



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

CRICIA CAVALCANTI FERREIRA DA SILVA

**VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA COMUNIDADE DE
DIATOMÁCEAS NOS SEDIMENTOS SUPERFICIAIS DA BAÍA DE
CAMAMU (BAHIA, BRASIL) E SUAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS
ESTRUTURANTES**

Salvador

2017

CRICIA CAVALCANTI FERREIRA DA SILVA

**VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA COMUNIDADE DE
DIATOMÁCEAS NOS SEDIMENTOS SUPERFICIAIS DA BAÍA DE
CAMAMU (BAHIA, BRASIL) E SUAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS
ESTRUTURANTES**

Trabalho apresentado ao Curso de Graduação em Oceanografia, Instituto de Geociência, Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Doriedson Ferreira Gomes.

Co-orientador: MSc. Fernando Ribeiro de Oliveira.

Salvador

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Silva, Cricia Cavalcanti Ferreira da

Variabilidade espaço-temporal da comunidade de diatomáceas nos sedimentos superficiais da baía de Camamu (Bahia, Brasil) e suas variáveis ambientais estruturantes. / Cricia Cavalcanti Ferreira da Silva. -- Salvador, 2017.

Nº de páginas: 49

Orientador: Prof. Dr. Doriedson Ferreira Gomes.

TCC (Graduação – Oceanografia) -- Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências, 2017.

1. Biodiversidade; 2. Diatomoflórula; 3. Monitoramento; 4. Estuário tropical.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe e minha vó pelo esforço e dedicação em fazerem da minha educação a prioridade e por confiarem nas minhas escolhas.

Aos professores do curso de Oceanografia da UFBA pelos ensinamentos durante a minha formação, especialmente ao meu orientador, Prof. Dr. Doriedson Ferreira Gomes, pelas cobranças, oportunidades e todo o apoio nesses 2 anos que estive no laboratório Ecopaleo.

Aos colegas de laboratório, pelas discussões, críticas e conhecimentos compartilhados. À Lore, pela elaboração do mapa da área de estudo e ao meu co-orientador, MSc. Fernando Ribeiro de Oliveira, por toda a ajuda nas análises estatísticas e correções do TCC.

Aos meus amigos do curso, especialmente às meninas de 2012, Neura, Lin, Paty, Alzi, Rai, Tami, Lore e Julinha, pelos bons momentos compartilhados nesses 5 anos.

Aos meus primos-irmãos e melhores amigos, Lucas, Amanda e Carol. A Rafa, pela brilhante e inspiradora trajetória na Terra, com muita saudade.

Aos meus amigos do colégio e da vida, Carol, Nika, Bel, Bruna, Vini, Bit, Rafa, Porto, José, Peri, Thai, Deco e Kaique, por compartilharem momentos maravilhosos e me aturarem por tantos anos.

Ao meu irmão, João Pedro, por me ensinar que o amor supera qualquer distância.

Ao meu tio Junior por estar sempre presente e ser como um pai para mim.

À Prof. Dra. Simone Moraes e equipe do Grupo de Estudos de Foraminíferos (GEF), pela parceria no projeto e por fornecer as tabelas com os dados ambientais analisados.

A FIOCRUZ, parceira desse projeto, pela disponibilização do microscópio eletrônico.

Ao CNPq pelo apoio financeiro na forma de bolsa de iniciação científica durante a execução desse trabalho.

RED0026/2014 FAPESB

PET0039/2012 FAPESB

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	i
RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	iv
1 INTRUDUÇÃO.....	9
2 METODOLOGIA.....	11
2.1 ÁREA DE ESTUDO.....	11
2.2 COLETA.....	12
2.3 LABORATÓRIO.....	13
2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	14
3 RESULTADOS.....	16
3.1 DADOS FÍSICOS E QUÍMICOS.....	16
3.2 ESTRUTURA DA COMUNIDADE.....	26
3.3 VARIABILIDADE DA COMUNIDADE DE DIATOMÁCEAS EM RELAÇÃO ÀS VARIÁVEIS AMBIENTAIS.....	32
4 DISCUSSÃO.....	38
4.1 VARIABILIDADE AMBIENTAL.....	38
4.2 EFEITOS SOBRE A DIATOMOFLÓRULA.....	39
5 CONCLUSÃO.....	43
REFERÊNCIAS.....	44
APÊNDICE A- LISTA DE CÓDIGOS E NOMES DAS ESPÉCIES COM ABUNDÂNCIA SUPERIOR A 2% EM PELO MENOS TRÊS ESTAÇÕES AMOSTRAIS DOS TRÊS RIOS DA BAÍA DE CAMAMU.....	48

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- DISTRIBUIÇÃO DAS ESTAÇÕES AMOSTRAIS NOS TRÊS RIOS DA BAÍA DE CAMAMU, BAHIA, BRASIL.....	12
TABELA 1- COORDENADAS DAS ESTAÇÕES AMOSTRAIS DA BAÍA DE CAMAMU.....	13
FIGURA 2- DADOS DE SALINIDADE (A,B,C) E TEMPERATURA (D,E,F) PARA OS TRÊS RIOS ESTUDADOS NOS PERÍODOS CHUVOSO E SECO).....	19
FIGURA 3- DADOS DE PH (A,B,C) E SATURAÇÃO DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD%) (D,E,F) PARA OS TRÊS RIOS ESTUDADOS NOS PERÍODOS CHUVOSO E SECO).....	20
FIGURA 4- DADOS DE POTENCIAL REDOX PARA OS TRÊS RIOS ESTUDADOS NOS PERÍODOS CHUVOSO E SECO.....	21
FIGURA 5- CONCENTRAÇÕES DE FÓSFORO TOTAL (FTOTAL) (A,B,C) E FOSFATO (PO4) (D,E,F) PARA OS TRÊS RIOS ESTUDADOS NOS PERÍODOS CHUVOSO E SECO.....	22
FIGURA 6- CONCENTRAÇÕES DE NITROGÊNIO TOTAL (NTOTAL) (A,B,C) E AMÔNIA (D,E,F) PARA OS TRÊS RIOS ESTUDADOS NOS PERÍODOS CHUVOSO E SECO.....	23
FIGURA 7- CONCENTRAÇÕES DE NITRATO (A,B,C) E SÍLICA (D,E,F) PARA OS TRÊS RIOS ESTUDADOS NOS PERÍODOS CHUVOSO E SECO.....	24
FIGURA 8- PERCENTUAIS DE CASCALHO, AREIA E LAMA PARA AS ESTAÇÕES AMOSTRAIS DOS TRÊS RIOS ESTUDADOS NOS PERÍODOS CHUVOSO E SECO.....	25
TABELA 2- CLASSIFICAÇÃO TAXONÔMICA DAS DIATOMÁCEAS DA BAÍA DE CAMAMU ATÉ O NÍVEL DE GÊNERO.....	27
FIGURA 9- ÍNDICE DE DIVERSIDADE DE SHANNON DAS ESPÉCIES PARA AS DUAS CAMPANHAS DOS TRÊS RIOS DA BAÍA DE CAMAMU.....	29
FIGURA 10- REGRESSÃO LINEAR ENTRE A) DIVERSIDADE (MEDIDA PELO ÍNDICE DE SHANNON- WIENNER) E B) RIQUEZA DE ESPÉCIES COM A SALINIDADE PARA OS TRÊS RIOS DA BAÍA DE CAMAMU.....	30
FIGURA 11- REGRESSÃO LINEAR ENTRE A) DIVERSIDADE (MEDIDA PELO ÍNDICE DE SHANNON- WIENNER) E B) RIQUEZA DE ESPÉCIES COM OS PERCENTUAIS DE LAMA NOS SEDIMENTOS DOS TRÊS RIOS DA BAÍA DE CAMAMU.....	31
FIGURA 12- REGRESSÃO LINEAR ENTRE A) DIVERSIDADE (MEDIDA PELO ÍNDICE DE SHANNON- WIENNER) E B) RIQUEZA DE ESPÉCIES COM OS PERCENTUAIS DE SATURAÇÃO DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO PARA OS TRÊS RIOS DA BAÍA DE CAMAMU.....	32
FIGURA 13- MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS.....	33

FIGURA 14- MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS PARA CADA RIO SEPARADAMENTE. A) MARAU; B) SOROJÓ; C) SERINHAÉM.....	34
FIGURA 15- DIAGRAMA DE ORDENAÇÃO CCA PARA OS TRÊS RIOS DA BAÍA DE CAMAMU E VARIÁVEIS AMBIENTAIS (SALINIDADE, PH, PROFUNDIDADE, TEMPERATURA, STD, ODS, ORP, AMÔNIA, NITRATO, SÍLICA E AREIA).....	35
TABELA 3- TESTE DE PERMUTAÇÃO PARA CADA VARIÁVEL SELECIONADA NA CCA PARA OS TRÊS RIOS NUMA MESMA MATRIZ DE DADOS.....	35
FIGURA 16- DIAGRAMA DE ORDENAÇÃO CCA PARA O RIO MARAU E VARIÁVEIS AMBIENTAIS (SALINIDADE, TEMPERATURA, ODS, PROFUNDIDADE, STD, SÍLICA, AREIA E CASCALHO).....	36
FIGURA 17- DIAGRAMA DE ORDENAÇÃO CCA PARA O RIO SOROJÓ E VARIÁVEIS AMBIENTAIS (SALINIDADE, TEMPERATURA, ODS, PROFUNDIDADE, ORP, STD, NITRATO, FOSFATO, SÍLICA E AREIA).....	37
FIGURA 18- DIAGRAMA DE ORDENAÇÃO CCA PARA O RIO SERINHAÉM E VARIÁVEIS AMBIENTAIS (SALINIDADE, PH, TEMPERATURA, ODS, PROFUNDIDADE, AREIA E LAMA).....	37

Variabilidade espaço-temporal da comunidade de diatomáceas nos sedimentos superficiais da baía de Camamu (Bahia, Brasil) e suas variáveis ambientais estruturantes

Resumo

As diatomáceas são microalgas cosmopolitas, muito diversas e com elevada sensibilidade às alterações ambientais, que as tornam boas indicadoras em estudos de monitoramento ecológico. Este trabalho objetiva caracterizar a estrutura das comunidades de diatomáceas da Baía de Camamu e as suas variáveis ambientais estruturantes. Amostras de sedimento superficial foram coletadas com o uso de um *box-corer* nos três principais tributários da baía de Camamu (rios Marau, Sorojó e Serinhaém), ao longo de um gradiente de salinidade, em duas campanhas, nos períodos chuvoso e seco do ano de 2013. Subamostras de um grama de sedimento foram oxidadas e lâminas permanentes foram preparadas com resina Naphrax. As valvas foram contadas (mínimo de 450) e os resultados das contagens foram expressos como abundâncias relativas. Foram realizadas análises de correspondência canônica (CCA) para correlacionar a matriz de dados biológicos à matriz de dados ambientais. Um total de 182 espécies foram identificadas, as quais estão circunscritas em 63 gêneros, tendo como espécies dominantes *Thalassionema nitzchioides*, *Psammococconeis brasiliensis*, *Cymatosira belgica*, *Paralia sulcata*, *Diploneis sp*, *Navicula spp*, *Fallacia spp*, *Amphora spp*, *Achnantheidium sp* e *Cyclotella striata*, que apresentam amplas tolerâncias às flutuações de salinidade e nutrientes. A CCA demonstrou uma variação espacial da estrutura das comunidades em resposta às variáveis ambientais, tendo como variáveis estruturantes a salinidade, saturação de oxigênio dissolvido, potencial redox e sólidos totais dissolvidos.

Palavras-chave: Biodiversidade; Diatomoflórula; Monitoramento; Estuário tropical.

Spatial and temporal variability of the diatom community in the surface sediments of the Bay of Camamu (Bahia, Brazil) and its structural environmental variables

Abstract

Diatoms are very diverse, cosmopolitan microalgae with an elevated sensibility to environmental alterations, which in turn make them great indicators in environmental monitoring research. This work aims to characterize the structure of diatom communities of the Camamu Bay and its structural environmental variables. Superficial sediment samples were collected using a box-corer on the three main tributaries of the Camamu Bay (Marau, Sororj3 and Serinha3m rivers), alongside a salinity gradient, in two campaigns, during the rainy and dry seasons of 2013. One gram of sediment subsamples was oxidized and permanent slides were prepared with Naphrax resin. The valves were counted (minimum of 450) and the count results were expressed as relative abundances. Canonical Correspondence Analyses (CCA) were performed to correlate the biological and environmental data matrices. A total of 182 species was identified, which are circumscribed in 63 genera, including the dominant species of *Thalassionema nitzchioides*, *Psammococconeis brasiliensis*, *Cymatosira belgica*, *Paralia sulcata*, *Diploneis sp*, *Navicula spp*, *Fallacia spp*, *Amphora spp*, *Achnantheidium sp* and *Cyclotella striata*, which possess large tolerance to salinity and nutrient fluctuations. The CCA displayed a spatial variation of the community structure in response to environmental variables, with dissolved oxygen saturation, redox potential and total dissolved solids as structural variables.

