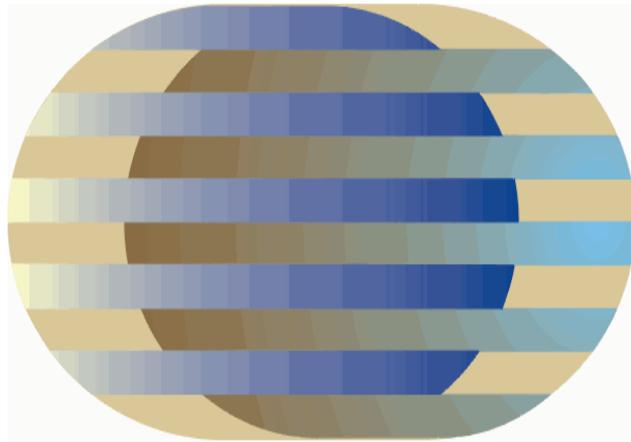




Universidade Estadual de Santa Cruz

Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente

Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente



PRODEMA

**TEMPO DE RESIDÊNCIA DA ÁGUA E ESTADO TRÓFICO DA
PORÇÃO INTERNA DO ESTUÁRIO DO RIO CACHOEIRA,
ILHÉUS-BA**

ALONSO GOES GUIMARÃES

ILHÉUS – BAHIA
2006

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

ALONSO GOES GUIMARÃES

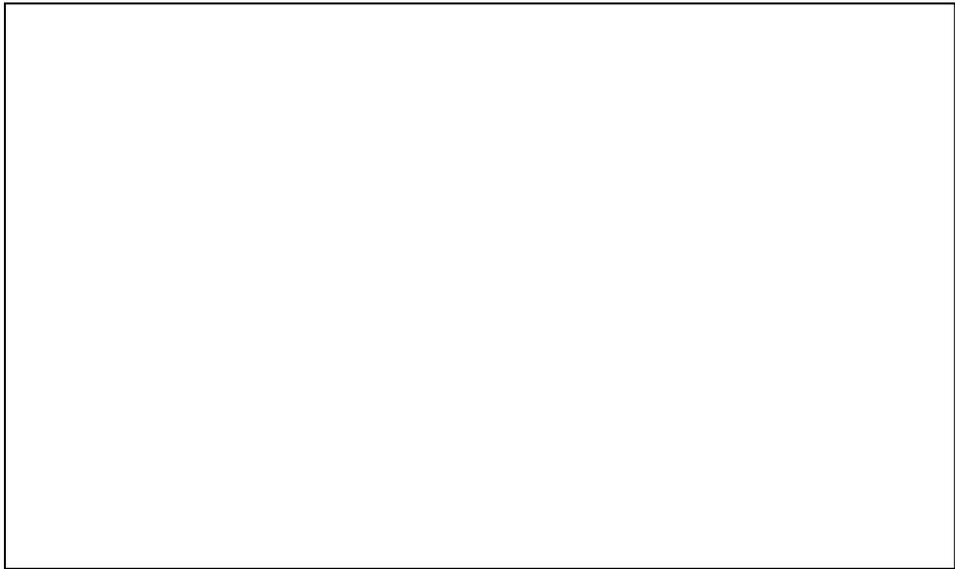
**TEMPO DE RESIDÊNCIA DA ÁGUA E ESTADO TRÓFICO DA
PORÇÃO INTERNA DO ESTUÁRIO DO RIO CACHOEIRA,
ILHÉUS-BA**

Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, Sub-Programa da Universidade Estadual de Santa Cruz, para a obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente.

Sub-área de concentração: Planejamento e Gestão Ambiental no Trópico Úmido.

Orientador: Marcelo Friederichs Landim de Souza

ILHÉUS – BAHIA
2006



ALONSO GOES GUIMARÃES

**TEMPO DE RESIDÊNCIA DA ÁGUA E ESTADO TRÓFICO DA
PORÇÃO INTERNA DO ESTUÁRIO DO RIO CACHOEIRA,
ILHÉUS-BA**

Prof. Dr. Marcelo Friederichs Landim de Souza
UESC/DCET
(Orientador)

Prof. Dr. Weber Friederichs Landim de Souza
Instituto Nacional de Tecnologia/LABAI

Prof. Dr. Francisco Carlos Fernandes de Paula
UESC/DCAA

DEDICATÓRIA

À Deus, pela força e coragem que me concedeu para prosseguir nesta jornada marcada pelos momentos mais difíceis e de maior superação da minha vida.

Aos meus pais, por terem propiciado com amor e carinho as condições necessárias para uma boa educação e incentivo para continuar a busca do conhecimento e crescimento profissional e pessoal.

A minha esposa e meus irmãos por estarem sempre presentes nessa caminhada.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Marcelo Friederichs Landim de Souza, pela orientação, pelo apoio, paciência e principalmente por ter sido um amigo nas horas mais difíceis.

À Universidade Estadual de Santa Cruz pela oportunidade e condições de realização do Curso.

Às amigas Gilmara, Cida e Michelle pelo grande apoio dado em todas as análises desse trabalho e pela amizade.

Aos colegas da turma e novos amigos pelo convívio, pela colaboração e pelos momentos alegres que passamos juntos.

Ao professor Maurício Moureau, um agradecimento especial pela disponibilidade, atenção e paciência que contribuíram de forma marcante para esse trabalho.

Aos professores Ana Maria Moureau, Neylor Calasans e Francisco de Paula, pelos ensinamentos e colaboração recebidos.

Aos meus amigos de verdade, que estiveram presentes e me deram incentivo.

TEMPO DE RESIDÊNCIA DA ÁGUA E ESTADO TRÓFICO DA PORÇÃO INTERNA DO ESTUÁRIO DO RIO CACHOEIRA, ILHÉUS-BA

RESUMO

Este trabalho avaliou a influência de variações do tempo de residência hídrico sobre as características hidroquímicas e estado trófico das águas da porção interna do estuário do Rio Cachoeira, Ilhéus, Bahia, no período de Dezembro de 2003 a Março de 2004. Foram feitas sondagens batimétricas do estuário para cálculo de seu volume aproximado. Campanhas de amostragem foram conduzidas ao longo do eixo central do estuário no período de transição estiagem/chuvoso, sendo medidas as variáveis físico-químicas e biológicas tais como: pH, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo e nitrogênio inorgânico dissolvido (amônio, nitrito e nitrato), temperatura, condutividade, oxigênio dissolvido e o total de sólidos em suspensão. Foram calculados os balanços de água e sal na porção interna do estuário e realizadas estimativas do tempo de residência desta seção do estuário. Esta seção do estuário apresentou crescente estratificação entre os meses de estiagem e início das chuvas, mas comportou-se como um rio no pico de descarga fluvial. O tempo de residência diminuiu de 7400 dias no pico da estiagem (Dezembro) e 1 dia no auge da descarga fluvial (Março). As concentrações de nitrato foram menores que o limite de detecção no mês de Dezembro, aumentando com o incremento da descarga de água doce atingindo um máximo de 54,8 μM . Os demais nutrientes (amônio, $1,9 \pm 3,4 \mu\text{M}$; nitrito $0,2 \pm 0,2 \mu\text{M}$; e fosfato, $6,9 \pm 3,6 \mu\text{M}$) também apresentaram as menores concentrações em Dezembro e incremento com o aumento da descarga fluvial e precipitação. De forma contrária as concentrações de clorofila-a foram extremamente elevadas durante a estiagem (Dezembro) e decresceram com a diminuição do tempo de residência hídrico. As concentrações de nutrientes inorgânicos dissolvidos, oxigênio dissolvido e clorofila demonstraram um alto grau de eutrofização na porção estuarina. Condições sub-óxicas e anóxicas foram observadas no fundo do estuário durante a estiagem. Apesar da menor disponibilidade de fósforo em relação ao nitrogênio, nenhum desses nutrientes foram limitantes para produção primária.

Palavras-chaves: eutrofização, balanço hídrico, nutrientes inorgânicos dissolvidos, clorofila-a.

WATER RESIDENCE TIME AND TROPHIC STATE OF THE RIVER CACHOEIRA INNER ESTUARY, ILHÉUS-BA

ABSTRACT

This work intended to evaluate the influence of water residence time on the hydrochemistry and trophic state of the inner estuarine portion of Cachoeira River, Ilhéus, Bahia. Bathymetric profiles were conducted to estimate the estuarine volume. Monthly sampling surveys were carried along the estuary during the transition from dry and rainy season. The temperature, electrical conductivity, salinity, pH, dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, dissolved inorganic phosphorus and nitrogen, and total suspended solids were determined in the samples. Monthly balances of water and salt were made from the dry (December 2003) to rainy season (March 2004). The water residence time of the inner estuary was calculated for each month. This estuarine section presented a growing salinity stratification with the increasing fluvial discharge, but was completely washed by freshwater under high discharge regime. The water residence time decreased from about 7400 days in the dry season to 1 day during the peak discharge. Nitrate concentrations were below the detection limit in December, reaching a maximum of 54,8 μM in February. The other dissolved nutrients (ammonium, $1,9\pm 3,4\mu\text{M}$; nitrite, $0,2\pm 0,2\mu\text{M}$; and phosphate, $6,9\pm 3,6\mu\text{M}$) also showed lower concentrations in December, increasing with freshwater inputs. Conversely, chlorophyll-*a* concentrations were extremely high in the dry season (December), decreasing with water residence time. Concentrations of dissolved inorganic nutrients, dissolved oxygen and chlorophyll-*a* reveal a high degree of eutrophication in this estuarine section. Anoxic and su-oxic conditions were observed in the bottom layer during the peak of dry season. Despite the lower phosphorus availability compared with nitrogen, none of these nutrients seems to be limiting to primary production.

Key words: Eutrophication, water balance, dissolved inorganic nutrients, chlorophyll-*a*

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultado do balanço de água e sal mensal. Modelo para 1 compartimento.	55
Tabela 2. Resultado do balanço de água e sal mensal. Modelo para 2 compartimentos.....	60
Tabela 3. Resultado do balanço de água e sal mensal com os tempos de residência hídricos e os respectivos modelos aplicados.	64
Tabela 4. Concentrações de amônio em mg/L.....	80
Tabela 5. Concentrações de nitrito em mg/L.....	82
Tabela 6. Concentrações de nitrato em mg/L.....	85
Tabela 7. Concentrações de fosfato em mg/L.....	91
Tabela 8. Matrix de Correlação de Spearman entre as variáveis.....	99
Tabela 9. Resultados obtidos no teste H das variáveis.....	102

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Processos e forçantes locais e remotas na bacia de drenagem e no oceano adjacente determinantes de características e da dinâmica de um estuário.21
- Figura 2. Tipos fisiográficos de estuários.23
- Figura 3. Tipos de estuários de acordo com a estratificação da coluna d'água. (A) Estuário bem estratificado ou de cunha salina. (B) Parcialmente misturado. (C) Totalmente misturado. As linhas representam os limites de salinidade indicados pelos números.....25
- Figura 4: Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira.....36
- Figura 5. Imagem de satélite da porção estuarina estudada do Rio Cachoeira com os limites determinados pelas linhas brancas transversais e os pontos de coleta ao longo do canal.....39
- Figura 6. Diagrama do box com o modelo de balanço de água para uma porção da zona costeira. As setas mostram os fluxos associados aos respectivos volumes ou processos.....46
- Figura 7. Diagrama do box com o modelo de balanço de sal para uma porção da zona costeira. As setas mostram os fluxos de sal associados aos respectivos processos.....46
- Figura 8. Diagrama dos boxes com o modelo de balanço de água para uma porção da zona costeira estratificada. As setas mostram os fluxos associados aos respectivos processos.....49
- Figura 9. Precipitação e evapotranspiração média mensal registrada no período de 1961 a 1990 em estação meteorológica em Ilhéus. Localização a 14°80' S, 39°07' W, altitude 60 m.52

- Figura 10. Precipitação e evapotranspiração acumulada mensal .A precipitação do período de novembro de 2003 a setembro de 2004 foi obtida do Laboratório de Climatologia da UESC e engloba o período de estudo (Dez/03 a Mar/04). 14°39' S, 39°10' W, altitude 78m.....52
- Figura 11. Descarga diária de água doce da porção estuarina representada pelo número de dias do período de Nov/03 a Out/04. As setas pontilhadas indicam os dias das campanhas de amostragem de dezembro/03 a março/04. Estação 53180000 (Contorno da BR-101); 14°48'54" S, 39°17'46" W, altitude: 49 m.....53
- Figura 12. Descarga fluvial mensal acumulada na estação 53180000, corrigida para a área da bacia no limite da porção estuarina.....54
- Figura 13. Esquema com o balanço mensal de água e sal para o estuário do Rio Cachoeira no mês de dezembro/2003 (estiagem).56
- Figura 14. Esquema com o balanço mensal de água e sal para o estuário do Rio Cachoeira no mês de janeiro/2004.57
- Figura 15. Esquema com o balanço mensal de água e sal para o estuário do Rio Cachoeira no mês de fevereiro/2004.57
- Figura 16. Esquema com o balanço mensal de água e sal para o estuário do Rio Cachoeira no mês de março/2004 (chuvoso).....58
- Figura 17. Esquema com o balanço mensal de água e sal para o estuário do Rio Cachoeira no mês de Dezembro/2003.....61
- Figura 18. Esquema com o balanço mensal de água e sal para o estuário do Rio Cachoeira no mês de Janeiro/2004.62
- Figura 19. Esquema com o balanço mensal de água e sal para o estuário do Rio Cachoeira no mês de Fevereiro/2004.63
- Figura 20. Distribuição da salinidade nos meses de estudo.65

Figura 21. Distribuição espacial e temporal da salinidade no estuário.....	65
Figura 22. Distribuição da alcalinidade nos meses de estudo.....	67
Figura 23. Distribuição espacial e temporal da alcalinidade do estuário.	68
Figura 24. Distribuição do pH nos meses de estudo.	69
Figura 25. Distribuição espacial e temporal do pH.....	69
Figura 26. Distribuição da temperatura nos meses de estudo.	71
Figura 27. Distribuição do oxigênio dissolvido nos meses de estudo.....	72
Figura 28. Distribuição espacial e temporal do oxigênio dissolvido no estuário.....	72
Figura 29. Distribuição do percentual de saturação do oxigênio dissolvido nos meses de estudo.	73
Figura 30. Distribuição da DBO ₅ nos meses de estudo.....	76
Figura 31. Distribuição espacial e temporal da DBO ₅ nos meses de estudo.....	77
Figura 32. Distribuição das concentrações de nitrogênio amoniacal durante os meses de estudo.....	79
Figura 33. Distribuição espacial e temporal das concentrações de nitrogênio amoniacal durante os meses de estudo.....	79
Figura 34. Distribuição das concentrações de nitrito durante os meses de estudo...	81
Figura 35. Distribuição espacial e temporal das concentrações de nitrito durante os meses de estudo.....	82
Figura 36. Distribuição das concentrações de nitrato durante os meses de estudo. Os valores das concentrações em dezembro foram abaixo do nível de detecção do método.	83
Figura 37. Distribuição espacial e temporal das concentrações de nitrato durante os meses de estudo.....	84

Figura 38. Distribuição espacial e temporal de nitrogênio inorgânico dissolvido nos meses de estudo.....	86
Figura 39. Distribuição de fosfato durante os meses de estudo.....	88
Figura 40. Distribuição espacial e temporal de fosfato.....	89
Figura 41. Distribuição de clorofila-a durante os meses de estudo.....	92
Figura 42. Distribuição espacial e temporal de clorofila-a.....	92
Figura 43. Distribuição de silicato durante os meses de estudo.....	94
Figura 44. Distribuição espacial e temporal de silicato.....	95
Figura 45. Distribuição de TSS durante os meses de estudo.....	97

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. OBJETIVOS	18
3. REVISÃO DE LITERATURA	19
3.1. Estuários	19
3.1.1. Forçantes físicas	20
3.1.2. Tipos Morfológicos	22
3.1.3. Estratificação/Mistura	24
3.1.4. Estuários Tropicais e Temperados	25
3.1.5. Processos Biogeoquímicos	26
3.2. Eutrofização	27
3.3. Tempo de Residência	31
3.3.1. Definição e variáveis	31
3.3.2. Importância para a biogeoquímica estuarina	32
4. MATERIAL E MÉTODOS	35
4.1. Área de Estudo	35
4.1.1. Caracterização do Estuário Estudado	37
4.2. Amostragem	38
4.3. Análises Químicas	40
4.3.1. Características Hidroquímicas da água	41
4.4. Levantamento Batimétrico	42
4.5. Balanço de água e sal	43
4.6. Análise Estatística	49
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
5.1. Análise do Regime Pluvial e Fluvial do Estuário	51

5.2. Balanço de água e sal (Modelo com 1 compartimento)	54
5.3. Balanço de água e sal (Modelo com 2 compartimentos)	59
5.4. Variáveis físico-químicas	64
5.5. Nutrientes Inorgânicos Dissolvidos	78
5.5.1. Nitrogênio inorgânico dissolvido	78
5.5.2. Fósforo Inorgânico Dissolvido	88
5.6. Clorofila-a	91
5.7. Silicato	94
5.8. TSS (Total de Sólidos em Suspensão)	96
5.9. Análise Estatística	97
5.9.1 Análise de Correlação	97
5.9.2. Teste de Kruskal Wallis para as variáveis	101
6. CONCLUSÕES	103
7. REFERÊNCIAS	105
8. APÊNDICE A	110

1. INTRODUÇÃO

Os estuários são ecossistemas de transição entre o ambiente marinho (zona costeira) e o continente. São ambientes de alto dinamismo, produtividade e decomposição de matéria orgânica. Suas características e dinamismo os tornam vulneráveis às ações antrópicas.

O estuário é um ambiente altamente privilegiado pela sua riqueza em fauna e flora e facilidade de acesso e navegação, proporcionados pela interação com a zona costeira. Muitos estuários são fontes de espécies de peixes com alto valor comercial. As mudanças no ambiente provocadas pelo desenvolvimento causam sérios danos para as atividades comerciais e turísticas.

As fontes de entrada de nutrientes para os estuários podem ser de origem natural, tais como a resultante da descarga fluvial, aporte atmosférico e pelo lençol freático. O aporte artificial pode ser resultado do despejo de esgotos domésticos, industriais ou da lixiviação de fertilizantes aplicados na agricultura. Todas as entradas de nutrientes naturais ou de origem antrópicas, ocorridas ao longo de uma bacia hidrográfica, provocam alterações químicas, físicas e biológicas na porção estuarina e zona costeira adjacente.

O enriquecimento das águas estuarinas com nutrientes e matéria orgânica provoca o fenômeno chamado de eutrofização. O estuário do Rio Cachoeira está sujeito ao processo de eutrofização, pois além do aporte fluvial e de fontes difusas recebe efluentes de uma ETE (Estação de Tratamento de Esgoto) e lançamento direto de esgoto "*in natura*".

A eutrofização da porção fluvial e do estuário do Rio Cachoeira tem implicações sócio-econômicas relevantes, como por exemplo a proliferação de macrófitas no rio, as quais atingem a zona costeira no período chuvoso causando prejuízos ao turismo. As alterações ambientais nesta bacia e região estuarina afetam um grande número de famílias que dependem diretamente dos recursos disponíveis neste ecossistema.

Os estuários tropicais estão entre os ambientes menos estudados quanto aos ciclos biogeoquímicos e o risco de eutrofização. Estudos específicos sobre as características hidroquímicas da porção estuarina do Rio Cachoeira são escassos, o que torna este trabalho importante como um subsídio para o gerenciamento desse ecossistema costeiro.

2. OBJETIVOS

2.1. GERAL:

Avaliar as características hidroquímicas da água estuarina ao longo de um gradiente do tempo de residência hídrico.

2.2. ESPECÍFICOS:

2.2.1. Calcular o balanço de água e sal para a porção interna do estuário;

2.2.2. Estimar o tempo de residência hídrico da porção interna do estuário;

2.2.3. Avaliar as características hidroquímicas da água;

2.2.4. Avaliar o estado trófico da água.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Estuários

O significado da palavra estuário vem do latim *aestuarium* que significa maré ou onda abrupta de grande altura. É uma referência ao dinamismo desse ambiente, com mudanças freqüentes em resposta a forçantes naturais (MIRANDA, 2002). Estuário é uma parte da zona costeira parcialmente fechada de água na qual a salinidade da água do oceano é consideravelmente diluída pela água doce oriunda do continente. Em essência, todos os estuários foram formados há 18 000 anos com a elevação dos níveis dos oceanos (THURMANN, 1997).

Os estuários são ecossistemas que fazem a interface entre o ambiente marinho (zona costeira) e o continente. É uma zona de fronteira sujeita a contínuas alterações morfodinâmicas, modeladas por processos de origem continental e marinha (SILVA et al. 2004). São ambientes altamente dinâmicos, de transição entre o oceano e o continente, complexidade e vulnerabilidade à influência do homem. São biologicamente mais produtivos do que os rios e os oceanos, por apresentarem altas concentrações de nutrientes que estimulam sua produtividade (MIRANDA, 2002) primária, secundária ou bacteriana.

As atividades econômicas e a urbanização possuem grande relação com os estuários por serem adequados para instalação de portos; possuírem alta fertilidade e produção de matéria orgânica; facilidade para acesso ao continente; grande riqueza de fauna e flora; e terem suas águas constantemente renovadas pelas marés (MIRANDA, 2002). Muitos estuários são fontes de espécies de peixes com alto valor comercial. Mudanças no ambiente provocadas pelo desenvolvimento causam danos sérios para as atividades comerciais (THURMANN, 1997).

3.1.1. Forçantes físicas

Segundo Miranda (2002), os estuários estão sujeitos às ações de forçantes físicas que ocorrem na bacia e na porção adjacente do oceano (Figura 1). Dentre essas forçantes estão:

- O balanço entre precipitação, descarga fluvial e evapotranspiração na bacia de drenagem do estuário que é sempre positivo, ou seja, a soma da precipitação com a descarga é sempre superior à evapotranspiração. Esses fatores podem ser influenciados por outros como a temperatura e a umidade do ar, direção e intensidade dos ventos, geomorfologia, características do solo e cobertura vegetal;
- Os ventos são processos meteorológicos sazonais que promovem a aeração e a circulação de massas das águas estuarinas e costeiras, além de gerarem ondas e correntes nos estuários que intensificam a mistura vertical;
- A descarga fluvial e os gradientes longitudinais de salinidade são essenciais para a dinâmica do estuário, dos processos de transporte e de mistura. Pela descarga de água doce são transportados sedimentos em suspensão e

nutrientes orgânicos e inorgânicos, desempenhando uma grande importância para o desenvolvimento urbano, social e econômico dos estuários.

- As oscilações periódicas e a amplitude de maré além da relação com o gradiente de salinidade e a circulação de massas, são também importantes por propiciar condições para o desenvolvimento de manguezais nas áreas inundáveis.

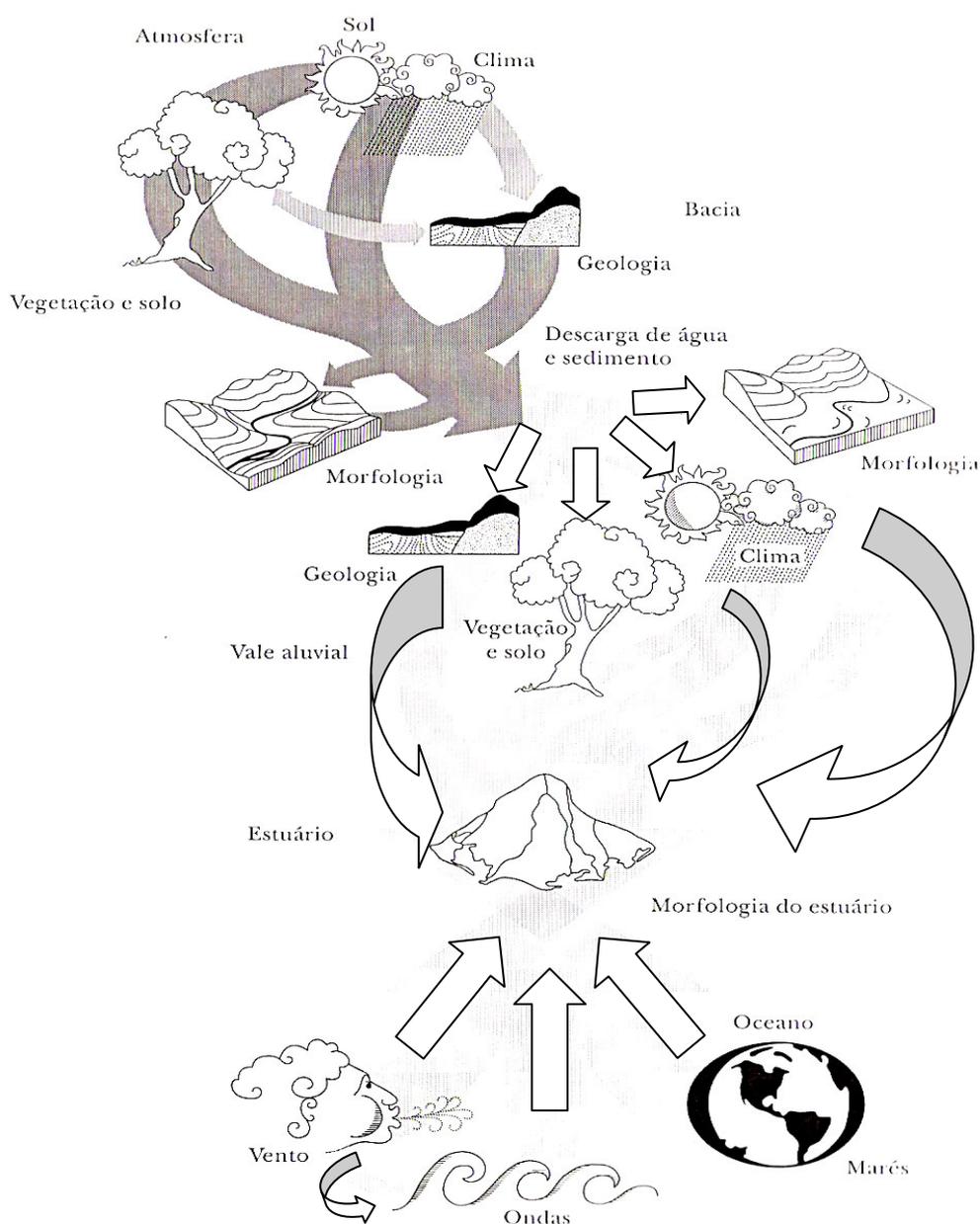


Figura 1. Processos e forças locais e remotas na bacia de drenagem e no oceano adjacente determinantes de características e da dinâmica de um estuário. Fonte: Miranda (2002).

3.1.2. Tipos Morfológicos

Não existe um sistema único de classificação de ambientes costeiros. As classificações existentes diferem entre si pela escala de aproximação e pela finalidade do estudo.

Thurmann (1997) classifica os estuários em quatro classes de acordo com sua origem: planície costeira os que são formados pela transgressão do mar que inundou os vales dos rios; fiorde, os formados por barras e por outros processos durante o período glacial; construídos por barras, formados com a inundação de vales de rios e durante a transgressão marinha, nas quais a sedimentação recente resultou na formação de barras na boca; e estuário tectônico, formado pela elevação da parte do continente onde estava localizado o vale interior do rio.

Fairbridge (1980) citado por Miranda (2002), apresenta em sua classificação, o estuário tipo ria, são os estuários de origem tectônica, formados pela elevação do continente no vale interior do rio, com morfologia irregular e tributários que drenam grande parte da região adjacente; delta estuarino ou delta de enchente, formado nas regiões de macro ou hipermaré com ação de grandes ondas e com o transporte fluvial de sedimentos favoreceu a formação de ilhas na parte interior do estuário; delta de vazante ou delta, são os formados em regiões de micromaré, a sedimentação ocorre na plataforma continental interna, formando bancos de areia e ilhas (Figura 2).

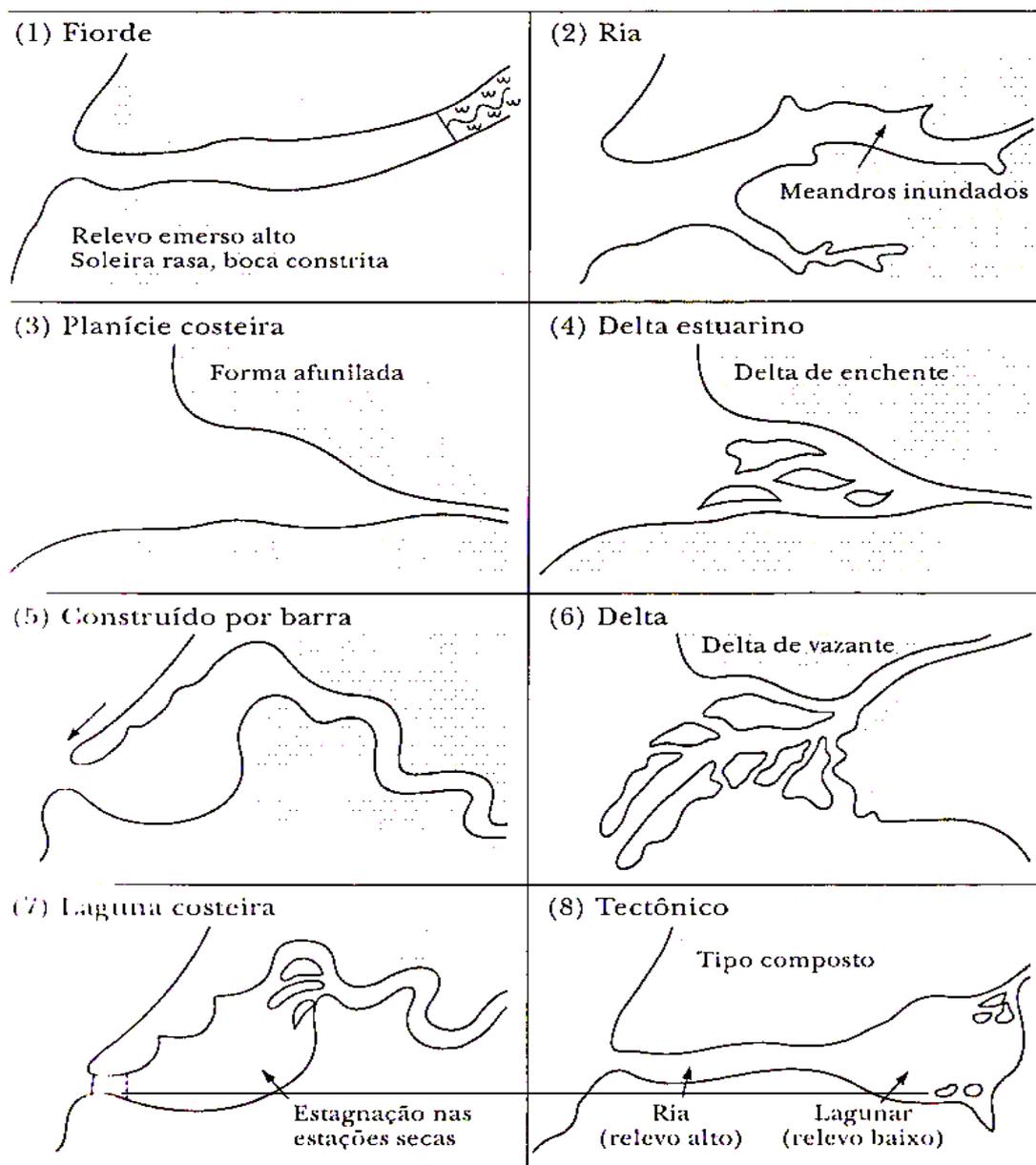


Figura 2. Tipos fisiográficos de estuários.
Fonte: Fairbridge (1980) em adaptação de Miranda (2002).

