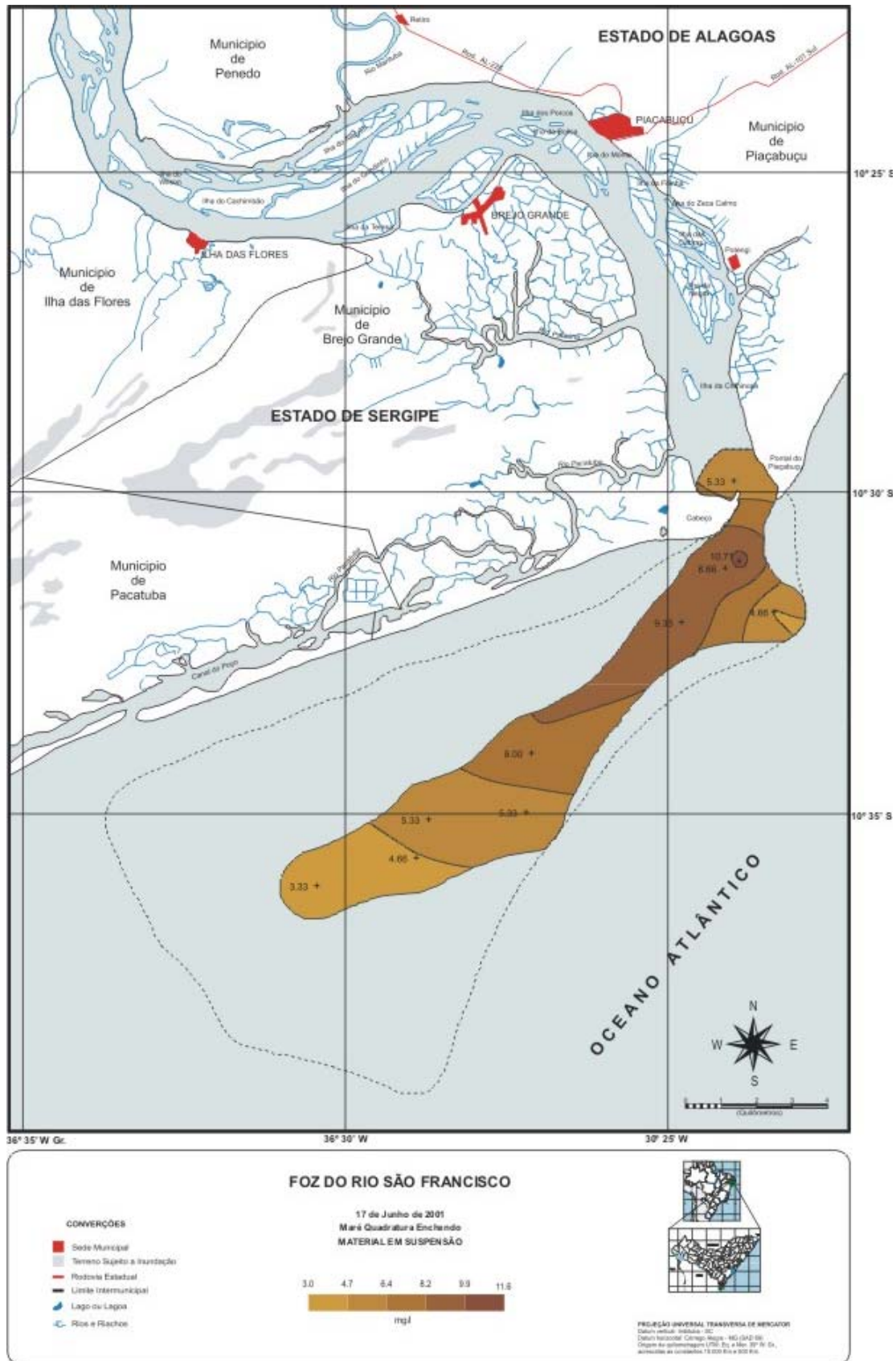


Figura 34. Distribuição do material em suspensão na Foz do Rio São Francisco em 17/06/2001.

Na Figura 34 e 35 é notável a baixa concentração de material em suspensão na foz do rio São Francisco em torno de 5,5 mg/l, logo após temos um aumento da concentração do material em suspensão, chegando a atingir 10,71 mg/l. Esse aumento é devido à ação de ondas e correntes de maré, que provocam a re-suspensão do sedimento de fundo. Esses resultados estão de acordo com a interpretação das imagens de satélites, as quais demonstraram menor concentração de matéria em suspensão no rio em relação à região estuarina propriamente dita.

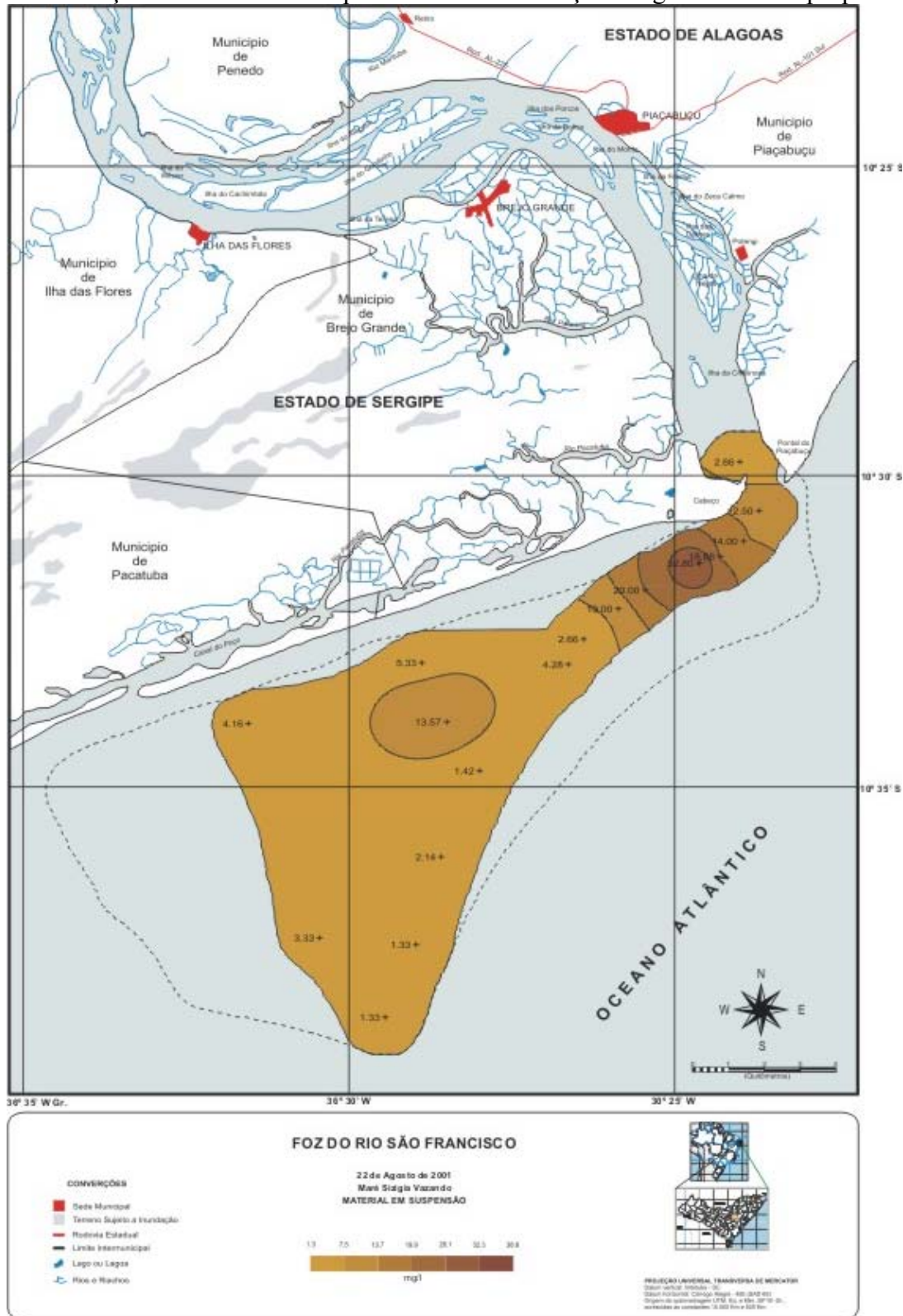


Figura 35. Distribuição do material em suspensão na Foz São Francisco em 22/08/01.

