



VARIÁVEIS AMBIENTAIS E BIOMASSA FITOPLANCTÔNICA DA REGIÃO ESTUARINA DO BAIXO SÃO FRANCISCO (NORDESTE/BRASIL)

Enaide Marinho de MELO-MAGALHÃES^{1*}; William Fernandes de Araújo BARBOSA²; Ariadne do Nascimento MOURA³; Paulo Ricardo Petter MEDEIROS⁴; Maria Luise KOENING²

¹ Universidade Federal de Alagoas, Laboratórios Integrados de Ciências do Mar e Naturais, Av. Aristeu de Andrade, 452- Farol- 57.021-090, Maceió-AL. E-mail: enaidemm@gmail.com

*Autor para correspondência

² Universidade Federal de Pernambuco, Pós-Graduação em Oceanografia, Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária, Recife - PE - CEP: 506.70-901. E-mail: barbosawfa@gmail.com, mail:koening@ufpe.br

³ Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de pós-graduação em Botânica, Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos - CEP: 52171-900 - Recife/PE, Brasil. E-mail: [ariadne_moura@hotmail.com/](mailto:ariadne_moura@hotmail.com)

⁴ Universidade Federal de Alagoas, Laboratórios Integrados de Ciências do Mar e Naturais, Instituto de Geografia e Meio Ambiente, Brasil. E-mail: paulopetter_@hotmail.com

Resumo

O presente estudo visa caracterizar as variáveis ambientais relacionando-as com a biomassa fitoplanctônica do estuário do Rio São Francisco. As coletas foram realizadas em quatro estações fixas durante os períodos de estiagem e chuvoso. As amostras para análises físico-químicas, clorofila *a* e densidade celular foram coletadas com garrafa do tipo Van Dorn. A salinidade apresentou concentrações inferiores a 0,5 na maioria das estações, exceto nas estações P3 e P4, com valor máximo de 28,47. A temperatura máxima foi de 29,38 °C e o pH manteve-se alcalino. As concentrações de oxigênio foram altas, com valor máximo de 7,43 mL.L⁻¹. Com relação aos nutrientes dissolvidos, apenas o fósforo total apresentou valores médios mais elevados no período chuvoso, os demais nutrientes foram mais elevados no período de estiagem. A biomassa fitoplanctônica (clorofila *a*) apresentou valores médios entre 1,05 e 3,82 mg.m⁻³. A densidade fitoplanctônica foi baixa com valores entre 8 org.mL⁻¹ e 18,8 org.mL⁻¹, destacaram-se as cianofíceas: *Raphidiopsis raciborskii* e *Oscillatoria* sp. e as diatomáceas: *Aulacoseira granulata* e *Aulacoseira islandica*. O estuário do rio São Francisco é um ambiente oligotrófico em termos de nutrientes dissolvidos e clorofila *a*, com maior influência do fluxo limnético e baixa densidade fitoplanctônica.

Palavras-chave: Parâmetros hidrológicos, Clorofila *a*, Fitoplâncton, Estuário, Rio São Francisco

Abstract

The present study aims to characterize the environmental variables and relate it to the phytoplankton biomass of the São Francisco River estuary. The collections were carried out at four fixed seasons during the dry season and the rainy season. The samples for the physical-chemical parameters, chlorophyll *a* and cell density were collected with the aid of a Van Dorn bottle. Salinity showed concentrations below 0.5 in most stations, except at stations P3 and P4, with a maximum value of 28.47. The maximum temperature was 29.38°C and the pH remained alkaline. Oxygen concentrations were high, with a maximum value of 7.43mL.L⁻¹. Regarding dissolved nutrients, only total phosphorus showed higher average values in the rainy season, the other nutrients were higher in the dry season. The phytoplanktonic biomass (chlorophyll *a*) presented average values between 1.05 and 3.82 mg.m⁻³. The phytoplankton density was low, with values between 8 org.mL⁻¹ and 18.8 org.mL⁻¹. The cyanobacteria: *Raphidiopsis raciborskii* and *Oscillatoria* sp. and the diatoms: *Aulacoseira granulata* and *Aulacoseira islandica* stood out. The São Francisco River estuary is an oligotrophic environment in terms of dissolved nutrients and chlorophyll *a*, with greater influence of limnetic flow and low phytoplanktonic density.

Keywords: Hydrological parameters, Chlorophyll *a*, Phytoplankton, Estuary, São Francisco River

Introdução

O Brasil possui uma área hidrográfica extensa e, dentre os maiores rios brasileiros, pode-se citar o São Francisco, cuja área estuarina está localizada entre os estados de Alagoas e Sergipe, região Nordeste do Brasil, entre as coordenadas 10°25'S e 36°23'W.

Estuários são ambientes complexos que ligam os sistemas de água doce e marinhos, onde ocorre o processamento intensivo de matéria oriunda de ambas as fontes. São considerados os principais fornecedores de nutrientes para a região costeira, pois recebem e concentram o material originado de sua bacia de drenagem, além de aportes significativos por ação antrópica (Bazin *et al.*, 2014; Knoppers, 2009; Sathicq *et al.*, 2017).

Devido às suas características hidrodinâmicas, os sistemas estuarinos estão entre os ecossistemas aquáticos mais produtivos em todo o mundo. Em condições naturais, são biologicamente mais produtivos do que os rios e o oceano adjacente por apresentarem altas concentrações de nutrientes que estimulam a produção primária. São também locais de desova, crescimento, alimentação e refúgio para espécies marinhas, de água doce e tipicamente estuarinas (Sathicq *et al.*, 2017; Medeiros *et al.* 2014).

A bacia do São Francisco está envolvida em um sistema quase que unicamente regulado por sete grandes barragens e reservatórios, responsáveis por considerável redução na vazão, na eliminação do padrão de descarga e no controle de 98% da bacia. Os impactos são mais notáveis no Baixo São Francisco em razão das barragens em cascata a montante (Medeiros *et al.* 2014; Knoppers *et al.*, 2005). Outros impactos induzidos pela diminuição mais constante do fluxo do rio incluem perda de inundação sazonal e fertilização de terras agrícolas ao longo das margens do rio e, até mesmo, epidemia de roedores. O rio se transformou em um sistema oligotrófico com produção primária limitada por nitrogênio, cujas concentrações de nutrientes estão entre as mais baixas da costa brasileira e com a produção pesqueira em declínio (Bernardes *et al.* 2012; Medeiros, *et al.* 2011).

Assim, a presente investigação visa caracterizar as variáveis ambientais relacionando-as com a biomassa fitoplanctônica do estuário do Rio São Francisco, objetivando contribuir para o conhecimento já existente e verificar as possíveis mudanças neste ecossistema.