Keywords: Biodiversity; Diatom flora; Monitoring; Tropical Estuary

1.INTRODUÇÃO

As diatomáceas são microorganismos unicelulares, fotossintetizantes, adaptadas à vida em suspensão na coluna d'água (planctônicas) e à adesão a substratos (bentônicas) (Kooistra *et al.*, 2007). Apresentam alta riqueza de espécies e estão distribuídas nos habitats oceânicos, costeiros, de água doce, ocupando até regiões mais inóspitas de geleiras (Smol and Stoermer, 2010), com cada habitat desenvolvendo sua flora característica de diatomáceas de acordo com as diferentes composições físicas e químicas do ambiente. Adicionado aos fatores ambientais, a imigração de células, as diferenças na taxa de crescimento entre populações e processos de perda (morte, emigração e destruição) determinam a estrutura de comunidades a curto prazo (Bere *et al.*, 2010).

As diatomáceas têm sido utilizadas nos estudos paleoambientais e de monitoramento ecológico, uma vez que apresentam elevada sensibilidade às alterações ambientais de salinidade (Baldi *et al.*, 2011), pH (Juggins *et al.*, 2016), temperatura (Ingebrigtsen *et al.*, 2015), nutrientes (Zhang *et al.*, 2016), entre outros aspectos. As valvas das diatomáceas preservam-se bem em sedimento, devido à impregnação da parede celular com sílica, refletindo o efeito das condições físicas, químicas e biológicas sobre aspectos estruturais e funcionais na coluna d'água e nos sedimentos superficiais dos ecossistemas aquáticos (Lopes *et al.*, 2006). Além disso, as diatomáceas são consideradas cosmopolitas e apresentam ciclo celular rápido (Dalu *et al.*, 2017).

As diatomáceas são as componentes mais importantes do conjunto de microalgas bentônicas em ambientes estuarinos (Sylvestre *et al.*, 2004), uma vez que são consideradas a principal fonte de produção primária desses ecossistemas e são responsáveis pelo sequestro e transformação de muitos nutrientes inorgânicos em suas formas orgânicas (Dalu *et al.*, 2016). Esses ambientes são sistemas dinâmicos, caracterizados por gradientes naturais pronunciados das propriedades ambientais devido à transição entre sistemas continentais e marinhos, o que acarreta em variações na estruturação das comunidades de diatomáceas em diferentes escalas espaciais e temporais (Rovira *et al.*, 2012). Os estuários são considerados ecossistemas produtivos por receberem nutrientes de fontes terrestres, marinhas e

antropogênicas (Dalu *et al.*, 2016). Além disso, os sedimentos são considerados transportadores e fontes de nutrientes nesses ambientes (Kuo *et al.*, 2013). Porém, as mudanças demográficas das populações que vivem nas margens costeiras têm causado efeitos prejudiciais aos ciclos biogeoquímicos nos ambientes estuarinos (Bianchi, 2007), conseqüentemente, acarretando em mudanças na estruturação das comunidades de diatomáceas.

Dada a importância das diatomáceas e sua ampla utilização em estudos ecológicos, por consequência da sua rápida resposta às alterações ambientais, esse trabalho busca descrever a variabilidade espaço-temporal da estrutura da comunidade e determinar quais são as variáveis estruturantes, a partir de um estudo taxonômico, ecológico e de distribuição das espécies encontradas nos sedimentos superficiais da região estuarina de Camamu, e se baseia na seguinte questão: Qual(is) é(são) a(s) variável(is) ambiental(is) preponderante(s) para a estruturação das comunidades de diatomáceas durante o período das campanhas?

2.METODOLOGIA

2.1. Área de estudo

A Baía de Camamu (Figura 1), localizada entre as coordenadas 13° 40,2' S; 38° 55,8' W e 14° 12,6' S; 39° 9,6' W, possui aproximadamente 384 km² e é circundada por uma área de manguezal que ocupa mais de 40 km² (Amorim, 2005; Hatje *et al.*, 2008; Oliveira *et al.*, 2009). Três tributários da baía foram analisados nesse estudo, o rio Marau ao sul, Sorojó no centro e Serinhaém ao norte. A descarga média dos três principais rios da baía de Camamu, no período chuvoso, é de 44,59 m³s⁻¹, sendo Serinhaém responsável por 18,08 m³s⁻¹, Sorojó por 13,66 m³s⁻¹ e Marau por 12,13 m³s⁻¹. No período seco, a descarga média é de 40,31 m³s⁻¹, sendo Serinhaém responsável por 16,52 m³s⁻¹, Sorojó por 12,59 m³s⁻¹ e Marau por 11,20 m³s⁻¹ (Amorim, 2005).

É um sistema estuarino raso, profundidade média de 5 metros, com as maiores profundidades observadas na porção sul no estuário do rio Marau (Amorim, 2005). As marés na região são semi-diurnas com altura máxima de 2,7 m e as velocidades de corrente variam entre 0,6 e 1,2 ms⁻¹ (Amorim, 2005).

A região é característica de clima tropical úmido, sendo dividida em uma estação chuvosa, compreendida entre os meses de março e julho, e uma estação seca, entre os meses de agosto e fevereiro (Amorim, 2005). Apresenta alta pluviosidade por consequência das frentes frias que penetram pelo litoral durante todo o ano, bem como os mecanismos de brisas marítimas e terrestres, associados aos ventos alísios de sudeste e pela regular distribuição mensal (Amorim, 2005).

Os ventos na plataforma adjacente à baía de Camamu, durante o período seco, são preferencialmente de leste, com intensidade média próxima à costa de 2,7 m s⁻¹, e crescentes em direção ao oceano e ao norte. Durante o período chuvoso, os ventos são preferencialmente de sudeste e, apesar de apresentarem o mesmo comportamento da estação seca, com intensificação em direção ao oceano e ao norte, possuem intensidades médias cerca de 14% menores (Amorim, 2005).

A mineralogia dos sedimentos do manguezal da baía de Camamu é composta, predominantemente, por quartzo, barita e argilas e, subsequentemente, por pirita, jarosita e gipsita (Oliveira *et al.*, 2002).

Os municípios que margeiam a baía vêm sofrendo mudanças socioeconômicas significativas decorrentes da expansão das atividades turísticas, imobiliárias, pesqueiras, carcinoculturas e, mais recentemente, a exploração e produção de petróleo e gás natural na Bacia de Camamu-Almada.

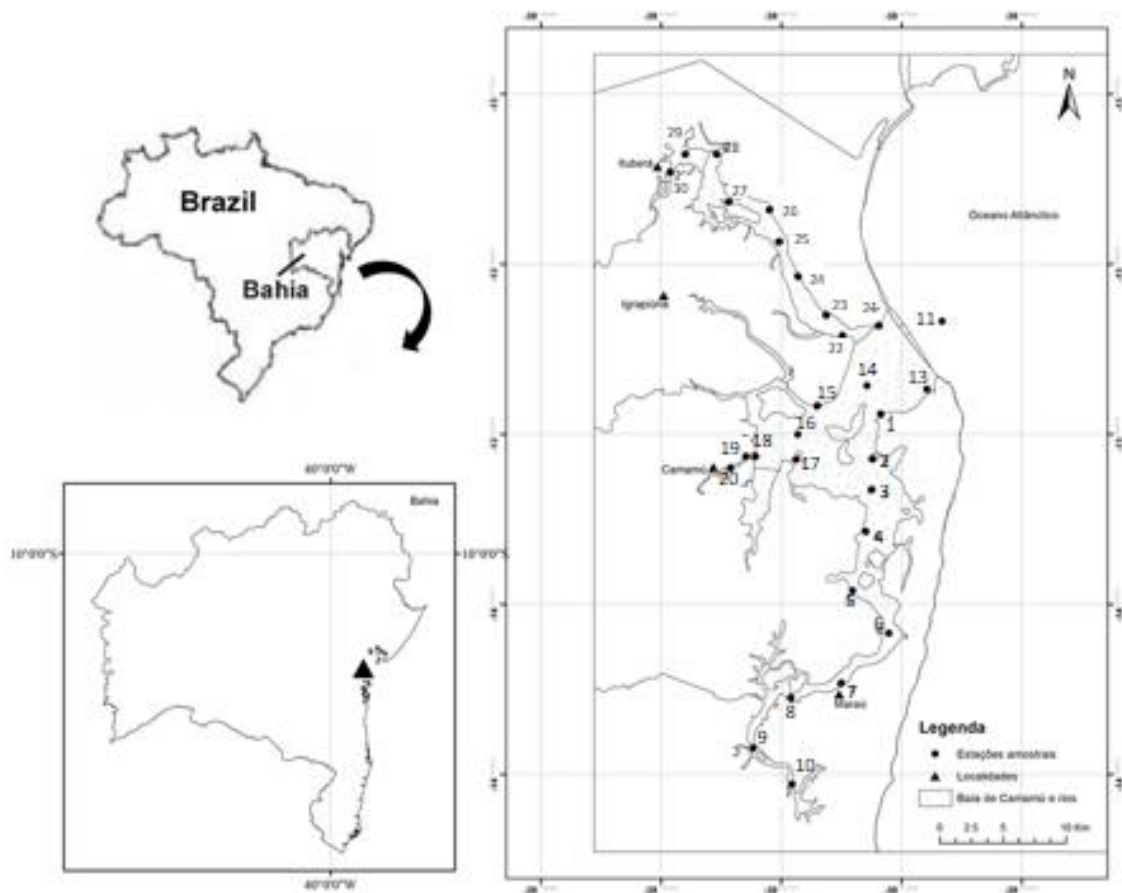


Figura 1. Distribuição das estações amostrais nos três rios da baía de Camamu, Bahia, Brasil.

2.2. Coleta

As amostras de sedimentos superficiais foram coletadas com o uso de um *box-corer*, em 30 estações amostrais (Tabela 1), ao longo do gradiente de salinidade nos

três principais tributários da baía (rios Marau, Sorojó e Serinhaém), em duas campanhas, no ano de 2013, nos meses de abril e outubro, representando, respectivamente, os períodos chuvoso e seco característicos da região.

As coletas ocorreram acompanhando a maré enchente, sendo as estações 1, 11 e 21 as primeiras a serem amostradas e as estações 10, 20 e 30 as últimas, com exceção do rio Sorojó na campanha 1, na qual a coleta foi realizada no sentido contrário (da estação 20 até a 11).

As variáveis físico-químicas (profundidade, salinidade, temperatura, condutividade, pH, potencial de oxidação e redução, oxigênio dissolvido e sólidos totais dissolvidos) foram mensuradas a 50 cm de profundidade, utilizando uma sonda multiparâmetros Horiba. Amostras de água foram coletadas utilizando uma garrafa Van Dorn, em subsuperfície, para análise de nutrientes (sílica, nitrato, amônia, nitrogênio total, fosfato e fósforo total).

Tabela 1. Coordenadas das estações amostrais da baía de Camamu.