5.4. Aplicação de modelo de mistura no estuário do rio São Francisco.

No caso do Rio São Francisco, com vazão regularizada e retenção de matéria pela UHE Xingó, e a sua localização próxima à costa, as condições de contorno para a aplicação do modelo de mistura foram, em comparação ao padrão de diversos rios da Costa Leste, alterados. As condições atuais se refletem, principalmente, em menores diferenças dos teores de matéria entre as fontes fluvial e marinha, como também, numa menor dinâmica de deslocamento e extensão da zona de mistura estuarina. Além disso, o período de monitoramento do estudo representou situação atípica, devido à interferência do impacto da crise de energia elétrica, que alterou de forma significativa o comportamento da vazão e a descarga de matéria em suspensão e nutrientes.

5.4.1. Campanhas de Amostragens Analisadas

Em geral, a estação fixa de monitoramento (P 1) localizada na parte interna da desembocadura do rio, apresentou salinidades baixas na superfície durante maré vazante, variando entre $S = 0$ a 5, e salinidades mais elevadas durante maré enchente, entre $S = 5$ e 20. O ponto de coleta de referência da fonte fluvial ao redor da cidade de Piacabuçu, localizada 12 km a montante da desembocadura do estuário, apresentou em todas as ocasiões salinidade = 0. Ressalta-se, que este local ainda é influenciado pela maré mas não a intrusão salina. Em condições de maré de Sizígia e vazão durante a crise de energia elétrica, o deslocamento da zona de mistura estuarina na parte interna do rio ocorreu dentro dos primeiros 10 km a montante da desembocadura.

5.4.2. Condições de Contorno de Matéria das Fontes Fluvial e Marinha

A comparação entre as fontes revela condições de teores extremamente baixos da maioria dos parâmetros na fonte fluvial (Estação Fluviométrica de Propriá) e na desembocadura (Estação Fixa-P 1). Os teores na estação fixa (P 1) de matéria em suspensão oscilaram entre 5 a 10 mg/l, de clorofila *a* entre 0,5 a 2 $\mu\text{g/l}$, e dos nutrientes inorgânicos dissolvidos nitrogênio (NID) e fósforo entre 2 a 10 mmol/m^3 e 0,05 a 0,5 mmol/m^3 , respectivamente. O silicato representou a exceção, apresentando teores extremamente elevados na fonte fluvial ($\text{SiO}_4\text{-Si} = 200$ a 650 mmol/m^3). Todos estes parâmetros obtiveram aumento nos seus teores durante a fase final de recuperação da crise de energia elétrica (tópico 6.5).

Durante as quatro campanhas de amostragem, as concentrações destes constituintes na fonte marinha se mantiveram, com exceção ao silicato ($\text{SiO}_4\text{-Si} = 5$ a 20 mmol/m^3) e parcialmente o nitrato nas coletas de 17.06.2001 e 22.08.2002 ($\text{NO}_3\text{-N} = 0,1$ a 2,0 mmol/m^3), dentro do mesmo patamar da fonte fluvial. Conforme os teores dos parâmetros na fonte marinha e análise da relação entre a temperatura e a salinidade das massas de água, não houve fertilização de nutrientes oriunda de ressurgência local.

5.4.3. Comportamento dos Parâmetros na Zona de Mistura Estuarina

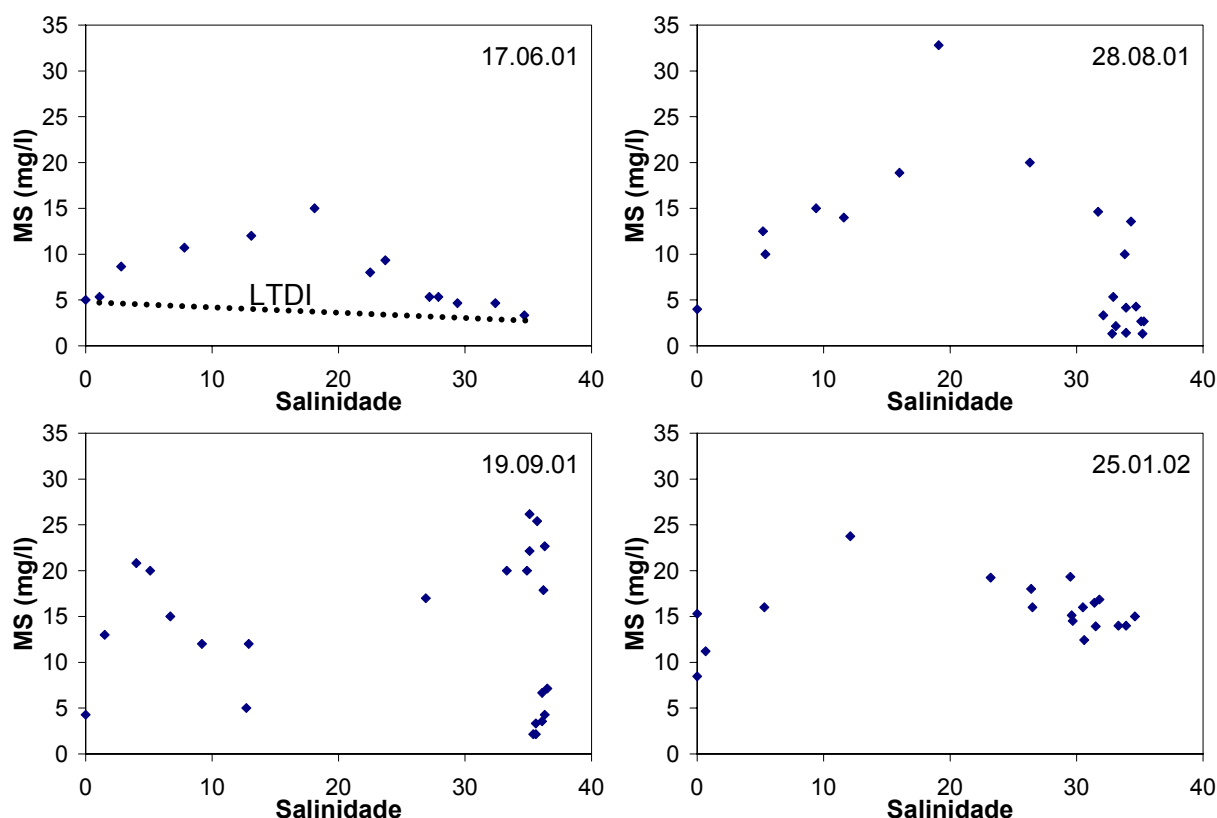


Figura 36. Diagramas de mistura salinidade contra matéria em suspensão (MS) nas quatro campanhas de amostragem analisadas na zona estuarina do Rio São Francisco.

5.4.4. Matéria em Suspensão

A matéria em suspensão da zona de mistura estuarina/pluma costeira do rio São Francisco apresentou comportamento *não-conservador* com um ganho de matéria entre as fontes fluvial e marinha durante as quatro campanhas de amostragem, conforme indicado nas curvas de mistura da Figura 37. As campanhas de 17.06.2001, 22.08.2001 e 25.02.2002, apresentaram comportamento idêntico, conforme descrito pela curva convexa em comparação a *linha de diluição ideal (LTDI)*. O maior incremento de matéria em suspensão ao longo da zona de mistura estuarina ocorreu entre $S = 10$ a 25 , geralmente localizada dentro dos primeiros 10 km fora da desembocadura do rio. Uma exceção ao padrão unimodal encontrado, foi registrado na campanha de 19.09.2001, caracterizado pelas duas regiões ($S = 2$ a 10 , e $S = 26$ a 35) de ganho de matéria na zona de mistura.