Material e Métodos

Para o presente estudo foram demarcadas quatro estações fixas, distribuídas ao longo do estuário do rio São Francisco (Fig. 1). As coletas foram realizadas no período de estiagem (março/2008, outubro/2008 e janeiro/2009) e chuvoso (julho/2008, abril/2009 e julho/2009).

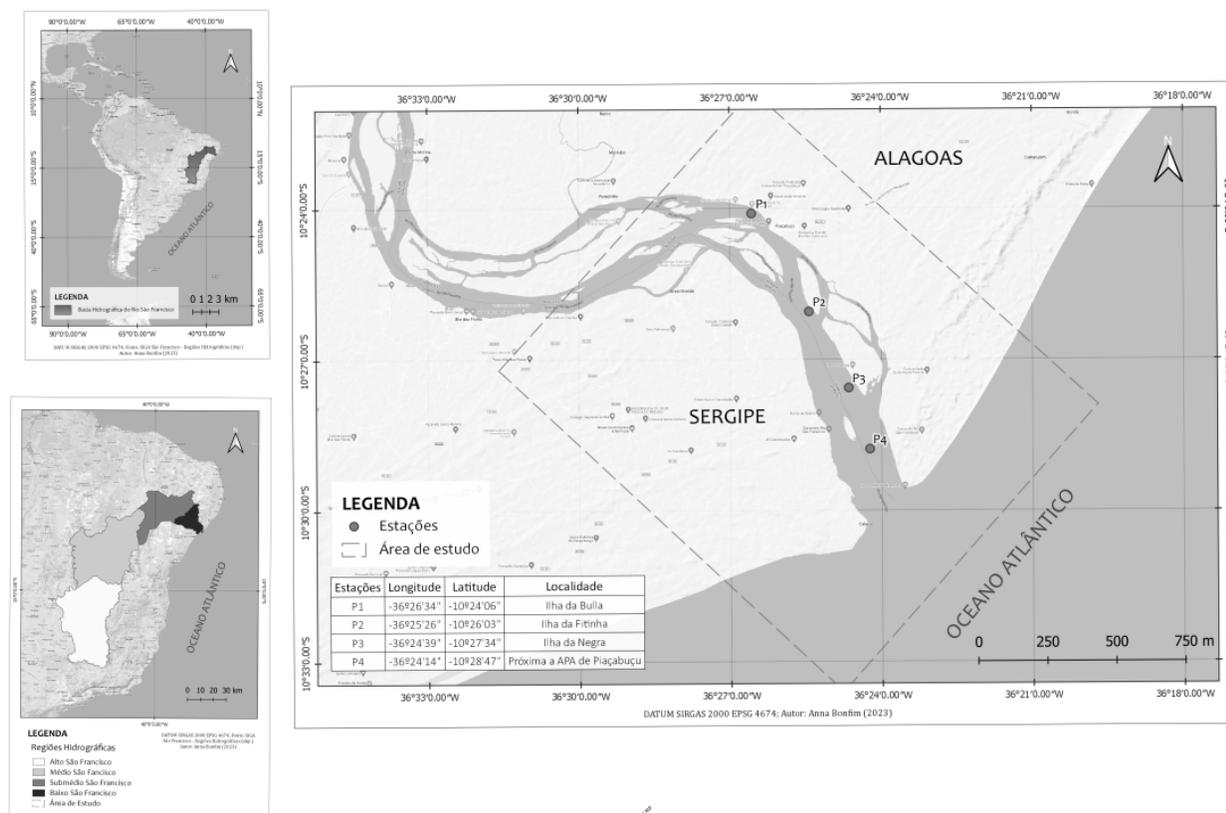


Figura 1. Área de estudo no estuário do rio São Francisco evidenciando as estações de coleta.

Para a obtenção dos parâmetros: temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidade, oxigênio dissolvido (mL.L^{-1}) e potencial hidrogeniônico - pH -, foi utilizada *in situ* uma Sonda Multiparamétrica modelo YSI 6.600. Para a aferição da transparência da água foi utilizado um disco de Secchi. Os dados de salinidade foram tomados na superfície da água e na profundidade de desaparecimento do disco de Secchi.

As coletas de água para determinação dos nutrientes ($\mu\text{mol.L}^{-1}$) e clorofila *a* (mg.m^{-3}) foram efetuadas na camada superficial com auxílio de uma garrafa do tipo "Van Dorn". A clorofila *a* foi determinada de acordo com UNESCO (1966). A taxa de saturação do oxigênio dissolvido foi obtida utilizando-se as International Oceanographic Tables (UNESCO, 1973), correlacionando-se com os valores de temperatura e salinidade.

Os nutrientes: nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+) foram determinados pelo método descrito por Strickland e Parsons (1972) e silicato (SiO_2^-), fosfato inorgânico (PO_4^{3-}) e fosfato total (PO_4^{3-}), segundo metodologia de Grasshoff *et al.* (1983).

A determinação da densidade celular (org.mL^{-1}) foi realizada em microscópio invertido (Zeiss Axiovert) aplicando-se o método de Utermöhl (Karlson *et al.*, 2010). Para contagem do fitoplâncton, consideraram-se como um indivíduo organismos unicelulares, filamentos, tricomas, colônias e cenóbios.

A Análise de Variância (ANOVA) foi aplicada visando detectar diferenças entre: A – Local (estações de coletas); B – Período (chuvoso e seco), utilizando-se o programa Sisvar 5,7 (Ferreira, 2014). Foram utilizados como variáveis dependentes os dados das variáveis ambientais, biomassa e da densidade fitoplânctônica. O teste de Tukey foi aplicado para apontar diferenças entre as médias (Cochran e Cox, 1957).

A análise de componentes principais foi realizada a partir das variáveis ambientais, da biomassa fitoplanctônica e dos táxons dominantes e com 100% frequência de ocorrência, tendo como base a matriz de correlação momento-produto de Pearson. Para os cálculos foi utilizado o software NTSYS.

Resultados

Durante o estudo, o valor médio da transparência da água foi 1,2 m; a temperatura da água oscilou entre 25,78 °C e 29,38 °C. A salinidade na superfície e na profundidade de desaparecimento do disco de Secchi, apresentaram valores inferiores a 0,5 na maioria das estações, exceto nas estações P3 e P4 que registrou valor máximo de 28,47 na profundidade de desaparecimento do disco de Secchi no período de estiagem. Os teores de oxigênio dissolvido estiveram entre 4,24 mL.L⁻¹ com saturação de 78,03% e 7,43 mL.L⁻¹ com saturação de 138,63%. O pH manteve-se alcalino (7,30 - 8,30) com valores médios de 7,69 e 7,67 nos períodos de estiagem e chuvoso, respectivamente (Tab. 1).