MARAU			SOROJÓ			SERINHAÉM		
Pontos	Latitude	Longitude	Pontos	Latitude	Longitude	Pontos	Latitude	Longitude
1	13°54'390"S	38°59'226"W	11	13°50'384"S	38°56'593"W	21	13°50'607"S	38°59'295"W
2	13°55'959"S	38°59'678"W	12	13°51'939"S	38°57'098"W	22	13°51'045"S	39°00'900"W
3	13°52'766"S	38°59'425"W	13	13°53'207"S	38°57'181"W	23	13°50'021"S	39°01'635"W
4	13°59'282"S	38°59'583"W	14	13°53'653"S	39°00'049"W	24	13°48'190"S	39°02'928"W
5	14°02'042"S	39°00'233"W	15	13°54'189"S	39°01'436"W	25	13°47'245"S	39°03'531"W
6	14°03'686"S	39°58'702"W	16	13°55'506"S	39°01'825"W	26	13°45'660"S	39°03'995"W
7	14°05'959"S	39°00'957"W	17	13°56'571"S	39°02'449"W	27	13°45'282"S	39°05'733"W
8	14°06'630"S	39°03'038"W	18	13°56'333"S	39°03'913"W	28	13°43'711"S	39°06'236"W
9	14°06'786"S	39°04'653"W	19	13°56'209"S	39°04'995"W	29	13°43'348"S	39°07'734"W
10	14°10'270"S	39°03'046"W	20	13°56'791"S	39°05'972"W	30	13°44'021"S	39°08'188"W

2.3. Laboratório

Em laboratório, subamostras de um grama de sedimento superficial úmido foram oxidadas com peróxido de hidrogênio 30% e aquecidas por 24 horas à 50°C, para remoção da matéria orgânica e preservação apenas dos componentes silícicos

(Battarbee *et al.*, 2001). Em seguida, foi retirada uma alíquota de 1 ml do material oxidado para preparação de lâminas permanentes fixadas com Naphrax a 110°C.

Para a caracterização taxonômica dos organismos, foi realizado o registro fotográfico das diatomáceas utilizando um microscópio óptico Olympus CX40 em ampliação de 1000x, bem como um microscópio eletrônico de varredura, JEOL – JSM – 6701. Em seguida, as espécies registradas foram descritas de acordo com Barber (1981) e identificadas com base na bibliografia especializada.

A contagem foi realizada a partir de transectos horizontais, um mínimo de 450 valvas ou fragmentos passíveis de identificação (aqueles que tinham pelo menos 50% da superfície valvar) por amostra; os resultados foram expressos como abundâncias relativas.

2.4. Análise estatística

Os dados físico-químicos foram padronizados (transformação dos valores por sua divisão pelo desvio padrão de cada distribuição), possibilitando uma comparação entre variáveis com unidades diferentes. Já os dados biológicos foram transformados para $\log_{10}(x+1)$, com o objetivo de equilibrar as contribuições entre as espécies raras e comuns na medida da similaridade entre as amostras, como recomendado por Clarke & Warwick (2001).

A diversidade de espécies foi calculada pelo índice de Shannon-Wiener. Foi aplicado o teste ANOVA para indicar se houve diferença significativa entre os rios e entre as campanhas em termos de diversidade.

Foram feitas regressões lineares, seguindo as premissas de homocedasticidade e normalidade, tendo como fatores as variáveis ambientais (salinidade, saturação de oxigênio dissolvido e percentuais de lama no sedimento) e como variáveis dependentes a riqueza e diversidade.

Foram realizadas análises de correspondência canônica (CCA) para os três rios juntos e para cada um deles separadamente. Para selecionar quais as variáveis ambientais seriam usadas, foram aplicados, a priori, para cada análise, testes de

correlação, nos quais foi considerado como critério de corte uma correlação de 55% no mínimo. As espécies presentes na comunidade também foram selecionadas utilizando como critério de inclusão aquelas que apresentaram abundâncias relativas superiores à 2% em pelo menos três estações amostrais ou 5% em uma. O objetivo da CCA é correlacionar a matriz de dados biológicos à matriz de dados ambientais de modo a determinar a diferença entre as estações, campanhas e o efeito das variáveis físico-químicas sobre a estruturação das comunidades. Também foi aplicado testes de Monte Carlo (999 permutações), para determinar quais variáveis são significativas na estruturação.

As transformações, testes e análise de todos os dados foram realizadas com o auxílio *software* R 3.4.0 para Windows (R Core Team, 2017), com os pacotes *vegan* (Oksanen et al., 2017) e *corrplot* (Wei & Simko, 2017).

3.RESULTADOS

3.1. *Dados físicos e químicos*

No período chuvoso (campanha 1), os rios Marau e Serinhaém apresentaram o gradiente de salinidade, como esperado para uma região estuarina, com os maiores valores nas estações sob maior influência marinha (estações 1 e 21) e os menores nas estações próximas à montante dos rios (pontos 10 e 30), enquanto que as estações do rio Sorojó apresentaram oscilações no gradiente de salinidade. No período seco (campanha 2), os três rios apresentaram um gradiente decrescente de salinidade (Figura 2 a,b,c).

O maior gradiente de salinidade foi observado no rio Sorojó, valores entre 0,68 e 38,61 no período chuvoso e entre 10,12 e 35,81 no período seco. O menor gradiente de salinidade foi observado no rio Serinhaém no período chuvoso, com valores entre 23,45 e 35,43.

As temperaturas apresentaram maiores oscilações no período chuvoso, ocorrendo a maior variação no rio Sorojó, com valores entre 25,61°C e 32,22°C. Já, para o período seco, os três rios apresentaram temperaturas variando entre 26°C e 28,5°C (Figura 2 d,e,f).

Os valores de pH, em ambas as campanhas, variaram entre 7 e 8,6, com o maior gradiente observado no rio Sorojó. De modo geral, o pH foi decrescente em direção à montante dos rios, padrão concordante com a salinidade (Figura 3 a,b,c).

Os resultados de saturação de oxigênio dissolvido (OD%) foram maiores no período chuvoso em relação ao período seco, para os três rios estudados. O rio Sorojó apresentou as maiores oscilações nas concentrações no período chuvoso, variando entre 47,6% e 84,5%. No período seco, o rio Serinhaém apresentou as maiores variações, entre 35,4% e 62,5% (Figura 3 d,e,f). As concentrações de OD covariaram com a saturação, com os menores valores registrados em Serinhaém em ambas as campanhas, sendo 3,63 mg.l⁻¹ no período chuvoso e 2,62 mg.l⁻¹ no período seco. O

maior valor registrado na campanha 1 foi no rio Soroj3, 6,64 mg.l⁻¹. J3 na campanha 2, o maior valor ocorreu no rio Serinha3m (4,93 mg.l⁻¹).

As concentra33es de s3lidos totais dissolvidos (STD), em ambas as campanhas, para o rio Serinha3m, apresentaram poucas varia33es, com gradual diminui33o dos seus valores em dire33o 3 montante do rio. No rio Marau, as concentra33es variaram entre 11 e 28, com exce33o da esta33o 9, no per3odo chuvoso, que registrou 76,31 e da esta33o 10, no per3odo seco, que apresentou 6214. No rio Soroj3, no per3odo chuvoso, a esta33o 20 apresentou o menor valor (6,78), enquanto que no per3odo seco, a mesma esta33o registrou o maior valor (8594).

Os resultados do potencial de oxida33o e redu33o (redox) apresentaram padr3es distintos entre as campanhas, com valores positivos no per3odo chuvoso e negativos no per3odo seco para os tr3s rios. No per3odo chuvoso, Marau e Serinha3m apresentaram valores semelhantes, variando entre 20 e 35, enquanto que, Soroj3 apresentou uma amplitude dos valores maior, variando entre 2 e 36. No per3odo seco, Marau apresentou os maiores valores, variando entre -85 e -60, enquanto Soroj3 e Serinha3m apresentaram valores entre -145 e -130 (Figura 4).

As concentra33es de fosfato (PO₄) variaram entre 0 e 3 μmol.l⁻¹ (Figura 5 d,e,f) e as concentra33es de f3sforo total variaram entre 0 e 1,4 μmol.l⁻¹ (Figura 5 a,b,c), em todas as esta33es para ambas os per3odos, sendo maiores no per3odo seco em rela33o ao per3odo chuvoso. As concentra33es de nitrog3nio total variaram de 1,5 μmol.l⁻¹ a 24 μmol.l⁻¹ no per3odo chuvoso e de 20 μmol.l⁻¹ a 60 μmol.l⁻¹, no per3odo seco (Figura 6 a,b,c.). As concentra33es de am3nia (Figura 6 d,e,f) e nitrato (Figura 7 a,b,c) variaram entre 0 e 6 μmol.l⁻¹ e 0 e 12 μmol.l⁻¹, respectivamente, sendo maiores no per3odo chuvoso.

As concentra33es de s3lica foram maiores no per3odo chuvoso em rela33o ao per3odo seco, apresentando um padr3o crescente em dire33o 3 montante dos rios. O maior gradiente 3 observado no per3odo chuvoso para o rio Soroj3, com valores entre 2,67 μmol.l⁻¹ e 63,9 μmol.l⁻¹. No per3odo seco, o maior gradiente 3 observado para o rio Serinha3m, com varia33o entre 1,29 μmol.l⁻¹ e 30 μmol.l⁻¹. Al3m disso, a maior diferen3a nas concentra33es de s3lica entre os per3odos 3 observada em Marau. Em contrapartida, o rio Serinha3m apresentou valores semelhantes em ambas as campanhas (Figura 7 d,e,f).

Todos os rios apresentaram maiores percentuais de areia (média superior a 74%) em ambas as campanhas, variando os percentuais de cascalho e lama em estações pontuais. Para o rio Marau, no período chuvoso, são predominantes percentuais de areia (média superior a 83%) e cascalho (média superior a 14%), enquanto que, para o período seco, areia (média superior a 67%) e lama (média superior a 30%). No rio Sorojó, no período chuvoso, é predominante areia (média superior a 75%), com a estação 14 que apresentou 54,25% de cascalho e as estações 16 e 17 com altos percentuais de lama, 45,27% e 37,64%, respectivamente. É possível observar uma mudança no ponto 18 de Sorojó com relação aos períodos, com um aumento superior a 38% nos percentuais de lama no período seco. Para o rio Serinhaém é possível observar um aumento dos percentuais de cascalho nos pontos 24 e 29 no período seco, aumento superior a 70% e 48%, respectivamente (Figura 8).

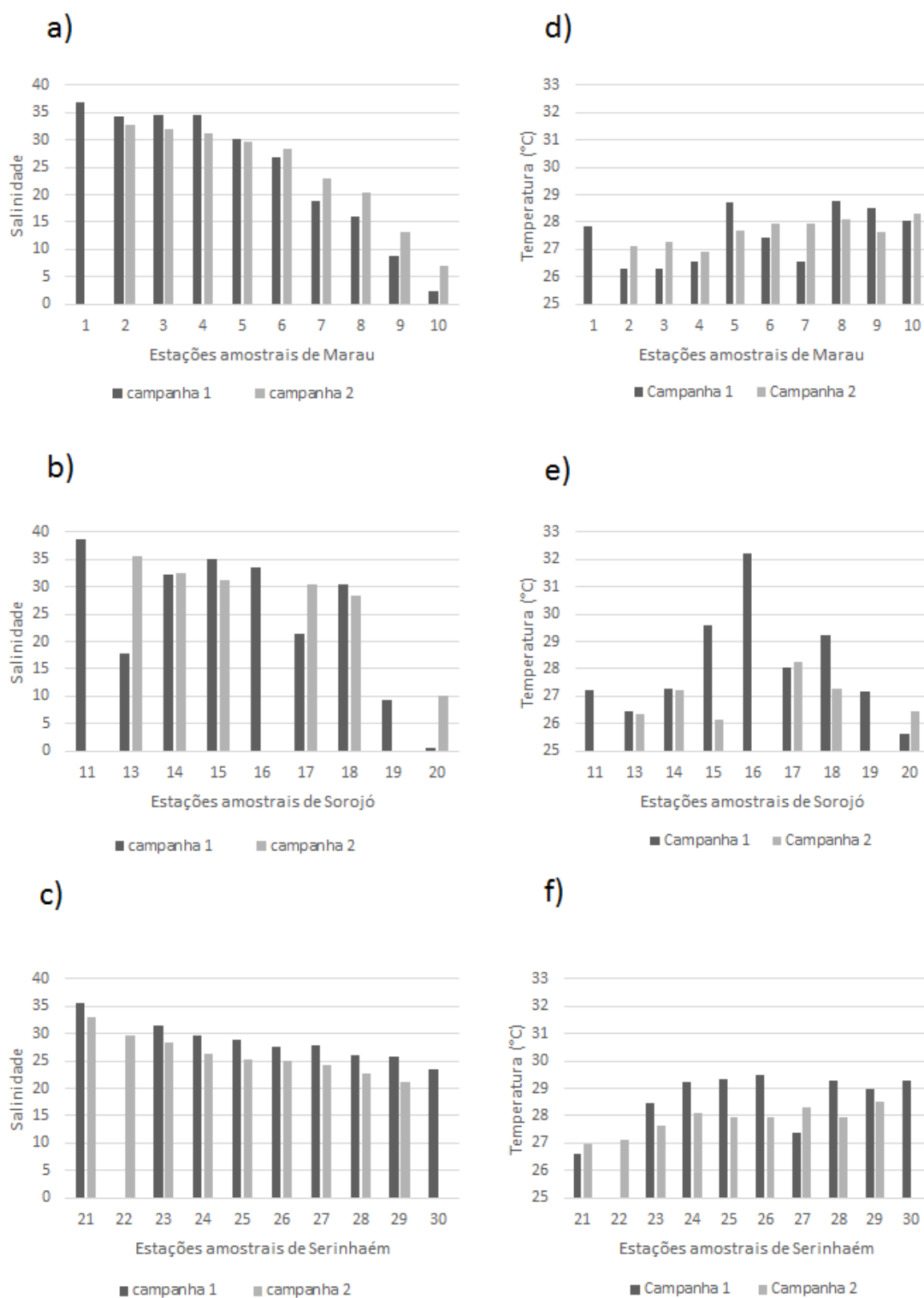


Figura 2. Dados de salinidade (a,b,c) e temperatura (d,e,f) para os três rios estudados nas campanhas 1 (período chuvoso) e 2 (período seco). As estações 1, 11, 16, 19, 22 e 30 apresentam dados apenas para uma das campanhas, pois não foram obtidos dados biológicos.