3.1.3. Estratificação/Mistura

Os estuários classificados de acordo com as características geomorfológicas, podem apresentar diferentes padrões de circulação, estratificação de salinidade e processos de mistura. As variações entre a descarga fluvial e a amplitude das marés modificam os padrões de circulação estuarina permitindo outra classificação.

Segundo Silva et al. (2004), quando ocorre o predomínio das águas do rio, o estuário é classificado como altamente estratificado ou de cunha salina, onde as águas da superfície possuem menor salinidade do que as do fundo, representando uma diferença acentuada no perfil vertical de salinidade; quando a turbulência provocada pela maré e pelas ondas são dominantes é classificado como totalmente misturado, pois o perfil vertical de salinidade é homogêneo e só varia de forma longitudinal; quando a velocidade da descarga fluvial é comparável a corrente de maré é classificado como parcialmente misturado, onde o perfil vertical de salinidade é de poucas unidades e se dá na direção vertical e longitudinal (Figura 3).

Como a circulação das águas estuarinas depende de fatores hidrodinâmicos e climáticos, um mesmo estuário pode apresentar comportamentos diferentes, ou seja, em um momento pode ser bem estratificado e instantes depois como totalmente misturado, bastando apresentar um aumento na descarga fluvial para que isso ocorra.

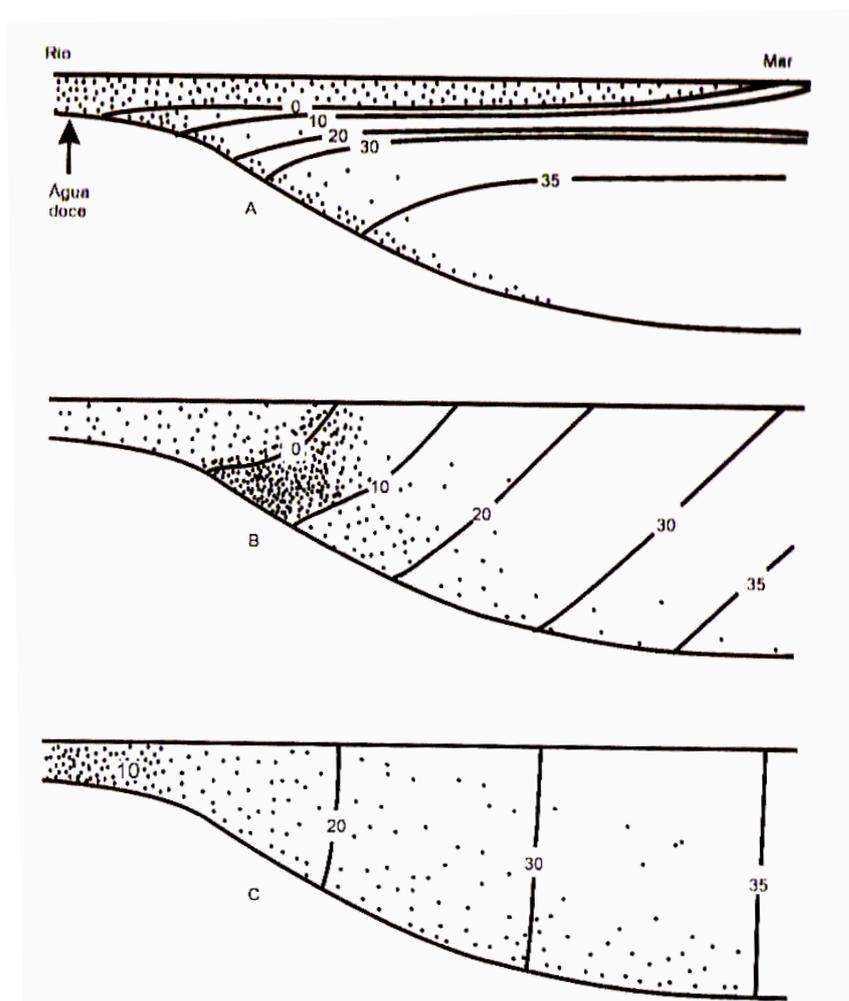


Figura 3. Tipos de estuários de acordo com a estratificação da coluna d'água. (A) Estuário bem estratificado ou de cunha salina. (B) Parcialmente misturado. (C) Totalmente misturado. As linhas representam os limites de salinidade indicados pelos números. Fonte: Silva et al. (2004).

3.1.4. Estuários Tropicais e Temperados

Os estuários de regiões temperadas são relativamente bem estudados em comparação com os estuários tropicais. Existe pouca informação sobre balanço de nutrientes e os processos que ocorrem nesses ecossistemas tropicais (WATTAYAKORN et al., 2001). Os efeitos do enriquecimento de nutrientes para os

estuários temperados são bem conhecidos e distintos do comportamento para os estuários de ambientes subtropicais e tropicais (FLEMER, 2006).

As diferenças dos estuários tropicais para os de zonas temperadas estão na adaptação e variabilidade de forças físicas, associadas à descarga de nutrientes predominantemente de variações sazonais na descarga de água doce. Alguns trabalhos científicos têm mostrado que a introdução de materiais para a zona costeira é controlada por processos distintos e dos mais diversos para as regiões de alta latitude. Os estuários temperados e tropicais diferem entre si nos seguintes aspectos: mudança sazonal significativa na temperatura da água; atividade do fitoplâncton acompanhado da sua limitação pela luz na estação chuvosa; presença de florestas de manguezais (áreas tropicais); e para a mistura e circulação de nutrientes provocada pela descarga fluvial (KRESS et al., 2002).

3.1.5. Processos Biogeoquímicos

As interações que ocorrem entre o continente e o oceano são atualmente foco de muitas pesquisas regionais e globais. Dentre os objetivos desses trabalhos, estão a quantificação e a avaliação de modelos de fluxos de matéria do continente para a zona costeira, de modo que possam ser determinadas as mudanças e os efeitos das ações antrópicas nessas regiões (KRESS et al., 2002).

As relações entre as ações antrópicas nos continentes, o transporte de matéria orgânica e de nutrientes pelos rios são objeto de estudo de projetos internacionais como LOICZ (Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone), e parte

do IGBP (International Geosphere-Biosphere Programme) vinculado ao LOICZ. A abordagem do LOICZ está fomentando pesquisadores no mundo inteiro para desenvolverem modelos de fluxos de carbono, nitrogênio e fósforo para as diversas áreas geográficas. Se construídos de forma similar, esses modelos farão estimativas que poderão ser agregadas a escala regional e global e servirão para explorar as conseqüências das mudanças provocadas pelas ações antrópicas (GORDON et al. 1996).

3.2. Eutrofização

Segundo Tundisi (2005), as principais atividades antrópicas que constituem impactos relevantes em um corpo hídrico, e que repercutem diretamente na qualidade da água, são: urbanização e despejos de esgotos sem tratamento; construção de estradas; construção de represas; atividades industriais; desmatamento nas bacias hidrográficas; disposição de lixo urbano, agricultura, dentre outros. Odum (1988) afirma que para entender e melhor controlar o papel antrópico nos ciclos de materiais deve-se quantificar as taxas de ciclagem e calcular os estoques existentes num ecossistema.

A eutrofização de estuários é o fenômeno caracterizado pelo acúmulo de nutrientes, principalmente, fósforo e nitrogênio, provenientes da descarga fluvial ou de fontes antrópicas (ESTEVES, 1998) que possui relação freqüente com o grau de poluição doméstica e industrial ou com o grau de eutrofização (CARMOUZE, 1994) que atinge os estuários. Esses aportes provocam desequilíbrios nos sistemas biogeoquímicos dos corpos d'água, alterando a qualidade de vida dos seres que

dependem do recurso hídrico e a sustentabilidade do ecossistema (LORANDI & CANÇADO, 2002).

O aporte de efluentes ricos em fósforo está ligado ao aumento da produtividade primária e ao crescimento da comunidade fitoplanctônica, superando a capacidade do ecossistema de consumir e decompor o excesso de matéria orgânica produzida. As conseqüências seguem em cadeia, onde os produtores secundários, principalmente peixes e zooplâncton, têm sua composição e densidade alteradas. A grande quantidade de matéria orgânica produzida, ao ser decomposta, diminui drasticamente a concentração de oxigênio no hipolímnio, tornando-o anaeróbico. Além disso, são produzidos gases nocivos para a biota, como gás sulfídrico e metano. Nessas condições ocorre favorecimento da liberação de íons do sedimento e o fosfato, por difusão, atinge a zona eufótica, contribuindo para a eutrofização (FERREIRA et al. 2005).

Turner et al. (2003) analisou dados do *Global Environmental Monitoring System* (2000), programa de monitoramento de grandes rios de todo o mundo, e concluíram que a limitação de fósforo e silício em corpos d'água associada com altas concentrações de nitrato, supersaturação de oxigênio e também a incidência de subsaturação, são fatores altamente relacionados a eutrofização.

Uncles et al. (2003) realizaram estudo no estuário do Rio Tweed, localizado entre a Inglaterra e a Escócia, e verificaram variações sazonais nas concentrações de nitrato e silicato muito amplas, com valores que excederam, respectivamente, 300 e 100 μM no inverno e menos que 30 e 10 μM no verão. Nitrito e fosfato

exibiram em geral concentrações menores do que 3 e 4 μM , respectivamente. Suas distribuições foram mais complexas do que os outros nutrientes, embora a tendência tenha sido de altas concentrações em água doce e menores em água salina.

Dittmar & Lara (2001) observaram que a dinâmica de nutrientes em um estuário no Pará (Caeté) foi fortemente influenciada pela descarga de água doce proveniente da porção a montante da vegetação de manguezal. As concentrações médias de nitrogênio inorgânico (NID), nitrogênio orgânico dissolvido (NOD), fosfato e silicato foram 11, 20, 3 e 170 μM , respectivamente. As oscilações anuais nas concentrações de nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) e nitrogênio orgânico dissolvido (NOD) foram atribuídas às variações das taxas de atividade fitoplanctônica.

Wattayakorn et al. (2001) estudando os processos e balanços biogeoquímicos ocorridos na Baía de Bandon (Tailândia), atribuíram as variações sazonais nas concentrações de nutrientes às diferenças na magnitude das entradas de água doce. Estes resultados explicam a alta exportação de nutrientes na estação chuvosa em relação à seca.

Em trabalho realizado no Golfo de Nicoya, Costa Rica, Kress et al. (2002) constataram que as condições hidrodinâmicas sazonais causaram o aporte fluvial de nutrientes. Esta entrada explica as altas concentrações de clorofila-a encontradas durante os meses de amostragem. As concentrações de N e P, em contraste ao Si, se mostraram relacionadas à sua origem antrópica. A indústria de peixes e os

rejeitos agrícolas lançados diretamente no leito do Rio Tempisque constituem as principais fontes destes nutrientes.

Estudos específicos sobre a qualidade da água ou das características hidroquímicas da porção estuarina do Rio Cachoeira são escassos. Alguns trabalhos já foram realizados ao longo da bacia com ênfase na porção fluvial, como o de Pinho (2001) e Klumpp et al. (2002), e com ênfase na porção estuarina o trabalho de Souza (2005). Estes autores determinaram que a concentração de nutrientes na água apresenta variabilidade e dependência da proximidade de efluentes.

A variabilidade nas concentrações de nutrientes foi verificada nos resultados do trabalho de Klumpp et al. (2002), onde as concentrações de fósforo foram muito baixas à montante da Vila de Ferradas (à montante de Itabuna), mas aumentaram em um fator de 10 na vila e adicionalmente em fator de 16 na cidade de Itabuna (à jusante da Vila). À jusante da cidade, os níveis de fósforo diminuíram novamente. As concentrações de nitrogênio inorgânico aumentaram em Itabuna e diminuíram novamente à jusante da cidade. Os resultados das análises das concentrações de fósforo e nitrogênio constataram a eutrofização do Rio Cachoeira em lugares próximos dos centros urbanos e vilarejos. O estudo de Klumpp et al. (2002) não abrangeu a porção estuarina.

Pinho (2001) realizou amostragem em oito pontos, um na porção do estuário. Foi observada uma grande variação temporal nas concentrações de fósforo total entre os meses de janeiro e dezembro de 1999, destacando-se o mês de maio onde foram verificadas as maiores concentrações médias. Estes resultados demonstram

um significativo processo de degradação da qualidade hídrica, relacionado à descarga fluvial e à urbanização, pois os maiores valores de fósforo total foram verificados nos trechos mais urbanizados. A tendência de aumento da poluição do rio é ser agravada em virtude do dinamismo da urbanização e industrialização da área.

As concentrações observadas por Pinho (2001) durante o período de janeiro a dezembro de 1999, permitiram a conclusão de que esse trecho do estuário encontrava-se eutrofizado por todos os meses atingindo a concentração máxima de 0,26 mg/L em maio (chuvoso) e mínima de 0,08 mg/L em novembro (estiagem), conforme legislação em vigor na época, CONAMA N^o. 20, de 18 de junho de 1986.

Apesar destes resultados indicando alto grau de eutrofização e baixa qualidade da água, Assis (2001), no bairro Princesa Isabel em Ilhéus, da população amostrada, verificou que 83% não utiliza a água porque reconhece o estado de poluição em que esta se encontra, 17% que fazem uso da água do estuário, 80% o fazem para a pesca e 20% a utilizam para banho.

3.3. Tempo de Residência

3.3.1. Definição e variáveis

Uma variável importante para a compreensão da dinâmica dos processos ocorridos em um sistema estuarino é a estimativa do tempo de residência hídrico, que se trata do tempo médio que a água reside em um estuário antes de ser

carreada para o mar (WANG et al., 2004). Gómez-Gesteira (2003) caracteriza o tempo de residência hídrico como uma importante variável física em estuários e uma ferramenta útil para o estudo da qualidade de suas águas.

O modelo para cálculo do balanço de água e sal com abordagem do LOICZ/IGBP, descrito em Gordon et al. (1996), e considerando o estuário como um compartimento não-estratificado, utiliza as seguintes variáveis: salinidade, precipitação, evaporação, escoamento fluvial, fluxo de água de sub-superfície, fluxo de entrada advectivo, fluxo de saída advectivo e outros, como o fluxo de esgotos. Os sistemas estuarinos que apresentam estratificação são avaliados com o modelo que considera dois compartimentos, o de superfície e o de fundo, onde são utilizadas, além das acima citadas, as seguintes variáveis: fluxo de superfície, fluxo de fundo, volume de entranhamento (das águas de fundo para as de superfície) e volume de mistura entre os dois compartimentos.

3.3.2. Importância para a biogeoquímica estuarina

Esse parâmetro é conveniente para representar a escala de tempo de processos físicos, e frequentemente é usado para comparação com a escala de tempo de processos biogeoquímicos. Essa escala de tempo tem implicações para o destino de substâncias introduzidas no estuário e para a produção primária. Um poluente exercerá mais efeitos dentro do estuário se sua escala de tempo bioquímico é comparável ou mais curta do que o tempo de residência; e a produção primária mais lenta se sua escala de tempo de desenvolvimento for maior do que o de residência (WANG et al., 2004).

Trabalhos como o de Gómez-Gesteira et al. (2003) têm relacionado a influência do tempo de residência hídrico à qualidade da água. Logo, quando o tempo de residência da água de um estuário receptor de efluentes for elevado, existem implicações sérias tanto do ponto de vista biológico como para o efeito de poluentes.

Estudos na Lagoa de Araruama, no Rio de Janeiro, realizados por Souza et al. (2003), verificaram que o longo tempo de residência hídrico permitiu a retenção de altas concentrações de fósforo antropogênico nos sedimentos. A combinação de um grande volume de água, longo tempo de residência, microfitobentos como produtores primários significativos removendo o fósforo resultaram numa coluna d'água oligotrófica pela maior parte do tempo.

Souza (2005) realizou o primeiro trabalho sobre a biogeoquímica de nutrientes e balanço de massa no estuário do Rio Cachoeira. Foram realizadas campanhas de amostragem nos meses de Fevereiro, Setembro de 2000, Maio e Agosto de 2001 ao longo do canal estuarino. Uma ETE entrou em funcionamento em Setembro de 2000 promovendo um tratamento primário de parte do esgoto da cidade de Ilhéus. Os resultados deste trabalho verificaram que em Fevereiro de 2000 (antes da ETE), as concentrações de NID foram elevadas em virtude do pico de descarga fluvial registrada no período de estudo. A razão NID:PID apresentou uma variação temporal decrescente atingindo o valor de 2 em Agosto de 2001, um ano após o funcionamento da ETE. Segundo Souza (2005), estes resultados mostraram que um ano de funcionamento da ETE, aparentemente, não foram

suficientes para reverter a eutrofização do estuário, pois as concentrações de nitrogênio e fósforo inorgânicos foram altas em todas as estações.

Para o cálculo do tempo de residência hídrico, Souza (2005) aplicou o modelo de um compartimento para todo o estuário, considerando-o do tipo bem misturado. O sistema estuarino apresentou tempo de residência hídrico variando de 1 dia em agosto de 2001 a 8 dias em maio de 2001.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área de Estudo

A área de estudo do trabalho está inserida na bacia hidrográfica do Rio Cachoeira, sul da Bahia, localizada entre as coordenadas $14^{\circ} 42' / 15^{\circ} 20' S$ e $39^{\circ} 01' / 40^{\circ} 09' W$ (Figura 4). Esta bacia possui uma área de cerca de 4.600 km^2 , e é limitada ao norte pelas bacias dos rios de Contas e Almada; ao sul, pelas bacias dos rios Pardo e Una; a oeste, pela bacia do Rio Pardo; e a leste pelo Oceano Atlântico. A população total da bacia do Rio Cachoeira é de aproximadamente 600.000 habitantes, distribuídos em doze municípios: Firmino Alves, Floresta Azul, Jussari, Itaju do Colônia, Ibicaraí, Itapé, Itabuna, Ilhéus, Lomanto Júnior, Santa Cruz da Vitória, Itororó e Itapetinga (BAHIA, 2001).

A bacia do Rio Cachoeira tem como principais afluentes, os rios Colônia, Salgado e Piabanhas. O Rio Cachoeira é o principal rio da bacia e, após sua confluência com os Rios Salgado e Colônia, percorre 50 km até a sua foz no local conhecido como Coroa Grande (município de Ilhéus) onde ocorre a confluência de suas águas com as dos rios Santana e Fundão (CEPLAC, 1976a; OLIVEIRA, 1997).

4.1.1. Caracterização do Estuário Estudado

O estuário do Rio Cachoeira situado entre 14° 46' S e 39° 05' W, e 14° 50' S e 39° 01' W, apresenta uma área de aproximadamente 16 km² e uma altura média de maré de 1,8 m. A temperatura média anual é de 24,6 °C, com precipitação anual de 1.500 mm em Itabuna e 2.000 em Ilhéus. Os maiores índices pluviométricos estão na porção litorânea devido à atuação da Frente Polar Atlântica que provoca chuvas constantes e regulares todo o ano. No entanto, são os índices pluviométricos mais próximos das nascentes os responsáveis pela maior descarga de água doce. O regime fluvial é torrencial, com descarga fluvial média anual de 24,1 m³.s⁻¹, porém existindo registros históricos de 0,2 e 1.460 m³. s⁻¹ (BAHIA, 2001).

De acordo com a classificação de Thurmann (1997) o estuário do Rio Cachoeira é do tipo planície costeira, tendo sido formado pela transgressão do mar inundando o vale fluvial. A zona estuarina abriga manguezais que cobrem uma área de cerca de 13 Km². Esta área possui alguns bancos de areia espalhados e que já possuem vegetação (o que demonstra certa estabilidade); a maioria migra ou se transforma durante as enchentes (SILVA, 1970). O manguezal do estuário do Rio Cachoeira possui uma extrema importância ambiental e está sofrendo danos sérios como aterros imobiliários, despejos de efluentes domésticos, e a retirada de areia do leito do rio para atender a demanda da construção civil (FIDELMAN, 2004).

O estuário do Rio Cachoeira recebe efluentes domésticos e industriais provenientes dos dois grandes centros urbanos do sul da Bahia, as cidades de Itabuna e Ilhéus. Uma caracteriza-se por lançar principalmente esgoto "in natura"

(Itabuna), a outra (Ilhéus), além de fontes difusas possui uma ETE (Estação de Tratamento de Esgoto) na sua porção superior do estuário, lançando um efluente ainda rico em nutrientes após tratamento primário.

4.2. Amostragem

Foram realizadas campanhas de amostragem de dezembro de 2003 a março de 2004, conforme especificadas no quadro 1. Os pontos de coleta ao longo da porção interna do estuário foram determinados a partir da existência de fontes poluidoras ou impactantes, ou seja, antes e depois de bairros e no caso específico da Estação de Tratamento de Esgoto (Quadro 2). A figura 8 mostra a localização dos pontos de coleta.

Quadro 1 - Datas das Campanhas de amostragem

Mês da Coleta	Data
Dezembro/03	15/12/03
Janeiro/04	15/01/04
Fevereiro/04	25/02/04
Março/04	29/03/04

Quadro 2. Localização geográfica dos pontos de coleta.

Pontos	Descrição	Localização
1	Próximo a foz e do bairro Teotônio Vilela	14°48'53,19" S 39°03'26,51" W
2	À jusante da ETE	14°47'59,78" S 39°04'49,16" W
3	À montante da ETE	14°47'48,0" S 39°05'44,16" W
4	Às margens do bairro Banco da Vitória	14°47'09,42" S 39°05'30,37" W
BV	À montante do bairro Banco da Vitória (fora da influência da maré)	14°47'09,39" S 39°06'13,44" W

As campanhas de amostragem foram quase sinópticas, ao longo do eixo central da porção interna do estuário do Rio Cachoeira. Foram realizadas durante a altura máxima de marés de sizígia, em um período de transição entre estiagem (Dezembro de 2003) e chuvoso (Março de 2004). Abrangeram desde a porção da foz do estuário até o limite do estuário no trecho do bairro Banco da Vitória (Figura 5).



Figura 5. Imagem de satélite da porção estuarina estudada do Rio Cachoeira com os limites determinados pelas linhas brancas transversais e os pontos de coleta ao longo do canal.
Fonte: Google Earth 2005

As amostras de água foram coletadas na superfície e fundo, de acordo com a profundidade. Amostras de superfície e fundo foram coletadas mesmo em estações de baixa profundidade, quando foi verificada durante a medição *in situ* estratificação e/ou presença de oxiclina. Desta forma algumas amostras de fundo foram coletadas

em Janeiro e não coletadas nos meses subseqüentes, devido à homogeneidade do perfil vertical. As amostras foram coletadas com garrafas de Van Dorn, e preservadas em frascos de polietileno previamente lavados com HCl 1:1 e água destilada. Estes frascos foram mantidos em isopor com gelo durante o transporte até o laboratório para filtragem em filtros de fibra de vidro (GF/C; 1,2 μm) de 47 mm de diâmetro, pré-calcinados a 450°C, sendo reservadas alíquotas para análise de nutrientes inorgânicos. As amostras foram imediatamente congeladas para análises posteriores de nutrientes.

Em campo foram registrados dados de profundidade e medidos os parâmetros físico-químicos como: pH, temperatura, salinidade, condutividade, e oxigênio dissolvido com medidores portáteis digitais Horiba U-10 ou WTW Multiline P4.

4.3. Análises Químicas

Apesar do conceito de nutriente abranger um número muito grande de elementos, serão abordados apenas o fósforo (fosfato) e o nitrogênio (amônio, nitrito e nitrato). Estes são os nutrientes de maior interesse e utilização na avaliação do estado trófico e de processos biogeoquímicos, também denominados elementos biogênicos.

A análise de nutrientes foi realizada através de métodos espectrofotométricos bem estabelecidos para águas marinhas/estuarinas (GRASSHOFF et al., 1983). A precisão relatada por este método para concentrações maiores que 10 $\mu\text{Mol/L}$ é de \pm

0,5 $\mu\text{mol/L}$ para nitrato, $\pm 0,02 \mu\text{mol/L}$ para nitrito, $\pm 0,1 \mu\text{mol/L}$ para amônia, e $\pm 0,2 \mu\text{mol/L}$ para fosfato e silício dissolvido.

Foram utilizadas alíquotas de 10 mL das amostras de água previamente filtradas. As referências das técnicas empregadas nas análises das amostras são mostradas no quadro 3.

Quadro 3. Referências das técnicas analíticas utilizadas.

Variável	Técnica	Referência da Técnica
Amônia, nitrito, nitrato, fosfato e silicato	Espectrofotometria	Grasshoff et al., 1983
Clorofila-a (Chl-a)	Espectrofotometria	Parsons et al., 1984
pH, temperatura e salinidade	Potenciometria/ Horiba U-10 ou WTW Multi Line P4	-
Alcalinidade	Titulometria	Carmouze, 1994
Oxigênio Dissolvido (OD)	Medidor com eletrodo polarográfico	-
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO ₅)	Incubação/Medidor com eletrodo polarográfico	APHA/AWWA, 1995
Total de Sólidos em Suspensão (TSS)	Gravimetria	Lenz, 1972

4.3.1. Características Hidroquímicas da água

Para avaliação das características hidroquímicas das águas do estuário foram quantificadas as concentrações de nutrientes, juntamente com os parâmetros físico-químicos: pH, temperatura, salinidade, condutividade e oxigênio dissolvido (OD).

O resultado destas variáveis foi comparado à atual legislação federal, a Resolução CONAMA Nº. 357 de 17 de março de 2005, a qual dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como suas respectivas condições e padrões de lançamento de efluentes. Este é o atual parâmetro para classificação da qualidade da água, revogando a resolução CONAMA Nº. 20, de 18 de junho de 1986.

4.4. Levantamento Batimétrico

Durante campanha realizada no dia 24 de outubro de 2004 foi feito um levantamento batimétrico do estuário, utilizando ecobatímetro, sondagem a prumo e GPS modelo eTrex Garmin.

A porção estuarina estudada possui quatro pontos de coleta da sua foz (Coroa Grande) até a parte mais interna (bairro Banco da Vitória). A partir da análise do mapa do estuário através do software Arc View GIS 3.2a, foi possível calcular a área da porção estuarina estudada (8,43 km²). A partir da área do espelho d'água e dos dados batimétricos coletados em campo foi possível a obtenção da profundidade média e do volume aproximado da porção interna do estuário (1,38. 10⁷ m³).

4.5. Balanço de água e sal

4.5.1. Balanço de água e sal para sistema bem misturado (1 compartimento)

A abordagem e as variáveis utilizadas para o cálculo do balanço hídrico do modelo LOICZ/IGBP utilizadas nesse trabalho, estão nas diretrizes escritas por Gordon et al. (1996). O balanço de água e sal, necessário para o cálculo do tempo de residência da água, foi realizado com os dados de salinidade obtidos nas campanhas. Os dados de precipitação foram obtidos com o Laboratório de Climatologia da UESC. Foram utilizadas as taxas de evaporação e aporte fluvial corrigidos por Lima (2006) a partir dos dados obtidos da Agência Nacional de Águas (ANA) para área à jusante da estação. Pela lei da conservação de massas, as alterações no armazenamento de água em um sistema estuarino ao longo do tempo podem ser representadas por:

$$\frac{dV_1}{dt} = V_Q + V_P + V_G + V_O + V_{in} - V_E - V_{out}$$

em que:

V_Q = escoamento fluvial

V_P = precipitação

V_G = fluxo de água de sub-superfície

V_O = fluxo de esgotos

V_{in} = fluxo de entrada advectivo

V_E = evaporação

V_{out} = fluxo de saída advectivo

Desta forma, o fluxo residual para o sistema pode ser obtido por

$$V_R = V_{in} - V_{out}$$

De maneira semelhante, a variação da armazenagem de sal no sistema estuarino ao longo do tempo pode ser representada pela soma algébrica de seus aportes e saídas:

$$\frac{d(V_1 S_1)}{dt} = V_Q S_Q + V_{in} S_2 - V_{out} S_1$$

com a exclusão dos aportes de sal não significativos para o sistema, por exemplo, o fluvial,

$$\frac{d(V_1 S_1)}{dt} = V_{in} S_2 - V_{out} S_1$$

Considerando que o volume do sistema apresenta-se constante, V_{in} é redefinido como o fluxo de troca de água com o oceano (V_X), e pode ser calculado por

$$V_X = \frac{1}{(S_2 - S_1)} \left[V_1 \frac{dS_1}{dt} + V_R S_R \right]$$

Simplificadamente, o balanço de água e sal do estuário podem ser escritos como

$$\frac{d(VS)}{dt} = \sum V_{in} S_{in} - \sum V_{out} S_{out}$$

O tempo de residência da água do estuário é definido como a razão entre o volume de água do estuário e o somatório das entradas e saídas de água:

$$\tau_{res} = \frac{V}{\sum_{entradas} - \sum_{saídas}}, \text{ ou seja,}$$

$$\tau_{res} = \frac{V_{SIST}}{(V_X + |V_R|)}$$

Os volumes utilizados no modelo de fluxos para o balanço de água e sal de sistemas bem misturados, são mostrados nas figuras 6 e 7.