Com relação aos nutrientes dissolvidos na água, no período chuvoso foi observado valores médios mais elevados para fósforo total ($25,30 \mu\text{mol.L}^{-1}$), já no período de estiagem foram registradas concentrações médias mais elevadas para o nitrito ($0,70 \mu\text{mol.L}^{-1}$), nitrato ($\mu\text{mol.L}^{-1}$). A biomassa fitoplanctônica (clorofila *a*) apresentou valores entre $0,41 \text{ mg.m}^{-3}$ e $2,29 \text{ mg.m}^{-3}$ (média de $1,05 \text{ mg.m}^{-3}$) no período de estiagem e concentrações $0,00 \text{ mg.m}^{-3}$ e $28,04 \text{ mg.m}^{-3}$ (média de $3,82 \text{ mg.m}^{-3}$) durante o período chuvoso (Tab.1).

Foram identificados 176 táxons distribuídos nas divisões Cyanophyta (cianobactérias), Euglenophyta, Dinophyta, Heterokontophyta (diatomáceas) e Chlorophyta. As diatomáceas foram consideradas as mais representativas em número de táxons e abundância. Destacaram-se como táxons dominantes as diatomáceas *Aulacoseira* sp. e *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen

e como muito frequentes *Aulacoseira ambigua* f. *spiralis* (Skuja) Ludwig, *Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère e *Monactinus simplex* (Meyen) Corda, todas de hábito planctônico.

Considerando a densidade dos grupos taxonômicos destacaram-se, principalmente, as diatomáceas ($18,2 \text{ org.mL}^{-1}$), as clorofíceas ($5,5 \text{ org.mL}^{-1}$) e as cianobactérias ($4,8 \text{ org.mL}^{-1}$). A densidade total apresentou valores entre $1,8 \text{ org.mL}^{-1}$ (P1-março/2008), $18,4$ e $18,8 \text{ org.mL}^{-1}$ na estação P4, em janeiro e julho/2009, respectivamente (Tab. 2)..

Tabela 1. Variáveis hidrológicas e Biomassa Fitoplanctônica clorofila *a* do estuário do Rio São Francisco durante os períodos de estiagem e chuvoso.

Estações meses	Secchi (m)	Tempera- tura (°C)	Salinid. Superf.	Salinid. Secchi	OD (mL.L^{-1})	OD (%)	pH	Nitrato ($\mu\text{mol.L}^{-1}$)	Nitrato ($\mu\text{mol.L}^{-1}$)	Amônio ($\mu\text{mol.L}^{-1}$)	Fosf. inorg ($\mu\text{mol.L}^{-1}$)	Fósf. total ($\mu\text{mol.L}^{-1}$)	Silicato ($\mu\text{mol.L}^{-1}$)	Cloro-a (mg.m^{-3})
PERÍODO DE ESTIAGEM														
P1-mar	0,40	28,36	0,17	0,17	4,24	78,03	7,40	2,02	4,32	4,78	1,46	45,40	0,20	1,02
P2-mar	0,40	28,46	0,16	0,16	4,26	78,43	7,30	2,02	28,01	2,51	1,28	39,73	0,19	1,52
P3-mar	0,30	28,48	0,16	0,16	4,36	80,26	7,30	1,61	26,55	4,84	1,46	45,40	0,18	0,50
P4-mar	0,30	28,55	0,18	0,34	4,39	81,01	7,30	1,79	28,16	0,86	1,10	34,05	0,18	1,01
P1-out	1,50	26,10	0,03	0,03	5,55	97,85	7,30	0,13	12,02	1,47	0,49	0,71	0,10	1,53
P2-out	1,50	26,18	0,03	0,03	5,60	98,98	7,61	0,16	10,90	1,29	0,43	0,63	0,10	1,53
P3-out	1,50	26,04	0,03	0,04	5,45	96,01	7,70	0,16	11,27	1,29	0,43	0,79	0,10	2,29
P4-out	1,50	26,21	0,12	15,70	5,39	95,37	7,95	0,21	11,01	1,60	0,37	0,67	0,09	0,41
P1-jan	2,50	29,23	0,03	0,03	7,30	136,20	7,90	0,07	0,50	0,94	0,03	1,34	0,12	0,59
P2-jan	1,50	29,23	0,04	0,04	7,43	138,63	8,01	0,07	0,63	0,29	0,08	1,34	0,12	0,80
P3-jan	1,50	29,09	4,85	8,20	6,97	133,23	8,25	0,05	0,82	0,41	0,16	1,29	0,11	0,70
P4-jan	1,50	28,82	10,63	28,47	6,72	132,01	8,30	0,07	0,36	0,76	0,03	4,66	0,09	0,70
Média	1,20	27,90	1,37	4,45	5,64	103,83	7,69	0,70	11,21	1,75	0,61	14,67	0,13	1,05
Amplit.	2,20	3,19	10,60	28,44	3,19	60,60	1,00	1,97	27,80	4,55	1,43	44,77	0,11	1,88
PERÍODO CHUVOSO														
P1-jul	1,30	25,78	0,08	0,08	5,35	93,86	7,83	0,34	1,48	0,74	0,37	0,63	0,18	0,00
P2-jul	1,00	26,16	0,09	0,09	5,41	95,51	7,82	0,31	1,25	1,29	0,25	0,52	0,18	0,00
P3-jul	1,00	26,19	0,16	7,63	5,11	90,40	7,71	0,31	1,14	0,74	0,25	0,44	0,18	0,00
P4-jul	1,00	26,04	4,00	21,09	5,19	93,52	7,92	0,28	1,16	2,21	0,19	0,40	0,14	28,04
P1-abr	1,40	29,15	0,04	0,04	4,89	91,20	7,30	0,38	8,84	0,75	0,37	30,37	0,08	1,50
P2-abr	1,40	29,22	0,04	0,04	4,90	91,45	7,30	0,35	10,50	1,21	0,37	44,03	0,08	1,07
P3-abr	1,20	29,32	0,05	0,05	4,84	90,43	7,30	0,38	8,06	1,21	0,37	24,29	0,08	2,20
P4-abr	1,20	29,38	0,04	0,05	5,11	95,63	7,30	0,38	8,52	0,58	0,48	39,48	0,08	2,50
P1-jul	1,30	26,84	0,07	0,07	5,32	95,19	7,90	0,44	10,18	1,90	0,95	43,02	0,07	3,00
P2-jul	1,00	26,89	0,07	0,07	5,39	96,53	7,80	0,70	9,21	1,35	0,83	40,56	0,07	2,50
P3-jul	1,00	26,89	0,08	0,13	5,32	95,28	7,80	0,29	10,62	2,82	1,19	43,02	0,09	2,50
P4-jul	1,00	26,76	0,08	0,08	5,25	93,80	8,00	0,29	11,74	0,92	0,77	36,87	0,06	2,51
Média	1,15	27,39	0,40	2,45	5,17	93,57	7,67	0,37	6,89	1,31	0,53	25,30	0,11	3,82
Amplit.	0,40	3,60	3,96	21,05	0,57	6,13	0,70	0,42	10,60	2,24	1,00	43,63	0,12	28,04