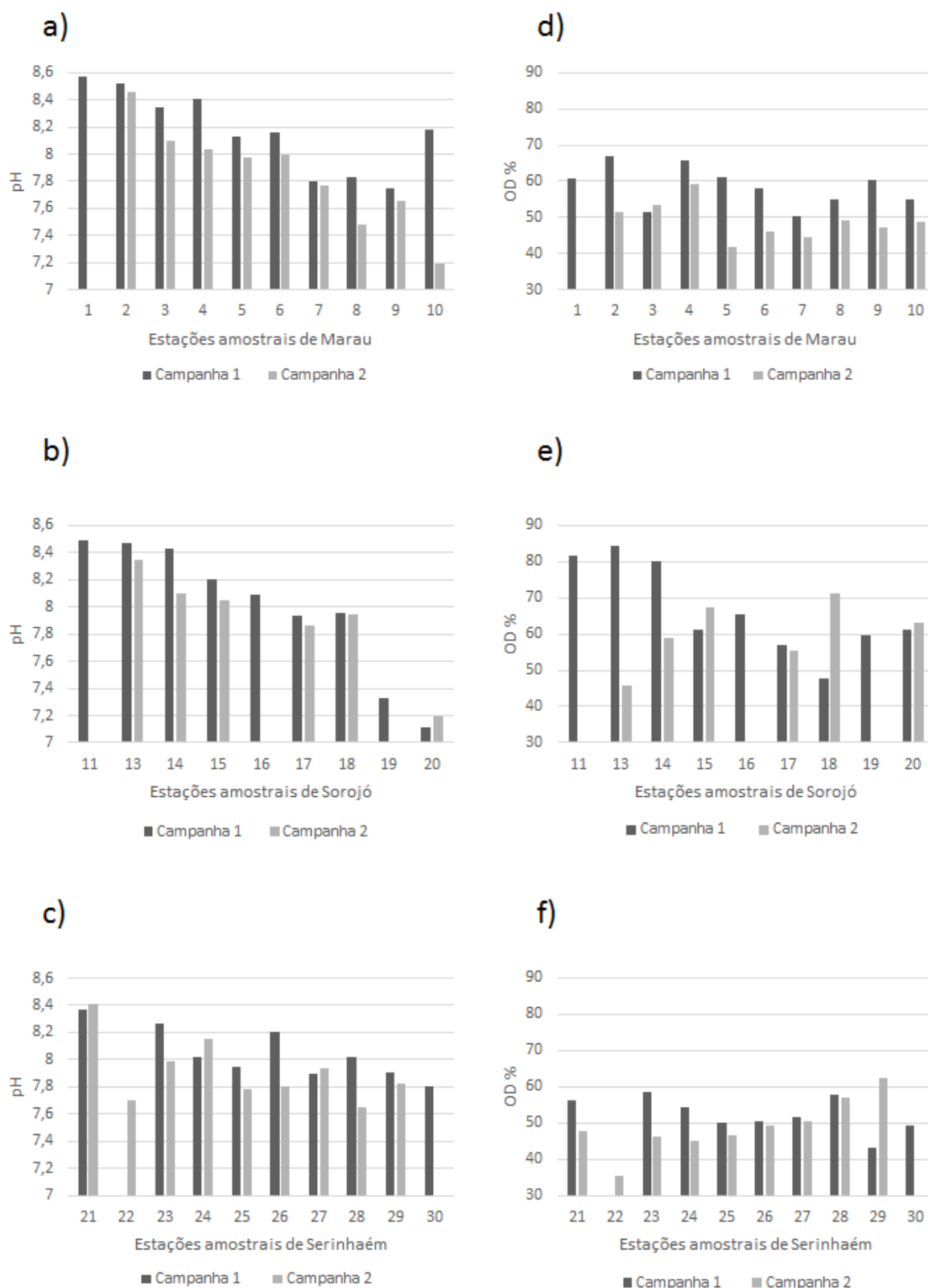


Figura 3. Dados de pH (a,b,c) e saturação de oxigênio dissolvido (OD%) (d,e,f) para os três rios estudados nas campanhas 1 (período chuvoso) e 2 (período seco). As estações 1, 11, 16, 19, 22 e 30 apresentam dados apenas para uma das campanhas, pois não foram obtidos dados biológicos.

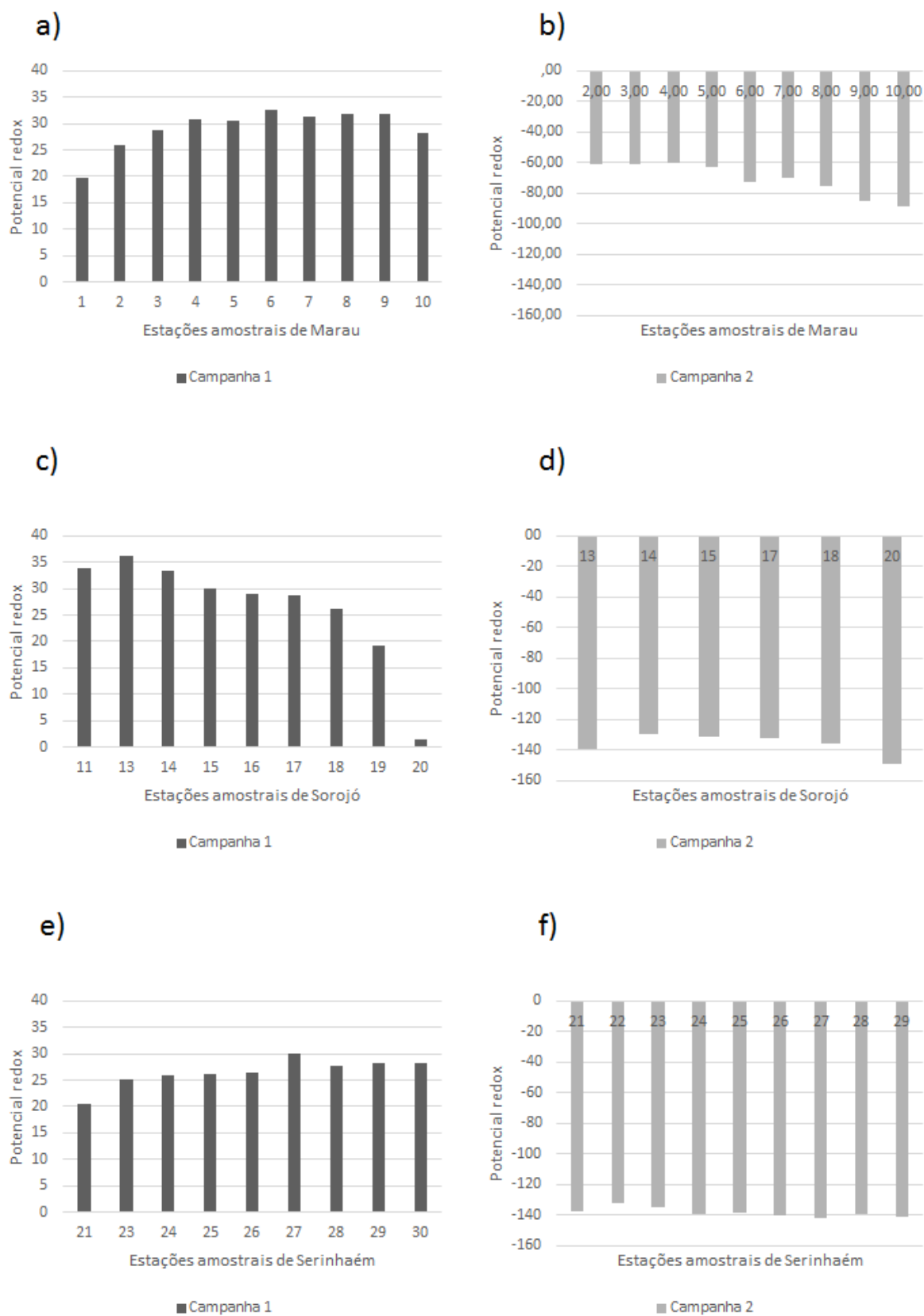


Figura 4. Dados de potencial redox para os três rios estudados nas campanhas 1 (período chuvoso) e 2 (período seco). a,b) Marau; c,d) Sorojó; e,f) Serinhaém. As estações 1, 11, 16, 19, 22 e 30 apresentam dados apenas para uma das campanhas, pois não foram obtidos dados biológicos.

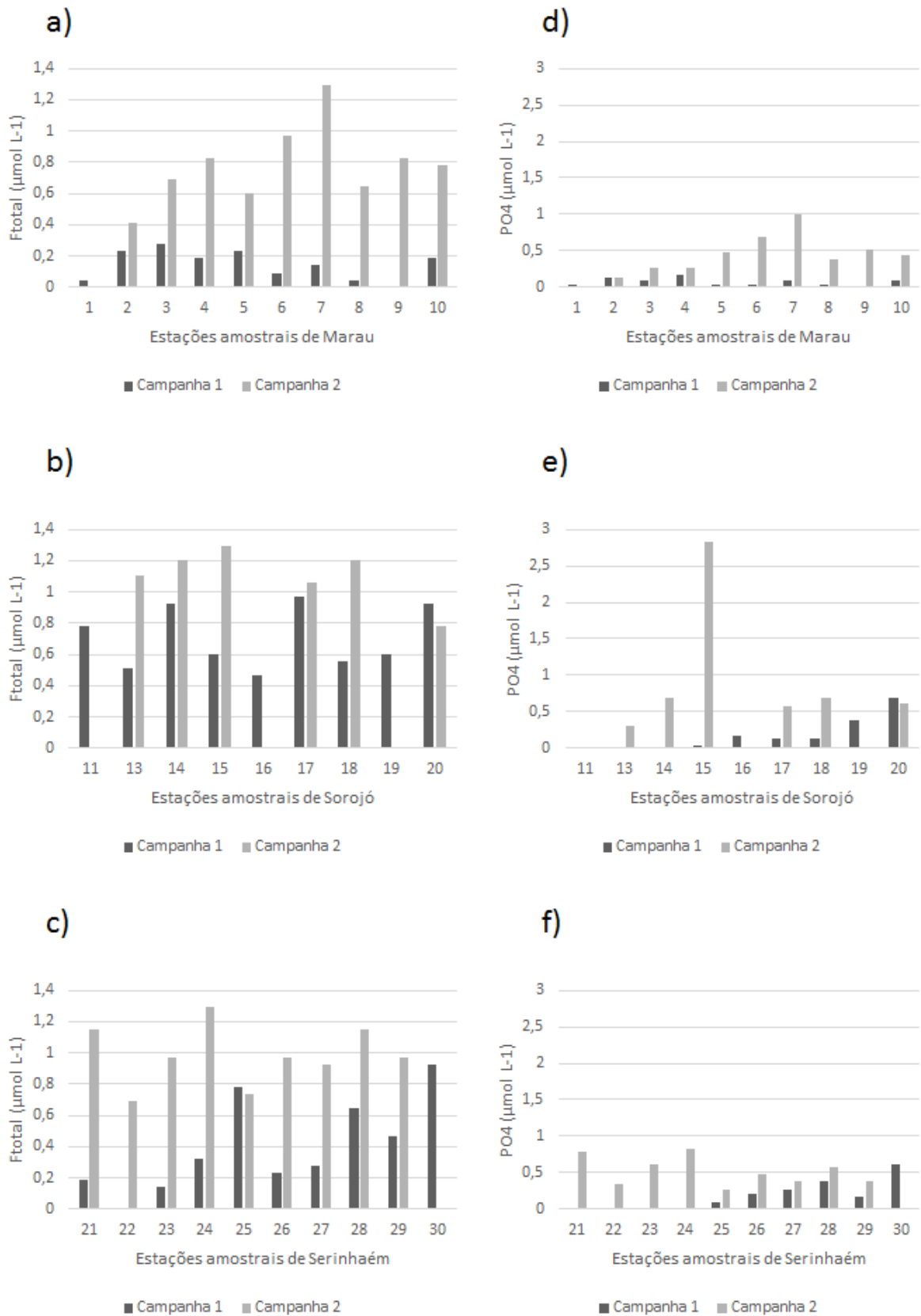


Figura 5. Concentrações de fósforo total (Ftotal) (a,b,c) e fosfato (PO4) (d,e,f) para os três rios estudados nas campanhas 1 (período chuvoso) e 2 (período seco). As estações 1, 11, 16, 19, 22 e 30 apresentam dados apenas para uma das campanhas, pois não foram obtidos dados biológicos.