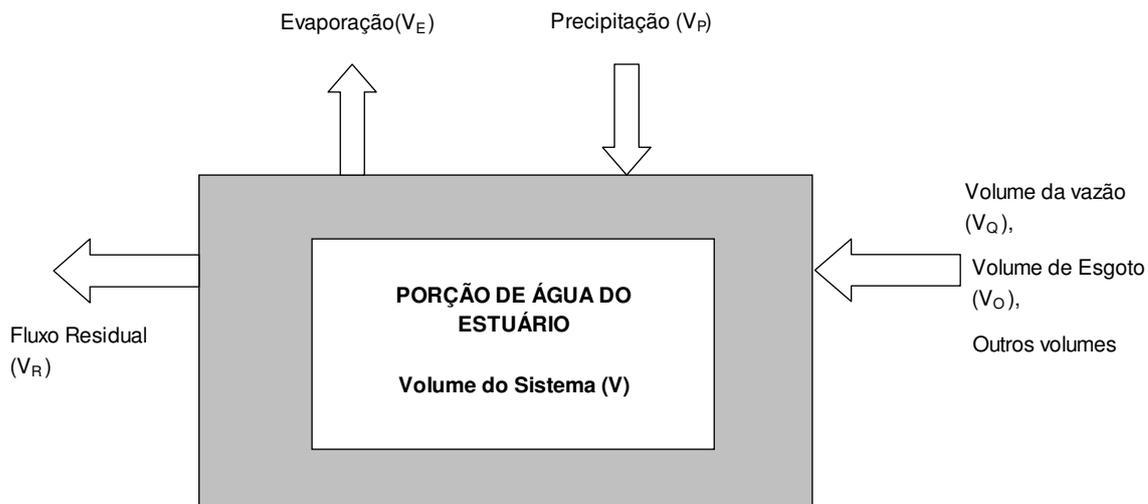


Figura 6. Diagrama do box com o modelo de balanço de água para uma porção da zona costeira. As setas mostram os fluxos associados aos respectivos volumes ou processos.

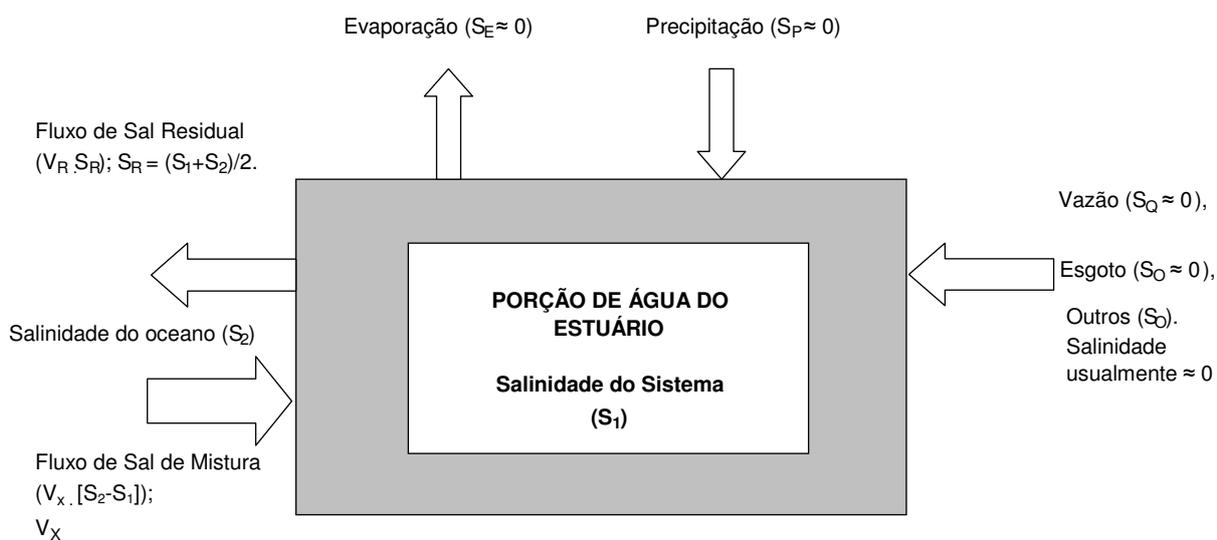


Figura 7. Diagrama do box com o modelo de balanço de sal para uma porção da zona costeira. As setas mostram os fluxos de sal associados aos respectivos processos.

4.5.2. Balanço de água e sal para sistema estratificado (2 compartimentos)

Para sistemas estuarinos que apresentam estratificação vertical, é utilizado um modelo que além do volume de mistura (V_x) com o oceano, leva em consideração a mistura entre os compartimentos de superfície e fundo. A aplicação

desse modelo visa diminuir o erro da estimativa do tempo de residência hídrico que o modelo de um compartimento apresenta nesta situação.

Este modelo está descrito em Gordon et al. (1996) e em site do LOICZ. Para o balanço de água de superfície e fundo é dado, respectivamente por:

$$V_S + V_P + V_E + V_O + V_Q + V_{DEEP} = 0, \text{ e}$$

$$V_{DEEP'} - V_{DEEP} = 0$$

V_S = fluxo de superfície

V_P = precipitação

V_E = evaporação

V_O = fluxo de esgotos

V_Q = escoamento fluvial

V_{DEEP} = fluxo de entrada de fundo

$V_{DEEP'}$ = fluxo de entranhamento

Considerando que nenhum fluxo de água doce introduz sal ao sistema, o balanço de sal na superfície e fundo são dados, respectivamente por:

$$V_S \cdot S_{SIST-S} + V_{DEEP'} \cdot S_{SIST-D} + V_Z(S_{SIST-D} - S_{SIST-S}) = 0$$

$$V_{DEEP} \cdot S_{OCN-D} - V_{DEEP'} \cdot S_{SIST-D} - V_Z(S_{SIST-D} - S_{SIST-S}) = 0$$

$V_S \cdot S_{SIST-S}$ = fluxo de sal de superfície

$V_{DEEP} \cdot S_{OCN-D}$ = fluxo de sal de fundo

$V_{DEEP} \cdot S_{SIST-D}$ = fluxo de sal de entranhamento

V_Z = volume de mistura

S_{SIST-D} = salinidade do sistema de fundo

S_{SIST-S} = salinidade do sistema de superfície

O tempo de residência no estuário é definido como a razão entre o volume de água do sistema e o módulo do fluxo de água de superfície.

$$\tau_{res} = \frac{V_{SIST}}{|V_S|}$$

Os volumes utilizados no modelo de fluxos para o balanço de água e sal de sistemas estratificados são mostrados na figura 8.

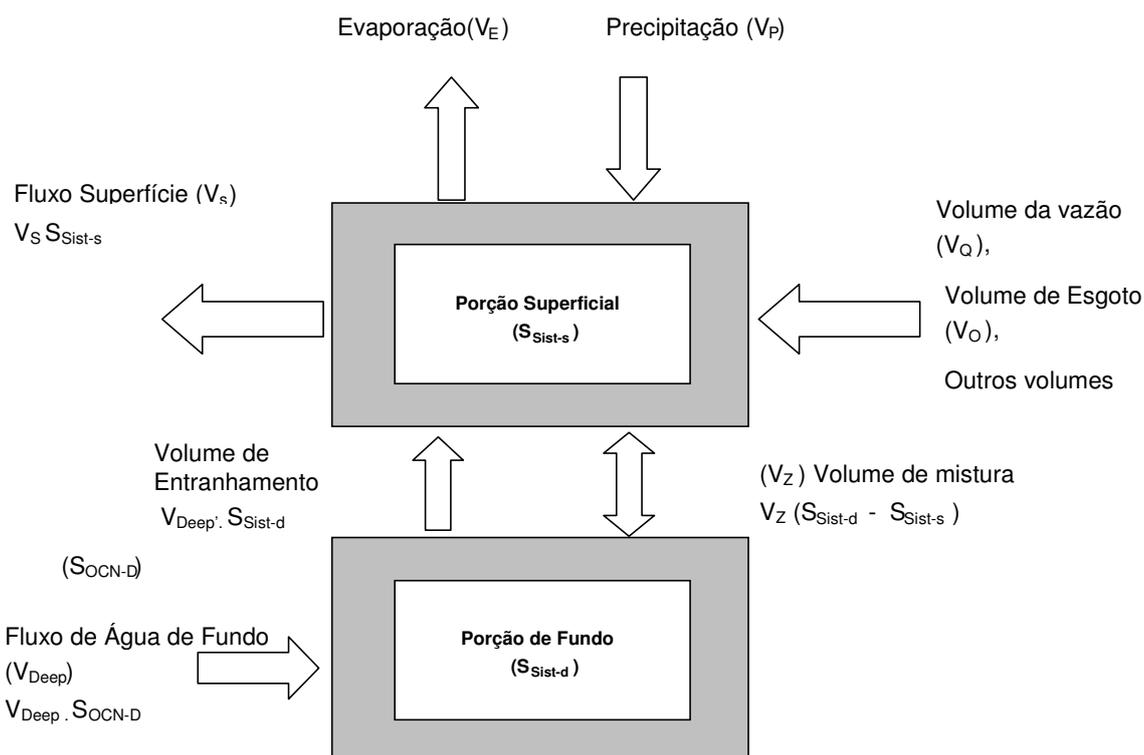


Figura 8. Diagrama dos boxes com o modelo de balanço de água para uma porção da zona costeira estratificada. As setas mostram os fluxos associados aos respectivos processos.

4.6. Análise Estatística

Os dados foram analisados a partir de uma análise estatística descritiva (cálculo de média, mínimo e máximo, desvio e mediana) e apresentados em gráficos do tipo *Box-Plot* para melhor visualização da mediana e amplitude dos valores exibidos pelas variáveis ao longo do período de estudo (Dez/03 a Mar/04).

Para analisar a relação entre as variáveis foi utilizada a análise de correlação de *Spearman*, que trabalha com os postos dos valores das variáveis, tendo em vista valores extremos em algumas delas.

Para verificar se as diferenças significativas entre os valores amostrais das variáveis ao longo do tempo de estudo são diferenças efetivas entre as populações, ou se representam variações casuais que podem ser esperadas entre amostras aleatórias, foi realizado o teste de *Kruskal-Wallis* para a comprovação de nulidade da hipótese de que as amostras provenham de populações idênticas com relação a médias.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta parte do trabalho, serão apresentados e analisados os resultados dos dados obtidos na pesquisa. Inicialmente será feita uma análise do regime pluvial e fluvial do estuário do Rio Cachoeira durante o período de estudo; apresentação do balanço de água e sal para determinação do tempo de residência hídrico; em seguida dos parâmetros físico-químicos e de nutrientes para determinação das características hidroquímicas da água e a análise estatística.

5.1. Análise do Regime Pluvial e Fluvial do Estuário

A figura 9 apresenta a precipitação e a evapotranspiração média mensal de um período de três décadas (1961-1990). Observa-se que estes dados mostram a precipitação média em Ilhéus elevada e bem distribuída por todo ano, sem definição de período de estiagem, pois nos meses de menores precipitações médias (Janeiro e Agosto), os valores não foram muito inferiores a 150 mm.

O comportamento da precipitação durante o período de estudo (Dezembro de 2003 a Março de 2004) foi totalmente atípico em relação à média histórica. A definição de meses de forte estiagem é nítida e com valores inferiores a 50 mm (Figura 10). Após o período de estiagem (Novembro de 2003), iniciou-se um período chuvoso em Fevereiro de 2004, com o maior índice pluviométrico atingido em Março

com valor de 405,4 mm. Essa precipitação foi duas vezes maior do que as médias das precipitações mensais das últimas décadas.

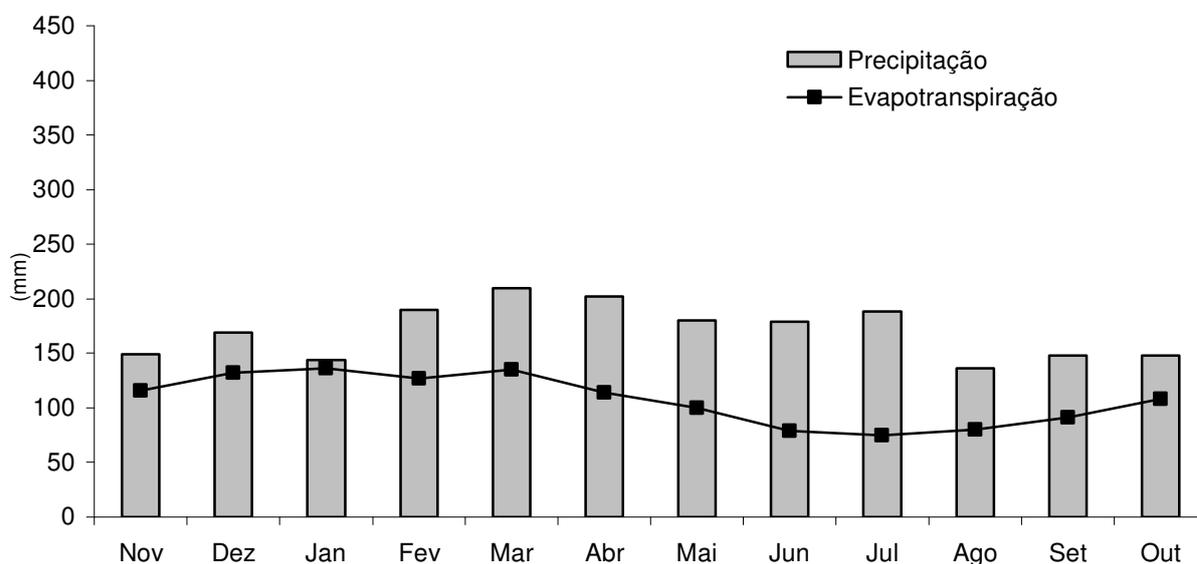


Figura 9. Precipitação e evapotranspiração média mensal registrada no período de 1961 a 1990 em estação meteorológica em Ilhéus. Localização a 14°80' S, 39°07' W, altitude 60 m. Fonte: INMET (2006)

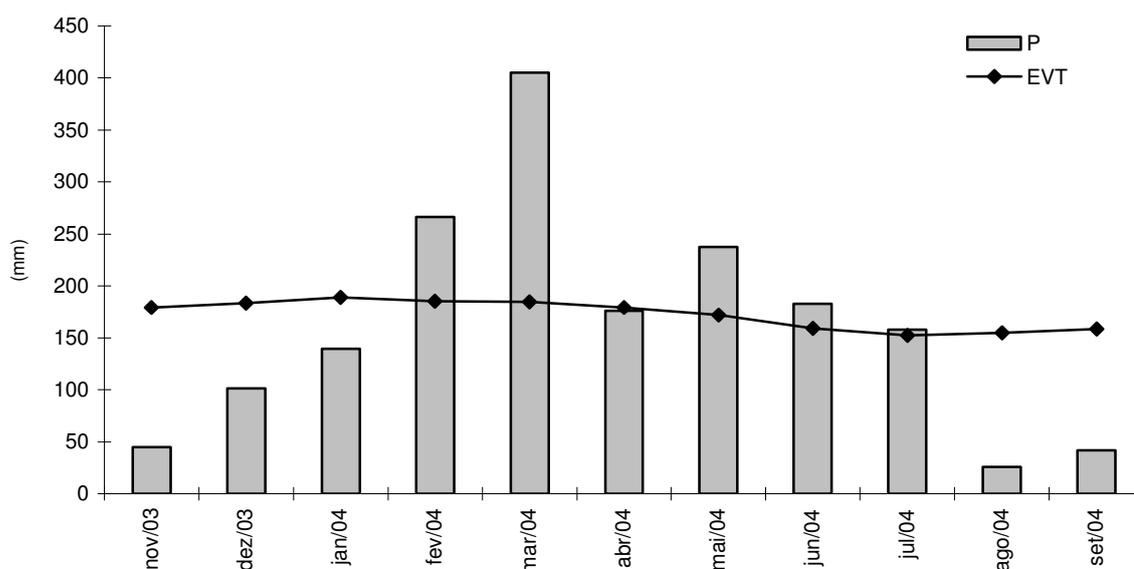


Figura 10. Precipitação e evapotranspiração acumulada mensal. A precipitação do período de novembro de 2003 a setembro de 2004 foi obtida do Laboratório de Climatologia da UESC e engloba o período de estudo (Dez/03 a Mar/04). 14°39' S, 39°10' W, altitude 78m. Fonte: Laboratório de Climatologia da UESC.

A evapotranspiração e a precipitação contribuem para as alterações no regime de descarga de água. Foi verificado um balanço negativo de precipitação/evapotranspiração nos meses de Novembro, Dezembro, Janeiro, Agosto e Setembro (Figura 10). Os meses de Fevereiro, Março e Maio apresentaram um balanço positivo de precipitação/evapotranspiração. Esse mesmo padrão de distribuição sazonal da precipitação e evapotranspiração foi também verificado por Souza (1999) no estuário do Rio Piauí, Sergipe.

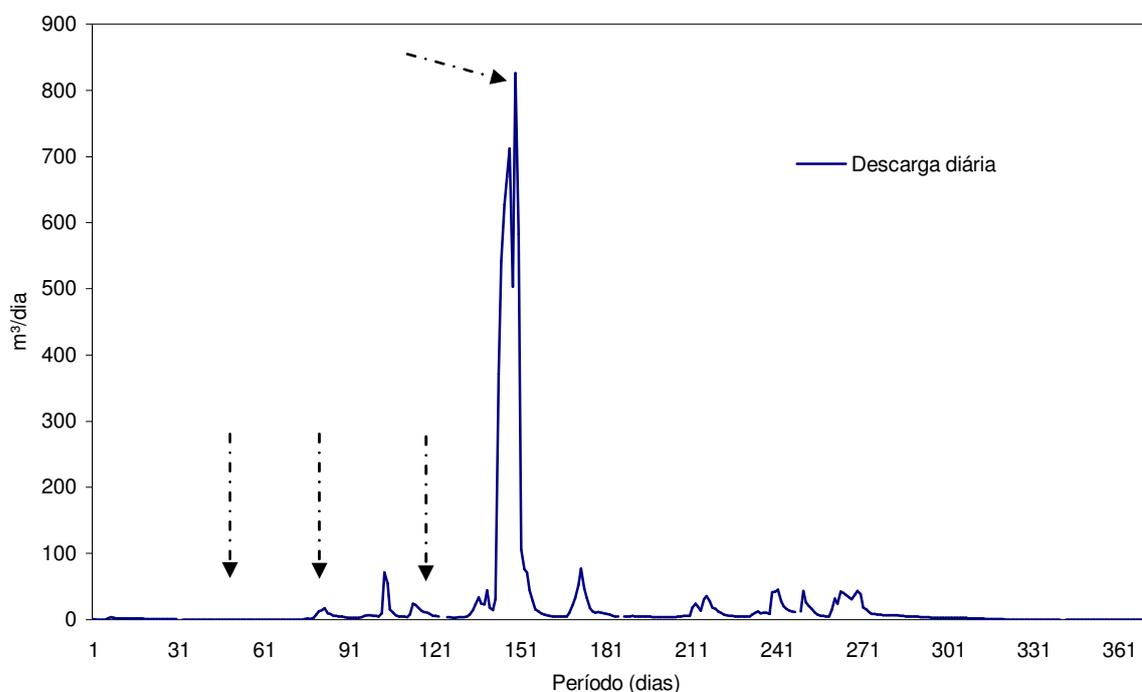


Figura 11. Descarga diária de água doce da porção estuarina representada pelo número de dias do período de Nov/03 a Out/04. As setas pontilhadas indicam os dias das campanhas de amostragem de dezembro/03 a março/04. Estação 53180000 (Contorno da BR-101); 14°48'54" S, 39°17'46" W, altitude: 49 m. Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA).

A descarga diária de água doce no ponto de medição (estação 53180000, ANA) no período de estudo, exibiu os menores valores em Dezembro de 2003 e os maiores em Março de 2004, atingindo o máximo de $826 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Figura 11). A descarga acumulada mensal, a partir dos valores corrigidos por Lima (2006) para o

estuário, também exibe o período de estiagem em dezembro ($9,71 \cdot 10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{mês}^{-1}$) e chuvoso em março ($3,20 \cdot 10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{mês}^{-1}$), conforme figura 12.

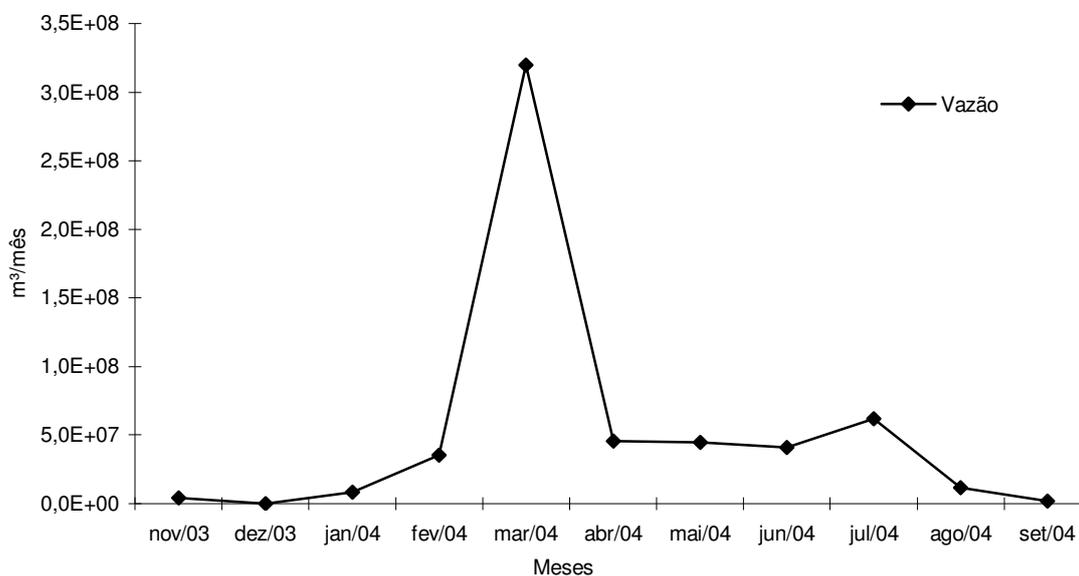


Figura 12. Descarga fluvial mensal acumulada na estação 53180000, corrigida para a área da bacia no limite da porção estuarina.
Fonte: Lima (2006)

5.2. Balanço de água e sal (Modelo com 1 compartimento)

O balanço de água e sal considerando um compartimento, adequado à sistemas bem misturados, foi calculado em uma escala mensal no período de Dezembro de 2003 a Março de 2004. Este período foi representativo da variabilidade da descarga do Rio Cachoeira entre o período seco e chuvoso.

O mês de Dezembro exibiu um escoamento fluvial extremamente baixo e de acordo com as estimativas (Tabela 1) a principal entrada de água doce no estuário nesse período, foi o volume de esgoto originado da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da cidade de Ilhéus. O volume diário de esgoto coletado e tratado pela ETE é de $19.872 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$, segundo dados de Fontes (2004) obtidos a partir do Descritivo Sumário da ETE, fornecido pela EMBASA (Empresa Baiana de Águas e

Saneamento S.A.). Este valor resulta em um volume mensal de esgoto lançado na porção estuarina, de aproximadamente $6.10^5 \text{ m}^3.\text{mês}^{-1}$. Este valor é cerca de seis vezes superior ao escoamento superficial (V_Q) e representa quase 40% do aporte total de água doce no estuário no mês de Dezembro.

Segundo Fontes (2004), o efluente da ETE não demonstra grande eficiência na remoção da Demanda Química de Oxigênio (DQO) e da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e além de água doce deve representar uma importante fonte de nutrientes e matéria orgânica para o estuário.

Tabela 1. Resultado do balanço de água e sal mensal. Modelo para 1 compartimento. Fluxos em $\times 10^6 \text{ m}^3/\text{mês}$. (V_Q) escoamento fluvial, (V_P) precipitação, (V_E) evaporação, (V_O) fluxo de esgotos, (S_{OC}) salinidade do oceano, (S_{EST}) salinidade do estuário, (S_R) salinidade residual, (V_R) fluxo residual, (V_X) fluxo de troca de água com o oceano, ($V_R.S_R$) fluxo de sal residual e (T_{RES}) tempo de residência hídrico em dias.

	Dezembro 2003	Janeiro 2004	Fevereiro 2004	Março 2004
V_Q	0,1	8	35	320
V_P	0,9	1,2	2,3	3,4
V_E	-1,6	-1,6	-1,6	-1,6
V_O	0,6	0,6	0,6	0,6
S_{OC}	36,2	35,7	31,0	3,5
S_{EST}	24,4	14,0	1,7	0,0
S_R	30,3	24,9	16,4	1,8
V_R	≈ 0	-8	-36	-322
$V_R.S_R$	-0,5	-212	-600	-
V_X	0,04	9,8	20	-
$V_X (S_{OC} - S_{EST})$	0,5	212	600	-
T_{RES}	7400	23	7	1

Conforme observado nos resultados da tabela 1, o fluxo de mistura com o oceano (V_X) no mês de Dezembro foi cerca de metade do escoamento fluvial (V_Q). O valor obtido pela salinidade residual (S_R) igual a 30,3 comprova a forte intrusão de sal no sistema estuarino durante o mês de estiagem.

A baixa descarga de água doce levou a um elevadíssimo tempo de residência hídrico, estimado em cerca de 7.400 dias (Figura 13). Dessa forma, a principal força física atuante no estuário neste período de estiagem (Dezembro), foi a oscilação da maré.

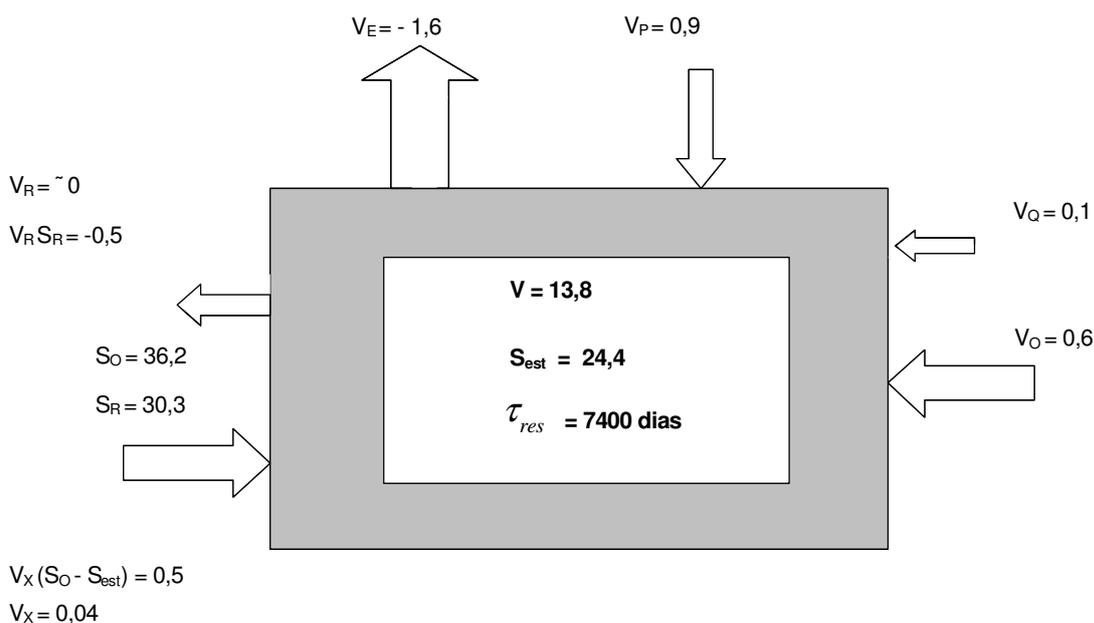


Figura 13. Esquema com o balanço mensal de água e sal para o estuário do Rio Cachoeira no mês de dezembro/2003 (estiagem). Fluxos em $\times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{mês}^{-1}$.

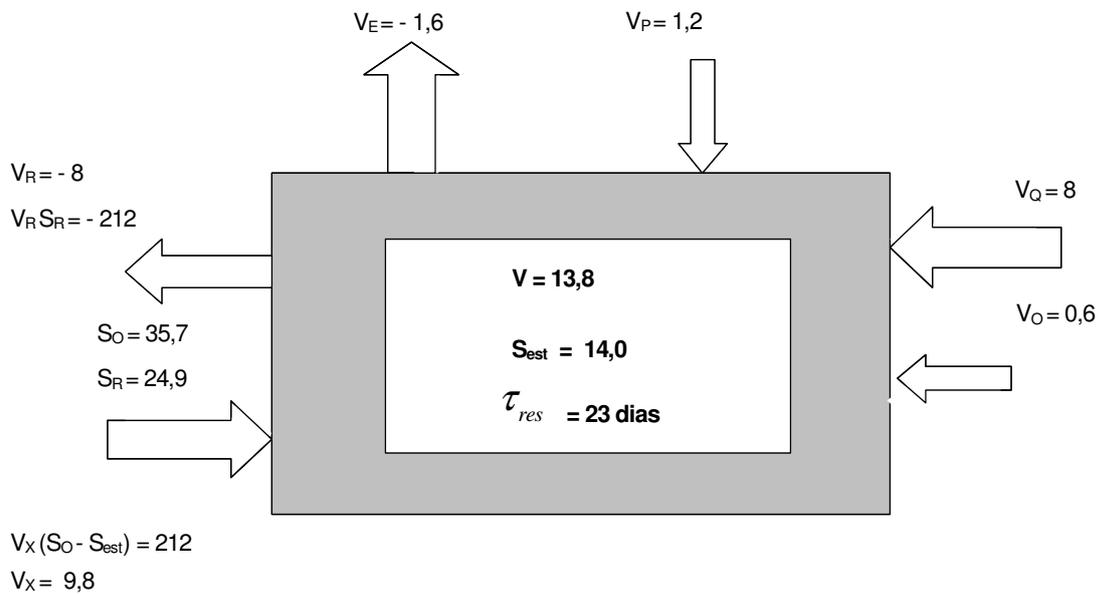


Figura 14. Esquema com o balanço mensal de água e sal para o estuário do Rio Cachoeira no mês de janeiro/2004. Fluxos em $\times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{mês}^{-1}$.