Com base no diagrama de temperatura e salinidade de todas as coletas agrupadas (Figura 37), foi possível identificar a presença da massa de Água Tropical (AT): água quente e salina que ocupa a superfície do Atlântico Sul Tropical, oriunda da Corrente Sul Equatorial, a qual é transportada para o sul pela corrente do Brasil. Caracteriza-se por temperaturas maiores que 20°C e salinidades acima de 36. É uma corrente oceânica oligotrófica, indicando o alto potencial de diluição material costeiro por essas correntes de borda. Knoppers et. al (1999) relacionam sua presença como um dos fatores que geram a escassez de matéria e a baixa produtividade da região Leste do Brasil.

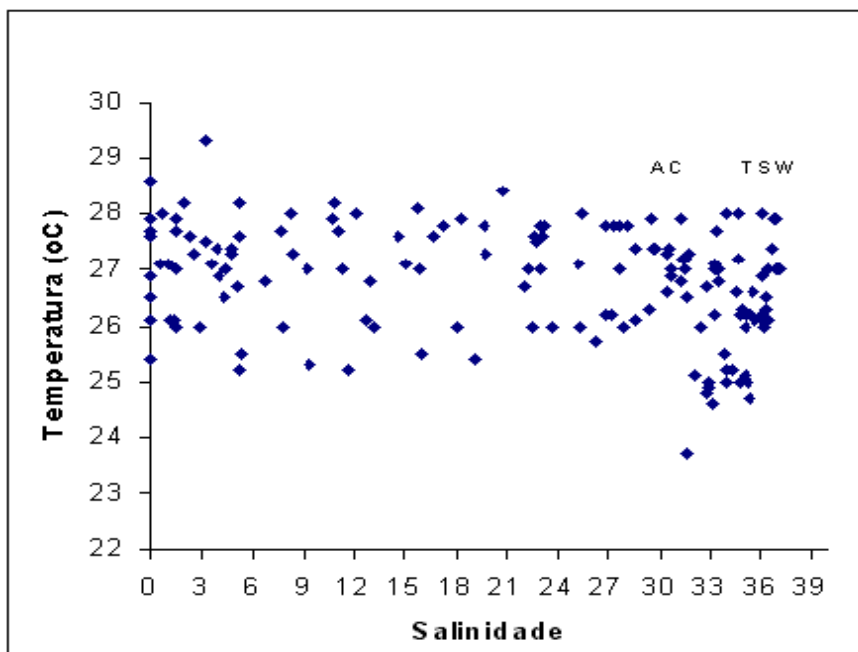


Figura 37. Diagrama temperatura e salinidade dos dados agrupados. Fonte: Medeiros (2003).

5.4.5. Clorofila -a

Os teores determinados nas quatro campanhas no rio, ao longo do gradiente estuarino e no mar variaram entre 0.2 e no máximo 2 $\mu\text{gCl.a/l}$, indicando baixa biomassa fitoplanctônica e condições oligotróficas na região. Os teores de fósforo total (PT), analisados durante o projeto e não apresentados neste tópico, confirmam o estado oligotrófico das águas costeiras.

Durante as quatro campanhas, a clorofila *a* comportou-se de forma *não-conservador*, com uma perda (curva côncava) em relação a *linha teorica de diluição ideal (LTDI)* nas coletas de 17/06/2001, 22/08/2001 e 25/02/2002.

Uma perda de clorofila *a* em relação a *linha teorica de diluição ideal (LTDI)* indica presença de limitação da produtividade primária na zona de mistura estuarina, sendo ocasionado por inúmeros fatores físicos, químicos e biológicos.

Somente a coleta de 19/09/2001 revelou um ganho de clorofila *a* nas faixas de $S > 2$ e < 10 e $S > 26$ e < 35.5 . A curva bi-modal indica, que condições mais favoráveis entre a disponibilidade de nutrientes, luz e outros forçantes físicos devem ter incentivado a produção primária fitoplanctônica, uma vez na proximidade da foz e outra vez no limite da pluma costeira com as águas oceânicas.

5.4.6. Silicato

De todos os nutrientes inorgânicos medidos, somente o silicato apresentou comportamento conservativo. Este nutriente também apresentou maior carga dentre todos, entretanto esta carga é rapidamente diluída por águas oceânicas oligotróficas. Essa massa de água é originada de uma ramificação da corrente do Brasil, e dilui de maneira eficiente a carga deste nutriente.

5.4.7. O Nitrato, Fosfato e a Razão N:P

Os demais nutrientes (nitrato, amônia e fósforo) apresentaram comportamento não conservativo, significando retirada e/ou incorporação devido a processos químicos, físicos ou biológicos. Pela análise das isolinhas do nitrato, representadas nos mapas de concentração deste, nota-se também uma rápida diminuição de suas concentrações em relação à desembocadura da foz do rio São Francisco.

5.4.8. Intrusão da cunha salina

Com relação à intrusão da cunha salina, os resultados mostrados na Figura 38 indicam que a maior intrusão da cunha salina no estuário interno ocorreu em 17/06/02, chegando a atingir próximo à cidade de Piaçabuçu (em torno de 15 km da estação fixa), embora com uma pequena salinidade (0,1). Esta intrusão foi associada a uma maré enchente e a uma baixa vazão. Nas demais coletas a penetração da cunha salina nunca superou os 10 km, após a estação fixa (considerada o 0 Km, localizada na foz).