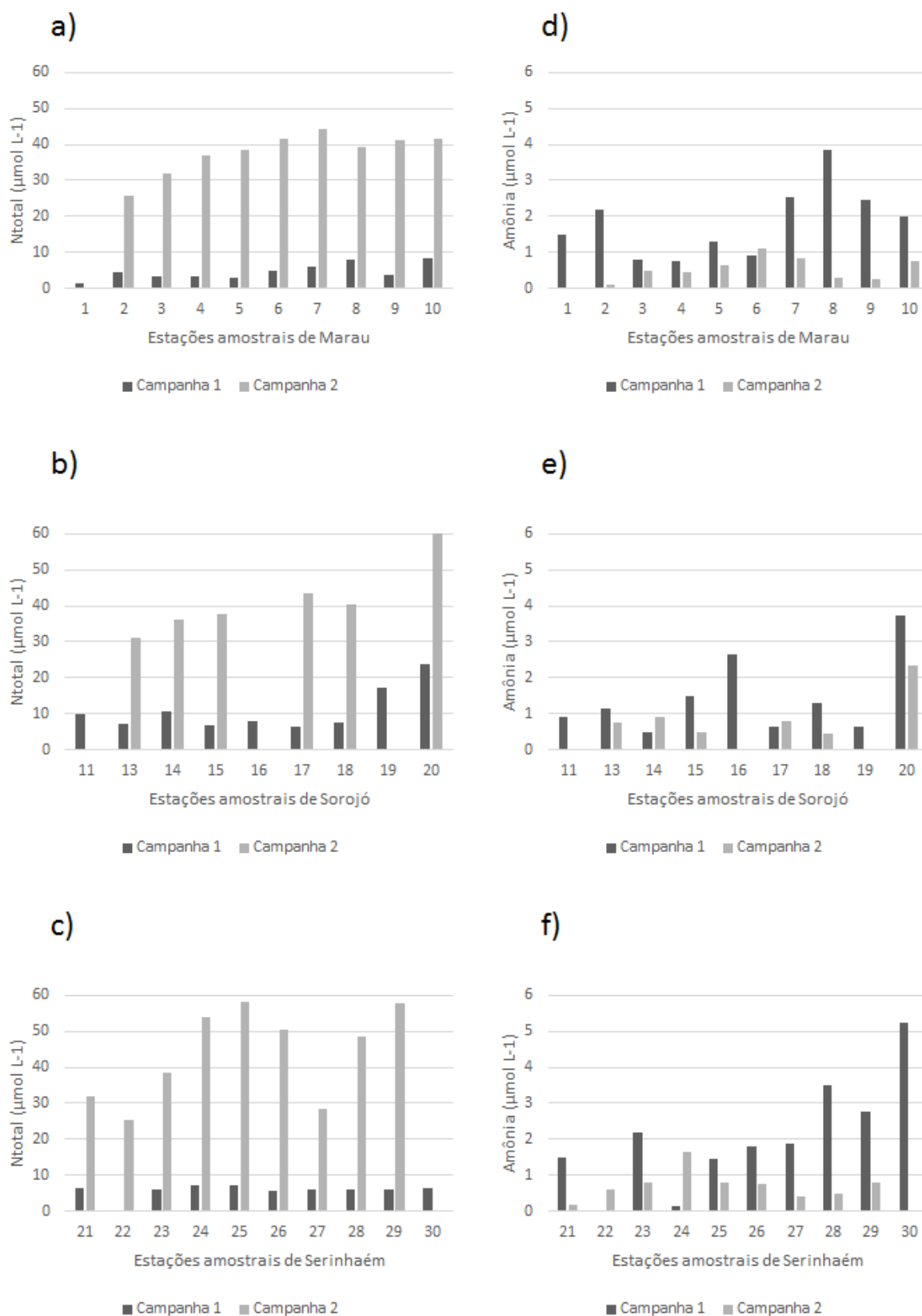


Figura 6. Concentrações de nitrogênio total (Ntotal) (a,b,c) e amônia (d,e,f) para os três rios estudados nas campanhas 1 (período chuvoso) e 2 (período seco). As estações 1, 11, 16, 19, 22 e 30 apresentam dados apenas para uma das campanhas, pois não foram obtidos dados biológicos.

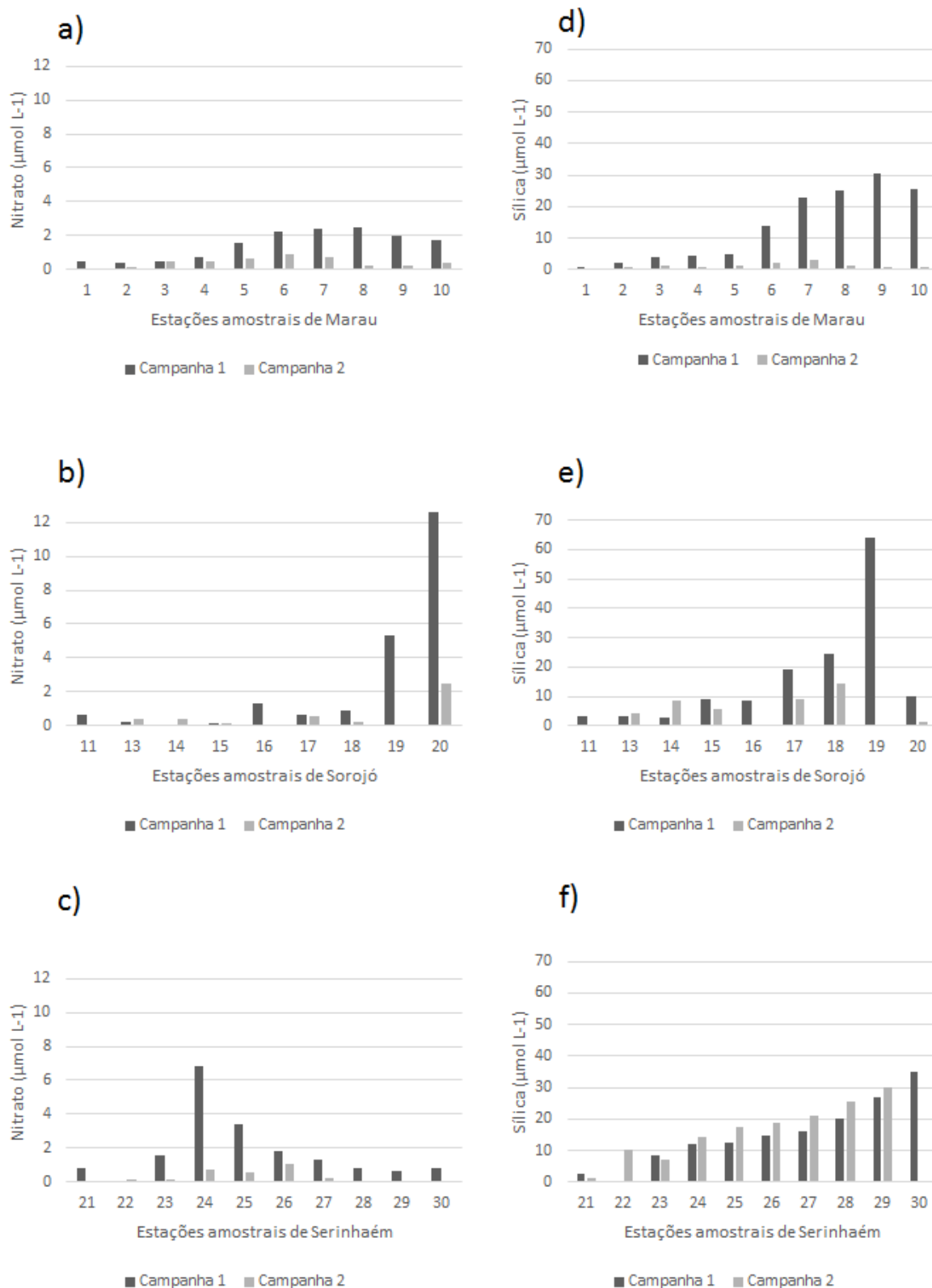


Figura 7. Concentrações de nitrato (a,b,c) e sílica (d,e,f) para os três rios estudados nas campanhas 1 (período chuvoso) e 2 (período seco). As estações 1, 11, 16, 19, 22 e 30 apresentam dados apenas para uma das campanhas, pois não foram obtidos dados biológicos.

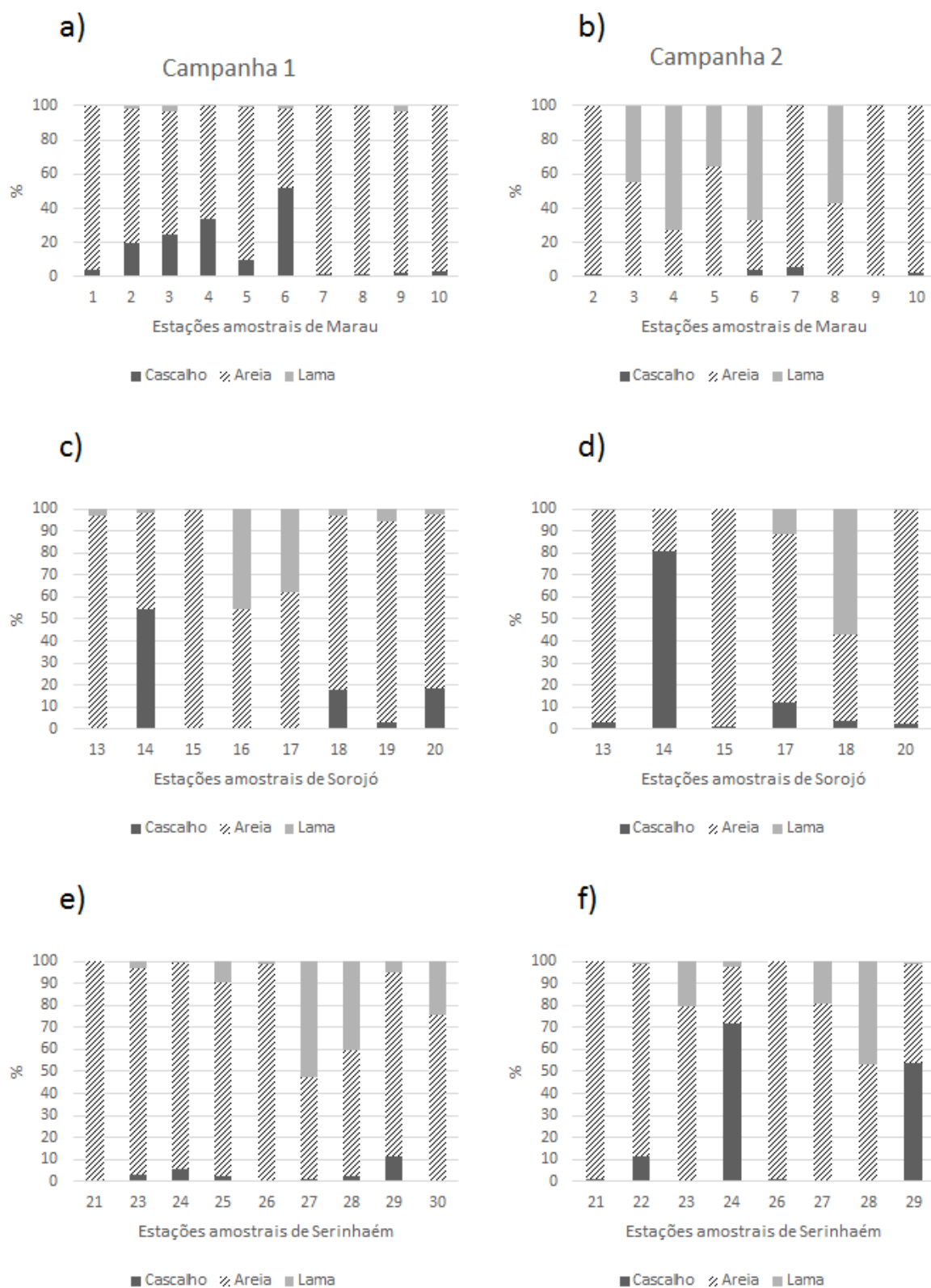


Figura 8. Percentuais de cascalho, areia e lama para as estações amostrais dos três rios estudados nas campanhas 1 (período chuvoso) e 2 (período seco). a,b) Marau; c,d) Sorojó; e,f) Serinhaém. As estações 1, 11, 16, 19, 22 e 30 apresentam dados apenas para uma das campanhas, pois não foram obtidos dados biológicos.