Os táxons mais representativos com relação à densidade foram as cianobactérias *Raphidiopsis raciborskii* (Woloszynska) Aguilera & al. com densidade mais elevada de 4,6 org.mL⁻¹ (P1-outubro/2008) e *Oscillatoria* sp. que apresentou densidade máxima de 3,6 org.mL⁻¹ (P2-março/2008); as diatomáceas *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen com 6,6 org.mL⁻¹ (P4-janeiro/2009) e 9,0 org.mL⁻¹ (P3-julho/2008); *A. islandica* (O.Müller) Simonsen, com densidades máximas de 5,4 org.mL⁻¹ (P4-janeiro/2009), 5,6 org.mL⁻¹ (P1-abril/2009), 7,7 org.mL⁻¹ (P2-abril/2009), 8,0 org.mL⁻¹ (P4-abril/2009) e 7,8 e 9,6 org.mL⁻¹ em julho/2009, nas estações P3 e P4, respectivamente.. A clorofícea *Scenedesmus* sp. registrou densidade máxima de 4,3 org.mL⁻¹ (P1-outubro/2008), Tab. 3.

Tabela 2. Densidade dos grupos fitoplanctônicos (> 1 org.mL⁻¹) identificados no estuário do rio São Francisco durante o período de estiagem e chuvoso.

GRUPOS	Período de Estiagem											
	Março/08				Outubro/08				Janeiro/09			
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
Cyanophyta	1,1	4,8	1,4	2,1	4,7	4,7	3,6	4,6	0,9	0,5	0,7	0,3
Euglenophyta	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Bacillariophyta	0,1	0,7	0,1	0,4	1,2	7,8	0,5	0,9	3,1	3,1	2,2	16,5
Chlorophyta	0,6	0	1,1	0,8	5,5	2,7	2,3	1,8	2,1	3,5	1,8	1,6
Densidade Total	1,8	5,6	3,3	2,00	11,4	15,2	6,4	7,3	6,1	7,1	4,7	18,4
GRUPOS	Período Chuvoso											
	julho/08				abril/09				julho/09			
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
Cyanophyta	0,7	0,8	0,6	0,5	0,1	0,4	0,0	0,0	0,4	0,1	0,0	0,0
Euglenophyta	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0
Bacillariophyta	2,1	3,8	11,4	3,6	8,0	8,0	2,7	9,1	9,5	9,0	13,6	18,2
Chlorophyta	0,3	0,1	0,1	0,6	0,3	0,4	0,2	0,3	0,6	0,4	0,1	0,6
Densidade Total	3,1	4,7	12,1	4,7	8,4	9,7	2,9	9,4	10,6	9,5	13,7	18,8

A análise da variância (ANOVA), realizada com os dados físico-químicos e da clorofila *a*, não evidenciou diferença significativa com relação aos períodos estudados para nenhum dos fatores avaliados. Entretanto, no que se refere às estações de coletas, apenas a salinidade na profundidade de desaparecimento do disco de Secchi (Tab.4), apresentou diferença significativa (F = 3,300), com médias mais elevadas para estação P4.

Tabela 3. Densidade dos táxons fitoplanctônicos (> 1 org.mL⁻¹) identificados no estuário do rio São Francisco durante o período de estiagem e chuvoso.

PERÍODO DE ESTIAGEM												
MESES/ESTAÇÕES	março/2008				outubro/2008				janeiro/2009			
Táxons (org.mL ⁻¹)	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
CYANOPHYTA (Cianobacterias)												
<i>Raphidiopsis raciborskii</i>	0,0	1,1	0,2	0,6	4,6	4,4	3,4	4,4	0,8	0,5	0,3	0,2
<i>Oscillatoria</i> sp.	1,1	3,6	1,2	1,3	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
HETEROKONTHOPHYTA												
<i>Aulacoseira ambigua</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	1,2
<i>A. ambigua</i> f. <i>spiralis</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	2,9	0,1	0,1	1,0	0,7	0,1	0,6
<i>A. granulata</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,8	0,0	0,0	0,2	0,4	0,1	6,6
<i>A.granulata</i> var. <i>angustissima</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3
<i>A. islandica</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,1	0,1	0,0	0,1	0,3	5,4
<i>Aulacoseira</i> sp.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,4	0,2	0,5	1,0	0,7	0,1	0,1
<i>Fragilaria crotonensis</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
CHLOROPHYTA												
<i>Closterium gracile</i>	0,5	0,1	1,0	0,6	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
<i>Scenedesmus</i> sp.	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3	1,6	1,4	1,3	1,0	1,9	0,6	0,9
PERÍODO CHUVOSO												
MESES	julho-08				abril-09				julho-09			
Táxons / Estações	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
CYANOPHYTA (Cianobactéria)												
<i>Raphidiopsis raciborskii</i>	0,2	0,4	0,3	0,2	0,1	0,4	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0
HETEROKONTHOPHYTA												
<i>Aulacoseira ambigua</i>	0,0	0,0	0,9	0,0	0,8	0,0	0,1	0,1	1,8	1,2	2,7	3,9
<i>A. ambigua</i> f. <i>spiralis</i>	0,0	0,1	1,0	0,2	1,0	0,9	0,6	0,7	2,9	4,3	1,3	2,4
<i>A.granulata</i>	1,5	3,1	9,0	2,9	0,2	0,0	0,0	0,0	1,0	0,6	0,8	0,8
<i>A.granulata</i> var. <i>angustissima</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	1,1	0,3	0,6	1,1
<i>A. islandica</i>	0,4	0,6	0,3	0,4	5,6	7,7	1,9	8,0	2,3	1,7	7,8	9,6

As cianobactérias (F=12,350) e as clorofíceas (F=12,942) evidenciaram diferenças significativas com relação aos períodos estudados, apresentando médias mais elevadas no período seco, já as diatomáceas (F=6,296) foram significativamente mais abundantes no período chuvoso (Tab. 4).

Tabela 4. Valores (F) testado pela ANOVA para os dados abióticos e bióticos do estuário do rio São Francisco durante período de estiagem e chuvoso.