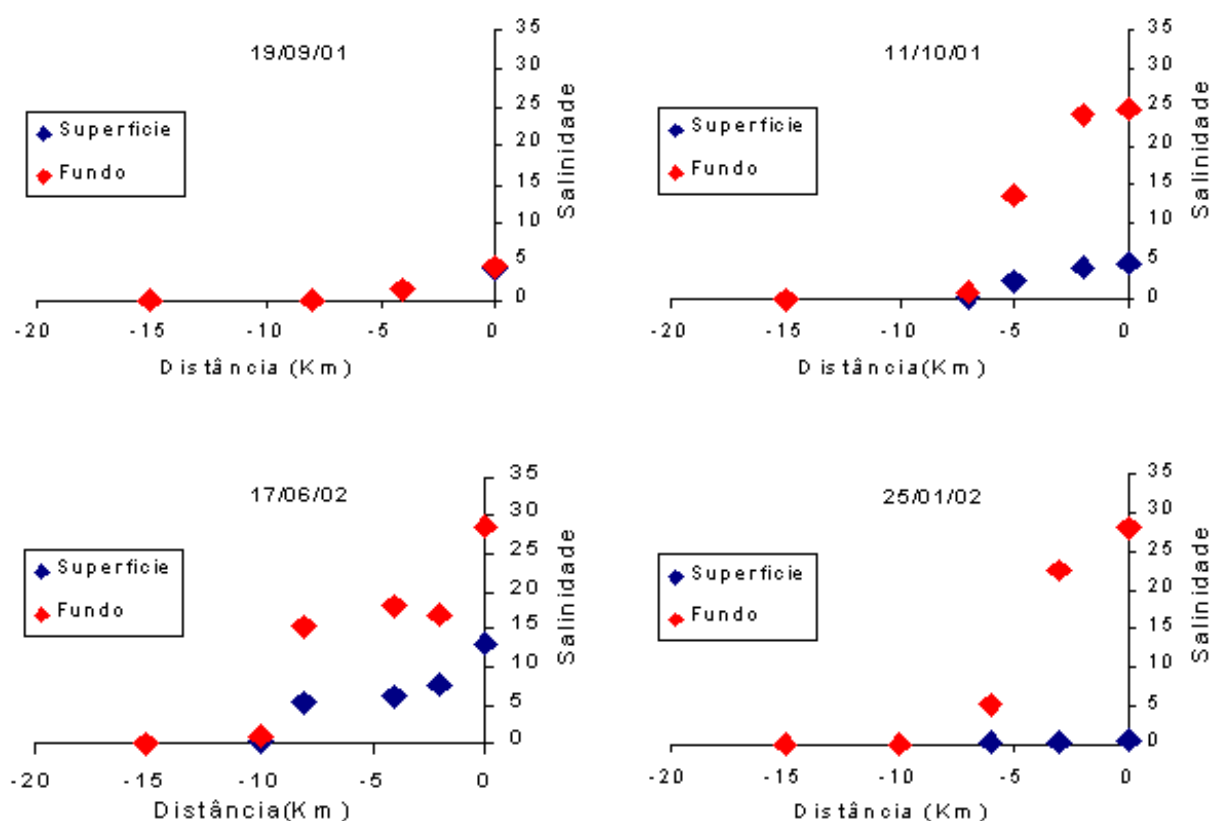


Figura 38. Intrusão da cunha salina na superfície e fundo do estuário do Rio São Francisco. Fonte: Medeiros (2003)

A intrusão da cunha salina em direção ao estuário interno (Figura 38), com exceção da coleta realizada no dia 17/06/02, nunca superou os 10 km a partir da foz, nas 4 coletas que foi medida sua penetração. Nesta coleta, as medições de salinidade no estuário interno foram feitas com maré de quadratura totalmente cheia, além de reduzido no fluxo do rio, em razão da crise de energia. A partir disso, pode-se esperar uma maior penetração da cunha salina em marés de sizígia totalmente cheia, em condições de fluxo reduzido.

5.4.9. Diagrama TS (temperatura versus salinidade)

Com o objetivo de identificar-se as diferentes massas de água, na região de estudo, os resultados de salinidade e temperatura das coletas realizadas foram agrupadas em um diagrama TS (Figura 83). A partir de sua análise é possível identificar a presença de águas costeiras e águas tropicais de superfície.

Com base no diagrama de temperatura e salinidade de todas as coletas agrupadas, foi possível identificar a presença da massa de Água Tropical (AT): água quente e salina que ocupa a superfície do Atlântico Sul Tropical, oriunda da Corrente Sul Equatorial, a qual é transportada para o sul pela corrente do Brasil. Caracteriza-se por temperaturas maiores que 20°C e salinidades acima de 36. É uma corrente oceânica oligotrófica, indicando o alto potencial de diluição material costeiro por essas correntes de borda. Knoppers et. al (1999) relacionam sua presença como um dos fatores que geram a escassez de matéria e a baixa produtividade da região Leste do Brasil.

6. O RIO SÃO FRANCISCO, SUA CARGA E INFLUÊNCIA NA REGIÃO COSTEIRA ADJACENTE

Os dados deste estudo, não abrangem um ano completo com uma vazão média anual “normal” dos anos após a operação da UHE Xingó, conforme estabelecido na análise dos dados pretéritos. Entretanto, o drástico aumento dos teores dos constituintes de matéria em suspensão, Silicato e fosfato entre outubro de 2001 e março de 2002, na fase de recuperação, compensou o empobrecimento durante a fase maior da crise de energia elétrica. Por exemplo, a carga total anual de matéria em suspensão e silicato do ciclo anual setembro 2000 a agosto 2001 foi de 252.807 t MS/ano e 451.874 t Si/ano, e para o ciclo anual de abril 2001 a março 2002 foi de 277.479 t MS/ano e 483.355 t Si/ano, respectivamente.

A carga e os teores do Rio São Francisco, considerado um rio de médio a grande porte, é inferior, quando comparado em relação às áreas da bacia de drenagens e vazões de diversos rios da Costa Leste do Brasil (Souza, 2002).

Milliman (1975) descreve valores médios para o material em suspensão do rio São Francisco para o ano de 1970 em torno de 70 mg/l e um aporte anual de $6,9 \times 10^6$ toneladas. Santos (1993) descreve, para o ano hidrológico de 1984-1985 valores médios de 27 mg/l, e um aporte anual de $2,1 \times 10^6$ toneladas (Quadro 3).

O presente estudo determinou para o ano hidrológico de novembro de 2000 a outubro de 2001, valores médios de 4,74 mg/l. Já a carga de material em suspensão para o ano hidrológico considerado, ficou em torno de $2,28 \times 10^5$ toneladas, ficando também bastante abaixo dos dados pretéritos. Comparado aos dados de Milliman (1975), para o ano hidrológico de 1970 é em torno de 24 vezes menor. Quando comparado com o ano hidrológico de 1984-1985 é em torno de 7 vezes menor (Quadro 3).

Quadro 3. Comparação dos dados encontrados com os dados pretéritos disponíveis

Variável	Presente estudo (ano hidrológico 11/2000 a 10/2001) Toneladas	Santos (ano hidrológico 1984-85) Toneladas	Milliman (1970) Toneladas
Silicato	$448,00 \times 10^3$	$650,00 \times 10^3$	-
Nitrogênio dissolvido	$3,98 \times 10^3$	$69,60 \times 10^3$	-
Fósforo dissolvido	$0,23 \times 10^3$	-	-
Fósforo Total	$1,16 \times 10^3$	-	-
Matéria em suspensão	$228,00 \times 10^3$	$2.100,00 \times 10^3$	$6.900,00 \times 10^3$

Com relação à foz do rio São Francisco e sua região costeira adjacente, a análise das quatro imagens disponíveis mostra que, de maneira geral, as maiores concentrações de sedimentos em suspensão são encontradas numa faixa contínua próxima da costa e em águas com profundidades inferiores a 10m.

A presença de grandes concentrações de sedimentos em regiões afastadas da desembocadura, tal como, por exemplo, observado nas imagens de dezembro de 2000 e setembro de 2001 sugere que as concentrações de sedimentos na região não sejam diretamente determinadas pela descarga na foz do rio, podendo ser resultado de um processo de re-suspensão de sedimentos de fundo produzido por efeito de turbulência causada por vento e ondas na zona de baixas profundidades próxima à costa.

Os diagramas de mistura dos nutrientes em relação à salinidade, confirmam os resultados da espacialização, ou seja uma rápida diluição da carga de nutrientes, pôr águas oceânicas. Isso ocorre mesmo quando a carga do nutriente é relativamente grande, como é o caso do silicato, que sofre forte diluição a partir da desembocadura até em torno de 20 km direção sul

7. CONCLUSÕES

- Os fluxos mensais de água, material em suspensão e nutrientes, permitiram a caracterização de três estágios de aporte ao longo do período de estudo. A fase no início do período de estudo com vazões características de seu comportamento após a operação da UHE Xingó, a fase induzida pela crise de energia elétrica com marcante diminuição da vazão, e a fase final de recuperação. Foi notável o impacto do manejo da vazão, resultante da crise de energia elétrica, nas características químicas da água do rio São Francisco.
- Para a magnitude de sua bacia de drenagem, o rio São Francisco apresentou cargas baixas de material em suspensão e nutrientes. A única exceção foram as cargas de silicato, comparáveis a rios de semelhante magnitude. No Quadro 33 há uma comparação com o rio Paraíba do Sul, que apresenta área da bacia hidrográfica bastante inferior (menos de 10%) a do Rio São Francisco e uma maior descarga específica (carga/área da bacia) para todos os parâmetros analisados

Quadro 33. Médias mensais (toneladas) do período para os parâmetros analisados obtidos pelo método de extrapolação e comparação com médias mensais do Rio Paraíba do Sul.