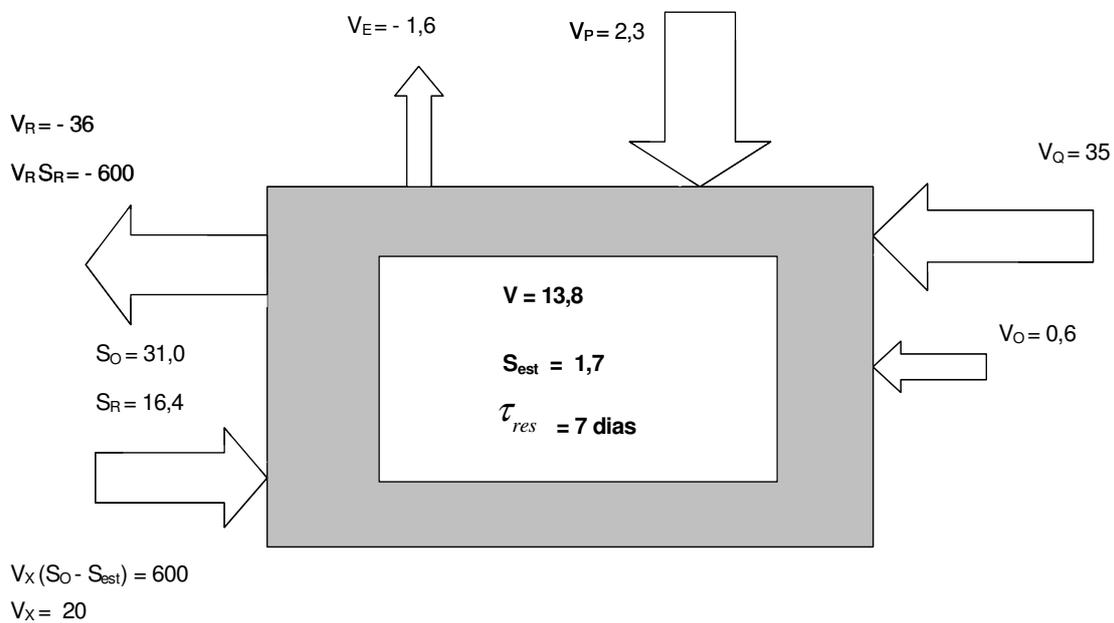


Figura 15. Esquema com o balanço mensal de água e sal para o estuário do Rio Cachoeira no mês de fevereiro/2004. Fluxos em $\times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{mês}^{-1}$.

Os balanços de água e sal nos meses de Janeiro e Fevereiro exibiram uma rápida evolução na descarga de água doce, com a conseqüente diminuição do fluxo de mistura entre o estuário e o oceano (Figuras 14 e 15). Em janeiro e fevereiro, os tempos de residência hídricos foram estimados em 23 e 7 dias, respectivamente. Estes resultados demonstram uma rápida resposta do estuário ao aumento da vazão.

Para o mês de Março, no qual foram registradas a maior precipitação e vazão do período, o tempo de residência hídrico foi extremamente curto, com valor estimado em 1 dia (Figura 16). Em balanço de água e sal realizado no estuário do Rio Cachoeira, Souza (2005) estimou o tempo de residência hídrico em 5 dias no mês de maior descarga fluvial registrada em fevereiro de 2000. Este resultado pode ser explicado pela vazão registrada no período de seu estudo $V_Q = 5,42 \cdot 10^4 \text{ m}^3/\text{mês}$, quatro ordens de grandeza inferior às observadas neste trabalho.

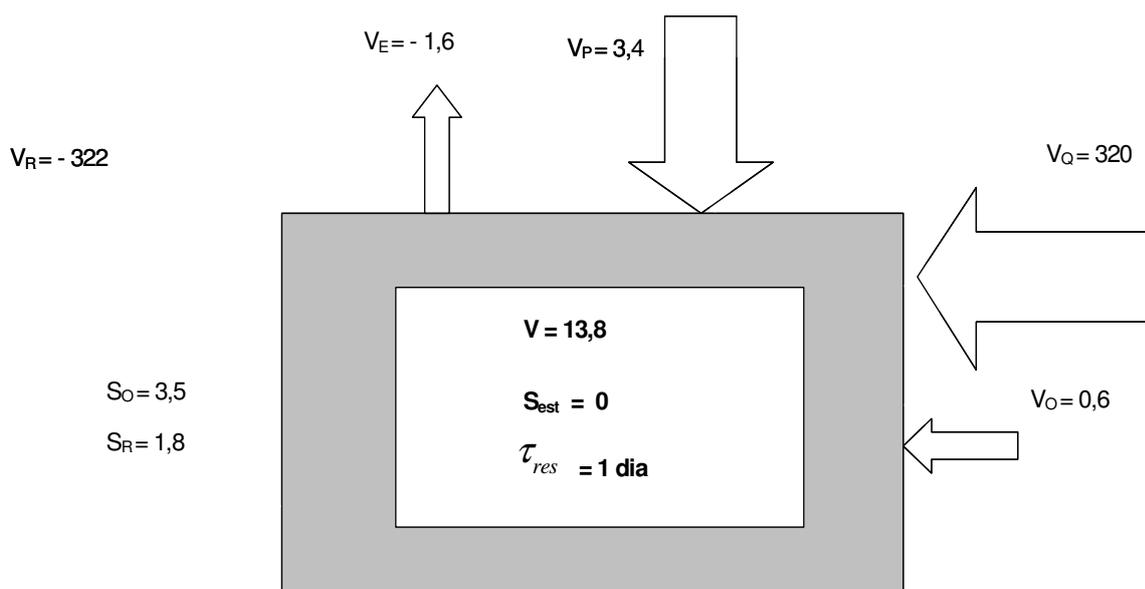


Figura 16. Esquema com o balanço mensal de água e sal para o estuário do Rio Cachoeira no mês de março/2004 (chuvoso). Fluxos em $\times 10^6 \text{ m}^3/\text{mês}^{-1}$.

O baixo T_{res} verificado em Março pode levar a importantes implicações para a porção estuarina no que se refere à atividade fitoplanctônica e fluxo de nutrientes (WANG et al., 2004). O maior tempo de retenção de água e nutrientes no sistema poderá estimular significativamente a produção primária e/ou elevar o grau de eutrofização. No estuário do Rio Camboriú, em Santa Catarina, Pereira-Filho e Schettini (2000) estimaram o tempo de residência em 0,24 dia para o sistema, baseado no modelo com dois boxes de um compartimento. Souza (1999), no estuário do Rio Piauí, verificou um tempo de residência total de 6 dias para a porção superior do sistema. Wattayakorn et al., (2001) observaram no período de estiagem 77 dias de tempo de residência hídrica para a Baía de Bandon e 7 dias para o estuário Tapi.

5.3. Balanço de água e sal (Modelo com 2 compartimentos)

A aplicação deste modelo de balanço de água e sal, mais adequada para sistemas estratificados forneceu resultados sensivelmente diferentes dos do modelo de 1 compartimento. Essa diferença é explicada pela interação e fluxos de troca considerados entre os compartimentos de superfície e fundo, não previstos no modelo anterior. O modelo com dois compartimentos considera os fluxos de troca (V_z) entre os compartimentos (superfície e fundo) e o fluxo de entranhamento do compartimento de fundo para a superfície (V_{DEEP}) (Tabela 2). O fluxo de superfície (V_S) é definido como o fluxo resultado da soma de V_R (fluxo residual do modelo de um compartimento) e V_{DEEP} (fluxo de fundo), o que lhe permite representar a “circulação estuarina”.

Os valores dos tempos de residência de ambos os modelos foram extremamente altos no mês de Dezembro (7400 dias do modelo anterior e 8940 dias para o modelo com dois compartimentos). Estes valores foram maiores do que o de qualquer outro balanço encontrado na literatura, e expressa uma tendência de estagnação muito forte no sistema.

Tabela 2. Resultado do balanço de água e sal mensal. Modelo para 2 compartimentos. Fluxos em $10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{mês}^{-1}$; (V_Q) escoamento fluvial, (V_P) precipitação, (V_E) evaporação, (V_O) fluxo de esgotos, ($S_{\text{sist-s}}$) salinidade do sistema de superfície, ($S_{\text{sist-d}}$) salinidade do sistema de fundo, ($S_{\text{ocn-d}}$) salinidade do oceano (fundo), (V_R) fluxo residual, ($\text{Vol}_{\text{sist-s}}$) vol. do sistema de superfície, ($\text{Vol}_{\text{sist-d}}$) vol. do sistema de fundo, (V_{deep}) fluxo de entrada de fundo, (V_z) volume de mistura, (V_s) fluxo de superfície, ($V_{\text{surf}} S_{\text{sist-s}}$) fluxo de sal de superfície, ($V_{\text{deep}} S_{\text{sist-d}}$) fluxo de sal de entranhamento, ($V_z (S_{\text{sist-d}} - S_{\text{sist-s}})$) vol. de sal de mistura, ($V_{\text{deep}} S_{\text{ocn-d}}$) fluxo de sal de fundo e (T_{RES}) tempo de residência hídrico em dias.

	Dezembro 2003	Janeiro 2004	Fevereiro 2004
V_Q	0,1	8	35
V_P	0,9	1,2	2,3
V_E	-1,6	-1,6	-1,6
V_O	0,6	0,6	0,6
$S_{\text{sist-s}}$	23,8	9,5	0,8
$S_{\text{sist-d}}$	25,6	23,0	3,7
$S_{\text{ocn-d}}$	36,5	35,9	35,2
$\text{Vol}_{\text{sist-s}}$	9,2	9,2	9,2
$\text{Vol}_{\text{sist-d}}$	4,6	4,6	4,6
V_{deep}	0	3	1
V_z	0	3	9
V_s	0	-11	-37
$V_{\text{surf}} S_{\text{sist-s}}$	0	-106	-30
$V_{\text{deep}} S_{\text{sist-d}}$	0	14	4
$V_z (S_{\text{sist-d}} - S_{\text{sist-s}})$	0	38	27
$V_{\text{deep}} S_{\text{ocn-d}}$	0	106	30
T_{RES}	8940	36	11

O mês de Dezembro não apresentou fluxos de troca (V_z) entre os compartimentos de superfície e fundo, pois o mês de estiagem manifestou elevada estagnação das águas estuarinas. A pequena diferença de salinidade verificada entre os compartimentos (superfície e fundo) demonstrou a não-estratificação do sistema e a conseqüente não aplicabilidade do modelo de 2 compartimentos para este mês (Figura 17).

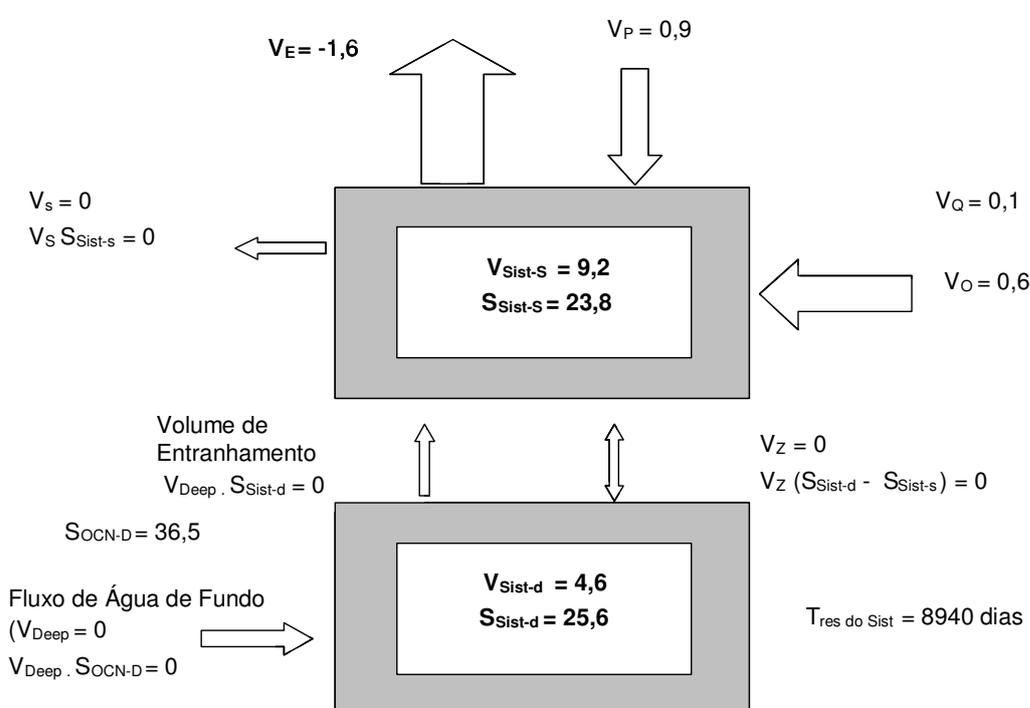


Figura 17. Esquema com o balanço mensal de água e sal para o estuário do Rio Cachoeira no mês de Dezembro/2003. Fluxos em $\times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{mês}$.

Os meses de Janeiro e Fevereiro exibiram os maiores fluxos de troca entre a superfície e o fundo do sistema estuarino, seja pela mistura (V_z) ou pelo entranhamento do compartimento de fundo para a superfície (V_{DEEP}). Este resultado, provocado pelo aumento da descarga de água doce diminuiu significativamente o tempo de residência hídrico, de 36 para 11 dias (Figura 18 e 19), contra os 23 e 7 dias estimados pelo modelo de 1 compartimento. O uso do modelo de 2

compartimentos demonstrou a importância que os fluxos têm na estimativa do tempo de residência e na relação entre os processos de troca de matéria e energia que ocorrem na superfície e no fundo.

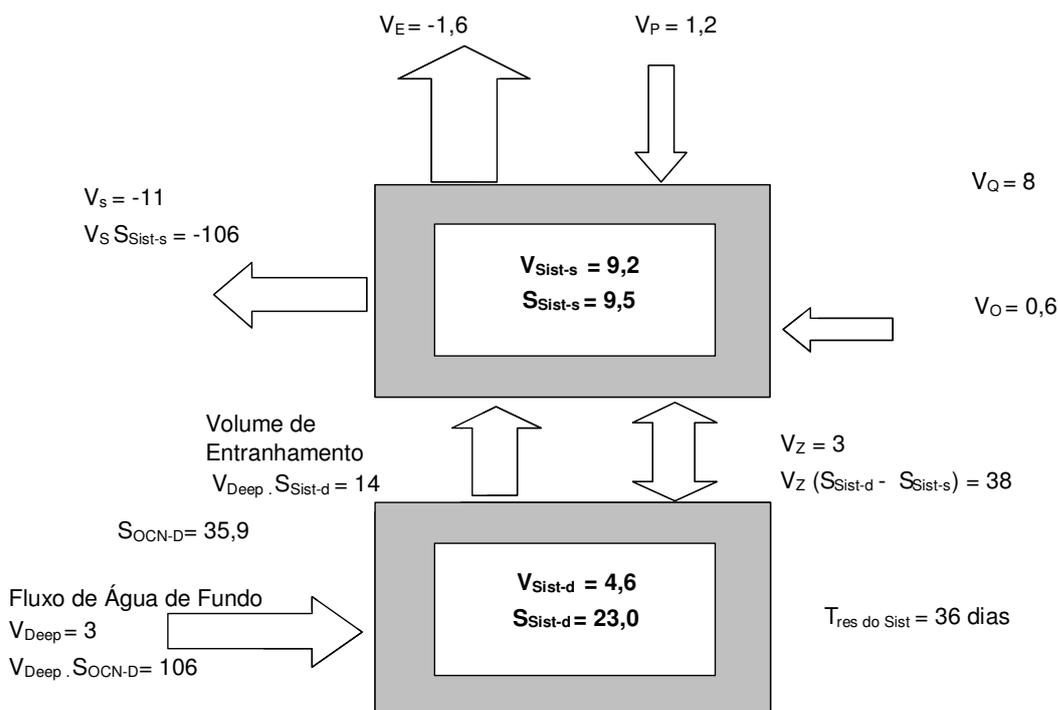


Figura 18. Esquema com o balanço mensal de água e sal para o estuário do Rio Cachoeira no mês de Janeiro/2004. Fluxos em $\times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{mês}$.

O cálculo do balanço de água e sal para o mês de Março não foi possível através do modelo para dois compartimentos, visto que não envolveu os processos e fluxos de troca dos outros meses e apresentou salinidade zero em toda porção interna do estuário. Neste período, a descarga de água doce foi elevada suficiente para impedir qualquer entrada de água salgada no sistema. Gómez-Gesteira et al. (2003) verificou que os dois principais fatores que controlam o tempo de residência da água é a descarga do rio e a entrada de água do mar no estuário.

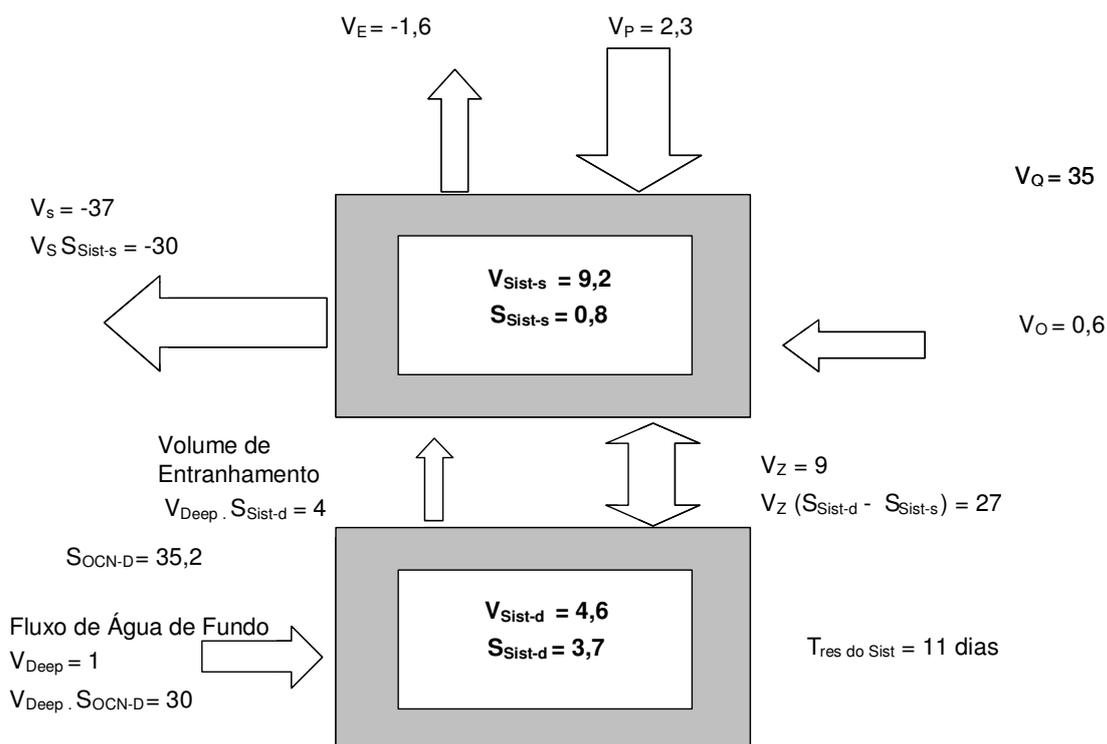


Figura 19. Esquema com o balanço mensal de água e sal para o estuário do Rio Cachoeira no mês de Fevereiro/2004. Fluxos em $\times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{mês}$.

Para Wang et al. (2004), o tempo de residência curto tem vantagens no aspecto de remoção de poluentes e promove a melhoria da qualidade da água da porção estuarina. Uma fração significativa de poluentes exportados acaba sendo transportada para as águas da zona costeira (fora do estuário).

Dupra et al. (1999) observaram um tempo de residência de 3 anos usando modelo com dois compartimentos para a Baía de Calauag, Filipinas. Kalnejais et al. (1999) em estudo no estuário Canning Swan em 1996, Austrália, verificaram nas estações seca e chuvosa, respectivamente, 235 e 6 dias de tempo de residência.

O resultado da aplicação dos modelos para balanço de água e sal com 1 e 2 compartimentos, permite verificar que os períodos distintos (estiagem/Dezembro e chuvoso/Março), por não apresentar estratificação no sistema, são melhores representados pelo modelo com 1 compartimento. Os meses marcados pela acentuada estratificação vertical (Janeiro e Fevereiro) (Tabela 3), tornam o modelo com 2 compartimentos mais adequado e com estimativa mais real ao prever os fluxos de troca entre a superfície e o fundo do estuário. Este resultado demonstra a limitação inerente ao modelo de 1 compartimento para os períodos de estratificação, pois os tempos de residência hídricos são subestimados por ele.

Tabela 3. Resultado do balanço de água e sal mensal com os tempos de residência hídricos e os respectivos modelos aplicados. Tempo de residência em dias.

	Dezembro 2003 (1 compartimento)	Janeiro 2004 (2 compartimentos)	Fevereiro 2004 (2 compartimentos)	Março 2004 (1 compartimento)
T_{RES}	7400	36	11	1

5.4. Variáveis físico-químicas

Salinidade

A salinidade na porção estuarina diminuiu ao longo do período estudado, atingindo o valor de 0 em Março (Figura 20). A seção interna do estuário apresentou uma distribuição de salinidade bastante elevada no mês de estiagem (Dezembro), influenciada pela baixa vazão e precipitação, associada à elevada evapotranspiração neste mês. Em janeiro e fevereiro, ocorreu uma forte estratificação, conforme mostra a figura 21 (pontos 2, 3 e 4), onde a diferença de salinidade entre as águas de superfície e fundo é ampla. No ponto 4, às margens do

bairro Banco da Vitória, que caracteriza o limite da influência da maré no estuário, a diferença de salinidade entre a água de superfície e fundo em janeiro chega a 22,3 %.

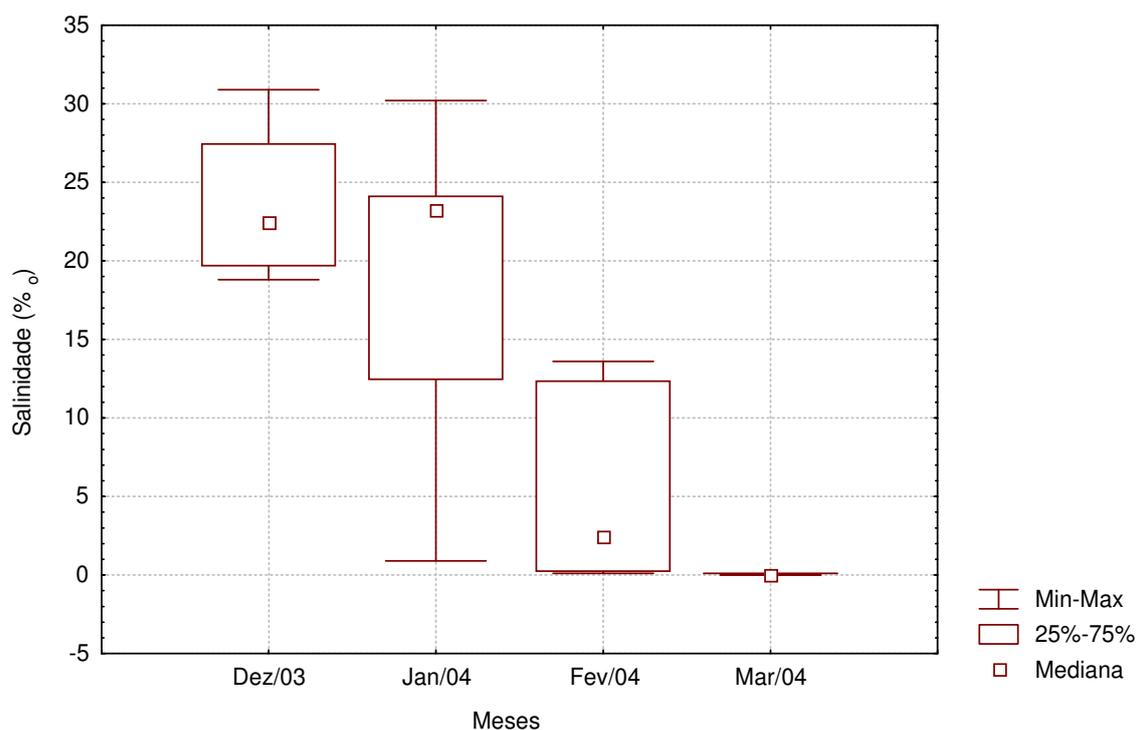


Figura 20. Distribuição da salinidade nos meses de estudo.

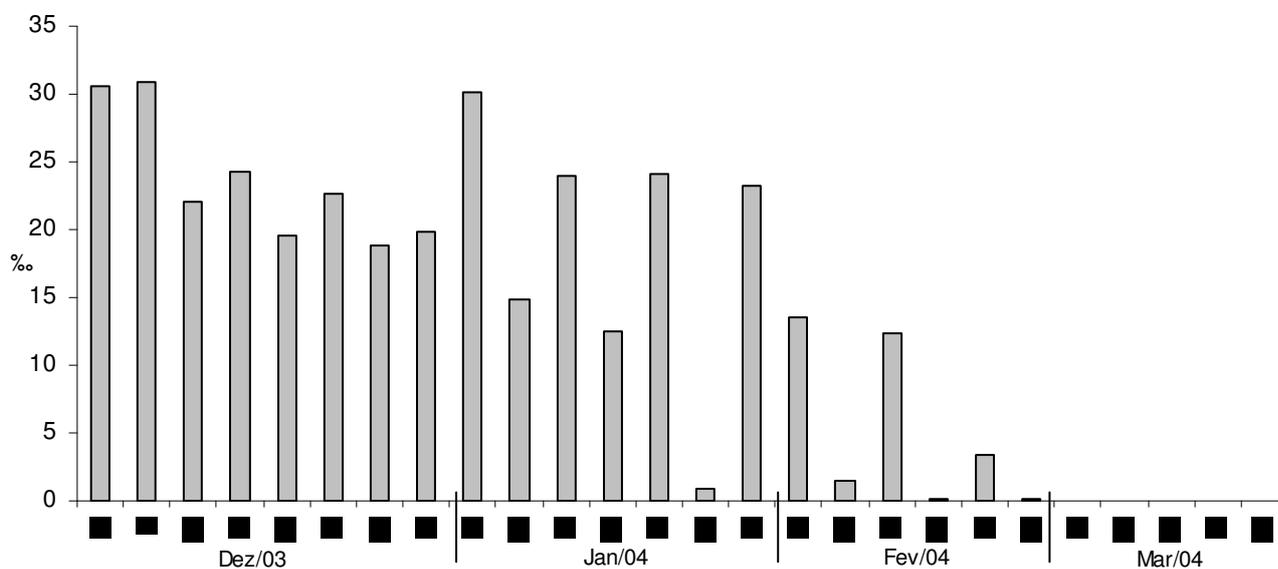


Figura 21. Distribuição espacial e temporal da salinidade no estuário.

A estratificação do mês de Fevereiro foi menor do que a verificada em Janeiro, devido o aumento da descarga de água no estuário neste mês. A figura 21 exibe os valores de salinidade ao longo do período e não representa o mês de Março porque o valor em todos os pontos foi zero.

No estuário do Rio Piauí, Sergipe (SOUZA, 1999), que possui características semelhantes quanto à transição entre períodos secos e chuvosos, a distribuição da salinidade foi diferente do presente estudo, pois praticamente não ocorreu estratificação significativa durante os meses avaliados.

Pinho (2001) verificou que no ponto de coleta localizado no estuário do Rio Cachoeira a condutividade apresentava seus maiores valores durante os meses de maior intrusão de água do mar (Janeiro, Fevereiro e Março de 1999).

Alcalinidade

A alcalinidade apresentou valores superiores nos meses de Dezembro e Janeiro (Figura 22), devido a maior interação com a água do mar que possui naturalmente maior alcalinidade do que a água doce, pela presença em altas concentrações dos íons carbonato, bicarbonato, hidroxila e boratos dissolvidos (CARMOUZE, 1994).

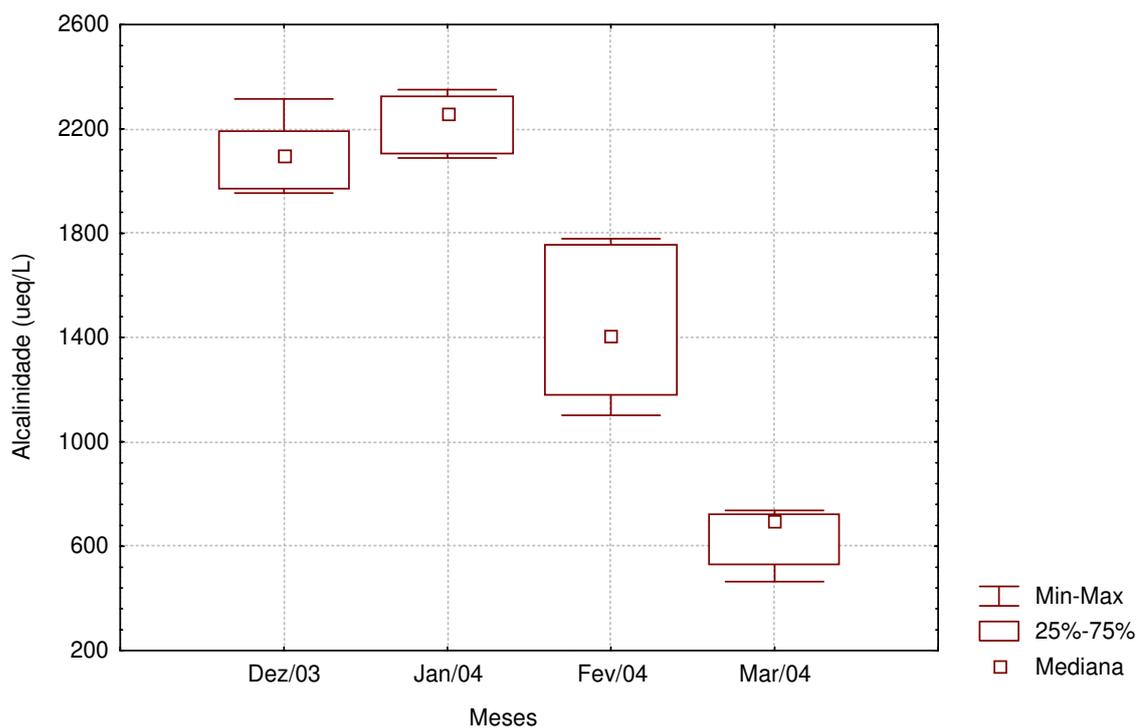


Figura 22. Distribuição da alcalinidade nos meses de estudo.