FONTE DE VARIAÇÃO	PERÍODOS	ESTAÇÕES	PERÍODOS x ESTAÇÕES
Secchi	0,818 n/s	0,298 n/s	0,114 n/s
Salinidade superfície	0,791 n/s	1,362 n/s	0,252 n/s
Salinidade Secchi	0,495 n/s	3,300*	0,429n/s
Oxigênio Dissolvido	0,126 n/s	0,003 n/s	0,015 n/s
Saturação O.D.	1,551 n/s	0,013 n/s	0,005 n/s
pH	0,034 n/s	0,290 n/s	0,181 n/s
Nitrito	1,223 n/s	0,042 n/s	0,006 n/s
Nitrato	1,298 n/s	0,250 n/s	0,237 n/s
Amônio	0,691 n/s	0,426 n/s	0,351 n/s
Fósforo Inorgânico	0,129 n/s	0,103 n/s	0,009 n/s
Fósforo Total	1,312 n/s	0,009 n/s	0,035 n/s
Silicato	1,286 n/s	0,165 n/s	0,030 n/s
Clorofila <i>a</i> °	2,231 n/s	1,109 n/s	1,735 n/s
Densidade Total	0,001 n/s	0,157 n/s	1,000 n/s
Cyanophyta	12,350*	0,341 n/s	0,193 n/s
Euglenophyta°	1,000 n/s	1,000 n/s	1,000 n/s
Bacillariophyta	6,296 **	0,689 n/s	0,572 n/s
Chlorophyta	12,942*	0,412 n/s	0,413 n/s

Significativo pelo teste Tukey **1%; *5%; ns = não significativo; ° Dados transformadas em Raiz quadrada de Y + 0.5

No que se refere aos componentes principais (ACP) realizados com os dados abióticos e bióticos, observou-se a existência de correlações, onde os três componentes explicam 74,48 % da variância total dos dados (Tab.5).

O componente um (37,22%), mostrou uma correlação direta entre a transparência da água, oxigênio dissolvido, taxa de saturação do oxigênio e pH, estes se correlacionaram inversamente com o nitrito, nitrato e fosfato dissolvido. O componente dois (20,81%), correlacionou diretamente entre si, os parâmetros biológicos *Aulacoseira ambigua* f. *spiralis*, *Ulnaria ulna* e *Monactinus simplex*, e inversamente com a temperatura. O terceiro fator (16,46%) evidenciou uma correlação direta entre *Aulacoseira granulata*, salinidade, salinidade na profundidade do desaparecimento do disco de Secchi e clorofila *a*, e uma correlação inversa destes, com os táxons *Aulacoseira* sp. e *Monactinus simplex* (Tab. 5).

Tabela 5. Análises de Componentes Principais entre as variáveis físicas, químicas e biológicas no estuário do rio São Francisco.

Parâmetros	Fator 1 (37,22%)	Fator 2 (20,81%)	Fator 3 (16,46%)
<i>Aulacoseira ambigua</i> f. <i>spiralis</i>	0.257	0.915	0.093
<i>Aulacoseira granulata</i>	0.156	0.306	0.698
<i>Aulacoseira</i> sp.	0.561	0.158	-0.595
<i>Ulnaria ulna</i>	0.191	0.848	-0.103
<i>Monactinus simplex</i>	0.381	0.695	-0.387
Transparência da Água	0.846	0.036	-0.345

Temperatura	-0.109	-0.769	-0.389
Salinidade	0.457	-0.448	0.503
Sanidade/Prof. Secchi	0.473	-0.146	0.653
Oxigênio Dissolvido	0.895	-0.277	-0.240
Taxa de Sauração do O ₂	0.856	-0.408	-0.231
pH	0.755	-0.162	0.277
Nítrito	-0.869	-0.203	0.033
Nitrato	-0.767	0.131	-0.233
Fosfato Dissolvido	-0.865	0.016	-0.067
Clorofila <i>a</i>	0.115	0.165	0.652

Discussão

Regiões costeiras são muito suscetíveis a mudanças de ordem geral, determinadas, entre outros fatores, pela ação das marés, ventos, precipitações pluviométricas, descarga fluvial e aportes de nutrientes provenientes principalmente de ação antrópica. Esses ecossistemas são parte de zonas de *interface* dinâmica onde a terra, a água e a atmosfera interagem em um equilíbrio dinâmico, sendo, continuamente, alterado pela influência natural e humana (Melo-Magalhães *et al.*, 2008; Lopes *et al.*, 2011).

O ambiente estuarino é um ecossistema caracterizado principalmente pelas flutuações de dois fatores primários, a temperatura e a salinidade (Wilson, 1994).

No estuário do rio São Francisco observou-se uma amplitude térmica de 3,60 °C, com valores discretamente mais baixos no período chuvoso. A temperatura das águas ligeiramente mais frias no mês de julho pode estar relacionada com a estação das chuvas, como também, associada ao transporte de águas oceânicas mais frias pela ação do vento SE, para a Foz do rio São Francisco (Cavalcante *et al.*, 2020). Os valores encontrados no presente estudo foram muito próximos aos aferidos em outros estuários nordestinos por Leão *et al.* (2008), Honorato da Silva *et al.* (2004, 2009) e Grego *et al.* (2009).

A salinidade é um indicador primário da circulação estuarina devido a seu caráter conservativo, além de um fator determinante da produtividade biológica, distribuição de organismos e estrutura de habitat. Ecossistemas estuarinos são caracterizados por marcadas variações diurnas e sazonais, ocasionadas principalmente pela variação das marés e pelo fluxo de água doce proveniente dos rios, que é o agente causador primário da variabilidade da salinidade (Dame *et al.*, 2000; Honorato da Silva *et al.*, 2004).

O Estuário do Rio São Francisco apresenta características de mistura intensa dos fluxos marinhos e limnético com predomínio deste último (Melo-Magalhaes *et al.* 2011). No presente estudo, as concentrações da salinidade na superfície e na profundidade do desaparecimento do

disco de Secchi foram consideradas baixas na maioria das estações de coleta com valores inferiores a 0,5, evidenciando o predomínio do fluxo limnético na área em estudo. Valores superiores a 0,5 foram registrados apenas nas estações 3 e 4, inclusive a ANOVA apontou diferenças estatísticas significativas para salinidade na profundidade de desaparecimento do disco de Secchi, com médias mais elevadas para a estação 4 (localizada próximo a APA de Piaçabuçu).