Parâmetro	São Francisco	Paraíba do Sul
	(634.000 km ²)	(55.000 km ²)
	t/mês	
Matéria em Suspensão	21850	46695
Silicato	41012	
Nitrato	198	811
Amônia	104	46
Fosfato	49	15
Fósforo Total	201	102

- O rio São Francisco experimentou uma notável redução ao longo do tempo, em sua concentração e carga, de material em suspensão e nutrientes inorgânicos dissolvidos, como pode ser observado no Quadro 34.

Quadro 34. Comparação dos dados encontrados com os dados pretéritos disponíveis

Variável	Presente estudo (ano hidrológico 11/2000 a 10/2001) Toneladas	Santos (ano hidrológico 1984-85) Toneladas	Milliman (1970) Toneladas
Silicato	448,00 x 10 ³	650,00 x 10 ³	-
Nitrogênio dissolvido	3,98 x 10 ³	69,60 x 10 ³	-
Fósforo dissolvido	0,23 x 10 ³	-	-
Fósforo Total	1,16 x 10 ³	-	-
Matéria em suspensão	228,00 x 10 ³	2.100,00 x 10 ³	6.900,00 x 10 ³

- O Material em suspensão, apresentou um incremento ou seja um ganho ao longo da zona de mistura estuarina. Os processos que determinaram este comportamento foram a resuspensão e erosão intensa de material do fundo da região costeira, geradas pelo regime de alta energia de ondas e a maré. A análise das quatro imagens disponíveis mostra de maneira geral, as maiores concentrações de sedimentos em suspensão são encontradas numa faixa contínua próxima da costa e em águas com profundidades inferiores a 10m. Com exceção da imagem de setembro de 2001, o padrão dos sedimentos observado na região é difuso e, não em forma de pluma na desembocadura, com presença marcante de frente de sedimentos. É interessante notar as baixas concentrações de sedimentos presentes no interior do rio São Francisco nas proximidades da desembocadura.
- Com exceção ao nutriente silicato, que apresentou comportamento *conservador* em relação a *linha teórica de diluição ideal*, os demais parâmetros apresentaram na maioria das ocasiões um comportamento *não- conservador*.
- A natureza empobrecida de matéria em suspensão e nutrientes do Rio São Francisco se refletiu no grau de fertilidade do baixo São Francisco, seu estuário e as águas costeiras da plataforma continental. Condições oligotróficas, de baixa produtividade, foram observadas nestes compartimentos. Entretanto, em sua zona estuarina, esta oligotrofia também é promovida pela eficiente diluição das águas fluviais pelas correntes oceânicas oligotróficas.

8. RECOMENDAÇÕES

- **Ação Proposta:** Avaliação da atividade de aquicultura como mecanismo de alteração na qualidade da água do rio São Francisco e de sua região estuarina.
- **Proponente:** Prof. Paulo Petter (UFAL)
- **Entidades Participantes:** UFAL/IMA(GERCO)/IBAMA/CODEVASF.
- **Antecedentes:**

O projeto agora proposto seria uma ampliação dos estudos químicos realizados pelo subprojeto 1.1B do Projeto GEF São Francisco. Seriam mantidas algumas de suas atividades, como medições de carga, com introduções de novas atividades. O rio São Francisco no trecho a jusante da UHE do Xingó apresenta-se de maneira geral característica oligotróficas.

A aquicultura, neste caso principalmente a piscicultura, é uma atividade que está em fase de rápida expansão no Baixo São Francisco. Apresentando-se como uma atividade de subsistência, principalmente para comunidades de pescadores, em razão do declínio da captura de espécies nativas. Desponta também, como uma atividade econômica, passível ser explorada a nível industrial, em grande escala.

Apesar de apresentar uma série de componentes econômicos e sociais positivos, a aquicultura pode provocar alterações significativas na qualidade da água. Segundo Macintosh & Phillips (1992 a), a intensificação da aquicultura, além de provocar um aumento de nutrientes e matéria orgânica no meio ambiente, promove o aparecimento de outros resíduos que podem chegar a afetar a qualidade da água, tais como substâncias químicas e antibióticos. Logo, as atividades de aquicultura, podem poluir o meio ambiente pôr meio dessas drogas terapêuticas e demais compostos químicos utilizados.

Um aspecto de fundamental importância na seleção de áreas para a implantação do cultivo em viveiros é a capacidade de suporte, ou seja, o nível máximo de produção que um determinado ambiente pode suportar, e que representa uma condição fundamental para a integridade biótica e da qualidade da água nos ambientes aquáticos.

- **Justificativas**

O rio São Francisco, no trecho a montante de da UHE de Xingó, apresenta-se com baixa concentração de nutrientes. A atividade de piscicultura poderia ampliar a concentração e a carga de nutrientes, bem como contribuir num maior enriquecimento da região costeira adjacente a este rio, podendo aumentar a sua fertilidade.

Entretanto, um aumento exagerado de nutrientes, poderia causar processos de eutrofização, passando o rio de um estado oligotrófico para eutrófico.

Os resultados obtidos podem ser utilizados em outras partes da bacia, bem como, outros rios.

- **Objetivos**

- Determinar a influência da aquicultura, tanto espacialmente quanto temporalmente, na qualidade da água do rio São Francisco e de sua região estuarina.
- Determinar o nível atual e taxa de enriquecimento de fósforo em sedimentos de áreas de piscicultura.
- Fornecer subsídios iniciais a órgãos ambientais estaduais e federais, visando o disciplinamento e zoneamento ambiental da atividade de aquicultura.
- Dar continuidade determinação da carga de nutrientes e materiais em suspensão do rio São Francisco e sua região estuarina.
- realizar estudos adicionais de fitoplâncton e zooplâncton.

Duração e execução do Projeto: O projeto terá duração de 2 anos e será executado por uma equipe de consultores, técnicos e professor da UFAL.

- **Orçamento**

Custos	Total (US\$)
Instituição Doadora	40,000
Contrapartida da UFAL	80,000
Total Geral do Projeto	120,000

DETERMINAÇÃO DA CARGA DE NUTRIENTES DO RIO SÃO FRANCISCO NA REGIÃO DE SUA FOZ

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
1. CARACTERÍSTICAS DA REGIÃO DA FOZ	3
1.1. O ambiente limnício de Propriá-SE e Porto Real do Colégio-AL até a Foz do São Francisco	3
1.1.1. Hidrologia e clima – vazões e precipitações disponíveis	3
1.1.2. Uso do solo e demografia	8
1.1.3. Geologia, Solos e Geomorfologia	11
1.2. A região estuarina e oceânica adjacente	16
1.2.1. Compartimento estuarino	16
1.2.2. Compartimento costeiro adjacente	17
2. INTERFERÊNCIAS DAS BARRAGENS NA REGIÃO COSTEIRA, ESTUÁRIO E RIO	19
2.1. Tipos de interferências	19
2.2. Barragens no rio São Francisco e suas implicações (vazões, material em suspensão, características químicas)	20
3. TRABALHOS REALIZADOS DE AMOSTRAGEM E MEDIÇÕES	24
3.1. Considerações sobre a frequência de amostragem	24
3.2. Metodologia de coleta e parâmetros medidos “in situ”	24
3.3. Procedimentos de conservação e preservação das amostras de água coletada	26
3.4. Parâmetros químicos medidos em laboratório e metodologia analítica utilizada	27
3.5. Condutividade elétrica	28
3.6. Transparência	29
3.7. pH	29
3.8. Nitrogênio	30
3.9. Amônia (NH ₃) e sua forma dissociada (NH ₄ ⁺)	30
3.10. Nitrito (NO ₂ ⁻)	30
3.11. Nitrato (NO ₃ ⁻)	31
3.12. Fósforo (P)	31
3.13. P-ortofosfato (PO ₄ ⁻³)	31
3.14. Fósforo total (P-Total)	32
3.15. Silicato dissolvido (SiO ₄ ⁻⁴)	32
3.16. Clorofila “a”	33
3.17. Material em suspensão	33
4. COMPORTAMENTO DAS VAZÕES DO RIO E SEUS EFEITOS SOBRE O TRANSPORTE DE SEDIMENTOS E NUTRIENTES	34
4.1. Dados obtidos nas diversas medições	34
4.1.1. Locais de medições	34
4.1.2. Vazões e precipitações do período estudado	34
4.1.3. Variação temporal dos Nutrientes inorgânicos	36
4.1.4. Variação temporal do Material em suspensão	39