1 Tabela 2. Classificação taxonômica das diatomáceas da baía de Camamu até o nível de gênero (Round et al., 1990).

CLASSE	SUBCLASSE	ORDEM	FAMÍLIA	GÊNERO		
FRAGILARIOPHYCEAE	THALASSIOSIROPHYCIDAE	<i>THALASSIOSIRALES</i>	<i>Thalassiosiraceae</i>	<i>Thalassiosira</i>		
			<i>Stephanodiscaceae</i>	<i>Cyclotella</i>		
	COSCONODISCOPHYCIDAE	<i>MELOSIRALES</i>	<i>PARALIALES</i>	<i>Melosiraceae</i>	<i>Melosira</i>	
				<i>Paraliaceae</i>	<i>Paralia</i>	
				<i>COSCONODISCALES</i>	<i>Cosconodiscaceae</i>	<i>Cosconodiscus</i>
					<i>Hemidiscaceae</i>	<i>Actinocyclus</i>
					<i>Heliopeltaceae</i>	<i>Actinoptychus</i>
					<i>Triceratiaceae</i>	<i>Triceratium</i>
	BIDDULPHIOPHYCIDAE	<i>TRICERATIALES</i>	<i>BIDDULPHIALES</i>	<i>Plagiogrammaceae</i>	<i>Plagiogramma</i>	
					<i>Dimeregramma</i>	
				<i>Biddulphiaceae</i>	<i>Biddulphia</i>	
					<i>Terpsinoe</i>	
		<i>ANAULALES</i>	<i>Anaulaceae</i>	<i>Anaulus</i>		
				<i>Eunotogramma</i>		
		CYMATOSIROPHYCIDAE	CYMATOSIRALES	Cymatosiraceae	<i>Cymatosira</i>	
					<i>Campylosira</i>	
					<i>Plagiogrammopsis</i>	
	CHAETOCEROTOPHYCIDAE	CHAETOCEROTALES	Chaetocerotaceae	<i>Bacteriastrum</i>		
	FRAGILARIOPHYCIDAE	FRAGILARIALES	Fragilariaceae	<i>Fragilaria</i>		
				<i>Staurosirella</i>		
				<i>Tabularia</i>		
				<i>Opephora</i>		
				<i>Trachysphenia</i>		
		LICMOPHORALES	Licmophoraceae	<i>Licmophora</i>		
		RHAPHONEIDALES	Rhaphoneidaceae	<i>Rhaphoneis</i>		
		TOXARIALES	Toxariaceae	<i>Toxarium</i>		
		THALASSIONEMATALES	Thalassionemataceae	<i>Thalassionema</i>		

CLASSE	SUBCLASSE	ORDEM	FAMÍLIA	GÊNERO	
BACILLARIOPHYCEAE	EUNOTIOPHYCIDAE BACILLARIOPHYCIDAE	STRIATELLES	<i>Striatellaceae</i>	<i>Grammatophora</i>	
		EUNOTIALES	<i>Eunotiaceae</i>	<i>Eunotia</i>	
		LYRELLALES	<i>Lyrellaceae</i>	<i>Lyrella</i>	
				<i>Petroneis</i>	
			<i>Mastogloiaceae</i>	<i>Mastogloia</i>	
			<i>Achnanthaceae</i>	<i>Achnanthes</i>	
			<i>Cocconeidaceae</i>	<i>Cocconeis</i>	
				<i>Anorthoneis</i>	
			NAVICULALES	<i>Achnanthidiaceae</i>	<i>Achnanthidium</i>
				<i>Cosmioneidaceae</i>	<i>Cosmioneis</i>
				<i>Amphipleuraceae</i>	<i>Frickea</i>
				<i>Scoliotropidaceae</i>	<i>Biremis</i>
			<i>Sellaphoraceae</i>	<i>Fallacia</i>	
			<i>Pinnulariaceae</i>	<i>Pinnularia</i>	
			<i>Diploneidaceae</i>	<i>Diploneis</i>	
			<i>Naviculaceae</i>	<i>Navicula</i>	
				<i>Trachyneis</i>	
				<i>Seminavis</i>	
			<i>Pleurosigmataceae</i>	<i>Pleurosigma</i>	
				<i>Gyrosigma</i>	
THALASSIOPHYSALES	<i>Catenulaceae</i>	<i>Amphora</i>			
BACILLARIALES	<i>Bacillariaceae</i>	<i>Tryblionella</i>			
		<i>Nitzschia</i>			
		<i>Denticula</i>			
RHOPALODIALES	<i>Rhopalodiaceae</i>	<i>Rhopalodia</i>			
SURIRELLALES	<i>Surirellaceae</i>	<i>Stenopterobia</i>			
		<i>Surirella</i>			

O índice de diversidade de Shannon-Wiener (Figura 9) mostrou que o rio Marau apresenta a maior variação de diversidade entre as estações amostrais, principalmente para o período seco (campanha 2). Os rios Sorojó e Serinhaém apresentam valores semelhantes de diversidade. O teste ANOVA não mostrou diferenças significativas entre os rios ($p=0,0655$).

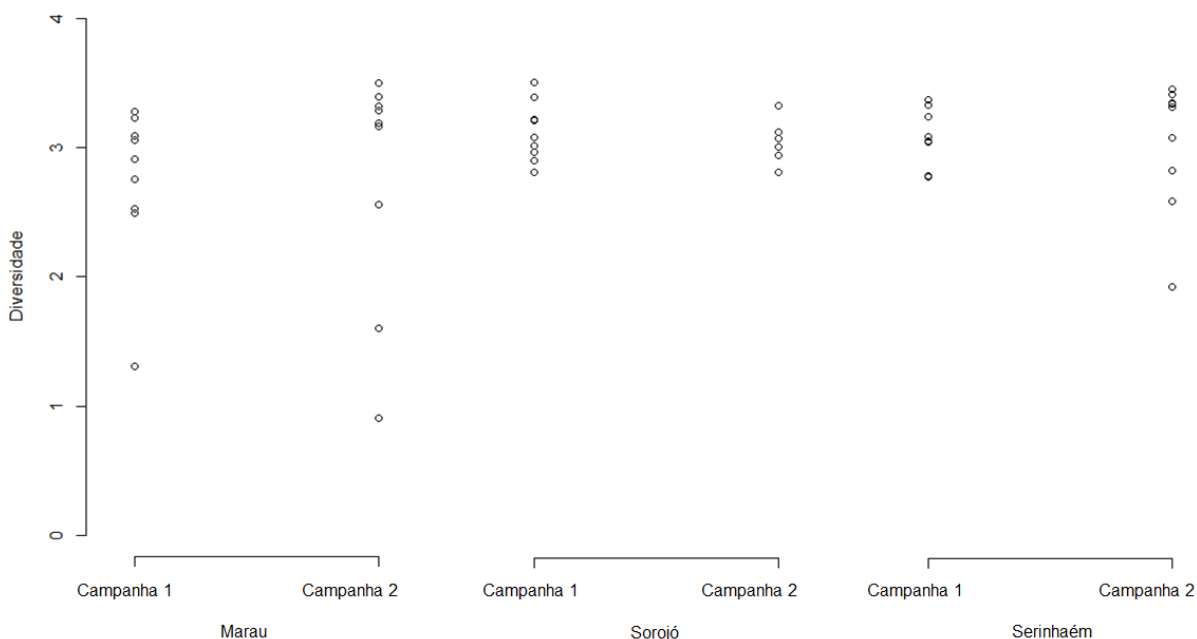


Figura 9. Índice de diversidade de Shannon das espécies para as duas campanhas dos três rios da baía de Camamu.

A partir da análise das regressões lineares é possível observar um aumento da diversidade e riqueza de espécies com o aumento da salinidade (Figura 10) e aumento dos percentuais de lama nos sedimentos da baía de Camamu (Figura 11). É possível observar também uma ampla variação da diversidade e riqueza das espécies nas estações amostrais com percentuais de lama iguais a zero (Figura 11). A regressão não mostra uma correlação significativa da riqueza e da diversidade com os percentuais de saturação de oxigênio dissolvido (Figura 12).

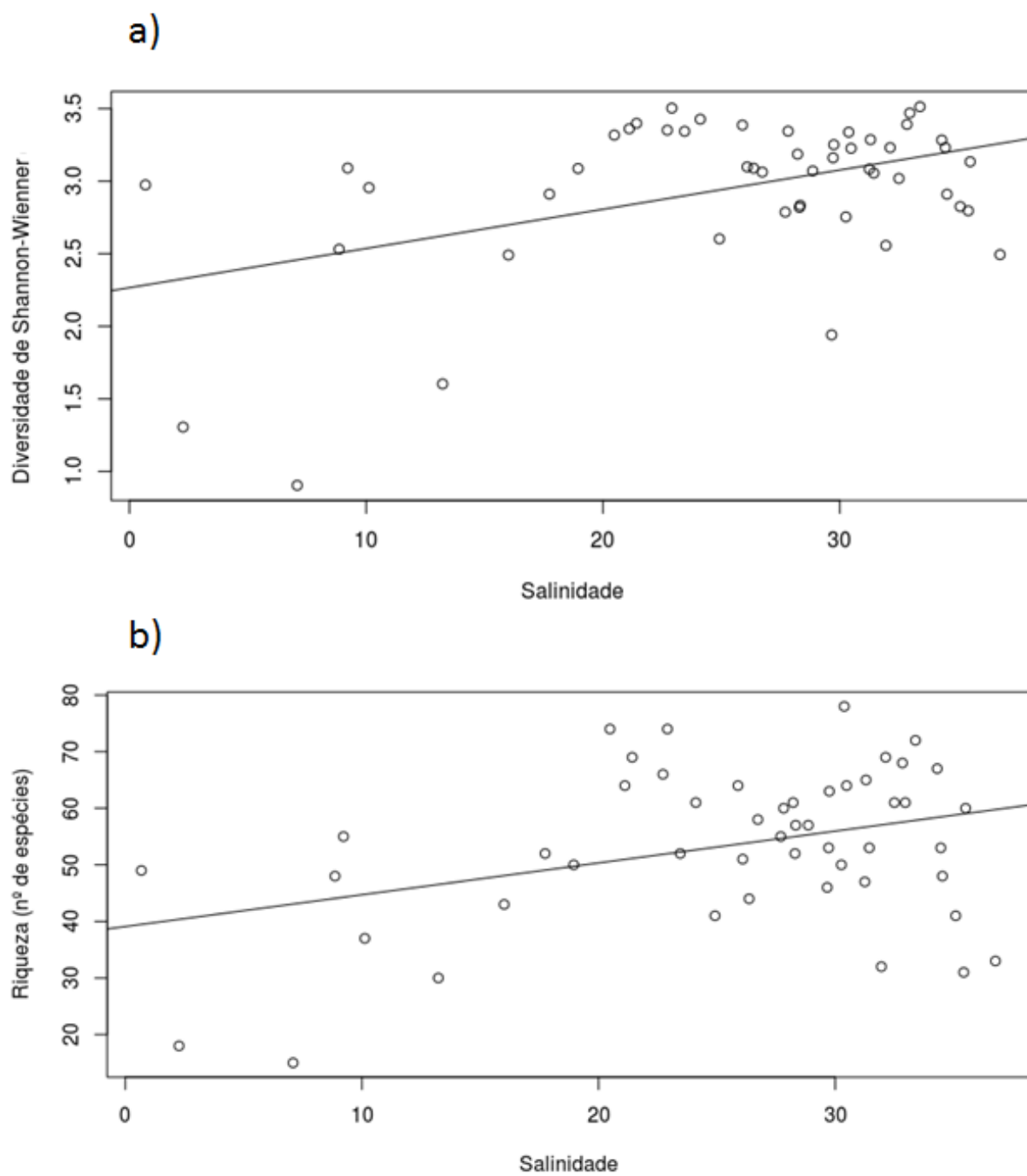


Figura 10. Regressão linear entre a) diversidade (medida pelo índice de Shannon- Wiener) e b) riqueza de espécies com a salinidade para os três rios da baía de Camamu. Valores de p iguais a 0,001 e 0,009, respectivamente.