No estuário do rio São Francisco, conforme observado por Knoppers *et al.* 2005, uma cunha salina adentra até um máximo de 10 km da desembocadura e mantém as condições oligoalinas das águas superficiais. Em análise mais recente sobre a intrusão da cunha salina no estuário do rio São Francisco, Cavalcante *et al.* (2017) mostrou que a dinâmica do sal foi completamente alterada de 2005 a 2017, alcançando continuamente áreas a montante (10 km) da foz do rio, com potencial para trazer a água com salinidade acima dos limites da água doce ($S > 0,5 \text{ g / kg}$) para áreas próximas à divisa com a cidade de Piaçabuçu, localizada a, aproximadamente, 13 km da foz do rio. A intrusão de sal estuarino pode impactar a manutenção de equilíbrio do ecossistema, alterar a configuração da dinâmica e morfologia da foz do rio, inviabilizando o abastecimento de água às cidades locais.

Conforme evidenciado na Análise de Componentes Principais, os valores da salinidade tanto na superfície quanto na profundidade do desaparecimento do disco de Secchi estiveram diretamente correlacionados com a diatomácea *Aulacoseira granulata* e com a clorofila *a*, e inversamente com as espécies *Aulacoseira sp.* e *Monactinus simplex*.

O oxigênio dissolvido é um dos parâmetros mais importantes em ecossistemas aquáticos, pois é essencial aos organismos vivos, além de funcionar como indicador da qualidade ambiental. O ciclo do oxigênio nestes ecossistemas é regido por vários processos abióticos e bióticos que produzem ou consomem o oxigênio dissolvido (Gardner *et al.*, 2006).

No aspecto geral, as concentrações do oxigênio dissolvido foram consideradas altas, com valores estatisticamente semelhantes, tanto com relação aos períodos, quanto às estações de coletas. Altas concentrações de Oxigênio dissolvido foram relatadas também por Schettini *et al.* (2005) que registraram para estuário do rio Itajaí-Açus valores na ordem de $7,5 \text{ mL.L}^{-1}$, concentrações aproximadas ao máximo obtido no estuário do rio São Francisco. De acordo com a análise de componentes principais, este parâmetro foi correlacionado diretamente com a transparência da água, a taxa de saturação do oxigênio e o pH, e inversamente com os nutrientes nitrito, nitrato e fosfato dissolvido.

O pH no estuário do rio São Francisco manteve-se sempre alcalino nos dois períodos sazonais e nas quatro estações de coletas. Os elevados valores de pH observados no estuário do Rio São Francisco são atribuídos, segundo Medeiros *et al.*, (2016), à ocorrência de altas taxas de

precipitação que durante anos promoveu intensa lixiviação do fundo da bacia do rio São Francisco, removendo hidróxidos das rochas com conseqüente elevação dos níveis em direção à região estuarina. O pH alcalino é uma característica de ambientes estuarinos, onde os altos valores são indicativos de uma grande atividade biológica nestes ecossistemas (Honorato da Silva *et al.* 2004; Melo-Magalhães, 2008).

Segundo evidenciado pela análise de componentes principais, todos os nutrientes estiveram diretamente correlacionados entre si, muito bem agrupados, e inversamente correlacionados com os parâmetros físicos, transparência da água, temperatura, salinidade na superfície e na profundidade do desaparecimento do disco de Secchi, oxigênio dissolvido, taxa de saturação do oxigênio e pH.

A natureza oligotrófica, em termos de nutrientes e clorofila *a*, é uma característica marcante de todo o sistema de dispersão do rio São Francisco, fazendo com que seja difícil quantificar o comportamento desses constituintes ao longo da zona de mistura no estuário (Knoppers *et al.*, 2005). Esses autores afirmaram que os nutrientes nitrogenados se comportam como o principal fator limitante da produtividade primária nas águas do estuário do rio São Francisco, sendo o nitrato o mais importante deles.

No presente estudo, os elementos nitrogenados apresentaram valores ligeiramente mais elevados para o período de estiagem. Para o nitrito foram encontradas baixas concentrações, entretanto, para o nitrato e amônia registraram-se valores atipicamente mais elevados. Honorato da Silva *et al.* (2004, 2009) observaram padrão semelhante para o nitrito, justificando os baixos valores registrados pelo fato de que este nutriente tem a capacidade de alta oxidação sendo convertido em nitrato.

Como esperado, as concentrações do fosfato inorgânico registradas no estuário do rio São Francisco foram muito baixas. Condições de empobrecimento de ambas as formas, dissolvida e particulada orgânica deste elemento foram registradas por Medeiros *et al.* (2011), confirmando a condição oligotrófica do baixo rio e estuário.

Os teores de silicato foram também muito baixos em ambos os períodos sazonais estudados, com valores bastante uniformes entre as estações de coletas. As baixas concentrações podem ser justificadas pela incorporação do silicato dissolvido na água pelo fitoplâncton, visto que este nutriente é usado pelas microalgas do grupo das diatomáceas e silicoflagelados para formar suas frústulas (Reviere, 2006).

Medeiros *et al.*, (2011), estudando as alterações na carga de nutrientes no estuário do rio São Francisco, relataram que as concentrações médias dos nutrientes inorgânicos dissolvidos com exceção do silicato indicaram um grau considerável de

empobrecimento desses elementos na região fisiográfica do baixo São Francisco. De acordo com estes autores, a produção de nutrientes registradas no rio São Francisco é considerada entre as mais baixas dos rios da costa brasileira. Os impactos decorrentes da construção das barragens em cascata a montante, entre outros, diminuíram o potencial de fertilização das águas costeiras pelo rio e, conseqüentemente, da magnitude da produção primária. Nos últimos 15 anos, a carga de nitrogênio inorgânico dissolvido foi reduzida em 94% e de silicato dissolvido em 31%. O rio São Francisco transformou-se em um sistema oligotrófico com produção primária limitada pelo nitrogênio.

A dinâmica do ambiente estuarino e a capacidade de importação e exportação de matéria, formam um sistema de mistura que mantém uma grande associação entre componentes físicos, químicos e biológicos, gerando altas taxas de produtividade biológica e teores elevados de biomassa autótrofas e heterótrofas. A determinação do pigmento fotossintético clorofila *a* tem sido utilizada amplamente na ecologia aquática como um dos mais importantes índices de biomassa do fitoplâncton (Nixon, 1981; Proença, 2002).

No presente estudo, a biomassa fitoplânctônica, medida através da concentração da clorofila *a*, foi considerada muito baixa e não apresentou padrão de variação sazonal definido. Estes resultados corroboram com Knoppers *et al.*, 2005, segundo os quais, a clorofila *a* como o indicador de biomassa fitoplânctônica exibiu baixas concentrações no estuário do rio São Francisco e estas são mantidas principalmente pelas baixas concentrações de nutrientes.

A análise de componentes principais indicou correlação direta da clorofila *a* com a salinidade na superfície e na profundidade do desaparecimento do disco de Secchi e com a diatomácea *Aulacoseira granulata*, espécie considerada dominante, indicou também correlação inversa com *Aulacoseira* sp. e *Monactinus simplex*.