4.1.5.	Variação temporal da Clorofila “a”	40
4.1.6.	Variação temporal da Temperatura	40
4.1.7.	Variação temporal pH	41
4.1.8.	Variação temporal do Oxigênio dissolvido	41
4.1.9.	Variação temporal da Condutividade elétrica	42
4.1.10.	Carga de nutrientes	42
4.1.11.	Calibração e Cálculo dos Fluxos da Vazão	44
4.1.12.	Modelo do Fluxo Instantâneo	46
4.1.13.	Cálculo dos Fluxos Instantâneos	47
4.1.14.	Comparação das Vazões	48
4.1.15.	Cálculo das Cargas Mensais	52
4.1.16.	Comportamento da vazão em relação a concentração	55
4.1.17.	Comparação entre os Modelos	58
5.	IMPORTÂNCIA DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O ENREQUECIMENTO DE NUTRIENTES DA REGIÃO COSTEIRA ADJACENTE	63
5.1.	Imagens de satélite da foz do rio São Francisco e região costeira adjacente	63
5.2.	Processamento digital de imagens landsat como subsídio ao estudo dos sedimentos em suspensão na região da foz do rio são francisco e região costeira adjacente	63
5.2.1.	O sistema Landsat e algoritmos de detecção por satélite de sedimentos em suspensão na água	63
5.2.2.	O processamento digital das imagens Landsat para estimativa da concentração de sedimentos	67
5.2.3.	Dados ambientais da situação no momento das imagens	74
5.2.4.	Conversão de refletância em concentração de sedimento em suspensão	80
5.2.5.	Aferição do algoritmo logarítmico	83
5.3.	Distribuição espaço temporal dos parâmetros físicoquímicos e biológicos na região da foz e oceânica adjacente	87
5.3.1.	Elaboração do mapa base, seleção de datas de coletas e georeferenciamento dos pontos de coleta	87
5.3.2.	Mapa base e plotagem dos pontos de coleta	95
5.3.3.	Espacialização dos resultados	101
5.4.	Aplicação de modelo de mistura no estuário do rio São Francisco.	109
5.4.1.	Campanhas de Amostragens Analisadas	109
5.4.2.	Condições de Contorno de Matéria das Fontes Fluvial e Marinha	110
5.4.3.	Comportamento dos Parâmetros na Zona de Mistura Estuarina	111
5.4.4.	Matéria em Suspensão	111
5.4.5.	Clorofila -a	112
5.4.6.	Silicato	113
5.4.7.	O Nitrato, Fosfato e a Razão N:P	114
5.4.8.	Intrusão da cunha salina	116
5.4.9.	Intrusão da cunha salina na superfície e fundo do estuário do Rio São Francisco	117
6.	O RIO SÃO FRANCISCO, SUA CARGA E INFLUÊNCIA NA REGIÃO COSTEIRA ADJACENTE	119

7. CONCLUSÕES	121
8. RECOMENDAÇÕES	123
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	125
9.1. Específica do Baixo São Francisco	125
9.2. Geral	125
10. ATORES	129
10.1. Entidades Participantes	129
10.2. Equipe do Subprojeto	129

ANEXOS

- 1 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS LANDSAT COMO SUBSÍDIO AO ESTUDO DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO NA REGIÃO DA FOZ DO RIO SÃO FRANCISCO**
- 2 MAPEAMENTO DAS VARIÁVEIS COLETADAS**
- 3 ANÁLISE DA VIABILIDADE, APLICAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DE MODELOS PARA DETERMINAÇÃO DE CARGAS FLUVIAIS E MISTURA ESTUARINA DO RIO SÃO FRANCISCO**

LISTA DE FIGURAS

1	Localização da Área	2
2	Variação da vazão média mensal na cidade de Pão de Açúcar, no período de janeiro 1943 a fevereiro 2002.	5
3	Distribuição da precipitação média mensal em São Romão, no período de 1952-2001.	6
4	Distribuição da precipitação média mensal em Morpará, no período de 1948-2001.	6
5	Distribuição da precipitação média mensal em Piranhas, no período de 1913-2002.	6
6	Distribuição da precipitação anual em São Romão, no período de 1952-2001.	7
7	Distribuição da precipitação anual em Morpará, no período de 1946-2001.	7
8	Distribuição da precipitação anual total em Piranhas, no período de 1942-2001.	8
9	Percentual das Classes para a área do Baixo São Francisco.	9
10	Divisão municipal com a sede dos principais municípios indicada.	11
11	Mapa geomorfológico da região do Baixo São Francisco.	15
12	Localização das principais barragens do rio São Francisco.	21
13	Vazões médias diárias da estação de Traipú entre o período de 1938 a 2000.	22

14	Variação das médias mensais da vazão da estação fluviométrica de Propriá referentes aos três últimos estágios hidrológicos identificados em função da implementação das UHE's	23
15	Localização das estações de precipitação e vazão ao longo da bacia do São Francisco.	34
16	Variação da média mensal no período de janeiro de 1999 a fevereiro de 2002.	35
17	Comparação da precipitação média mensal em São Romão, para os anos de 1999, 2000 e 2001, com a média climatológica.	35
18	Comparação da precipitação média mensal em Morpará, para os anos de 1999, 2000 e 2001, com a média climatológica.	36
19	Comparação da precipitação média mensal em Piranhas, para os anos de 1999, 2000 e 2001, com a média climatológica.	36
20	Variação da amônia no rio São Francisco, sob a ponte de Propriá (SE) - Porto Real o Colégio (AL).	37
21	Comportamento do nitrito no rio São Francisco, sob a ponte de Propriá (SE) - Porto Real o Colégio (AL).	37
22	Variação do nitrato no rio São Francisco, sob a ponte de Propriá (SE) - Porto Real o Colégio (AL).	38
23	Distribuição do Variação do fosfato dissolvido no rio São Francisco, sob a ponte de Propriá (SE) - Porto Real o Colégio (AL).	38
24	Distribuição do Variação do fosfato dissolvido no rio São Francisco, sob a ponte de Propriá (SE) - Porto Real o Colégio (AL).	39
25	Distribuição do Variação do silicato no rio São Francisco, sob a ponte de Propriá (SE) - Porto Real o Colégio (AL).	39
26	Distribuição do Variação do material em suspensão no rio São Francisco, sob a ponte de Propriá (SE) - Porto Real o Colégio (AL).	40
27	Distribuição da clorofila no rio São Francisco, sob a ponte de Propriá (SE) - Porto Real o Colégio (AL).	40
28	Distribuição da temperatura no rio São Francisco, sob a ponte de Propriá (SE) - Porto Real o Colégio (AL).	41
29	Distribuição do pH no rio São Francisco, sob a ponte de Propriá (SE) - Porto Real o Colégio (AL).	41
30	Distribuição do oxigênio dissolvido no rio São Francisco, sob a ponte de Propriá (SE) - Porto Real o Colégio (AL).	42
31	Variação da condutividade elétrica no rio São Francisco, sob a ponte de Propriá (SE) - Porto Real o Colégio (AL).	42
32	Representação da seção transversal do rio. L_i , A_i e p_i são, respectivamente, a largura, área e profundidade do trecho i .	43
33	Seção transversal da estação fixa de monitoramento de Propriá, na data de calibração de 24 de Março de 2002, incluindo os quatro setores estabelecidos.	45
34	Comparação das vazões defluentes da UHE Xingó, da estação fluviométrica de Propriá (49705000) e do dia da calibração no mês de Abril de 2000.	49
35	Comparação das vazões defluentes da UHE Xingó, da estação fluviométrica de Propriá (49705000) e do dia da calibração no mês de Junho de 2000.	50
36	Comparação das vazões médias mensais fornecidas para a estação de Propriá (ANEEL) e UHE Xingó (CHESF) para o período de estudo de monitoramento. Nota-se o período afetado pela crise de energia elétrica.	50
37	Correlação entre as vazões de Propriá e da UHE Xingó (CHESF). Jan/99 a Dez/01.	51