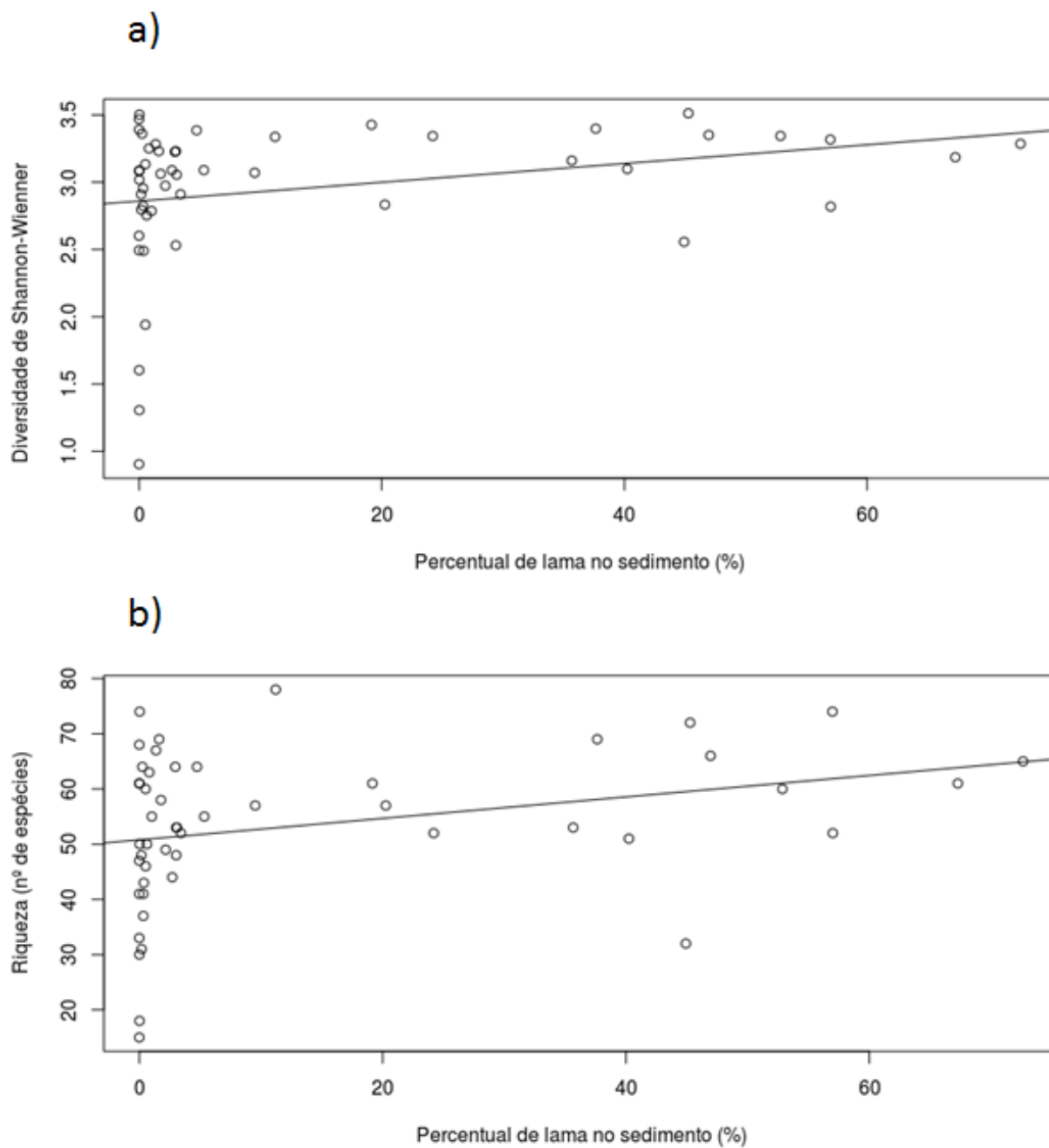


Figura 11. Regressão linear entre a) diversidade (medida pelo índice de Shannon- Wiener) e b) riqueza de espécies com os percentuais de lama nos sedimentos dos três rios da baía de Camamu. Valores de p iguais a 0,053 e 0,036, respectivamente.

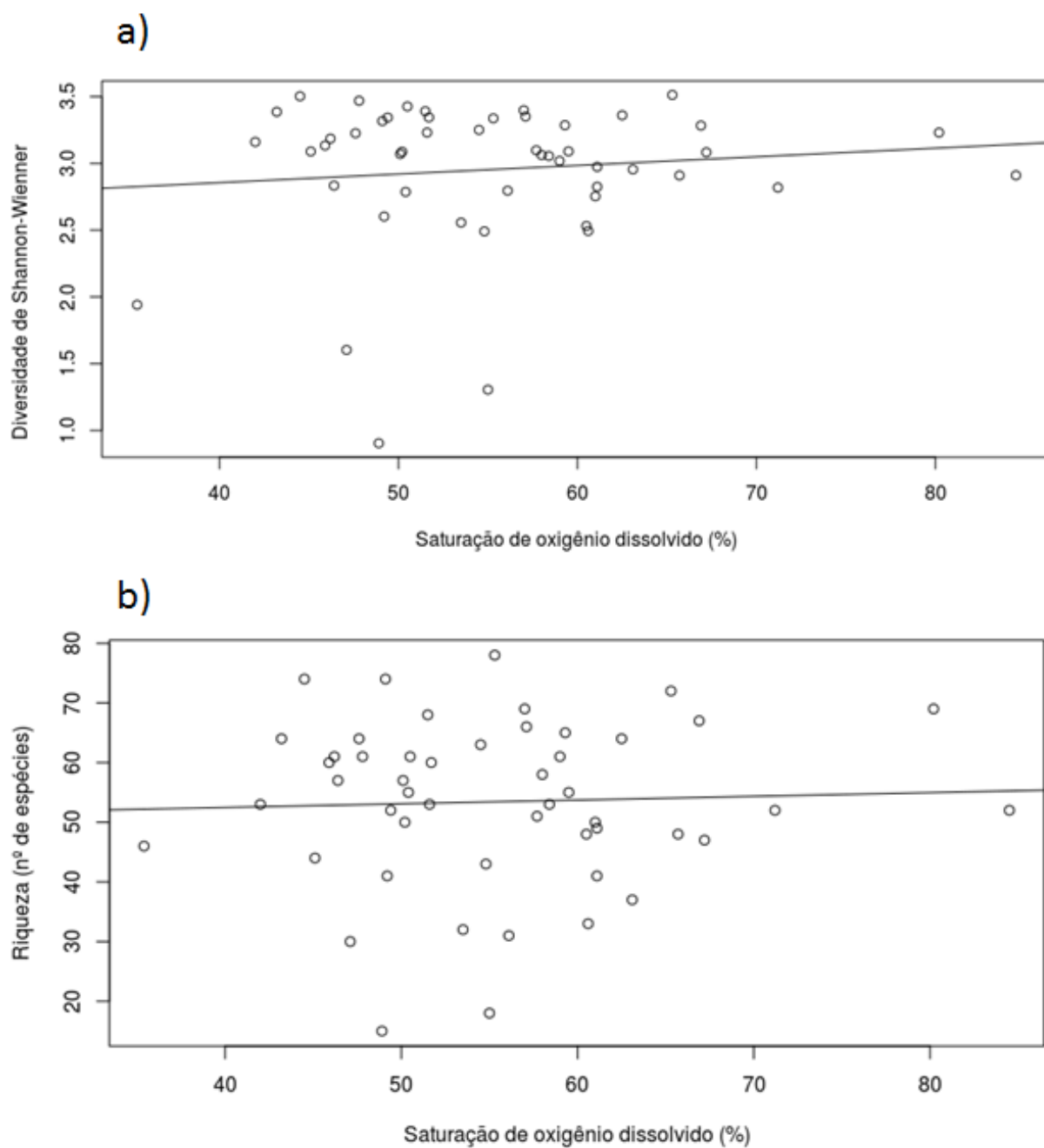


Figura 12. Regressão linear entre a) diversidade (medida pelo índice de Shannon- Wiener) e b) riqueza de espécies com os percentuais de saturação de oxigênio dissolvido para os três rios da baía de Camamu. Valores de p iguais a 0,441 e 0,774, respectivamente.

3.3. Variabilidade da comunidade de diatomáceas em relação às variáveis ambientais

A partir do teste de correlação das variáveis físico-químicas para todos os rios (Figura 13), foi possível observar: uma correlação positiva superior a 55% entre

salinidade, condutividade e pH; uma correlação positiva esperada entre concentração de oxigênio dissolvido (odc) e saturação de oxigênio dissolvido (ods); uma correlação negativa entre o potencial de oxidação e redução (orp) com fósforo total (ft), nitrogênio total (nt) e fosfato (po4); e uma correlação negativa entre areia, cascalho e lama. Foram selecionadas na análise de correspondência canônica: salinidade, pH, profundidade, temperatura, sólidos totais dissolvidos, saturação de oxigênio dissolvido, potencial de oxidação e redução, amônia, nitrato, sílica e areia.

Também foram feitos testes de correlação das variáveis ambientais de cada rio isoladamente (Figura 14), para a seleção das variáveis utilizadas nas CCAs de cada rio. Para Marau, foram selecionadas: salinidade, temperatura, ODS, profundidade, STD, sílica, areia e cascalho. Para Sorojó, foram selecionadas: salinidade, temperatura, ODS, profundidade, ORP, STD, nitrato, fosfato, sílica e areia. Já para Serinhaém, foram selecionadas: salinidade, pH, temperatura, ODS, profundidade, areia e lama.

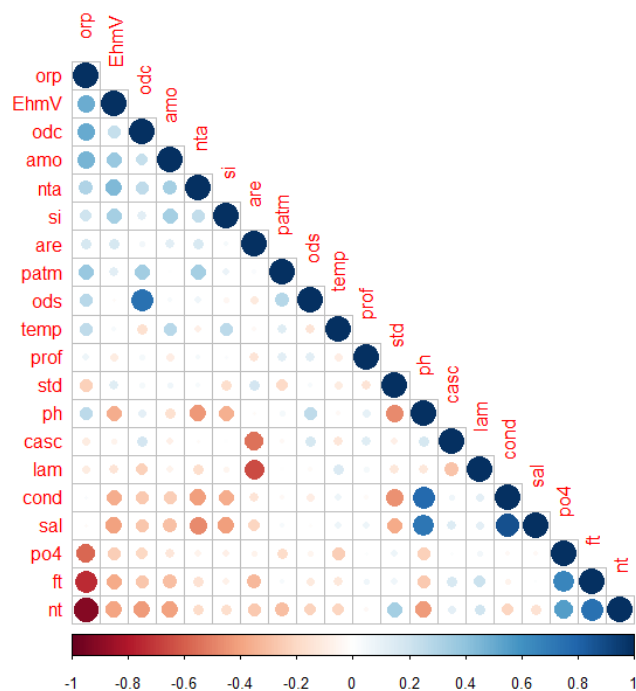


Figura 13. Matriz de correlação das variáveis físico-químicas.