As estratégias para a conservação e conhecimento da biodiversidade fitoplânctônica em ecossistemas aquáticos são baseadas principalmente na composição florística e na riqueza de espécies. É também de fundamental importância determinar a densidade celular do fitoplâncton, pois este fator além de caracterizar numericamente a comunidade, pode ser utilizado no monitoramento como indicativo da situação ecológica a que o ambiente está submetido.

O fitoplâncton esteve constituído por 176 táxons com predomínio de espécies de origem dulciaquícolas nos dois períodos sazonais. Esse fato reflete a maior influência de águas fluviais no estuário, conforme indicado pelas baixas concentrações de salinidade. Valores de salinidade abaixo de cinco contribuíram para a instalação de populações fitoplânctônicas tipicamente limnéticas, diferentes daquelas frequentemente observadas em outros estuários com a presença de um número considerável de espécies marinhas (Melo-Magalhães *et al.*, 2016).

Os valores da densidade celular no estuário do rio São Francisco foram considerados baixos quando comparados a outros estudos realizados em estuários no nordeste do Brasil por Lacerda *et al.* (2004), Leão *et al.* (2008) e Melo-Magalhães *et al.* (2009). Não houve variação significativa estatisticamente entre as estações de coleta, nem entre os períodos sazonais para densidade total, entretanto, considerando os grupos taxonômicos, as cianobactérias e as clorofíceas evidenciaram diferença significativa em relação aos períodos estudados, com médias mais elevadas no período seco, já as diatomáceas foram significativamente mais abundantes no período chuvoso. Os táxons mais representativos com relação à densidade foram: as cianobactérias *Raphidiopsis raciboskii* e *Oscillatoria* sp. e as diatomáceas *Aulacoseira granulata* e *Aulacoseira islandica*.

Os resultados obtidos indicaram que o estuário do Rio São Francisco é um ambiente com maior influência do fluxo limnético, oligotrófico em termos de nutrientes dissolvidos, clorofila *a*, e com baixa densidade fitoplanctônica.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Companhia Hidrelétrica do Rio São Francisco; Projeto do Instituto do Milênio-Estuários CNPq/MCT (Processo nº 420.050/2005-1), INCT-TMCOcean (Processo nº 573.601/2008-9) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo suporte financeiro.

Referências

- Bazin, P., Jouenne, F., Deton-Cabanillas, A. F., Pérez-Ruzafa, Á. & Véron, B. (2014), Complex patterns in phytoplankton and microeukaryote diversity along the estuarine continuum. *Hydrobiologia*, v.726, pp.155-178. <https://doi.org/10.1007/s10750-013-1761-9>.
- Bernardes, M. C.; Knoppers, B. A.; Rezende, C. E.; Souza, W. F. L.; Ovalle, A. R. C. (2012), Land-sea interface features of four estuaries on the South America Atlantic coast. *Brazilian Journal of Biology* v. 72, n. 3, p. 761-774, 2012. Supplement. PMID: 23011302.<http://dx.doi.org/10.1590/S1519-69842012000400011>.
- Cochran, W. G.; Cox, G. M. (1957), *Experimental design*. 2.ed. London: J. Wiley, 1957. 611p.
- Cavalcante, G.; Vieira, F.; Campos, E.; Brandini, N.; Medeiros, P.R.P. (2020), Temporal streamflow reduction and impact on the salt dynamics of the São Francisco River Estuary and adjacent coastal zone (NE/Brazil). *Regional Studies in Marine Science*, v. 38, n. 101363.

- Cavalcante, G.; Miranda, L.B.; Medeiros, P.R.P. (2017), Circulation and salt balance in the São Francisco river Estuary (NE/Brazil). *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 22, e 31.
- Dame, R. Alber, M. Allen, D. Mallin, M. Montague, C. Lewitus, A. Chalmers, A. (2000), Gardner, R.; Gilman, C. Kjerfve, B. Pinckney, J. Smith, N. Estuaries of the South Atlantic Coast of North America: Their Geographical Signatures. *Estuaries*, vol. 23, No. 6, pp. 793-819.
- Ferreira, D. F. (2014). Sisvar: um guia dos seus procedimentos de comparações múltiplas Bootstrap. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 38, n. 2. p.109-112.
- Gardner, L. R. Kjerfve, B. Petrecca, D. M. (2006), Tidal fluxes of dissolved oxygen at the North Inlet-Winyah Bay National Estuarine Research Reserve. *Estuarine, Coastal e Shelf Science*, vol. 67, pp. 450-460.
- Grasshoff, K. Ehrhardt, M. Kremling, K. (1983), *Methods of seawater analysis*. 2nd ed. New York: Verlag Chemie, 419 p.
- Grego, C. K. S. Feitosa, F. A. N. Honorato- da-Silva, M. Silva-Cunha, M. G. G. Nascimento-Filho, G. A. (2009), Fitoplâncton do Ecossistema Estuarino do rio Ariquindá (Tamandaré, Pernambuco, Brasil): Variáveis Ambientais, Biomassa e Produtividade Primária. *Atlântica*, Rio Grande, vo.31, No. 2, pp. 183-198.
- Honorato-da-Silva, M. Passavante, J. Z. O. Silva-Cunha, M. G. G. Nascimento Vireira, D. A. Grego, C. K. S. Muniz, K. (2004), Distribuição Espacial e Sazonal da Biomassa Fitoplanctônica e dos Parâmetros Hidrológicos no Estuário do Rio Formoso (Rio Formoso, Pernambuco, Brasil). *Tropical Oceanography*, vol.32, No. 1, pp. 89-106.
- Honorato-da-Silva, M. Silva-Cunha, M. G. G. Passavante, J. Z. O Grego, C. K. S Muniz, K. (2009), Estrutura sazonal e espacial do microfitoplâncton no estuário do rio Formoso, PE, Brasil. *Acta botanica brasílica*, vol. 23, No. 2, pp. 355-368.
- Karlson, B. Cusack, C. Bresnan, E. (Ed.). (2010), *Microscopic and Molecular Methods for Quantitative Phytoplanktonic Analysis*. (IOC Manuals and Guides, no. 55). Paris: UNESCO, 110 pp.
- Knoppers, B., De Souza, W.F.L., Ekau, W., Figueiredo, A. and Soares-Gomes, A. (2009), A interface terra-mar do Brasil. In Pereira, RC. and Soares-Gomes, A. (Eds.). *Biologia Marinha*. Interciência. cap. 22, p. 529-553.
- Knoppers, B. Medeiros, P. R. P. Souza, W. F. L. Jennerjahn, T. Verlag. (2005), The São Francisco Estuary, Brazil. In: *Wangersky, P.* (Ed.). *The Handbook of Environmental Chemistry*. 5 – Water Pollution: estuaries. Berlin: Springer, pp. 1-20.