38	Comparação dos fluxos mensais e médias do período de estudo para a matéria em suspensão (MS) obtidos pelo método de extrapolação.	53
39	Comparação dos fluxos mensais e médias do período de estudo para o silicato ($\text{SiO}_4\text{-Si}$) expresso em toneladas de sílica por mês (t/mês) obtidos pelo método de extrapolação.	54
40	Comparação dos fluxos mensais e médias do período de estudo para o nitrato expresso em toneladas de nitrogênio por mês (t/mês) obtidos pelo método de extrapolação.	54
41	Fluxos mensais e médias do período de estudo para a amônia expresso em toneladas de nitrogênio por mês (t/mês) obtidos pelo método de extrapolação.	54
42	Comparação dos fluxos mensais e médias do período de estudo para o fosfato expresso em toneladas de fósforo por mês (t/mês) obtidos pelo método de extrapolação.	55
43	Fluxos mensais e médias do período de estudo para o fósforo total expresso em toneladas de fósforo por mês (t/mês) obtidos pelo método de extrapolação.	55
44	Gráfico de dispersão da matéria em suspensão (MS) contra a vazão. Estação fixa de monitoramento de Propriá durante o período de amostragem.	57
45	Gráfico de dispersão do silicato contra a vazão. Estação fixa de monitoramento de Propriá durante o período de amostragem.	57
46	Curva de histerese da matéria em suspensão versus a vazão. Estação fixa de monitoramento de Propriá durante o período de amostragem. No gráfico são identificados os períodos Pré-Crise, Crise e de Recuperação.	58
47	Curva de histerese do silicato versus a vazão. Estação fixa de monitoramento de Propriá durante o período de amostragem. No gráfico são identificados os períodos Pré-Crise, Crise e de Recuperação.	58
48	Comparação entre os fluxos de matéria em suspensão obtidos entre os modelos de correlação direta e log retransformadas com todos os dados (\square) e com somente os dados para o período da crise de energia elétrica (\square^1).	61
49	Sub-cena imagem TM LANDSAT, órbita ponto 214/67 da Foz do Rio São Francisco. Data: 24 de julho de 2000. Horário: 12:06:40 GMT. Composição colorida RGB (TM 3,2,1). Linhas sobre a água representam as isobatimétricas de 10, 20, 50 e 200 m.	69
50	Sub-cena imagem TM LANDSAT, órbita ponto 214/67 da Foz do Rio São Francisco. Data: 31 de dezembro de 2000. Horário: 12:09:16 GMT. Composição colorida RGB (TM 3,2,1). Linhas sobre a água representam as isobatimétricas de 10, 20, 50 e 200 m.	70
51	Sub-cena imagem TM LANDSAT, órbita ponto 214/67 da Foz do Rio São Francisco. Data: 17 de fevereiro de 2001. Horário: 12:09:36 GMT. Composição colorida RGB (TM 3,2,1). Linhas sobre a água representam as isobatimétricas de 10, 20, 50 e 200 m.	71
52	Sub-cena imagem TM LANDSAT, órbita ponto 214/67 da Foz do Rio São Francisco. Data: 05 de setembro de 2001. Horário: 12:18:09 GMT. Composição colorida RGB (TM 3,2,1). Linhas sobre a água representam as isobatimétricas de 10, 20, 50 e 200 m.	72
53	Imagem TM Landsat de 05/09/2001, banda 2 em níveis digitais 0 a 255.	73
54	Imagem de refletância derivada a partir dos dados TM2 para 05/09/2001. Valores entre 0 e 0.4.	74
55	Ventos de superfície para 23 e 24 de julho de 2000. Fonte: CPTEC/INPE	74

56	Vento de superfície para 30 e 31 de dezembro de 2000. Fonte:CPTEC/INPE.	75
57	Vento de superfície para 16 e 17 de fevereiro de 2001. Fonte:CPTEC/INPE	75
58	Vento de superfície para 04 e 05 de setembro de 2001. Fonte:CPTEC/INPE	76
59	Previsão da maré para a foz do Rio São Francisco para o período de 01 a 20 de setembro de 2001. Imagem LANDSAT obtida em 05/09/01.	77
60	Previsão horária da altura de maré para a foz do Rio São Francisco para 24 de julho de 2000. O horário da aquisição da imagem LANDSAT é indicado pela seta.	77
61	Previsão horária da altura de maré para a foz do Rio São Francisco para 31 de dezembro de 2000. O horário da aquisição da imagem LANDSAT é indicado pela seta.	78
62	Previsão horária da altura de maré para a foz do Rio São Francisco para 17 de fevereiro de 2001. O horário da aquisição da imagem LANDSAT é indicado pela seta.	78
63	Previsão horária da altura de maré para a foz do Rio São Francisco para 05 de setembro de 2001. O horário da aquisição da imagem LANDSAT é indicado pela seta.	79
64	Concentração de sedimentos em suspensão no mar (g m^{-3}) obtida a partir dos dados TM2 Landsat para 24/07/2000 e algoritmo logarítmico (2).	80
65	Concentração de sedimentos em suspensão no mar (g m^{-3}) obtida a partir dos dados TM2 Landsat para 31/12/2000 e algoritmo logarítmico (2).	81
66	Concentração de sedimentos em suspensão no mar (g m^{-3}) obtida a partir dos dados TM2 Landsat para 17/02/2001 e algoritmo logarítmico (2). Área em branco sobre a água = nuvens.	82
67	Concentração de sedimentos em suspensão no mar (g m^{-3}) obtida a partir dos dados TM2 Landsat para 05/09/2001 e algoritmo logarítmico (2).	83
68	Mapa base da região da foz do São Francisco e área costeira adjacente.	96
69	Pontos amostrados em 17 de junho de 2001.	97
70	Pontos amostrados em 22 de agosto de 2001	98
71	Pontos amostrados em 19 de setembro de 2001.	99
72	Pontos amostrados em 25 de janeiro de 2001.	100
73	Distribuição do nitrato na Foz do Rio São Francisco em 17/06/2001.	102
74	Distribuição do nitrato na Foz do Rio São Francisco em 22/08/2001.	103
75	Distribuição da clorofila na Foz do Rio São Francisco em 17/06/2001.	104
76	Distribuição da clorofila na Foz do Rio São Francisco em 22/08/01.	105
77	Distribuição do material em suspensão na Foz do Rio São Francisco em 17/06/2001.	106
78	Distribuição do material em suspensão na Foz do Rio São Francisco em 22/08/01.	108
79	Diagramas de mistura salinidade contra matéria em suspensão (MS) nas quatro campanhas de amostragem analisadas na zona estuarina do Rio São Francisco.	111
80	Diagramas de mistura salinidade contra clorofila-a nas quatro campanhas de amostragem analisadas na zona estuarina do Rio São Francisco.	113

81	Diagramas de mistura salinidade contra silicato nas quatro campanhas de amostragem analisadas na zona estuarina do Rio São Francisco.	114
82	Diagramas de mistura salinidade contra nitrato nas quatro campanhas de amostragem analisadas na zona estuarina do Rio São Francisco.	116
83	Intrusão da cunha salina na superfície e fundo do estuário do Rio São Francisco.	117
84	Diagrama TS dos dados agrupados.	118