Em Janeiro observa-se uma diferença nos valores de alcalinidade entre os pontos de superfície e fundo (2-s e 2-f, 3-s e 3-f, 4-s e 4-f). Esses pontos de superfície apresentam alcalinidade inferior em relação ao fundo (Figura 23). O consumo de alcalinidade pode ser indicativo de processos oxidativos (VON SPERLING, 1996), como remineralização, decomposição de matéria orgânica. Os processos de fotossíntese e dissolução de carbonatos podem aumentar a alcalinidade. Dessa forma, é provável que as diferenças de alcalinidade citadas estejam fortemente relacionadas com a estratificação vertical do período e/ou com os processos ocorridos no meio.

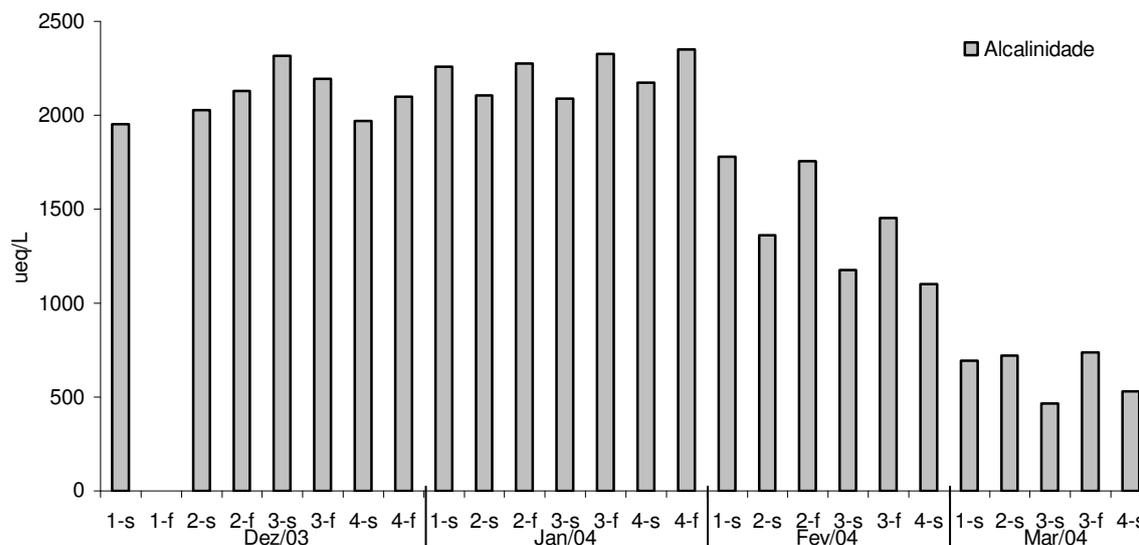


Figura 23. Distribuição espacial e temporal da alcalinidade do estuário.

pH

O pH variou de 7,23 a 8,83 nos pontos de coleta, ao longo dos meses de estudo. Conforme figura 24, o mês de Dezembro exibiu os maiores valores e amplitude de pH, característica da influência marinha no mês de menor descarga de água doce. Com o aumento da precipitação e vazão do estuário, o pH exibiu uma tendência de decréscimo e diminuição da sua amplitude, em consequência direta da diminuição da alcalinidade.

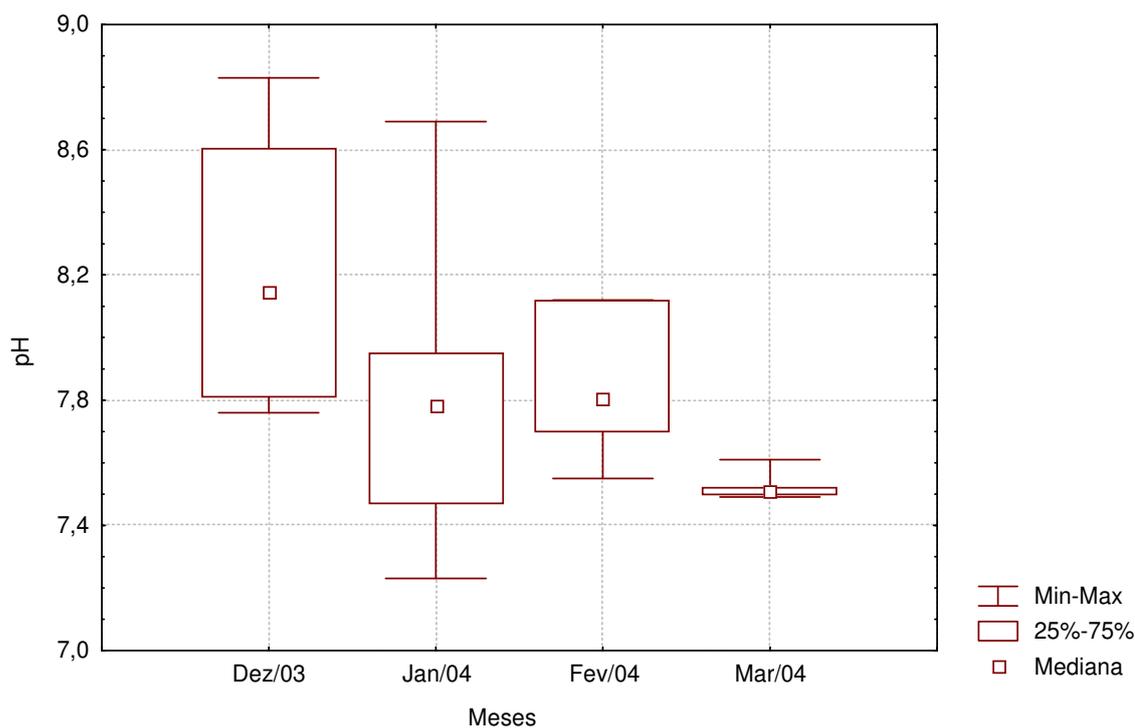


Figura 24. Distribuição do pH nos meses de estudo.

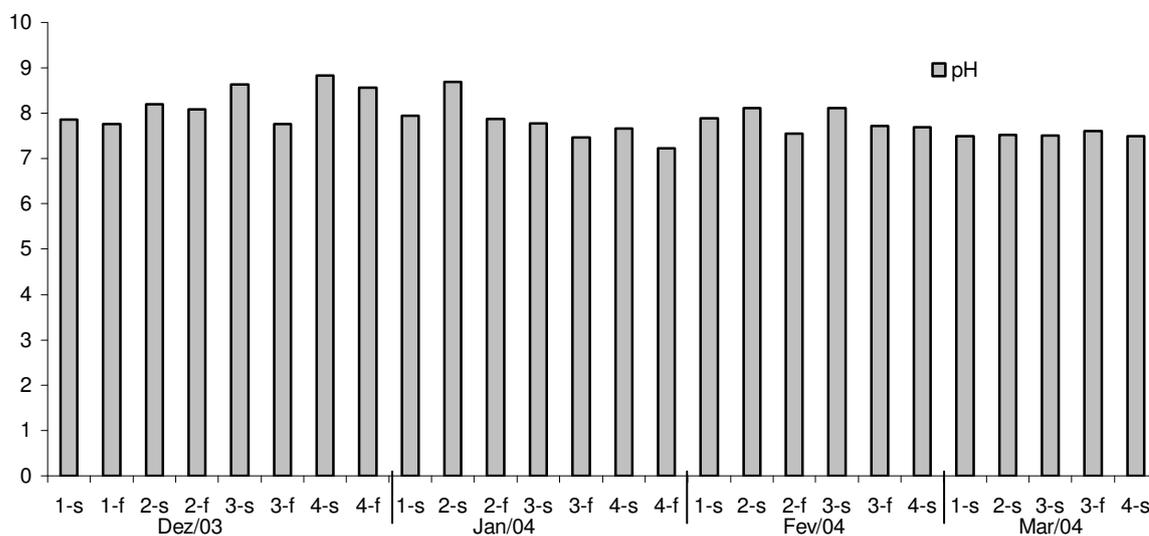


Figura 25. Distribuição espacial e temporal do pH

O pH também pode ser um parâmetro indicativo dos processos que ocorrem em corpos d'água, pois valores elevados podem estar relacionados à proliferação de algas. Processos oxidativos (ex.: nitrificação, degradação oxidativa da matéria orgânica) podem levar a valores menores de pH, o que afetará o próprio crescimento

dos microorganismos do processo oxidativo (VON SPERLING, 1996). Nos meses de Dezembro a Fevereiro é verificada uma diferença nos valores do pH de superfície e fundo (ponto 3 e 4) (Figura 25). Estes menores valores dessas amostras podem sugerir o predomínio de processos de decomposição de matéria orgânica.

Apesar da amplitude e variação ao longo do tempo, o pH das águas do estuário se mostraram levemente básicas e podem ser classificadas de classe 1, de acordo com a resolução CONAMA nº. 357 de 17 de Março de 2005 para águas salobras (águas com salinidade superior a 0,5‰ e inferior a 30‰).

Temperatura

A temperatura apresentou valores médios mais elevados durante os meses de dezembro a fevereiro e com o aumento da precipitação (Março) começou a diminuir (Figura 26). O valor mínimo de 25,5 °C foi exibido em Março e o máximo de 29 °C em Dezembro. O mês de Março apresentou a menor amplitude de temperatura do período devido a elevada vazão e menor mistura com a água do mar. A temperatura influencia diretamente nos equilíbrios químicos (CARMOUZE, 1994), influenciando nas taxas das reações químicas ou na solubilidade do oxigênio (VON SPERLING, 1996).

Pinho (2001) verificou no seu ponto de coleta situado no estuário os extremos de temperatura de todo o trecho de estudo, com uma temperatura máxima de 33,8 °C em Janeiro e mínima de 21,9 °C em Junho de 1999.

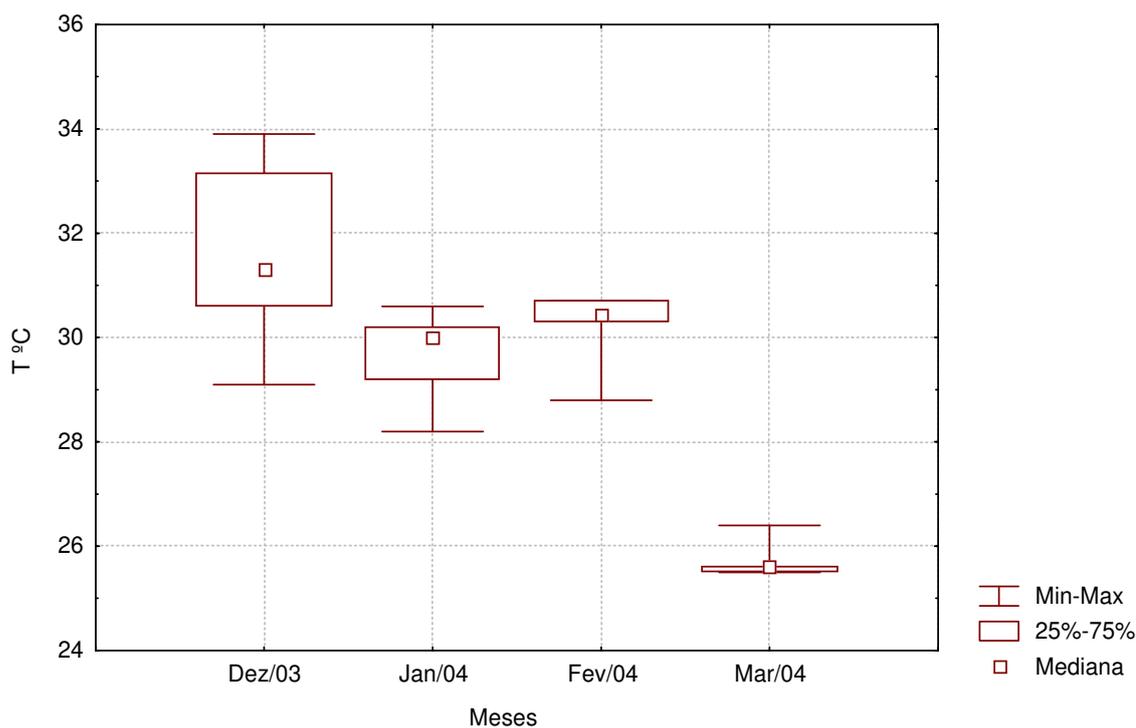


Figura 26. Distribuição da temperatura nos meses de estudo.

Oxigênio Dissolvido (OD)

As concentrações de oxigênio dissolvido exibiram grande variabilidade por todo o período e ao longo dos pontos de coleta e tendência de decréscimo no mês de maior precipitação e descarga de água doce (Março) (Figura 27). Em Dezembro, os pontos 3-s e 4-s atingiram concentrações de O₂ respectivamente de 15,8 e 15,9 mg/L. As amostras de fundo (3-f e 4-f) mostraram-se anóxicas (Figura 28). Estes resultados, associados aos baixos valores de pH e altos valores de alcalinidade (no fundo), sugerem a ocorrência de elevadas taxas de produção primária na superfície e de degradação de matéria orgânica no fundo. Esta discrepância é característica de ambientes eutrofizados que exibem a camada superior da água frequentemente altas concentrações, e na camada inferior abaixo da saturação à completa anoxia (VON SPERLING, 1996).

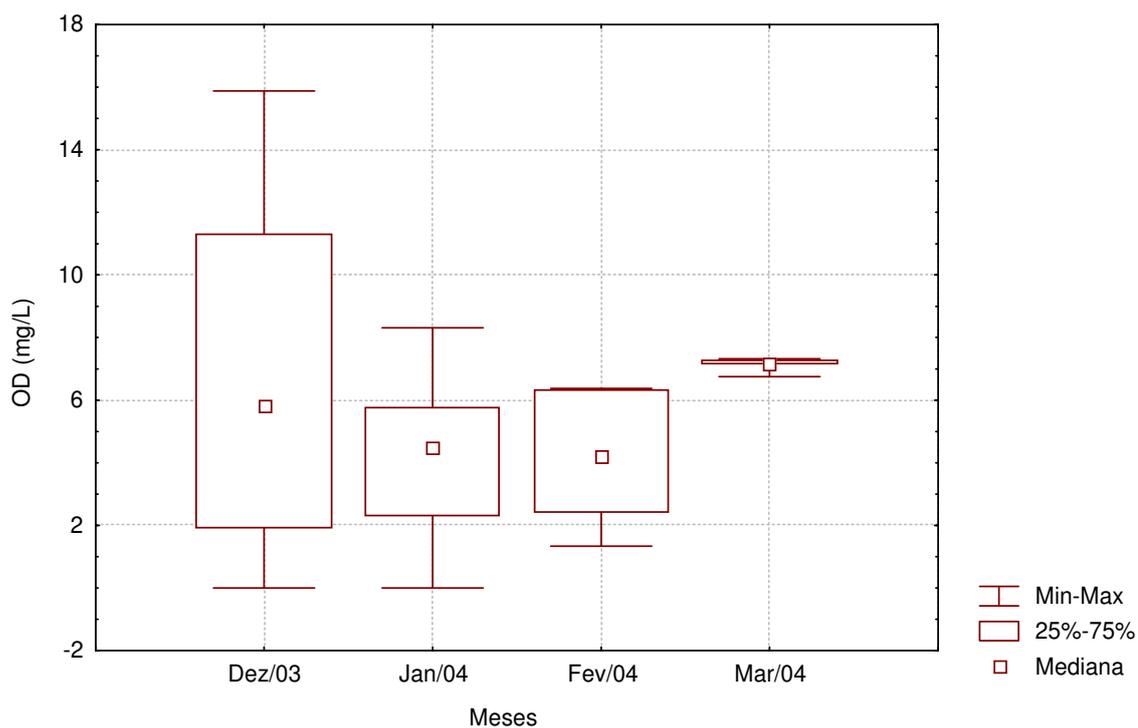


Figura 27. Distribuição do oxigênio dissolvido nos meses de estudo.

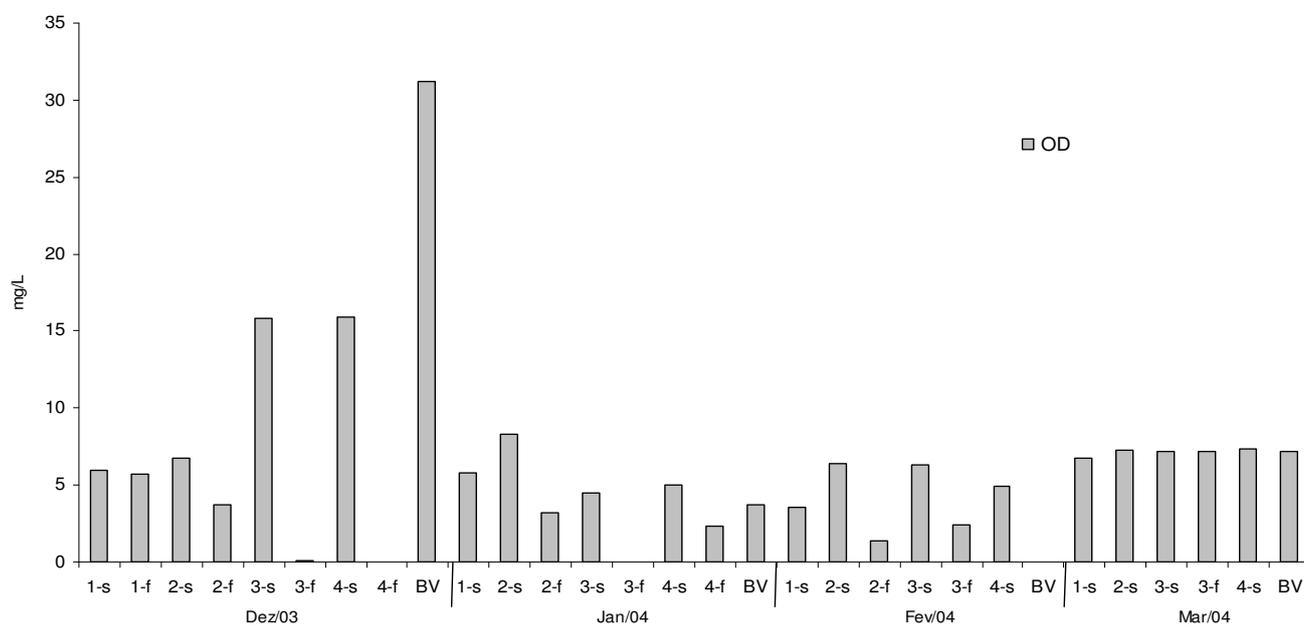


Figura 28. Distribuição espacial e temporal do oxigênio dissolvido no estuário.

Em Janeiro e Fevereiro, a diferença entre as concentrações de oxigênio de superfície e de fundo diminuiu até atingir concentrações homogêneas em Março, com o aumento da descarga de água (Figura 28). Este comportamento demonstra

uma significativa influência do tempo de residência hídrico sobre os processos ocorridos no estuário. Com o aumento da vazão (Março) e diminuição da taxa de renovação hídrica, o tempo para a ocorrência dos processos biogeoquímicos foram superiores ao tempo de residência hídrico.

A concentração de oxigênio de origem fluvial (Ponto BV) apresentou valor de 31 mg/L no mês de estiagem (Dezembro), conforme figura 28. Esta alta concentração associada a um elevado tempo de residência hídrico neste mês, sugere elevadas taxas de produção primária e oxigenação provocada pelas corredeiras na água fluvial.

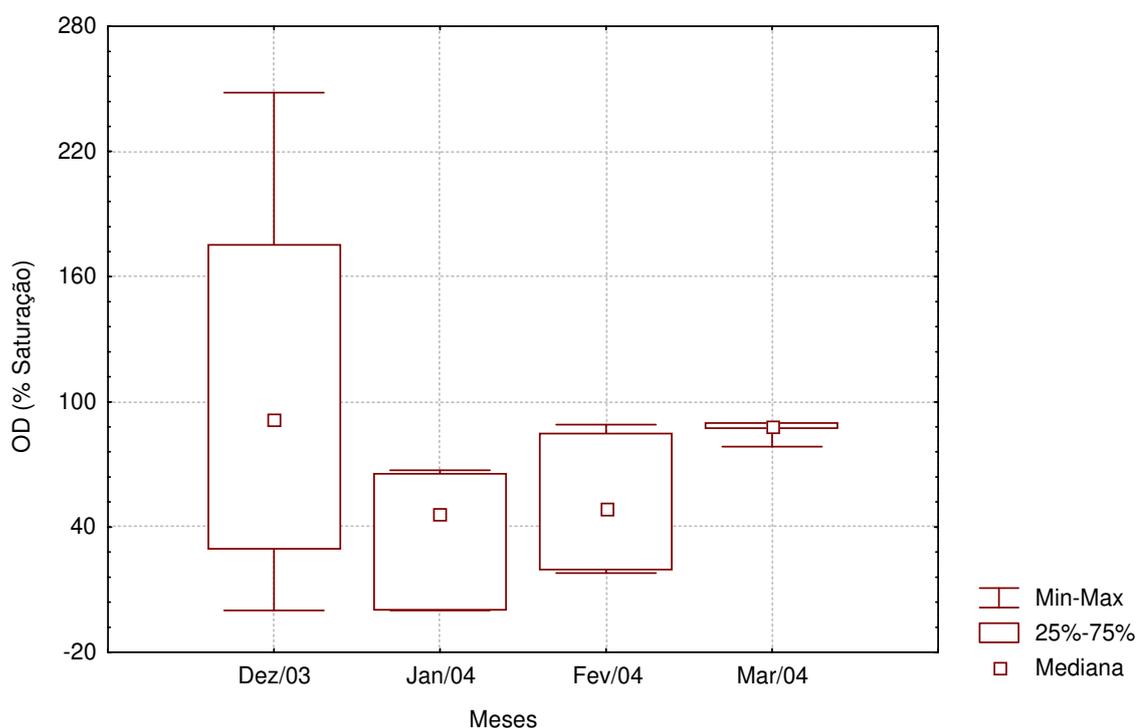


Figura 29. Distribuição do percentual de saturação do oxigênio dissolvido nos meses de estudo.

O oxigênio dissolvido apresentou supersaturação (superfície) e subsaturação (fundo) acentuada durante o mês de Dezembro (estiagem) e tendência de decréscimo em Janeiro e Fevereiro (Figura 29). Com o aumento da vazão e precipitação, o percentual de saturação mostrou pouca variação em Março, o que demonstra menor influência dos processos biogeoquímicos em relação aos processos físicos.

De acordo com os limites para o OD previstos na resolução CONAMA N^o. 357, as águas do estuário se apresentaram de classes diferentes ao longo do tempo e do local. Em Dezembro, todas as amostras de superfície e a 1-f, se enquadraram como de classe 1 (concentração não inferior a 5 mg/L). A amostra do ponto 2-f foi de classe 3 (concentração não inferior a 3 mg/L) e as amostras dos pontos 3-f e 4-f ficaram fora dos padrões de classificação da resolução (concentrações inferiores a 3 mg/L), o que pode sugerir a influência dos efluentes da ETE e do bairro Banco da Vitória na degradação das águas do estuário.

De forma geral, em Janeiro e Fevereiro a classificação foi semelhante. As amostras de superfície se enquadraram na classe 1 e as de fundo fora dos padrões da resolução, devido a subsaturação do OD nesses pontos. Em Março, todas as amostras foram classificadas na classe 1, pois não apresentaram concentrações inferiores a 5 mg/L.

Estes resultados demonstram uma deficiência da Resolução CONAMA Nº. 20 mantida na Resolução CONAMA Nº. 357. Estas resoluções referem-se apenas à concentrações de oxigênio dissolvido, não havendo nenhuma referência à supersaturação de oxigênio.

Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅)

A Demanda Bioquímica de Oxigênio apresentou valores elevados e com grande variabilidade entre os pontos de coleta e durante o período de estudo (Figura 30). Todos os pontos no mês de Dezembro apresentaram os maiores valores de DBO, aparentemente influenciados pelo aporte de matéria orgânica e o elevado tempo de residência hídrico verificado neste mês (Figura 31). Estes resultados podem ser considerados como indicação do nível de degradação do corpo d'água e da concentração de matéria orgânica biodegradável (VON SPERLING, 1996). Com o incremento da vazão nos meses subseqüentes, os valores de DBO foram diminuindo até Fevereiro com o aumento da renovação da água no sistema.

Em Março, os valores de DBO foram elevados e mais homogêneos ao longo dos pontos de coleta, em relação ao mês de Fevereiro. Estes resultados podem estar relacionados com a maior descarga de água do mês de março e com o tempo de residência hídrico próximo de zero, levando a um aporte constante de matéria orgânica da bacia para a porção estuarina (Figura 31).

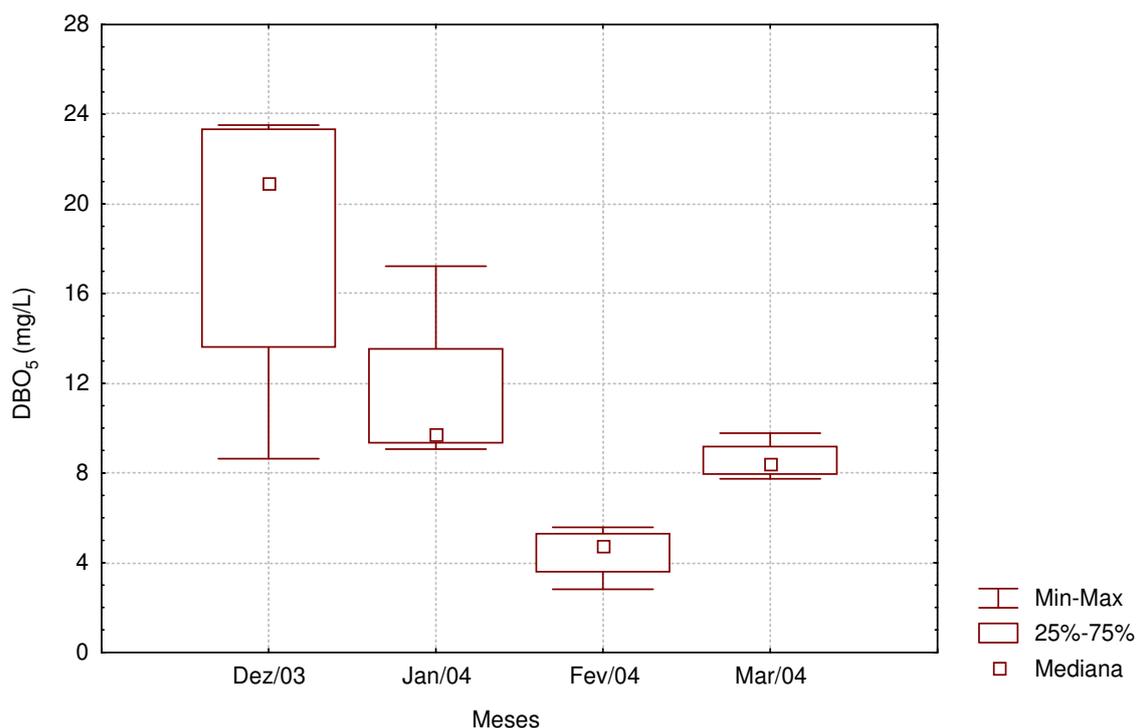


Figura 30. Distribuição da DBO₅ nos meses de estudo.

Com relação aos pontos de maior DBO, nas estações 3 e 4 (Dezembro e Janeiro), localizadas respectivamente a montante da ETE e às margens do bairro Banco da Vitória, observa-se que essas fontes de aporte podem ter relação com a degradação e concentração de matéria orgânica nesses pontos (Figura 31). Fontes (2004), durante a maré vazante, verificou valores de DBO muito semelhantes aos do presente estudo nos pontos à montante e à jusante do lançamento do efluente da ETE no estuário, que apresentaram os respectivos valores (janeiro de 2003), 16,9 e 9,6 mg/L; e em setembro de 2003, os valores 23,3 e 32,3 mg/L. Estes resultados mostraram a necessidade de melhoria na remoção da DBO do efluente da ETE, pois, segundo Fontes (2004), o valor recomendável pela Comunidade Comum Européia CCE para lançamento de efluentes em corpos d'água é de 25 mg/L.