- Lacerda, S. R.; Koenig, M. L.; Neumann-Leitão, S. & Flores-Montes, M. J. 2004. Microphytoplankton nyctemeral variation at a tropical river estuary (Itamaracá – Pernambuco – Brazil). *Braz. J. Biol.*, 64 (1): 81-94.
- Leão, B. M. Passavante, J. Z. O. Silva-Cunha, M. G. G. Santiago, M. F. (2008), Ecologia do microfitoplâncton do estuário do rio Igarassu, PE, Brasil. *Acta botanica brasílica*, vol. 22, No. 3, pp. 711-722.
- Lopes, C.L., Silva, P.A., Dias, J.M., Rocha, A., Rocha, Picado, A., Plecha, S., Fortunato, A.B., (2011), Local sea level change scenarios for the end of the 21st century and potential physical impacts in the lower Ria de Aveiro (Portugal). *Continental Shelf Research* 31 (14), 1515-1526.
- Medeiros, P.R.P.; Cavalcante, G.H.; Brandini, N.; Knoppers, B.A. (2016), Inter-annual variability on the water quality in the lower São Francisco River (NE-Brazil). *Acta Limnologica Brasiliensia*, vol. 28, nº. 5, pp. 1-11.
- Medeiros, P.R.P.; Santos, M.M.; Cavalcante, G.H.; Souza, W.F.L.; Silva, W.F. (2014), Características ambientais do baixo São Francisco (AL/SE): efeitos de barragens no transporte de materiais na interface continenteoceano. *Geochimica Brasiliensis*, vol. 28, nº. 1, pp. 65-78.
- Medeiros, P. R. P. Knoppers, B. A. Cavalcante, G. H. Souza, W. F. L. (2011), Changes in Nutrient Loads (N, P and Si) in the São Francisco Estuary after the Construction of Dams. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, vol. 54, No.2, pp.387-397.
- Melo-Magalhães, E. M.; Moura, A. N.; Medeiros, P.R.P.; Koenig, M.L. (2016), Microphytoplankton Biomass and Trophic State of the Estuarine Region of São Francisco River (Northeastern/ Brazil). *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*. Vol.20, nº2. pp. 51-62.
- Melo-Magalhães, E. M., Moura, A.N., Medeiros, P.R.P. Lima, E.L.R, Koenig, M. L. (2011), Phytoplankton of the São Francisco River Estuarine Region (Northeastern Brazil): a Study of its Diversity. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology* (Impresso). vol.15, nº 1, pp.95 – 105.
- Melo-Magalhães, E. M. Moura, A. N. Koenig, M. L. Lima, E. L. R. Medeiros, P. R. P. (2010), Biomassa Fitoplanctônica do Estuário do Rio São Francisco. In: Congresso Brasileiro de Oceanografia, 3, Rio Grande. **Anais...** Rio Grande: Associação Brasileira de Oceanografia. Rio Grande (RS).

- Melo-Magalhães, E. M. Lira, M.C.A. Koenig, M. L. Moura, A. N. (2009), Determination of Eutrophic Regions on Mundaú/Manguaba Lagoons, Alagoas- Brazil Through Studies with Phytoplankton Community. *Brazilian Journal of Biology*, vol.69, No. 2, pp. 271-280.
- Melo-Magalhães, E. M. Koenig, M. L. Moura, A. N. (2008), Complexo estuarino-lagunar Mundaú/ Manguaba, Alagoas-Brasil: especies de algas bioindicadoras de impactos ambientais In: Congresso Brasileiro de Ficologia, 11. Simpósio Latino-Americano Sobre Algas Nocivas, 2008, Itajaí, SC. Anais... Rio de Janeiro: Museu Nacional, Organização da Sociedade Brasileira de Ficologia. (Série Livros, 30), pp. 167-185.
- Nixon, S. W. (1981), Remineralization and Nutrient Cycling in Coastal Marine Ecosystems. In: Neilson, B.J.; Le Croin. *Estuaries and Nutrients*. New York:Human, 981. pp. 111-138.
- Paiva, R. S. Eskinazi-Leça, E. Passavante, J. Z. O. Silva-Cunha, M. G. G. Melo, N. F. A. C. (2006), Considerações ecológicas sobre o fitoplâncton da baía do Guajará e foz do rio Guamá (Pará, Brasil). *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, vol. 1 No. 2, pp. 133-146.
- Proença, L. A. O. (2002), Clorofila *a* do fitoplâncton em seis enseadas utilizadas para cultivo de moluscos bivalves no litoral de Santa Catarina. *Notas Técnicas FACIMAR*, vol. 6, pp.33-44.
- Reviere, B. (2006), *Biologia e Filogenia das Algas*. Porto Alegre: ARTMED, 280 p.
- Schetinni, C.A.F.; Miranda, L.B. (2010), Circulation and suspended particulate matter transport in a tidally dominated estuary: Caravelas estuary, Bahia, Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, vol. 58, nº. 1, pp. 1-11.
- Schettini, C. A. F. Rasgalla Jr. C. Pereira Filho, J. Silva, M. A. C. Truccolo, E. C. Rörig, L. R. (2005), Variabilidade temporal das características oceanográficas da região de influência fluvial do rio Itajaí-açu. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, vol. 9, No. 2, pp. 93-102
- Schettini, C. A. F. (2002), Caracterização Física do Estuário do Rio Itajaí-Açu, SC. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, vol. 7, No.1, pp. 123-142.
- Sathicq, M. B., Gómez, N., Bauer, D. E. & Donadelli, J. (2017), Use of phytoplankton assemblages to assess the quality of coastal waters of a transitional ecosystem: Río de la Plata Estuary. *Continental Shelf Research*, 150, 10-17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.csr.2016.08.009>
- Strickland, T. D. H. Parsons, T. R. (1972), A manual of seawater analysis. *Bulletin Fisheries Reserch Board of Canada*, Ottawa, 125: 1-205.

Melo-Magalhães *et al.*, Variáveis ambientais e biomassa fitoplanctônica da região estuarina do baixo São Francisco (Nordeste/ Brasil)

UNESCO (1966), Determination of photosynthetic pigments in sea water: report of SCOR/UNESCO. (Monography on Oceanography Methodology), Paris: 69 p.

UNESCO (1973), International oceanographic tables. Wormley, 2: 141 p.

Wilson, J. G. (1994), The Role of Bioindicators in Estuarine Managment. *Estuaries*, vol. 17, No. 1, pp. 94-101.