LISTA DE QUADROS

1	Contribuição em área, população e número de municípios dos Estados que compõem o Baixo São Francisco.	9
2	Hidroelétricas localizadas ao longo do rio São Francisco.	21
3	Comparação do teor de STS e aporte anual do RSF.	23
4	Grid de amostragem espacial e temporal dos quatro setores estabelecido para a seção transversal do rio São Francisco, em Propriá. LD = Leito dessecado.	44
5	Coefficientes da vazão nos quatro setores do perfil transversal do rio São Francisco obtidos nas três calibrações. Ponto fixo de monitoramento na ponte entre Porto Real do Colégio (Al) e Propriá (Se). Correspondente a estação fluviométrica ANEEL/ANA de Propriá. VG = Vão Grande (canal principal) e VP = Vão Pequeno	46
6	Concentrações, fluxos parciais dos quatro setores e fluxo total de sílica na estação fixa de monitoramento em Propriá.	47
7	Fluxo Instantâneo expresso em toneladas por dia (t/dia) para os parâmetros analisados nas campanhas de monitoramento da estação fixa de Propriá.	48
8	Comparação das vazões obtidas pela calibração, da estação fluviométrica de Propriá (ANEEL) e da UHE Xingó (CHESF). Os dados apresentados da CHESF incorporam datas anteriores à calibração de Propriá, devido a defasagem temporal do impacto da vazão da UHE Xingó sobre Propriá em função da distância de 140 km entre as duas estações.	49
9	Média e desvio padrão da vazão da estação fluviométrica de Propriá, e número de medidas (n) e coeficientes de variação, após a implementação da UHE Xingó, Abril 1995 à Fevereiro 2002, e nos períodos sem a influência da crise de energia elétrica, pré-crise e crise-recuperação, Abril 2000 à Março 2001.	52
10	Concentrações, Concentrações ponderadas pelos setores e concentração final das campanhas para o matéria em suspensão.	56
11	Comparação entre o somatório dos dados brutos (observados) e das correlações (estimadas) log retransformada e direta entre o fluxo de matéria em suspensão (MS), silicato, fosfato e nitrato com a vazão, corrigidas pelo <i>smearing estimator</i> . \square = Somatório de todos os dados (n= 18, exceto para o MS com n= 17), \square^1 = Somatório dos dados, somente dos dados do período da crise de energia elétrica(n= 13, exceto para o MS com n= 12). Diferença % ¹ = Diferenças percentuais entre os valores somatórios observados e estimados. Diferença % ² = média das diferenças percentuais entre os dados observados e estimados. Valores percentuais negativos indicam menores estimativas do que os valores observados.	60

12	Comparação entre o somatório dos dados brutos (observados) e das correlações (estimados) log retransformada e direta entre o fluxo da matéria em suspensão, silicato, fosfato e nitrato com a vazão, corrigidas pelo <i>smearing estimator</i> . $\square^1 =$ Somatório de todos os dados, com a aplicação das equações obtidas pela restrição de excluir os dados coletados até Março de 2001 (n= 18, exceto para o MS com n= 17), Diferença % ¹ = Diferenças percentuais entre os valores somatórios observados e estimados. Valores percentuais negativos indicam menores estimativas do que os valores observados.	61
13	Faixas Espectrais e Resolução espacial MSS	63
14	Faixas Espectrais e Resolução espacial TM	64
15	Faixas Espectrais e Resolução espacial ETM+	64
16	Características orbitais e de dados ETM+	65
17	Datas das coletas em campo e respectivas imagens Landsat encontradas	68
18	Condições da maré astronômica local na região da foz do Rio São Francisco para as datas das imagens LANDSAT analisadas.	79
19	Comparação dos valores de sedimento em suspensão medidos <i>in situ</i> (a) versus valores obtidos por satélite (b) através da equação (2). Caso Nov/Dez 2000.	84
20	Comparação dos valores de sedimento em suspensão medidos <i>in situ</i> (a) versus valores obtidos por satélite (b) através da equação (2). Caso Fev/2001.	85
21	Comparação dos valores de sedimento em suspensão medidos <i>in situ</i> (a) versus valores obtidos por satélite (b) através da equação (2). Caso Set/2001.	86
22	Coleta de 10/02/2001; conversão de coordenadas geográficas em UTM	88
23	Coleta de 17/06/2001; conversão de coordenadas geográficas em UTM	89
24	Coleta de 22/08/2001; conversão de coordenadas geográficas em UTM	89
25	Coleta de 19/09/2001; conversão de coordenadas UTM em coordenadas geográficas	90
26	Coleta de 25/01/2001; conversão de coordenadas geográficas em UTM	91
27	Coleta de dados de 17/06/2001, Nitrato, Salinidade, Silício, Clorofila e Material em Suspensão	92
28	Coleta de dados de 22/08/2001, Nitrato, Salinidade, Silício, Clorofila e Material em Suspensão	93
29	Coleta de dados de 19/09/2001, Nitrato, Salinidade, Silício, Clorofila e Material em Suspensão	93
30	Coleta de dados de 25/01/2002, Nitrato, Salinidade, Silício, Clorofila e Material em Suspensão	94
31	Médias mensais do período para os parâmetros analisados obtidas pelo método de extrapolação e comparação com medis mensais do Rio Paraíba do Sul.	119
32	Comparação dos dados encontrados com os dados pretéritos disponíveis	120
33	Médias mensais do período para os parâmetros analisados obtidas pelo método de extrapolação e comparação com medis mensais do Rio Paraíba do Sul.	121
34	Comparação dos dados encontrados com os dados pretéritos disponíveis	121

LISTA DE FOTOS

1	Barco utilizado para as coletas no rio e oceano.	24
2	Ponte rodoferroviária em entre Propriá (SE) e Porto Real do Colégio (AL).	25
3	Garrafa do tipo Van Dorn.	25
4	Sonda Multiparamétrica YSI 6590.	26
5	Equipamentos utilizados para análise em laboratório.	26
6	Espectrofotômetro UVI	27
7	Destilador utilizado para purificação da água.	28
8	Deonizador utilizado para purificação intermediária da água.	28

LISTA DE SIGLAS

AL	Alagoas
ANA	Agência Nacional de Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
C	Concentração do elemento
CCEN	Centro de Ciências Exatas e Naturais
C_m	Concentração de matéria
CODEVASF	Compnhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco e do Parnaíba
CRÉE	Crise de Energia Elétrica
CHESF	Companhia Hidroelétrica do São Francisco
DF	Distrito Federal
Diferença %¹	Diferenças percentuais entre os valores somatórios observados e estimados
Diferença %²	Média das diferenças percentuais entre os dados observados e estimados
EDUFAL	Editora da Universidade federal de Alagoas
ENOS	EL Niño Oscilação Sul.
F	Fluxo
F_m	Fluxo de matéria
GEF	Global Environment Facility
Log	Logarítmo natural
m³/s	Vazão d'água em metros cúbicos por segundo
MMA	Ministério do Meio Ambiente.
mmol/m³	Concentração do elemento em millimol por metro cúbico
MS	Matéria em Suspensão
MSS	Multispectral Scanner (Varredor Multi-espectral)
N:P_{at}	Relação entre NID e PID em átomos
NEB	Nordeste Brasileiro
NID	Nitrogênio Inorgânico Dissolvido
NO₃⁻ - N	Nitrato
OEA	Organização do Estados Americanos
PE	Pernambuco
PID	Fósforo Inorgânico Dissolvido
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

PT	Fósforo Total
Q	Vazão do rio
RIPSA	Rede Interagencial para a Saúde
S	Salinidade
SE	Sergipe
Si	Silica
Si₀₄-Si	Silicato
SRH	Secretaria de Recursos Hídricos
t/dia	Carga em toneladas por dia
t/mês	Carga em toneladas por mês
TOR	Termo de Referência
TSS	Total de Sedimentos em Suspensão
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
ZCIT	Zona de Convergência de Inter-tropical.
Σ	Somatório de todos os dados
Σ¹	Somatório de dados
δC	Delta C
δS	Delta S