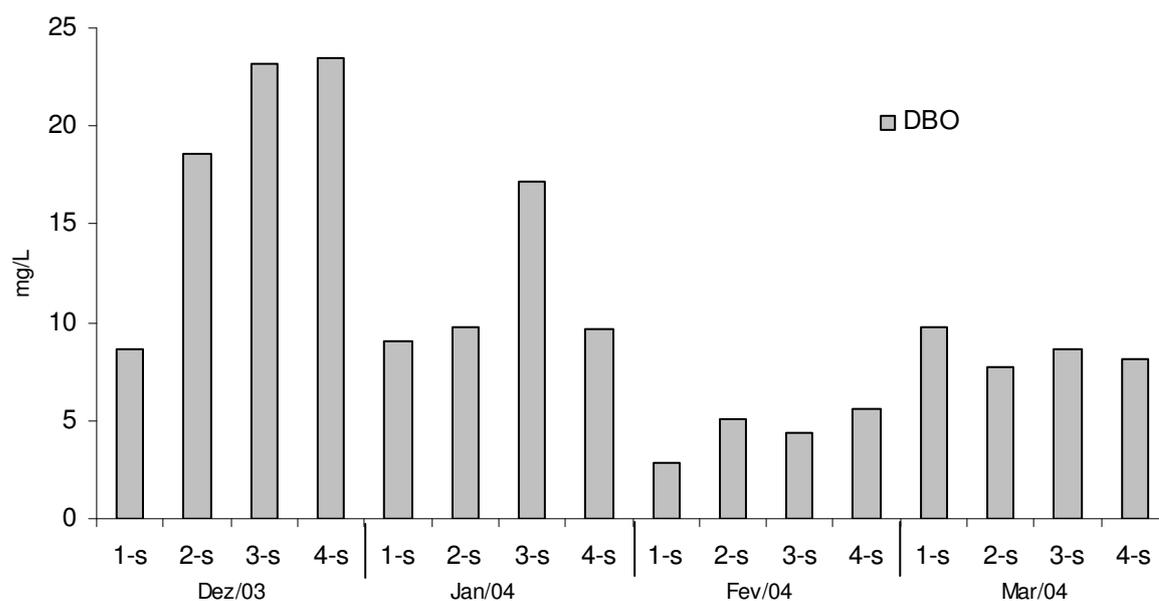


Figura 31. Distribuição espacial e temporal da DBO₅ nos meses de estudo.

Os valores de DBO apresentados por Pinho (2001) em seu ponto de coleta no estuário, exibiram o máximo em Janeiro de 1999 com 6,6 mg/L e o mínimo em Agosto com 1,0 mg/L. A diferença verificada entre estes valores e os obtidos nesse trabalho pode ser explicada pela amostragem com maré vazante no período de maior descarga de água e/ou diferença na descarga de água doce, que foi menor no estudo de Pinho (2001). O incremento da DBO verificado no presente estudo pode ter relação com o maior aporte de matéria orgânica após o início do funcionamento da ETE.

5.5. Nutrientes Inorgânicos Dissolvidos

5.5.1. Nitrogênio inorgânico dissolvido

A concentração média de amônio no mês de Dezembro foi relativamente baixa ao longo dos pontos de coleta (Figura 32). Neste mês, o maior valor foi do ponto 3-f com 9,6 μM , porém a maioria dos pontos apresentaram concentrações abaixo de 5 μM ou mesmo abaixo do nível de detecção do método (pontos: 1-s, 1-f, 3-s, 4-s e 4-f), conforme Figura 33. Os maiores valores de amônio foram verificados em janeiro, atingindo 37,9 μM no ponto 2-f e aproximadamente 29,9 μM nos pontos 3-f e 4-f. Em fevereiro esse comportamento voltou a se repetir, com maiores concentrações nas amostras de fundo em relação às de superfície. Com o aumento da vazão e precipitação em março, a concentração média de amônio entre os pontos foi de 12,5 μM e mais uniforme em relação aos outros meses.

A ocorrência de baixos valores de amônio até níveis não-detectáveis pelo método no mês de Dezembro pode sugerir um rápido desenvolvimento do fitoplâncton (CARMOUZE, 1994). O comportamento das concentrações de amônio de superfície e fundo ao longo dos pontos de coleta, associados aos menores valores de pH, maior alcalinidade e ambiente anóxico (fundo), permite relacionar ao processo de denitrificação provocada pela decomposição de matéria orgânica em condições de anoxia e à atividade fitoplanctônica na superfície (Figura 33).

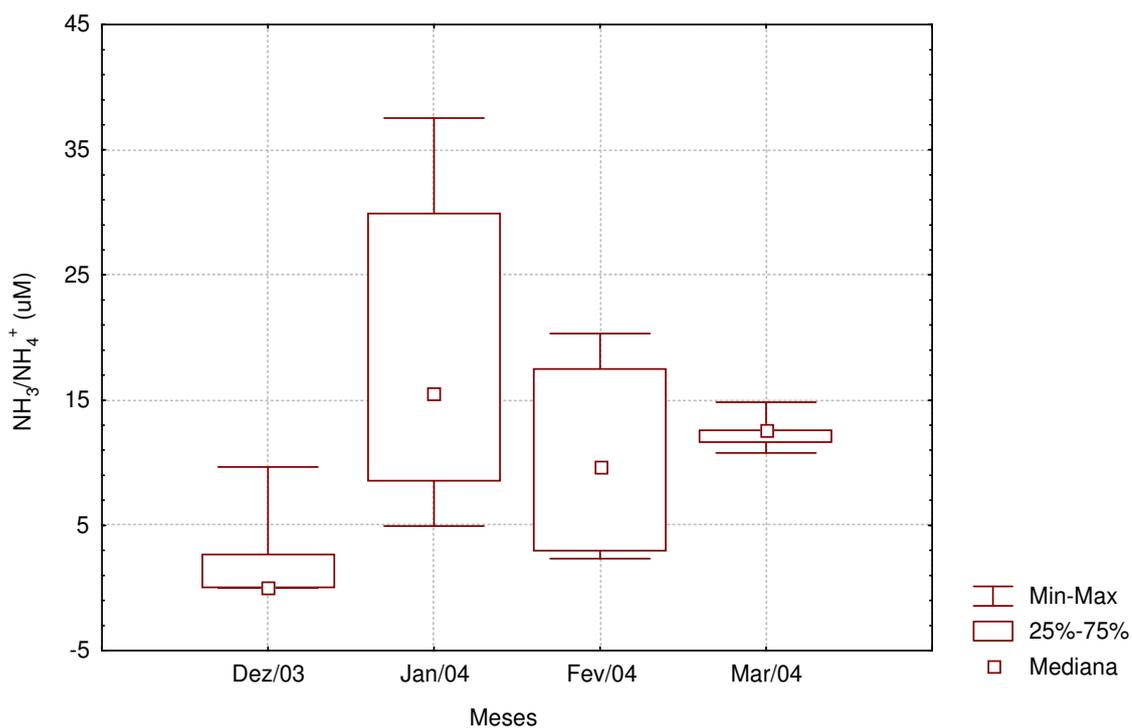


Figura 32. Distribuição das concentrações de nitrogênio amoniacal durante os meses de estudo.

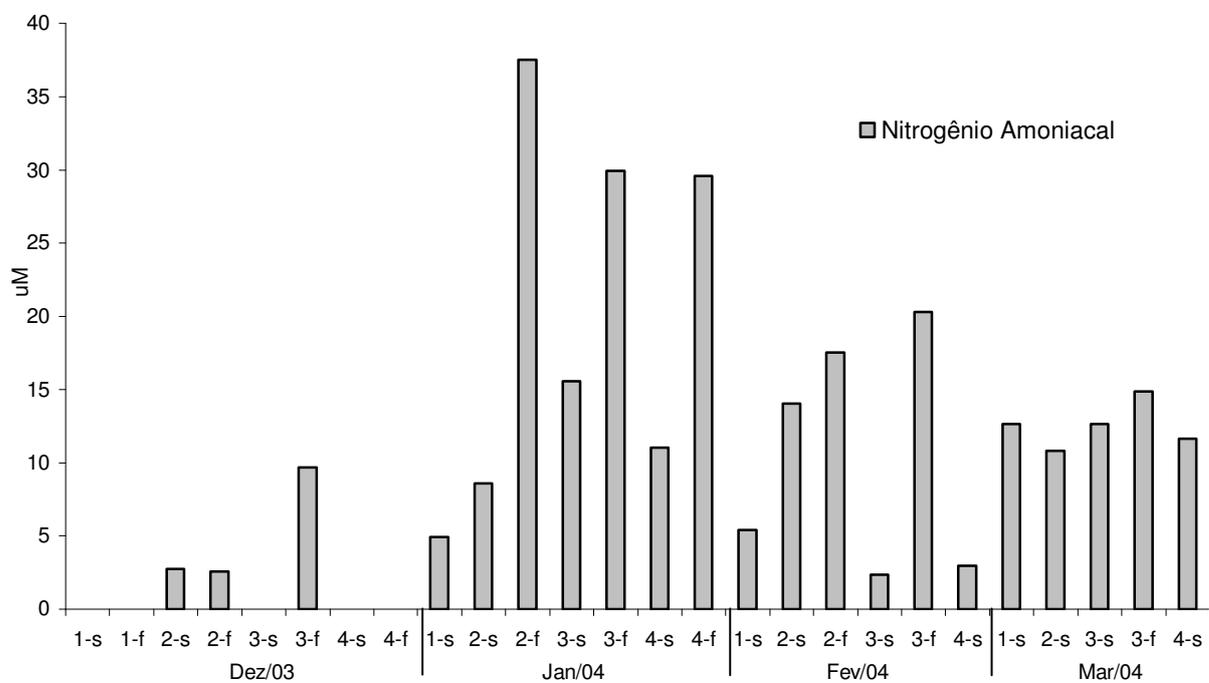


Figura 33. Distribuição espacial e temporal das concentrações de nitrogênio amoniacal durante os meses de estudo.

As concentrações de amônio verificadas por Souza (2005) no estuário do Rio Cachoeira foram muito inferiores às apresentadas nesse trabalho, as quais podem estar relacionadas ao início do funcionamento ETE. Este autor relata concentrações que variaram de valores menores que o nível de detecção a um máximo de 6,88 μM por todo período de estudo (Fevereiro, Setembro de 2000, Maio, Agosto de 2001).

Souza (1999) observou concentrações do íon amônio superiores a 5 μM e que em Abril de 1996 atingiram valores próximos a 20 μM no estuário do Piauí. No estuário da Baixada Santista, Braga et al. (2000) detectaram nos pontos mais internos concentrações elevadas que variaram de 26,6 μM a 60,5 μM .

Segundo a resolução Nº. 357 de 17 de março de 2005 para águas salobras, as concentrações de amônio ao longo do tempo e espaço, classificam o estuário em classe 1, por não apresentar, de forma geral, valores superiores a 0,40 mg/L (Tabela 4). Exceto no mês de Janeiro, nos pontos 2-f, 3-f e 4-f (classe 2), pela provável proximidade da ETE e relação com processos de decomposição de matéria orgânica. Este parâmetro de concentração de nitrogênio amoniacal da resolução CONAMA mostra-se razoavelmente elevado, pois pode classificar em classe 1 um ambiente eutrofizado.

Tabela 4. Concentrações de amônio em mg/L. n.d (não-detectada pelo método. n.a (amostra não analisada)

	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março
1-s	n.d	0,07	0,08	0,18
1-f	n.d	n.a	n.a	n.a
2-s	0,04	0,12	0,20	0,15
2-f	0,04	0,53	0,25	n.a
3-s	n.d	0,22	0,03	0,18
3-f	0,14	0,42	0,28	0,21
4-s	n.d	0,15	0,04	0,16
4-f	n.d	0,41	n.a	n.a

De maneira geral, o nitrogênio na forma de nitrito apresentou um comportamento um pouco diferente do íon amônio, menores concentrações e desvio em dezembro, e tendência de aumento dos valores e do desvio ao longo dos meses (Figura 34) e dos pontos de coleta (Figura 35), exceto no ponto 3 (janeiro) superfície e fundo, abaixo do nível de detecção. Este resultado sugere uma relação com o aumento da descarga de água doce que acarretou o aporte fluvial de nitrito. As maiores concentrações foram verificadas no mês de março e exibindo um pico no ponto 3-s de 3 μM .

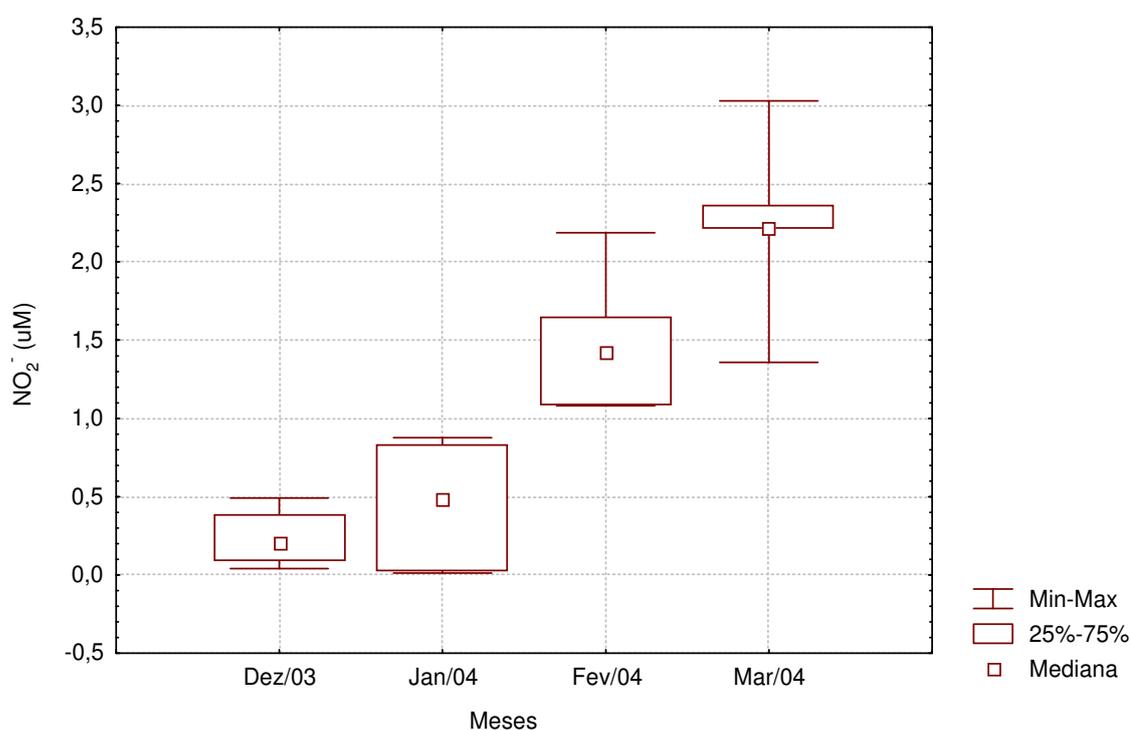


Figura 34. Distribuição das concentrações de nitrito durante os meses de estudo.

Este comportamento e pico de concentração foi semelhante ao verificado por Uncles et al. (2003) e foi associado ao aumento de descarga de água doce no estuário Tweed. Braga (2000) verificou no estuário da Baixada Santista, altas concentrações de nitrito em Março de 1998, que variaram de 2,87 a 8,86 μM na porção interna.

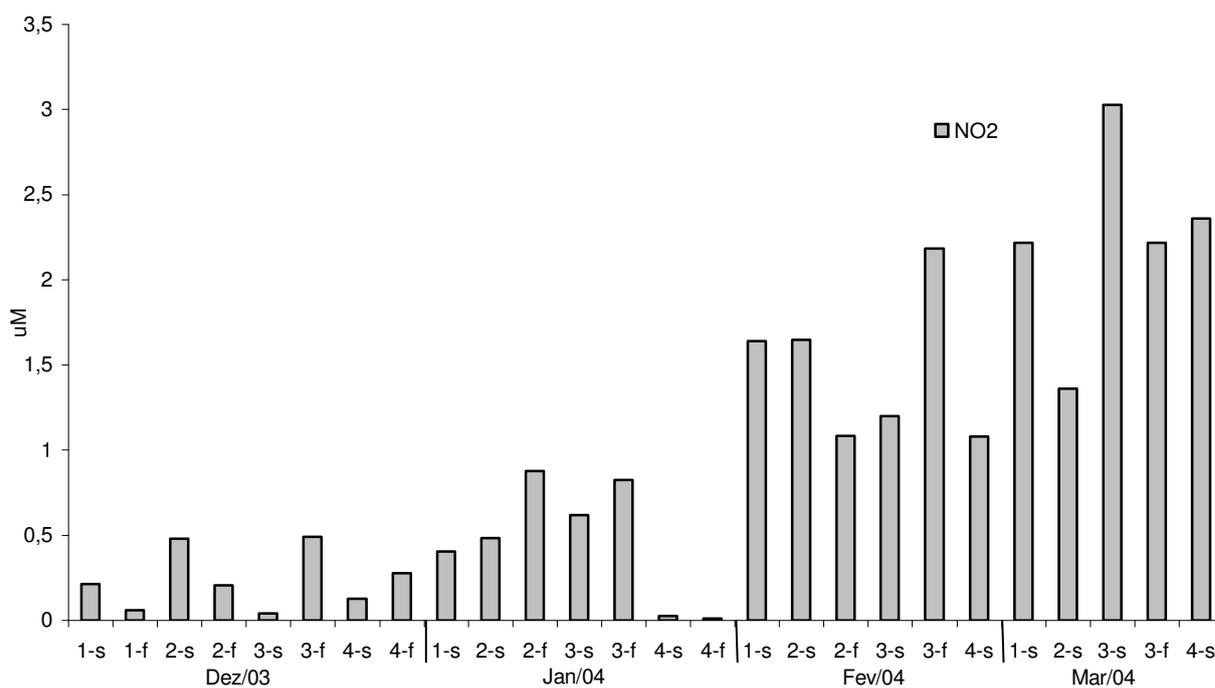


Figura 35. Distribuição espacial e temporal das concentrações de nitrito durante os meses de estudo.

Segundo a resolução CONAMA, as concentrações de nitrito verificadas classificam o estuário em classe 1, pois não apresenta concentrações superiores a 0,07 mg/L (Tabela 5).

Tabela 5. Concentrações de nitrito em mg/L.. n.d (não-detectada pelo método. n.a (amostra não analisada)

	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março
1-s	n.d	0,01	0,02	0,03
1-f	n.d	n.a	n.a	n.a
2-s	0,01	0,01	0,02	0,02
2-f	n.d	0,01	0,02	n.a
3-s	n.d	0,01	0,02	0,04
3-f	0,01	0,01	0,03	0,03
4-s	n.d	n.d	0,02	0,03
4-f	n.d	n.d	n.a	n.a

O nitrato, a forma mais oxidada de nitrogênio, apresentou concentrações abaixo do limite de detecção do método durante o mês de dezembro em todos os pontos de coleta (Figura 36) e tendência de aumento ao longo do período. Os meses de janeiro a março registraram concentrações diretamente relacionadas com a vazão e inversamente à salinidade, o que sugere o predomínio do aporte fluvial de nitrato para o estuário.

A elevação das concentrações de nitrato no mês de fevereiro (Figura 36) pode ser atribuída a ocorrência de fortes chuvas e cheias, com ressuspensão e carregamento de material lixiviado da bacia (ESTEVES, 1998).

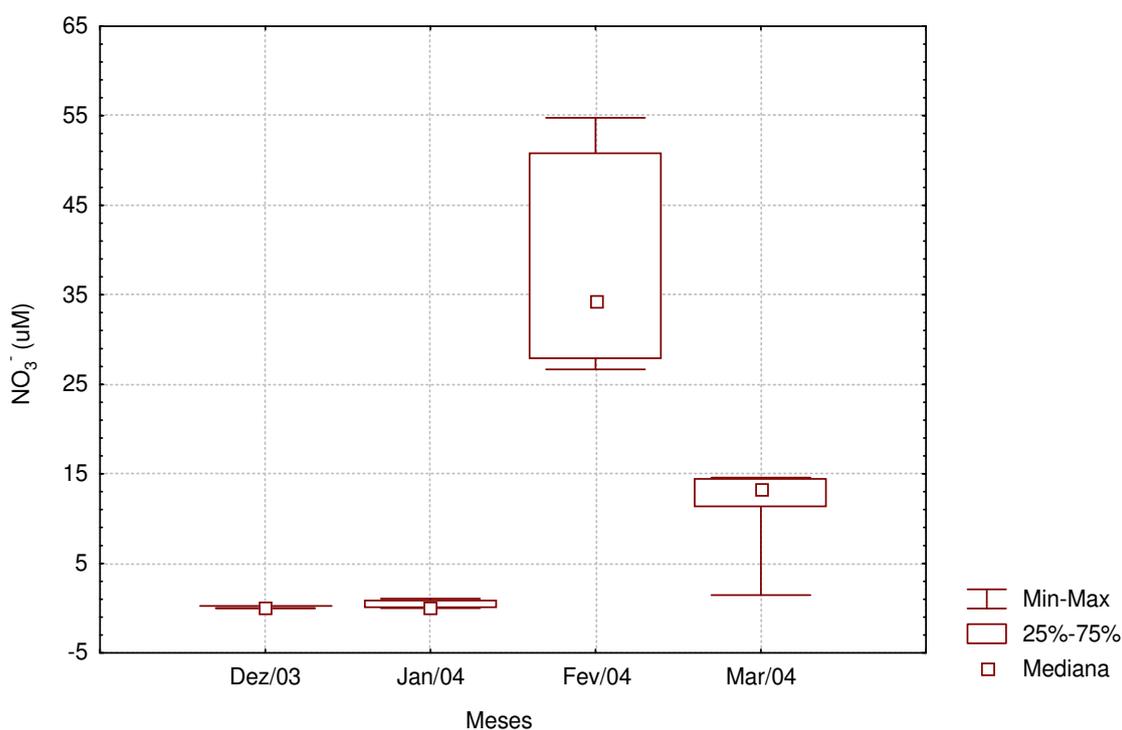


Figura 36. Distribuição das concentrações de nitrato durante os meses de estudo. Os valores das concentrações em dezembro foram abaixo do nível de detecção do método.

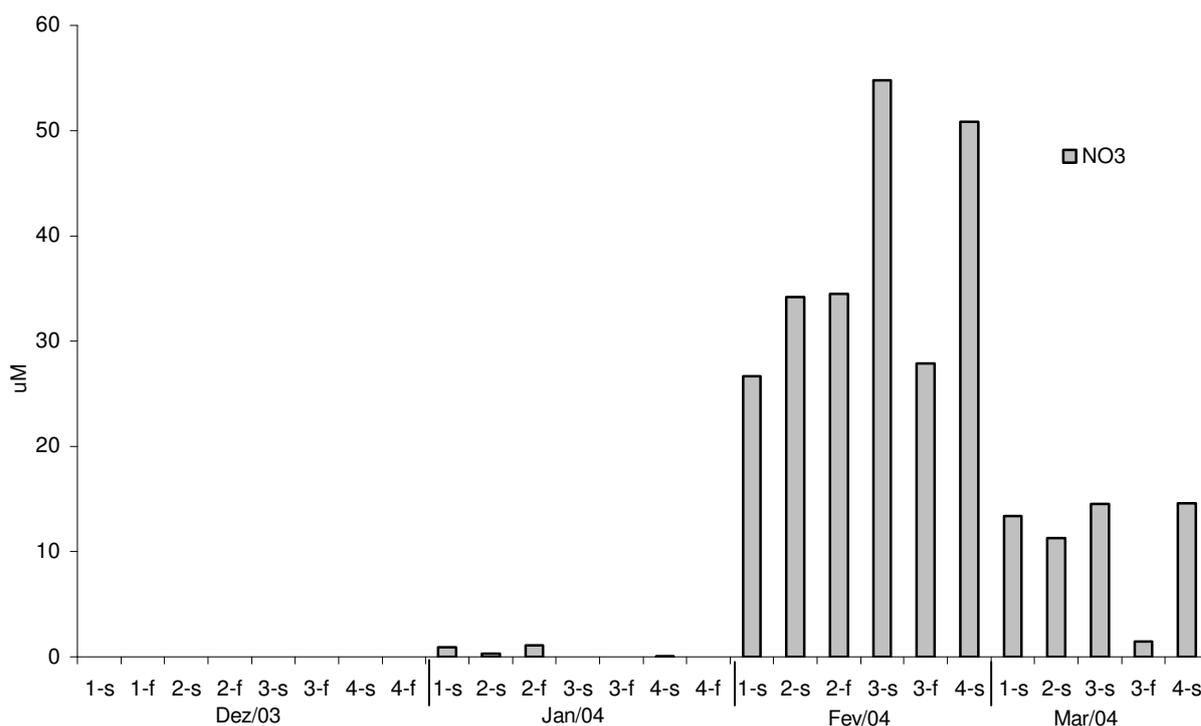


Figura 37. Distribuição espacial e temporal das concentrações de nitrato durante os meses de estudo.

A distribuição espacial e temporal mostrada na figura 37 exibe as concentrações abaixo do nível de detecção nos meses de dezembro e janeiro. Em fevereiro verificam-se as maiores concentrações (54,7 μM no ponto 3-s, e 50,8 μM no ponto 4-s). Este resultado sugere que o aumento na descarga de água tenha influência sobre as concentrações nestas amostras. Em março, os valores foram bastante uniformes entre os pontos, com exceção do 3-f (à montante da ETE), o que sugere atividade denitrificante.

Foram observadas altas concentrações de nitrato também no estudo de Souza (2005), com valores que variaram de níveis abaixo do limite de detecção a 30 μM . Os resultados de Souza (2005) apresentam um valor máximo inferior ao deste estudo, o que pode significar que o funcionamento da ETE promove o aporte significativo de nitrato.

Segundo Braga et al. (2000), as altas concentrações de nitrato verificadas no seu estudo foram típicas de águas poluídas e que se agravam no verão (concentrações de 25 a 40 μM). Isto permite afirmar que a ETE, o aporte fluvial e o bairro Banco da Vitória estão tornando o estuário do Cachoeira mais poluído do que estuários como o da Baixada Santista, localizado numa região altamente industrializada.

As concentrações de nitrato apresentadas na tabela 6, permitem classificá-lo, segundo a resolução CONAMA Nº 357 em classe 1 em todos os meses de estudo, exceto pelo mês de Fevereiro que exibiu valores pouco acima de 0,70 mg.L^{-1} nos pontos 3 e 4 (próximo a ETE e Banco da Vitória), deixando esses pontos fora dos padrões de classificação. Esta classificação não permite avaliar o verdadeiro grau de degradação de um estuário, pois apresenta um parâmetro de concentração de nitrato muito elevado, o que torna sua interpretação subjetiva.

Tabela 6. Concentrações de nitrato em mg/L . n.d (não-detectada pelo método. n.a (amostra não analisada)

	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março
1-s	n.d	0,01	0,37	0,19
1-f	n.d	n.a	n.a	n.a
2-s	n.d	n.d	0,48	0,16
2-f	n.d	0,01	0,48	n.a
3-s	n.d	n.d	0,77	0,20
3-f	n.d	n.d	0,39	0,02
4-s	n.d	n.d	0,71	0,20
4-f	n.d	n.d	n.a	n.a

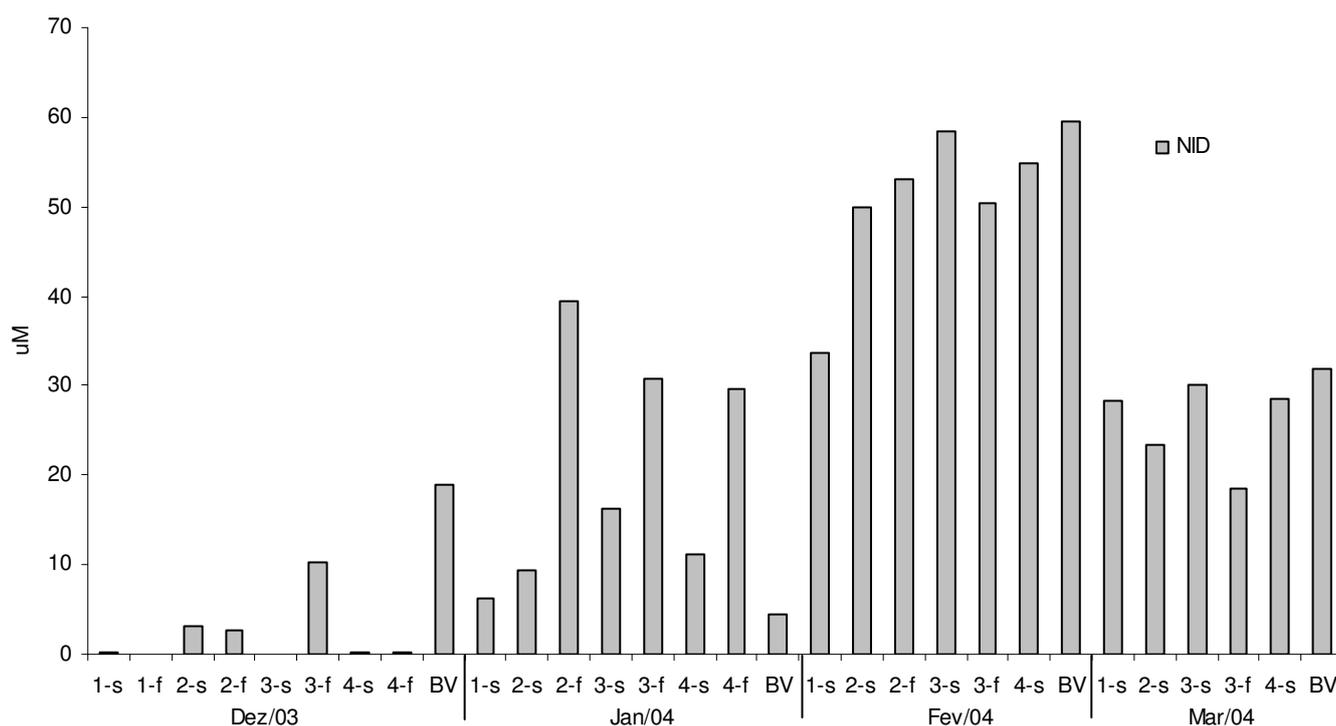


Figura 38. Distribuição espacial e temporal de nitrogênio inorgânico dissolvido nos meses de estudo.

A figura 38 exibe concentrações extremamente baixas de nitrogênio inorgânico dissolvido até níveis abaixo do limite de detecção no mês de dezembro. Em seguida, as concentrações aumentam até atingir o máximo no mês de fevereiro. Essas baixas concentrações exibidas em dezembro (estiagem) podem ser explicadas pela assimilação pelo fitoplâncton (CARMOUZE, 1994) e/ou denitrificação. Um elevado tempo de residência hídrico combinado com a elevada disponibilidade de NID poderiam explicar o comportamento das concentrações neste mês, pois a água fluvial apresentou alta concentração de NID (18,8 μM) no ponto BV, à montante do estuário (Figura 39).

Os valores de NID exibidos nos meses de janeiro e fevereiro, com maiores concentrações no fundo dos pontos de coleta, também foram observados por Kress et al. (2002) na porção interna do Golfo de Nicoya (valor máximo de 29,0 μM).

Conforme Braga et al. (2000), o NID está ligado diretamente a produção primária e à decomposição de matéria orgânica, mas sua fração orgânica dissolvida também pode estar relacionada.

Os maiores picos de concentração de NID foram registrados em fevereiro. As concentrações do ponto BV (água fluvial) foram semelhantes as do estuário no mês de fevereiro (Figura 38). O decréscimo das concentrações de NID no mês de março, tanto no estuário como nas águas fluviais, pode ter sido resultado da lixiviação da bacia e diluição promovida pelo aumento da vazão em Fevereiro.

Houve semelhança também com os resultados obtidos por Souza (2005) no Rio Cachoeira, com altas concentrações médias de nitrogênio exibidas no período chuvoso. No entanto, o presente estudo apresentou cerca de três vezes as concentrações verificadas por Souza (2005) no estuário do Rio Cachoeira em fevereiro de 2000, uma diferença que pode ser atribuída à única campanha realizada antes do funcionamento da ETE. As amostragens dos três meses subsequentes de Fevereiro de 2000 (após o funcionamento da ETE) já apresentaram aumento dos valores de NID, e este trabalho verificou concentrações ainda maiores. Esta diferença pode também estar relacionada à descarga de água doce durante este estudo (Março).

As maiores concentrações de NID na estação chuvosa foram observadas também por Wattayakorn et al. (2001) na Baía de Bandon e atribuídas a lixiviação da porção fluvial. Para Dittmar & Lara (2001), além da descarga de água doce, as

oscilações nas concentrações de (NID) foram atribuídas às variações das taxas de atividade fitoplanctônica.

5.5.2. Fósforo Inorgânico Dissolvido

Durante o mês de estiagem (dezembro), as concentrações de fosfato no estuário exibiram grande variabilidade (Figura 39). Os pontos mais internos do estuário apresentaram sempre as maiores concentrações, o que pode demonstrar, além da menor salinidade nesses pontos, uma relação com fontes de aporte (ETE e Bairro Banco da Vitória) (Figura 40). Entre os pontos de superfície e fundo, foi verificada uma discrepância de valores, onde a maior concentração do estuário, em dezembro, foi observada no ponto 3-f (à montante da ETE). Este resultado pode sugerir que a estação de tratamento tenha relação com este incremento na concentração ou com a elevada decomposição de matéria orgânica (FERREIRA et al., 2005).

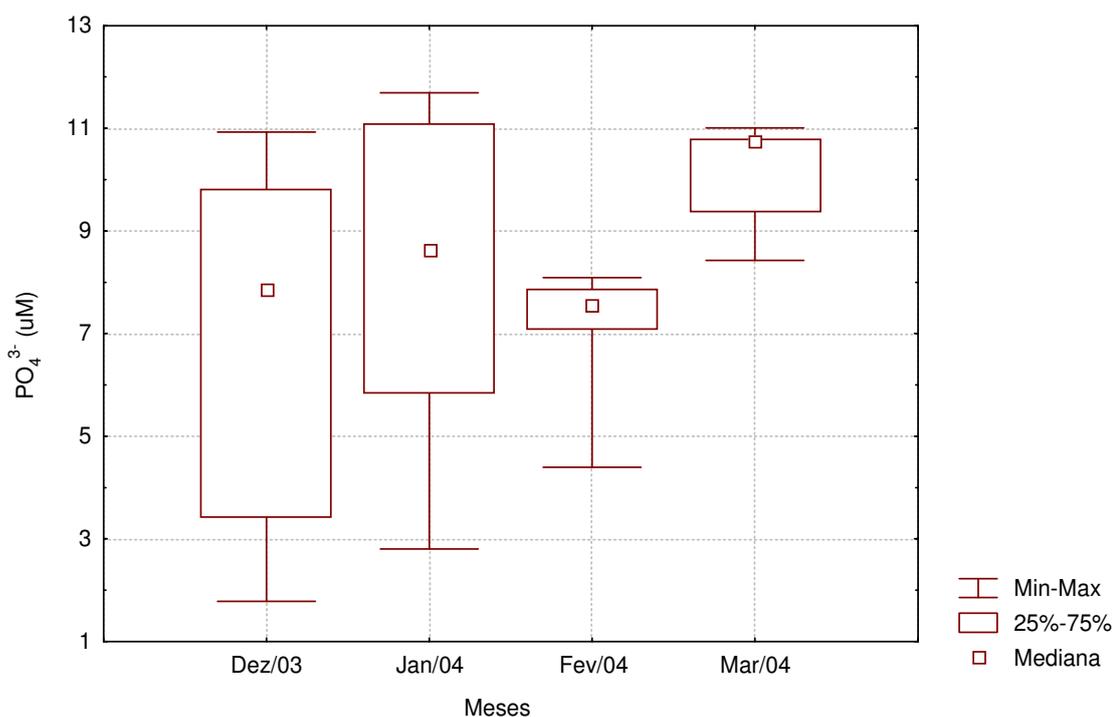


Figura 39. Distribuição de fosfato durante os meses de estudo.

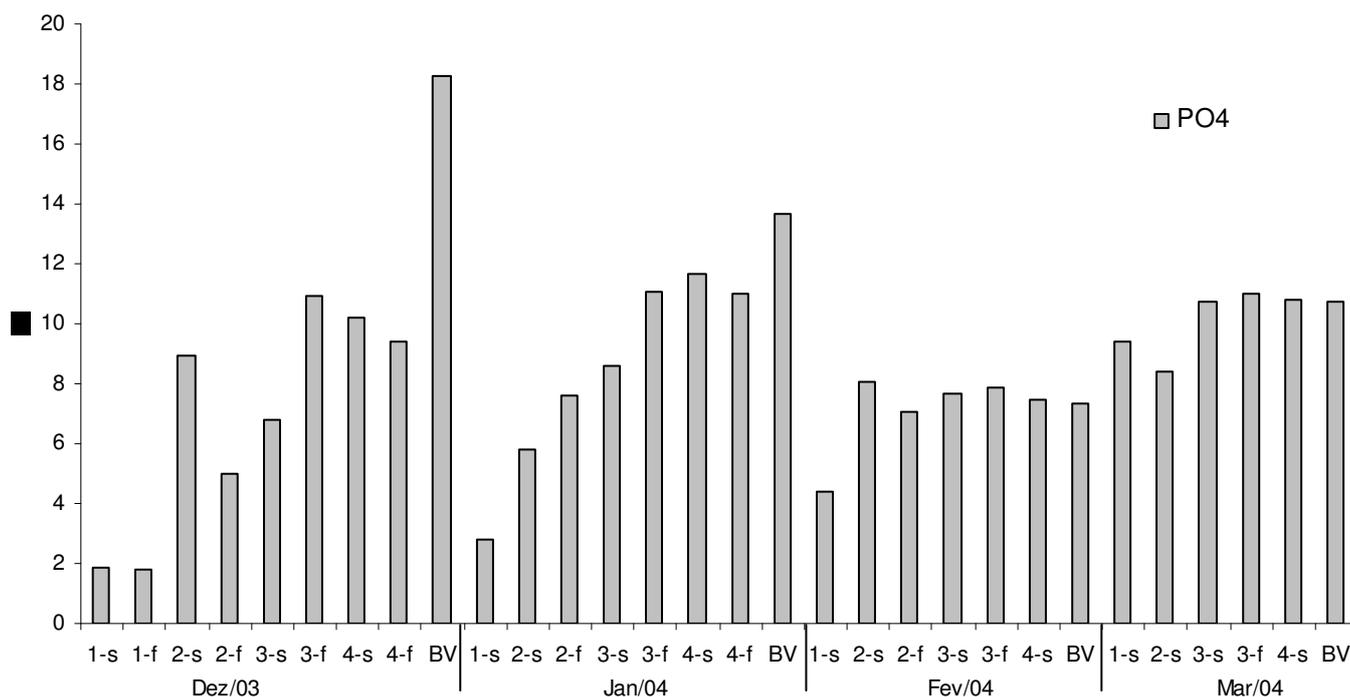


Figura 40. Distribuição espacial e temporal de fosfato.

Nos meses de janeiro e fevereiro, as concentrações de fosfato foram crescentes ao longo dos pontos de coleta e atingiu o pico de 11,7 μM na amostra 4-s em Janeiro (bairro Banco da Vitória). Com o aumento das chuvas (Fevereiro), é observado um decréscimo do aporte fluvial pelo provável esgotamento dos íons disponíveis para lixiviação pela bacia. Em março, os valores apresentaram um novo aumento e certa homogeneidade nos pontos mais internos, diante da maior expressividade da descarga de água doce do período (Figura 40).

Em dezembro, as concentrações de fosfato no sistema estuarino exibiram uma média de 6,8 μM , enquanto que no ponto BV essa diferença de concentração foi quase três vezes superior, atingindo 18,2 μM (Figura 40). As concentrações verificadas no ponto BV durante os meses de fevereiro e março foram semelhantes às observadas nos pontos 3 e 4 do estuário nesse período. Esta comparação

permite concluir que o estoque de fosfato do estuário também foi fortemente de origem fluvial, mas foi consumido por processos ocorridos no sistema.

As concentrações médias de fosfato durante os meses de estudo foram muito superiores às verificadas por Souza (2005) no estuário do Rio Cachoeira, que foram em média de $0,04 \mu\text{M}$ no período chuvoso e cerca de $1,0 \mu\text{M}$ no de estiagem. Este resultado demonstra uma mudança brusca de comportamento na dinâmica desse nutriente, pois a maior concentração de fosfato neste estudo foi de $11,7 \mu\text{M}$ durante o período de maior descarga e precipitação, o inverso do verificado por Souza (2005). Como as amostragens (2000/01 e 2003/04) abrangem situações diferentes, não há como relacionar isto facilmente. O que chama atenção é o forte aumento da concentração de fosfato que deve ter uma relação direta com o funcionamento da ETE a partir de Setembro de 2000.

Braga et al. (2000) não verificaram variações acentuadas nas concentrações de fosfato no estuário da Baixada Santista, mas observaram concentrações de $24,5 \mu\text{M}$ nos pontos de maior aporte. Pereira-Filho et al. (2001), no estuário do Rio Camboriú, Santa Catarina, verificaram concentrações de fosfato que variaram de $0,13$ a $3,26 \mu\text{M}$, e que foram atribuídas a ressuspensão desse íon adsorvido às partículas do sedimento.

A resolução CONAMA Nº 357 estabelece o valor máximo de $0,186 \text{ mg/L}$ de fósforo total para classificação de águas salobras. Esse trabalho avaliou as concentrações de fósforo na forma de fosfato, e as concentrações verificadas ao longo dos meses de estudo nos pontos de coleta foram superiores a estabelecida

nessa resolução para fósforo total (Tabela 7). Segundo Von Sperling (1996), o sistema de classificação da *Organization for Economic Co-operation and Development* (OECD) (1982) e Rast & Holland (1984) citados em Ferreira et al. (2005), concentrações de fósforo total superiores a 100 mg/m³ classificam um corpo d'água como hipereutrófico. Este trabalho verificou concentrações em torno de 300 mg/m³ de fosfato, o que leva a concentrações de fósforo total ainda maiores.

Tabela 7. Concentrações de fosfato em mg/L. n.a (amostra não analisada)

	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março
1-s	0,06	0,09	0,14	0,29
1-f	0,06	n.a	n.a	n.a
2-s	0,28	0,18	0,25	0,26
2-f	0,15	0,24	0,22	n.a
3-s	0,21	0,27	0,24	0,33
3-f	0,34	0,34	0,24	0,34
4-s	0,32	0,36	0,23	0,33
4-f	0,29	0,34	n.a	n.a

5.6. Clorofila-a

Durante o período de estudo, o tempo necessário para a ocorrência dos processos químicos e biológicos no estuário foi se tornando superior ao tempo de residência hídrico, que sofreu diminuição junto com as concentrações da biomassa fitoplanctônica (Figura 41). Durante a coleta de amostras do mês de Dezembro, a alta biomassa pôde ser observada como uma cor verde extremamente forte nas águas fluviais e estuarinas, e sendo reveladas nas altas concentrações de clorofila.

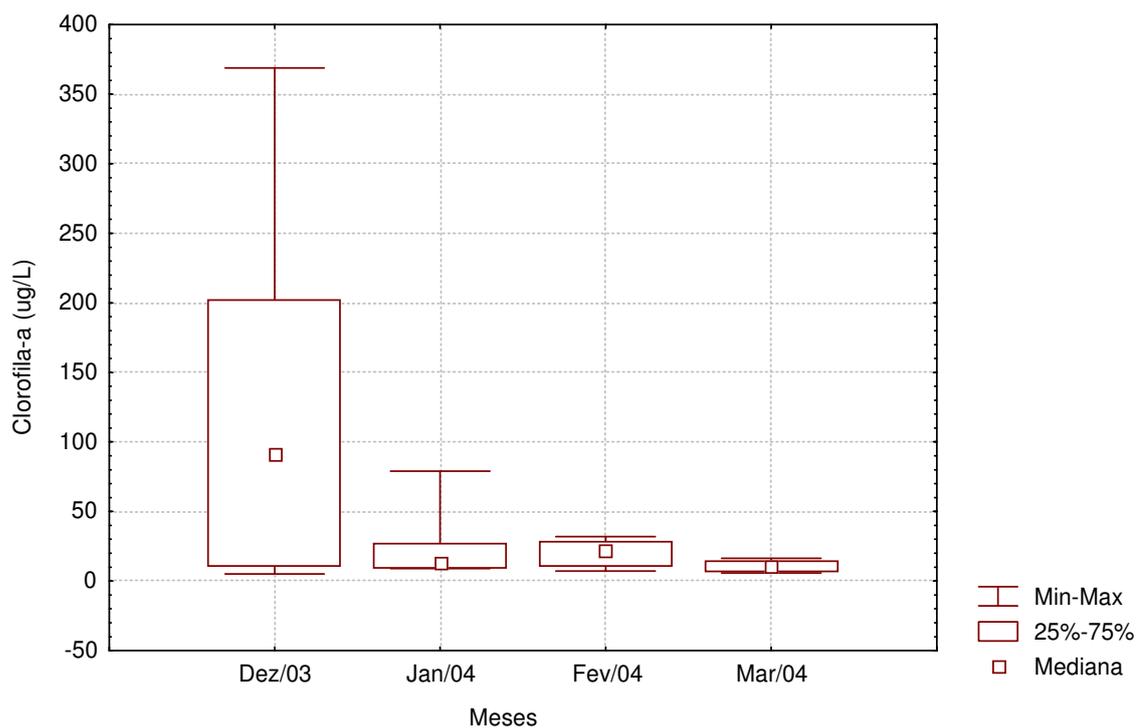


Figura 41. Distribuição de clorofila-a durante os meses de estudo.

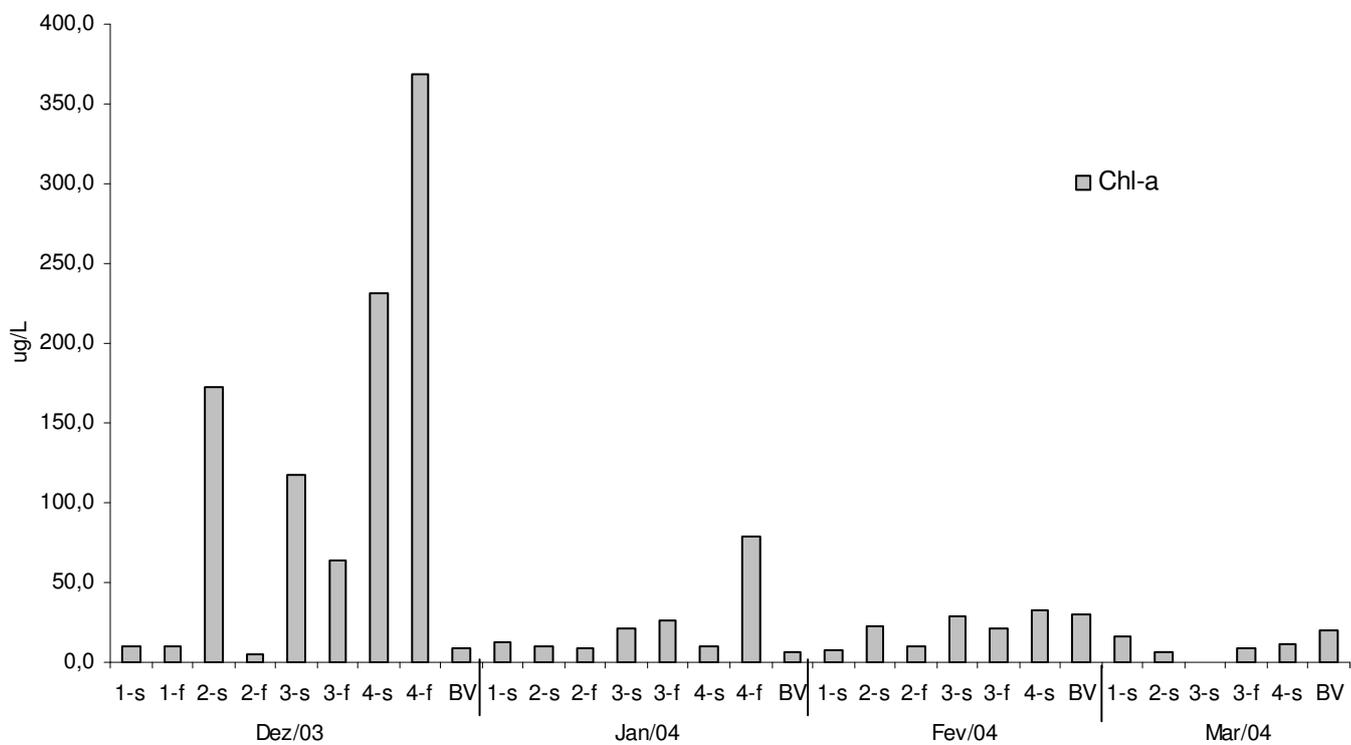


Figura 42. Distribuição espacial e temporal de clorofila-a.

O mês de dezembro (estiagem) apresentou as maiores concentrações de clorofila-a do período de estudo (Figura 42). Atingiu o valor máximo de 368,9 $\mu\text{g/L}$ no ponto 4-f seguido do 4-s com 230,7 $\mu\text{g/L}$. Nos meses de janeiro a março, as concentrações de clorofila-a reduziram até níveis em torno de 25 $\mu\text{g/L}$.

A concentração de clorofila-a no ponto BV em dezembro, exibiu valor dezenas de vezes menor do que o ponto 4 no mesmo mês (10 $\mu\text{g/L}$). Em janeiro caiu pela metade no ponto BV e no estuário foi de 79 $\mu\text{g/L}$ no ponto 4-f. Em fevereiro e março, as concentrações do ponto BV e do estuário foram semelhantes (Figura 42). Estes resultados sugerem um elevado grau de eutrofização do estuário pela atividade primária nos meses de estiagem (dezembro e janeiro) e a possível indicação da ETE e do Bairro Banco da Vitória como principais fontes de aporte de nutrientes.

Souza (2005) observou as maiores concentrações de clorofila-a no estuário do Cachoeira durante nos meses de fevereiro de 2000 e agosto de 2001 e atingiu valores extremos de 64 $\mu\text{g/L}$ e 39 $\mu\text{g/L}$ respectivamente. Estes resultados foram muito menores do que os observados no presente estudo. Kress et al. (2002), no Golfo de Nicoya, verificaram altas concentrações nas duas estações (seca e chuvosa) e variação de 1,8 a 13 $\mu\text{g/L}$, onde os valores foram ainda mais acentuados no período chuvoso. Este comportamento foi inverso ao observado no presente estudo, atribuído por Kress et al. (2002) pelo maior aporte fluvial de nutrientes na estação chuvosa.

As altas concentrações de O_2 associadas a baixas concentrações de nutrientes e elevada concentração de clorofila-a é um indicativo de alta produtividade (CARMOUZE, 1994). Diante da maior descarga de água doce dos meses de janeiro e fevereiro associada à diminuição do tempo de residência hídrico e turbulência do estuário houve a redução significativa da biomassa fitoplanctônica.

5.7. Silicato

As concentrações de silicato exibiram valores muito baixos durante o mês de dezembro, e com o aumento da descarga de água doce, os níveis foram aumentando até o máximo de $134,8 \mu\text{M}$ em Fevereiro, resultado da maior lixiviação da bacia e turbulência. Em março, o aumento da descarga de água provocou a redução das concentrações pelo efeito da diluição (mais água do que íons dispersos) (Figura 43).

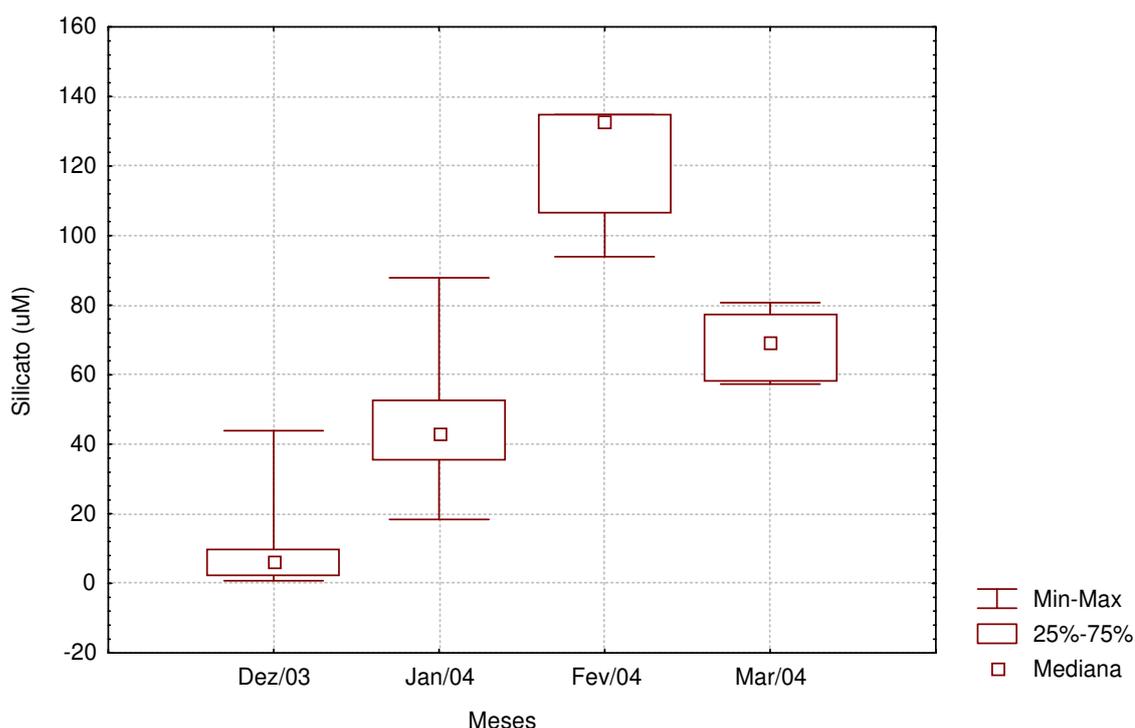


Figura 43. Distribuição de silicato durante os meses de estudo.

Em dezembro, a variabilidade na distribuição de silicato foi mais acentuada entre os pontos 2-s, 3-s, 4-s e 4-f (Figura 44), o que associado à elevada biomassa fitoplanctônica sugere retenção nestes pontos por diatomáceas. Em janeiro, essa variação entre a superfície e o fundo foi mais nítida, onde a superfície apresentou maiores valores do que o fundo. Em fevereiro, as concentrações aumentaram e se tornaram mais homogêneas, provavelmente pelo intemperismo natural da bacia, exceto nos pontos 1-s e 2-f, provavelmente pelo efeito da salinidade e estratificação. O valor máximo atingido nesse mês foi de 134,8 μM no ponto 4-s. Pelo efeito da diluição em decorrência do incremento da vazão (março), as concentrações tornaram-se menores e com menor variabilidade entre os pontos em relação a Fevereiro.

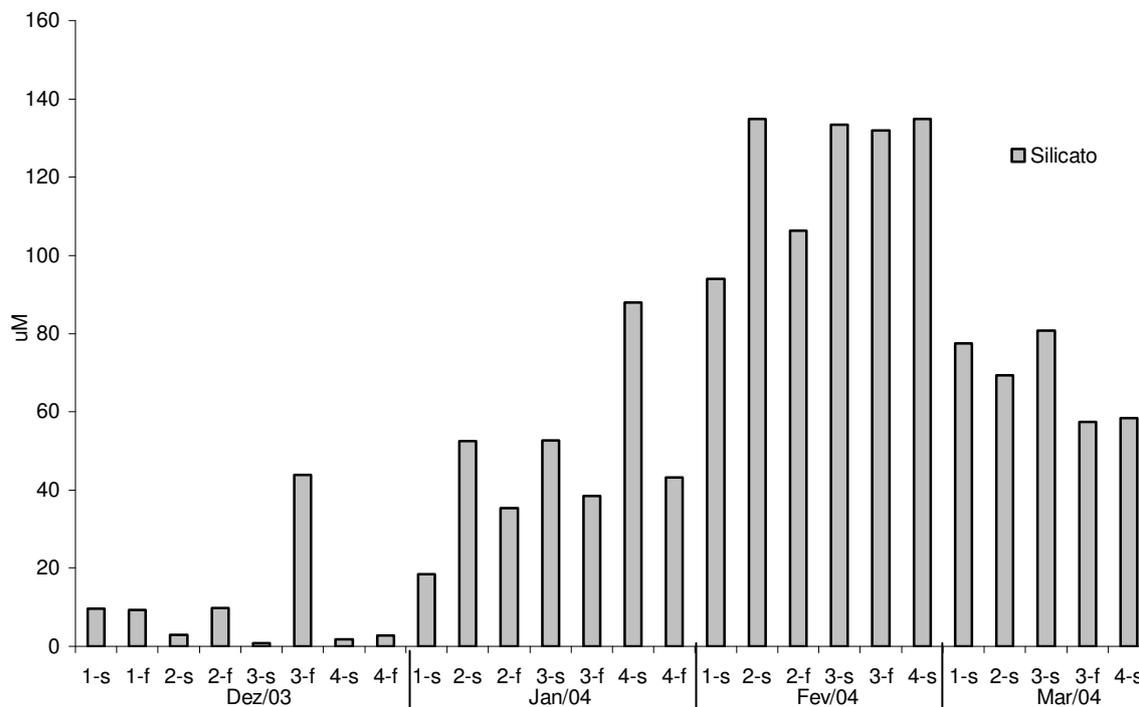


Figura 44. Distribuição espacial e temporal de silicato.

Dittmar & Lara (2001) verificaram concentração média de 170 μM de silicato no estuário Caeté, no norte do Brasil. Souza (2005) verificou no estuário do Cachoeira, concentrações relativamente baixas (17 a 45 μM) no período de estudo, sugerindo que a retenção de silicatos pelas diatomáceas ou pelas macrófitas fluviais foram responsáveis por essas concentrações.

No Golfo de Nicoya, Kress et al. (2002) observaram na estação chuvosa (Novembro de 1995) concentrações de silicato em torno de $265 \pm 166 \mu\text{M}$, resultado do intemperismo das rochas da área da bacia de drenagem. Este comportamento foi semelhante ao observado por Braga et al., (2000), que atribuiu as variações nas concentrações de silicato principalmente ao processo físico de mistura.

5.8. TSS (Total de Sólidos em Suspensão)

O TSS apresentou baixas concentrações nos meses de estiagem e grande variabilidade associada à descarga de água fluvial (Figura 45). Esta variável atingiu uma concentração máxima de 127,6 mg/L em março. Este resultado demonstra a relação da descarga de água com o aumento da concentração total dos sólidos através da erosão ao longo da bacia.

O comportamento da variação nas concentrações de TSS foram semelhantes às de fosfato, o que sugere a adsorção destes íons ao material particulado em suspensão (CARMOUZE, 1994). Elevadas concentrações de sólidos em suspensão associadas ao baixo tempo de residência hídrico reduz a incidência de luz na zona eufótica, limitando o processo de fotossíntese (ZHANG et al., 1999).

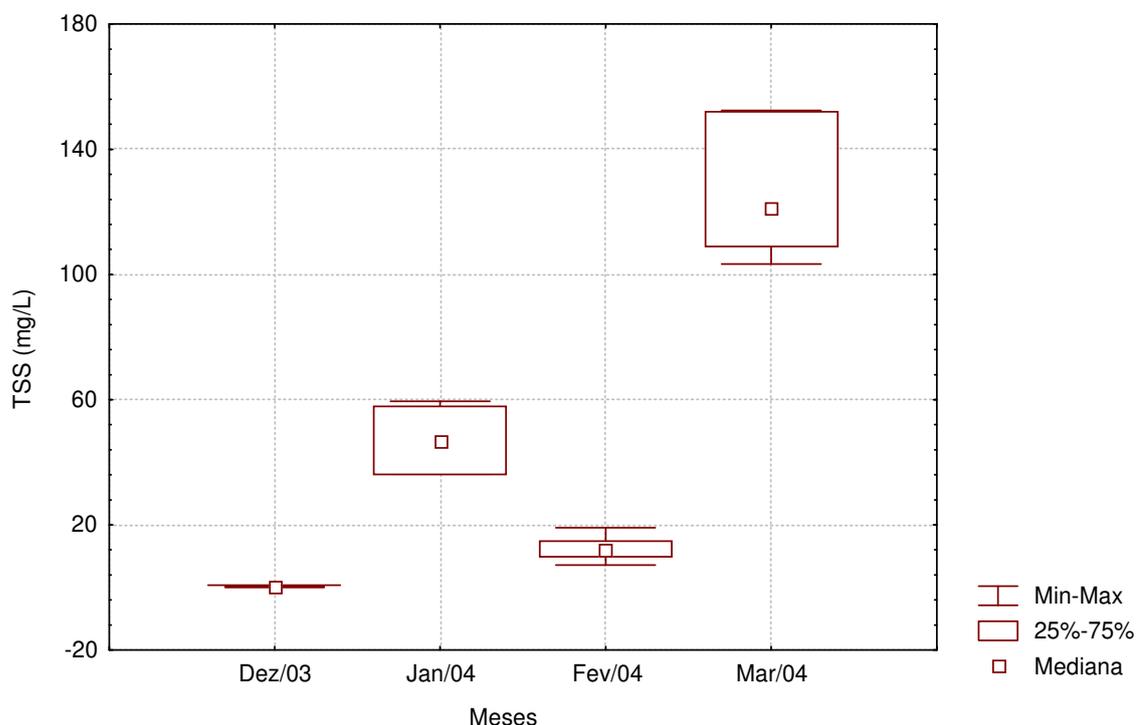


Figura 45. Distribuição de TSS durante os meses de estudo.

5.9. Análise Estatística

5.9.1 Análise de Correlação

Conforme tabela 8, a condutividade e salinidade apresentaram correlações positivas significativas com a alcalinidade, e negativas com os nutrientes dissolvidos incluindo o silicato. Estas correlações negativas demonstram que a entrada desses nutrientes na porção estuarina interna não é de origem marinha e/ou resultado do carreamento pela maré, e sim das fontes de esgotos e/ou da descarga de água doce.

O pH mostrou forte correlação positiva com a salinidade, temperatura, alcalinidade, oxigênio dissolvido e clorofila-a. Isto demonstra a influência dessa variável com o ambiente marinho com a formação do sistema tampão $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ e com os processos ocorridos no estuário (produção primária, concentração de biomassa fitoplanctônica). Apresentou também correlações negativas com nitrito, amônio e TSS.

A temperatura apresentou sua forte influência na dissolução de oxigênio, a partir da significativa correlação positiva com o OD, e na atividade fotossintetizante pela correlação com a clorofila-a.

O oxigênio dissolvido apresentou correlações positivas com a temperatura e pH, o que determina sua maior concentração nas águas. A correlação negativa com o silicato sugere que a produção de OD na água diminui a concentração de silicato, provavelmente pela atividade fotossintética de diatomáceas.

O NID mostrou correlação negativa com a DBO, comprovando que o aumento da concentração do NID no sistema não foi proveniente da decomposição da matéria orgânica, ou o mais provável, é que o nitrato estava sendo consumido pela decomposição de matéria orgânica em condições de anoxia como acceptor de elétrons ou “transportador” de oxigênio. Este processo leva a redução do nitrato a amônio, que pode ser comprovado no comportamento das concentrações dessas espécies em Fevereiro de 2004 (ESTEVES, 1998). Neste mês, a concentração de nitrato no ponto 3-f foi menor do que na superfície (3-s), e a de amônio o inverso.

O fosfato apresentou correlação negativa com a condutividade, comprovando o aporte de fósforo por fontes antrópicas ETE e/ou pelo aporte fluvial. Mas não apresentou correlação com o NID ou com o nitrato, o que significa que o equilíbrio entre aporte e os processos biogeoquímicos resultaram em uma desigual disponibilidade desses nutrientes. Pode se concluir que a principal fonte de fosfato do estuário foi o aporte fluvial, o bairro Banco da Vitória e a ETE, pois sua concentração foi sempre elevada ao longo dos meses e nas proximidades dessas fontes, conforme verificado na distribuição de fosfato ao longo do estuário.

Silicato apresentou correlação positiva significativa com nitrato e NID, e negativa com a condutividade e DBO. O coeficiente entre silicato e NID foi de $r = 0,93$ e com a DBO $r = -0,80$, demonstrando a importante contribuição da lixiviação da bacia como fonte de nutrientes e matéria orgânica.

O TSS apresentou a significativa correlação positiva com amônio e nitrito, mas as concentrações de nitrito apresentaram comportamento mais relacionado ao TSS e à descarga de água doce no período chuvoso, ou seja, a lixiviação da bacia e/ou ressuspensão de material particulado.

A clorofila-a apresentou forte correlação com o OD. Esta correlação permite concluir que o aumento da atividade fotossintetizante aumentava a disponibilidade de OD que era consumido na decomposição de matéria orgânica. Foi verificada também, uma forte correlação negativa com a concentração de amônio, o que verifica a elevada biomassa principalmente no mês de estiagem. As altas concentrações de clorofila-a foram atribuídas por Souza (2005) à ETE, que não

conseguiu reverter o quadro de eutrofização do estuário. Dittmar & Lara (2001) verificaram a correlação entre a produção primária na tendência da concentração anual de nutrientes e OD durante o dia.

5.9.2. Teste de Kruskal Wallis para as variáveis

Em comparação com a mais poderosa prova paramétrica, a prova F , em condições em que suas suposições básicas sejam satisfeitas, a prova Kruskal Wallis tem eficiência de 95,5%.

O teste de Kruskal Wallis verificou que os valores das amostras são diferentes efetivamente entre si por pertencerem a populações diferentes, com uma probabilidade inferior ao nível de significância de 0,05, para todas as variáveis, exceto OD (mg/L e % saturação), fosfato, clorofila-a e silicatos. Isto significa que ao nível de significância de 0,05 essas variáveis não apresentam diferenças significativas entre os seus valores amostrais, podendo-se afirmar que estas pertencem à mesma população (Tabela 9).

Tabela 9. Resultados obtidos no teste H das variáveis com (grau de liberdade) $gl=3$ e (probabilidade) $p < 0,05$. Nível de significância de 95%.

Variáveis	H	gl (k-1)	P
Temperatura	17,24	3	0,0006
pH	10,70	3	0,0134
Alcalinidade	20,25	3	0,0002
Condutividade	18,23	3	0,0004
Salinidade	18,61	3	0,0003
OD mg/L	6,92	3	0,0742
OD % sat.	7,28	3	0,0633
DBO	11,33	3	0,0101
Amônia	14,02	3	0,0029
Nitrito	19,61	3	0,0002
Nitrato	22,61	3	0,0000
Fosfato	5,55	3	0,1354
TSS	23,33	3	0,0000
Clorofila-a	4,28	3	0,2324
Silicatos	21,41	3	0,1354

6. CONCLUSÕES

- O estuário do Rio Cachoeira apresentou-se estratificado nos períodos de estiagem (Janeiro e Fevereiro) e no pico do período chuvoso se comportou como um rio, tornando-se completamente doce.

- O tempo de residência hídrico da porção interna do estuário foi extremamente elevado no período de estiagem. Em Dezembro houve um comportamento de quase completa estagnação de suas águas, exceto pela interação com o oceano. Este resultado influencia na dinâmica da reciclagem de nutrientes e estado trófico, elevando a concentração de nutrientes e matéria orgânica, estimulando à atividade primária e levando à depleção de oxigênio no corpo d'água. Neste mês o efluente da ETE é um componente significativo do aporte de água doce no sistema.

- No período de maior descarga de água doce o tempo de residência diminui para cerca de um dia. A lixiviação ao longo da bacia e o predomínio do transporte advectivo neste período provoca a exportação de nutrientes e poluentes para a o estuário externo, e mantém as concentrações mais uniformes neste trecho do estuário.

- O estuário pode ser classificado como hipereutrófico em relação às concentrações de NID, PID e OD nos compartimentos de superfície e fundo. Os nutrientes inorgânicos apresentaram concentrações sempre elevadas por todo período de estudo.
- O aporte de nutrientes e matéria orgânica através da ETE deve contribuir significativamente para a eutrofização e degradação das características hidroquímicas das águas do estuário. Desta forma, diante de um tempo de residência extremamente elevado durante a estiagem, é questionável o lançamento do efluente da ETE na porção estuarina.

7. REFERÊNCIAS

ANA. Agência Nacional de Águas. **Sistema de Informações hidrológicas** (on-line). Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. acessado em: 05 fev 2006.

APHA/AWWA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. Washington: APHA. (1995)1134 p.

ASSIS, M. V. G. **Impacto do Despejo de Esgotos Domésticos e Percepção Ambiental. Estudo de Caso: Estuário do Rio Cachoeira, Ilhéus – Ba.** Ilhéus: Departamento de Ciências Biológicas, UESC, 2001. 79 p. Monografia (Especialização em Oceanografia).

BAHIA. **Programa de Recuperação das Bacias dos Rios Cachoeira e Almada** Diagnóstico Regional. Núcleo de Bacias Hidrográficas da UESC, Superintendência de Recursos Hídricos do Estado da Bahia. 2001.

BRASIL. **CONAMA**. Resolução Nº. 357 de 17 de março de 2005. Estabelece a classificação dos corpos de água, diretrizes ambientais para o seu enquadramento e estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

BRAGA, E.S., BONETTI, C.V.D.H., BURONEL., BONETTI FILHO, J. **Eutrophication and bacterial pollution caused by industrial and domestic wastes at Baixada Santista estuarine system**, Brazil. Marine Pollution Bulletin 40, 165-173. 2000.

CARMOUZE, J.P. **O Metabolismo dos Ecossistemas Aquáticos**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher/FAPESP. (1994) 265 p.

CEPLAC. **Diagnóstico sócio-econômico da região cacaeira. Dinâmica do uso da terra**. Rio de Janeiro, IICA/CEPLAC, 1976. 280p.

DITTMAR, T. & LARA, R.J. **Driving forces behind nutrient and organic matter dynamics in a mangrove tidal Creek in North Brazil.** Estuarine, Coastal and Shelf Science (2001) 52, 249-259.

DUPRA, V., SMITH, S.V., JACINTO, G.S. **N and P Budgets for Calauag Bay, Philippines.** Site do LOICZ, 1999. Disponível em: <<http://data.ecology.su.se/mnode/Asia/Philippines/calauag/calauagbud.htm1999>> Acesso em: 10 Dez 2005.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de Limnologia.** 2ª edição. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

FERREIRA, R.M.; BARROS, N.O.; DUQUE-ESTRADA, C.H.; ROLAND, F. Caminhos do Fósforo em Ecossistemas Aquáticos Continentais. In: ROLAND, F.; CESAR, D.; MARINHO, M. **Lições de Limnologia.** São Carlos-SP: Editora Rima. 2005. p. 229-241.

FIDELMAN, Pedro I. J. **Contribuição para mitigação dos impactos da macrófita aquática Eichhornia crassipes sobre a zona costeira da Região Sul da Bahia.** Artigo da Revista de Gerenciamento Costeiro Integrado Austrália. (2004). 15 p

FLEMER, D.A.; CHAMP, M.A.. **What is the future fate of estuaries given nutrient over-enrichment, freshwater diversion and low flows?.** Marine Pollution Bulletin 52 (2006) 247–258.

FONTES, I.B.M. **Eficiência Ambiental da Estação de Tratamento de Esgotos de Ilhéus, Ba.** Ilhéus: PRODEMA/UESC (Dissertação de Mestrado). (2004). 213 p.

GÓMEZ-GESTEIRA, M.; deCASTRO, M.; PREGO, R. **Dependence of water residence time in Ria of Pontevedra (NW Spain) on the seawater inflow and he river discharge.** Estuarine, Coastal and Shelf Science 58 (2003) 567-573.

GORDON, D.C. Jr.,; BOUDREAU, P.R.; MANN, K.H.; ONG, J.-E.; SILVERT, W.L.; SMITH, S.V.; WATTAYAKORN, G.; WULFF, F.; YANAGI, T. 1996. **LOICZ Biogeochemical Modelling Guidelines.** LOICZ Reports & Studies No 5, 96 p.

GRASSHOFF, K.; EHRARDT, M. & KREMLING, K. **Methods of Seawater Analysis.** Weinheim: Verlag Chemie. (1983).419 p.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/html/clima.php?lnk=http://www.inmet.gov.br/html/clima/graficos/index4.html>. acesso em: 10 fev 2006.

KALNEJAIS, L., MCMAHON, K., ROBB, M. Swan Canning Estuary, Western Australia. In: SMITH, S.V. and CROSSLAND, C.J.. **Australasian Estuarine Systems: Carbon, Nitrogen and Phosphorus Fluxes**, LOICZ Reports & Studies Nº 12, 182 p. LOICZ IPO, (1999), Texel, The Netherlands.

KJERFVE, B. **Manual for Investigation of Hydrological Processes in Mangrove Ecosystems**. New Delhi: UNESCO/UNDP. (1990). 79 p.

KLUMPP, A.; BAUER, Conrad; MENEZES, Max de. **Variation of nutrient and metal concentrations in aquatic macrophytes along the Rio Cachoeira in Bahia (Brazil)**. Environment International 2002.

KRESS, N.; COTO, S.L.; BRENES, C.L.; BRENNER, S.; ARROYO, G. **Horizontal transport and seasonal distribution of nutrients, dissolved oxygen and chlorophyll-a in the Gulf of Nicoya, Costa Rica: a tropical estuary**. Continental Shelf Research 22 (2002) 51–66.

LIMA, M.C. **Avaliação da qualidade da água e diagnóstico das fontes de poluição orgânica do estuário do Rio Cachoeira, Ilhéus, Bahia**. Sub-projeto: Dinâmica dos nutrientes inorgânicos dissolvidos no Rio Cachoeira. Relatório Final do Programa Institucional de Iniciação Científica. Ilhéus, UESC. 2006. 17p.

LORANDI, R. & CANÇADO, C.J. Parâmetros Físicos para Gerenciamento de Bacias Hidrográficas. In: SCHIAVETTI, A., Camargo, A.F.M (Editores). **Conceitos de Bacias Hidrográficas: Teorias e Aplicações**. Ilhéus, Ba: Editus. 2002. Cap. 2. 293p.

MIRANDA, Luiz Bruner de; Castro, Belmiro Mendes de; KJERFVE, Björn. **Princípio de Oceanografia Física de Estuários**. São Paulo. Editora da Universidade de São Paulo, 2002.

ODUM, Eugene P. **Ecologia**. Tradução Christopher J. Tribe. Rio de Janeiro, RJ. Editora: Guanabara. 1988. 434 p.

OKI, Viviana Kyoko. **Impactos da Colheita de Pinus Taeda sobre o balanço hídrico, a qualidade da água e a ciclagem de nutrientes em microbacias.** Dissertação: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba-SP. 2002. 71p.

PARSONS, T.R.; MAITA, Y. LALLI, C.M. **A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis.** Pergamon Press, 1984. 173 p.

PEREIRA-FILHO, J., SCHETTINI, C.A. RÖRIG, L., SIEGLE, E. **Intratidal Variation and Transport of Dissolved Inorganic Nutrients, POC and Chlorophyll a in the Camboriú River Estuary, Brazil.** *Estuarine Coastal and Shelf Science* 53, 249-257p. 2001.

PEREIRA-FILHO, J., and SCHETTINI, C.A. Camboriu River estuary, Santa Catarina State. Pages 33-36. In: Dupra, V., Smith, S.V., Marshall Crossland, J.I. and Crossland, C.J. (eds): **Estuarine systems of the South American region: carbon, nitrogen and phosphorus fluxes.** *LOICZ Reports and Studies* 15, LOICZ, Texel, The Netherlands, 87p. 2000.

PINHO, A. G. **Estudo da Qualidade das Águas do Rio Cachoeira – Região Sul da Bahia.** Ilhéus: PRODEMA/UESC (Dissertação de Mestrado). 2001. 110 p.

SILVA, C.G.S.; PATCHINEELAM, S.M.; BAPTISTA NETO, J.A.; PONZI, V.R.A. Ambientes de Sedimentação Costeira e Processos Morfodinâmicos Atuantes na Linha de Costa. In: BAPTISTA NETO, J.A.; PONZI, V.R.A; SICHEL, S.E. (Org.) **Introdução à Geologia Marinha.** Rio de Janeiro: Interciência, 2004. Cap. 8. p. 175-218.

SILVA, T.. **Aspectos da Geomorfologia do Litoral de Ilhéus.** Boletim Baiano de Geografia, Salvador, 1970 10:15, 16, 17.

SOUZA, M.F.L. **Metabolismo e balanço de massa do estuário do Rio Piauí, Sergipe.** Niterói: Universidade Federal Fluminense (Tese de Doutorado). (1999) 145p.

SOUZA, M.F.L.; KJERVE, B.; KNOPPERS, B.; SOUZA, W.F.L.; DAMASCENO, R.N. **Nutrient budgets and trophic state in hypersaline coastal lagoon: Lagoa de Araruama, Brazil.** *Estuarine Coastal and Shelf Science* 57 (2003) 843-858.

SOUZA, M.F.L. **Nutrient Biogeochemistry and Mass Balance of a Tropical Estuary: Estuary of Cachoeira River, Northern Brazil.** *International Journal of Ecology and Environmental Sciences* 31 (2005) (3): 177-188.

STRICKLAND, J.D.H.& PARSONS, T.R. **A Practical Handbook of Seawater Analysis.** *Bulletin of Fisheries Research Board Canadian.* No. 167. (1972) 311 p.

TAPPIN, A.D.. **An Examination of the Fluxes of Nitrogen and Phosphorus in Temperate and Tropical Estuaries: Current Estimates and Uncertainties.** *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 55, (2002) 885–901.

THURMANN, H.V. **Introductory Oceanography.** New Jersey: Prentice Hall, 8^a ed. 1997.

TUNDISI, José Galisia. **Água no Século XXI: Enfrentando a Escassez.** São Carlos-SP: RiMa, 2^a edição, 2005. 248p.

TURNER, R.E.; RABALAIS, N.N.; JUSTIC, D.; DORTCH, Q. **Future Aquatic Nutrient Limitations.** *Marine Pollution Bulletin* 46, (2003) 1032-1034.

UNCLES, R.J.; FRICKERS, P.E.; HARRIS, C. **Dissolved nutrients in the Tweed Estuary, UK: inputs, distributions and effects of residence time.** *The Science of the Total Environment*: 314-316 (2003) 727-736.

VON SPERLING, E. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto.** 2^a edição. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, (1996). 238 p.

WANG, C.F.; HSU, M-H.; KUO, A. Y. **Residence time of the Danshuei River estuary, Taiwan.** *Estuarine, Coastal and Shelf Science.* (2004).

WATTAYAKORN, G.; PRAPONG, P.; NOICHAREON, D. **Biogeochemical budgets and processes in Bandon Bay, Suratthani, Thailand.** *Journal of Sea Research* 46 (2001) 133-142.

ZHANG, J., YU, Z.G., WANG, J.T., REN, J.L., CHEN, H.T., XIONG, H. et al., **The subtropical Zhujiang (Pearl River) estuary: nutrient, trace species and their relationship to photosynthesis.** *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 49 (1999), 385-400.

8. APÊNDICE A

VARIÁVEIS NOS PONTOS DE COLETA

Condutividade (mS/cm³)

Estação	Dez/03	Jan/04	Fev/04	Mar/04
1-s	46,8	46,0	22,0	0,2
1-f	47,3	-	-	-
2-s	34,9	23,8	3,2	0,2
2-f	37,8	37,4	22,8	-
3-s	30,9	20,8	960,0	0,2
3-f	35,5	37,7	6,9	0,2
4-s	30,0	1,9	0,7	0,2
4-f	31,5	36,5	-	-
Mínimo	30,0	1,9	3,2	206,0
Máximo	47,3	46,0	960,0	222,0
Média	36,8	29,2	290,0	209,4
Desvio Padrão	6,8	14,8	434,5	7,1
Variância	46,5	220,1	188747,8	49,8
n	8	7	6	5

Salinidade (‰)

Estação	Dez/03	Jan/04	Fev/04	Mar/04
1-s	30,6	30,2	13,6	0,0
1-f	30,9	-	-	-
2-s	22,1	14,8	1,4	0,0
2-f	24,3	23,9	12,3	-
3-s	19,5	12,5	0,2	0,0
3-f	22,7	24,1	3,4	0,0
4-s	18,8	0,9	0,1	0,0
4-f	19,8	23,2	-	-
Mínimo	18,8	0,9	0,1	0,0
Máximo	30,9	30,2	13,6	0,0
Média	23,6	18,5	5,2	0,0
Desvio Padrão	4,8	9,8	6,2	0,0
Variância	22,9	96,5	37,9	0,0
n	8	7	6	5

Temperatura (°C)

Estação	Dez/03	Jan/04	Fev/04	Mar/04
1-s	30,5	28,2	28,8	25,5
1-f	29,1	-	-	-
2-s	31,4	30,6	30,3	25,6
2-f	30,7	29,3	30,7	-
3-s	33,7	30,2	30,7	25,6
3-f	31,2	30,0	30,6	25,5
4-s	33,9	29,2	30,3	26,4
4-f	32,6	30,2	-	-
Mínimo	29,1	28,2	28,8	25,5
Máximo	33,9	30,6	30,7	26,4
Média	31,6	29,7	30,2	25,7
Desvio Padrão	1,7	0,8	0,7	0,4
Variância	2,7	0,7	0,5	0,1
n	8	7	6	5

pH

Estação	Dez/03	Jan/04	Fev/04	Mar/04
1-s	7,9	8,0	7,9	7,5
1-f	7,8	-	-	-
2-s	8,2	8,7	8,1	7,5
2-f	8,1	7,9	7,6	-
3-s	8,6	7,8	8,1	7,5
3-f	7,8	7,5	7,7	7,6
4-s	8,8	7,7	7,7	7,5
4-f	8,6	7,2	-	-
Mínimo	7,8	7,2	7,6	7,5
Máximo	8,8	8,7	8,1	7,6
Média	8,2	7,8	7,9	7,5
Desvio Padrão	0,4	0,5	0,2	0,0
Variância	0,2	0,2	0,1	0,0
n	8	7	6	5

OD (mg/L)

Estação	Dez/03	Jan/04	Fev/04	Mar/04
1-s	6,0	5,8	3,5	6,8
1-f	5,7	-	-	-
2-s	6,7	8,3	6,4	7,3
2-f	3,8	3,2	1,3	-
3-s	15,9	4,5	6,4	7,2
3-f	0,1	0,0	2,4	7,2
4-s	15,9	5,0	4,9	7,3
4-f	0,0	2,3	-	-
Mínimo	0,0	0,0	1,3	6,8
Máximo	15,9	8,3	6,4	7,3
Média	6,7	4,2	4,2	7,1
Desvio Padrão	6,2	2,7	2,1	0,2
Variância	38,2	7,1	4,3	0,0
n	8	7	6	5

OD (% Saturação)

Estação	Dez/03	Jan/04	Fev/04	Mar/04
1-s	94,1	58,7	89,0	87,7
1-f	88,4	-	-	-
2-s	102,7	46,3	18,0	89,6
2-f	57,4	67,1	19,2	-
3-s	247,9	0,0	85,1	87,8
3-f	0,8	0,0	33,2	89,4
4-s	248,2	65,4	65,1	78,5
4-f	0,0	34,8	-	-
Mínimo	0,0	0,0	18,0	78,5
Máximo	248,2	67,1	89,0	89,6
Média	104,9	38,9	51,6	86,6
Desvio Padrão	96,7	28,8	32,3	4,6
Variância	9352,1	831,7	1045,2	21,4
n	8	7	6	5

DBO (mg/L)

Estação	Dez/03	Jan/04	Fev/04	Mar/04
1-s	8,6	9,1	2,8	9,8
2-s	18,6	9,8	5,0	7,7
3-s	23,2	17,2	4,4	8,6
4-s	23,5	9,7	5,6	8,2
Mínimo	8,6	9,1	2,8	7,7
Máximo	23,5	17,2	5,6	9,8
Média	18,5	11,4	4,5	8,6
Desvio Padrão	6,9	3,9	1,2	0,9
Variância	48,2	15,0	1,4	0,8
n	4	4	4	4

Alcalinidade ($\mu\text{eq/L}$)

Estação	Dez/03	Jan/04	Fev/04	Mar/04
1-s	1954,1	2257,3	1778,8	693,7
1-f	-	-	-	-
2-s	2029,4	2104,8	1360,8	720,6
2-f	2131,2	2274,9	1757,6	-
3-s	2315,4	2088,9	1176,1	463,9
3-f	2193,9	2326,2	1453,1	737,3
4-s	1970,6	2173,8	1102,0	530,4
4-f	2100,2	2351,0	-	-
Mínimo	1954,1	2088,9	1102,0	463,9
Máximo	2315,4	2351,0	1778,8	737,3
Média	2099,3	2225,3	1438,1	629,2
Desvio Padrão	128,6	104,3	284,9	123,8
Variância	16533,3	10873,8	81192,8	15321,3
n	7	7	6	5

Amônio NH₄⁺ (μM)

Estação	Dez/03	Jan/04	Fev/04	Mar/04
1-s	0,0	4,9	5,4	12,6
1-f	0,0	-	-	-
2-s	2,7	8,6	14,0	10,8
2-f	2,6	37,5	17,5	-
3-s	0,0	15,6	2,3	12,6
3-f	9,7	29,9	20,3	14,8
4-s	0,0	11,0	3,0	11,6
4-f	0,0	29,6	-	-
Mínimo	0,0	4,9	2,3	10,8
Máximo	9,7	37,5	20,3	14,8
Média	1,9	19,6	10,4	12,5
Desvio Padrão	3,4	12,6	7,8	1,5
Variância	11,3	159,0	61,5	2,3
n	8	7	6	5

Nitrito NO₂⁻ (μM)

Estação	Dez/03	Jan/04	Fev/04	Mar/04
1-s	0,2	0,4	1,6	2,2
1-f	0,1	-	-	-
2-s	0,5	0,5	1,6	1,4
2-f	0,2	0,9	1,1	-
3-s	0,0	0,6	1,2	3,0
3-f	0,5	0,8	2,2	2,2
4-s	0,1	0,0	1,1	2,4
4-f	0,3	0,0	-	-
Mínimo	0,0	0,0	1,1	1,4
Máximo	0,5	0,9	2,2	3,0
Média	0,2	0,5	1,5	2,2
Desvio Padrão	0,2	0,3	0,4	0,6
Variância	0,0	0,1	0,2	0,4
n	8	7	6	5

Nitrato NO₃⁻ (μM)

Estação	Dez/03	Jan/04	Fev/04	Mar/04
1-s	0,0	0,9	26,6	13,4
1-f	0,0	-	-	-
2-s	0,0	0,3	34,2	11,3
2-f	0,0	1,1	34,5	-
3-s	0,0	0,0	54,8	14,5
3-f	0,0	0,0	27,9	1,5
4-s	0,0	0,1	50,8	14,6
4-f	0,0	0,0	-	-
Mínimo	0,0	0,0	26,6	1,5
Máximo	0,0	1,1	54,8	14,6
Média	0,0	0,3	38,1	11,0
Desvio Padrão	0,0	0,5	11,9	5,5
Variância	0,0	0,2	140,9	30,5
n	8	7	6	5

Nitrogênio Inorgânico Dissolvido NID (μM)

Estação	Dez/03	Jan/04	Fev/04	Mar/04
1-s	0,2	6,3	33,7	28,2
1-f	0,1	-	-	-
2-s	3,2	9,4	49,9	23,4
2-f	2,8	39,5	53,1	-
3-s	0,0	16,2	58,3	30,2
3-f	10,2	30,8	50,4	18,5
4-s	0,1	11,1	54,9	28,6
4-f	0,3	29,6	-	-
Mínimo	0,0	6,3	33,7	18,5
Máximo	10,2	39,5	58,3	30,2
Média	2,1	20,4	50,0	25,8
Desvio Padrão	3,5	12,8	8,6	4,8
Variância	12,2	163,5	73,6	22,8
n	8	7	6	5

Fosfato PO₄³⁻ (μM)

Estação	Dez/03	Jan/04	Fev/04	Mar/04
1-s	1,9	2,8	4,4	9,4
1-f	1,8	-	-	-
2-s	8,9	5,8	8,1	8,4
2-f	5,0	7,6	7,1	-
3-s	6,8	8,6	7,6	10,7
3-f	10,9	11,1	7,8	11,0
4-s	10,2	11,7	7,5	10,8
4-f	9,4	11,0	-	-
Mínimo	1,8	2,8	4,4	8,4
Máximo	10,9	11,7	8,1	11,0
Média	6,9	8,4	7,1	10,1
Desvio Padrão	3,6	3,2	1,4	1,1
Variância	13,2	10,5	1,9	1,3
n	8	7	6	5

Silicato (μM)

Estação	Dez/03	Jan/04	Fev/04	Mar/04
1-s	9,6	18,4	94,0	77,5
1-f	9,4	-	-	-
2-s	3,0	52,5	134,8	69,3
2-f	9,8	35,5	106,4	-
3-s	0,8	52,6	133,4	80,7
3-f	43,9	38,5	132,0	57,3
4-s	1,8	87,9	134,8	58,4
4-f	2,7	43,3	-	-
Mínimo	0,8	18,4	94,0	57,3
Máximo	43,9	87,9	134,8	80,7
Média	10,1	46,9	122,6	68,6
Desvio Padrão	14,2	21,5	17,8	10,7
Variância	200,8	461,6	317,1	114,1
n	8	7	6	5

Clorofila-a ($\mu\text{g/L}$)

Estação	Dez/03	Jan/04	Fev/04	Mar/04
1-s	10,3	12,9	7,2	16,5
1-f	10,2	-	-	-
2-s	173,0	9,4	23,0	5,8
2-f	5,1	9,1	10,4	-
3-s	117,9	21,5	28,5	-
3-f	63,4	26,7	21,7	8,5
4-s	230,7	9,7	32,1	11,6
4-f	368,9	79,1	-	-
Mínimo	5,1	9,1	7,2	5,8
Máximo	368,9	79,1	32,1	16,5
Média	122,4	24,0	20,5	10,6
Desvio Padrão	129,6	25,2	9,8	4,6
Variância	16783,4	635,5	96,8	21,0
n	8	7	6	4

Total de Sólidos em Suspensão TSS (mg/L)

Estação	Dez/03	Jan/04	Fev/04	Mar/04
1-s	6,8	58,0	7,2	103,3
1-f	-	-	-	-
2-s	27,4	36,2	14,7	121,2
2-f	11,2	46,8	14,9	-
3-s	22,5	39,4	9,7	109,1
3-f	11,2	49,6	19,1	152,4
4-s	19,7	36,2	9,6	151,9
4-f	341,1	59,5	-	-
Mínimo	1,0	36,2	7,2	103,3
Máximo	5,8	59,5	19,1	152,4
Média	2,7	46,5	12,5	127,6
Desvio Padrão	1,6	9,8	4,4	23,3
Variância	2,6	95,3	19,7	545,1
n	7	7	6	5

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)