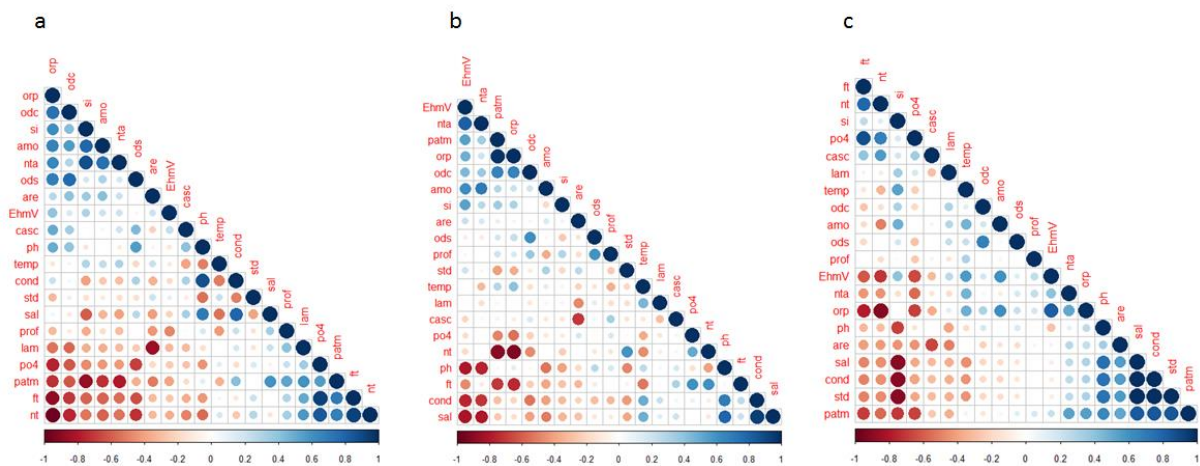


Figura 14. Matriz de correlação das variáveis físico-químicas para cada rio separadamente. a) Marau; b) Sorojó; c) Serinhaém.

O primeiro e segundo eixos da CCA explicaram, juntos, 20% da variação, quando analisados os três rios numa mesma matriz (Figura 15). De maneira geral, é possível observar uma distribuição da maioria das amostras ao longo do eixo 2, associada à saturação de oxigênio dissolvido, potencial redox, profundidade e temperatura, com exceção das estações 9 e 10 de Marau, em ambos os períodos, que estiveram mais associadas ao eixo 1, negativamente correlacionadas com a salinidade e pH. Também é possível observar que as amostras 20, de ambas as campanhas de Sorojó, tiveram mais correlação com nitrato e amônia.

A CCA (Figura 15) mostrou uma correlação negativa das espécies *Cocconeis placentula* (D12), *Cocconeis sp* (X528) e *Fallacia pseudony* (X36) com a salinidade. Além disso, foram positivamente correlacionadas com STD. As espécies *Plagiogrammopsis vanheurckii* (D4) e *Tabularia waernii* (D8) foram correlacionadas com ODS e ORP. A maioria das espécies se concentraram no centro da ordenação, sendo pouco afetadas pelas variáveis ambientais.

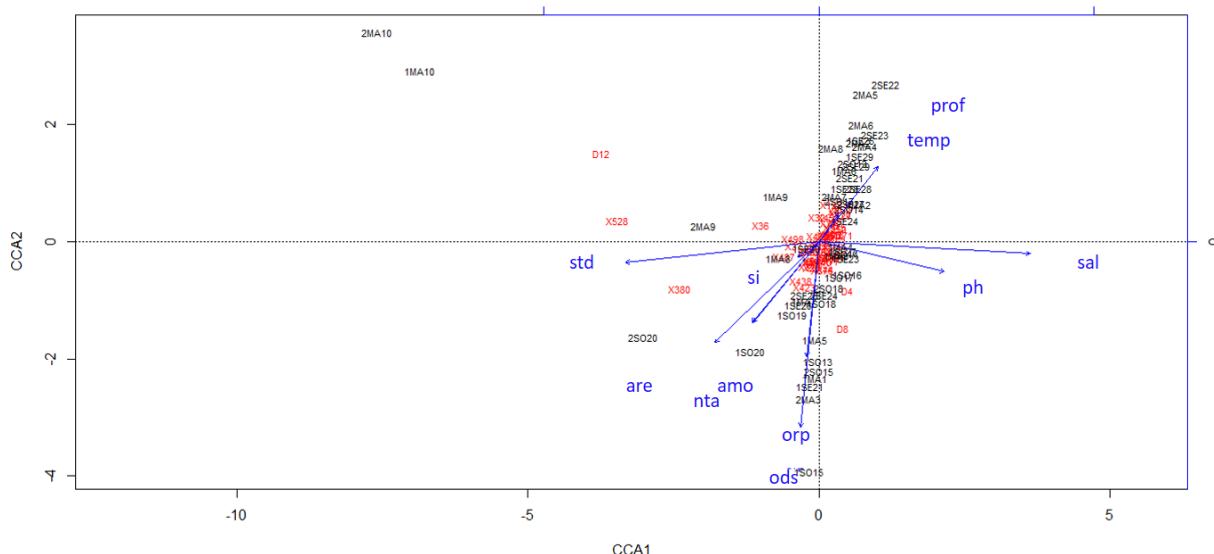


Figura 15. Diagrama de ordenação CCA para os três rios da baía de Camamu e variáveis ambientais (salinidade, pH, profundidade, temperatura, STD, ODS, ORP, amônia, nitrato, sílica e areia). Vermelho (espécies); preto (amostras).

O teste de permutação revelou um efeito significativo para o primeiro ($p=0,002$) e segundo ($p=0,001$) eixos da CCA para os três rios. Quando aplicado para cada variável (Tabela 3), mostra efeito significativo da salinidade, saturação de oxigênio dissolvido, sólidos totais dissolvidos e potencial de oxidação e redução.

Tabela 3. Teste de permutação para cada variável selecionada na CCA para os três rios numa mesma matriz de dados. Os valores em negrito indicam que são estatisticamente significativos.

Variáveis	P
Amônia	0.361
Areia	0.086
Nitrato	0.507
ODS	0.008
ORP	0.010
pH	0.091
Profundidade	0.122
Salinidade	0.001
Sílica	0.418
STD	0.004
Temperatura	0.081

Quando realizadas as ordenações para os rios separadamente (Figuras 16, 17 e 18), apenas a CCA para o rio Marau foi significativa ($p=0,014$). Os testes para Sorojô e Serinhaém não foram significativos, com valores de p iguais a 0,186 e 0,794, respectivamente.

A CCA para o rio Marau (Figura 16) mostrou uma distribuição das espécies e das amostras ao longo do eixo 2, sendo que as variáveis profundidade e potencial redox foram determinantes. No eixo 1, as variáveis determinantes foram salinidade e STD, inversamente proporcionais. Os dois eixos da CCA explicaram, juntos, 39% da variância.

Quando aplicado o teste de permutação para cada variável, salinidade foi a única variável estruturante da comunidade de diatomáceas do rio Marau ($p=0,001$). A profundidade pode ser considerada marginalmente significativa ($p=0,078$) na estruturação.

Apesar das ordenações de Sorojó (Figura 17) e Serinhaém (Figura 18) não terem sido significativas, estão aqui representadas para uma visualização das diferenças nas estruturações das comunidades.

Vale ressaltar que os baixos percentuais explicados pelos eixos da CCA são comuns nesse tipo de análise, no qual utiliza-se uma matriz de dados rica em espécies com muitos zeros (Ter Braak, 1986).

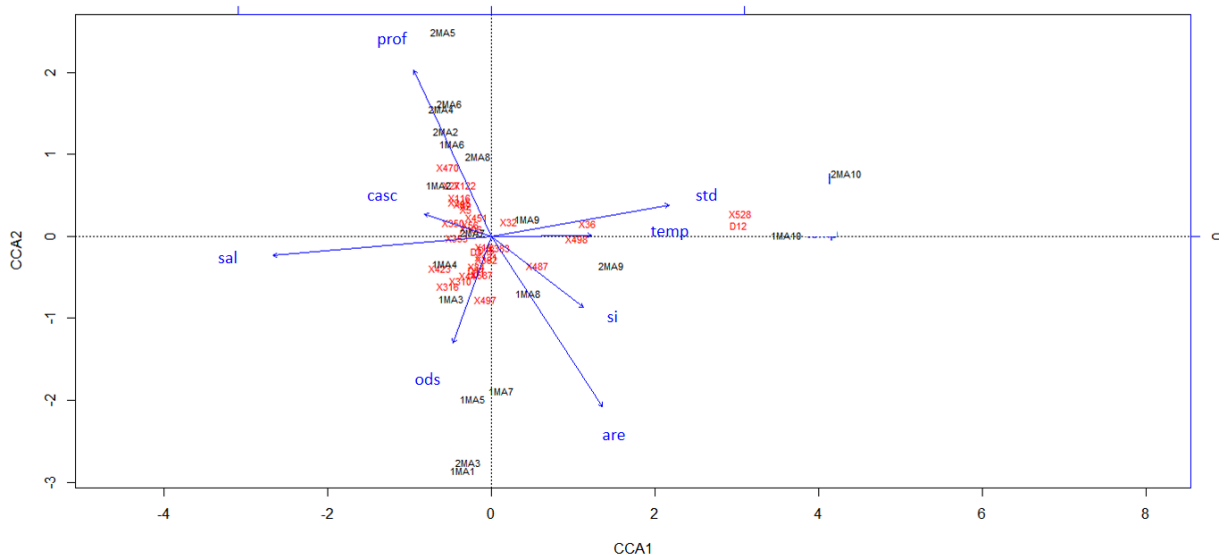


Figura 16. Diagrama de ordenação CCA para o rio Marau e variáveis ambientais (salinidade, temperatura, ODS, profundidade, STD, sílica, areia e cascalho). Vermelho (espécies); preto (amostras).

4.DISSCUSSÃO

4.1. Variabilidade ambiental

Os períodos chuvoso e seco são característicos e determinantes nesse estudo, uma vez que a descarga de água doce está intimamente relacionada aos padrões de precipitação. A variabilidade na descarga do rio causa mudanças no regime sedimentar, na salinidade e, conseqüentemente, na estrutura das comunidades biológica dos sistemas estuarinos (Zong *et al.*, 2010). Além disso, os ciclos diurnos de maré e as misturas das águas superficiais dos rios, canais e estuários da região determinam os fluxos salinos.

Do ponto de vista espacial, as variações de salinidade e pH ocorreram correlacionadas, ou seja, a medida que a salinidade diminui o pH diminui proporcionalmente, possivelmente associados às oscilações nos ciclos de maré e fluxo dos rios. O pH alcalino (variando entre 7 e 8,6) registrado para todas as estações amostrais da baía de Camamu é típico para ambientes estuarinos que sofrem efeito do aporte continental e marinho. Esses valores podem estar associados à decomposição da matéria orgânica, uma vez que o pH da água influencia na solubilidade de constituintes químicos e na disponibilidade biológica de nutrientes (fósforo, nitrogênio e carbono), influenciando na produtividade e decomposição (Manzoli *et al.*, 2011).

Os teores de saturação de oxigênio dissolvido também apresentaram variações espaciais, provavelmente associados: ao balanço entre a produção por processos fotossintéticos e consumo por processos de decomposição da matéria orgânica (Manzoli *et al.*, 2011); e às trocas gasosas com a atmosfera, devido a movimentação das águas pelo vento e a pouca profundidade, resultando em maior disponibilidade de OD (Attisano, 2007). Os baixos percentuais de oxigênio dissolvido, inferiores a 60% na maioria das estações amostrais, são indicativos do predomínio da decomposição da matéria orgânica.

Do ponto de vista temporal, a clara diferença observada nos valores do potencial redox é indicativa de condições oxidantes no período chuvoso e condições

redutoras no período seco (Day, 1989). Carreira et al. (2016) também analisou o potencial redox nos sedimentos superficiais da baía de Camamu, registrando valores positivos e negativos variando espacialmente, porém não analisou essa variação temporalmente.

As concentrações de nutrientes apresentaram variações entre os períodos, principalmente de nitrogênio total e fósforo total. Segundo Day (1989), os padrões sazonais dos nutrientes ocorrem em função do balanço relativo entre a captação pelo fitoplâncton e regeneração bentônica. As maiores concentrações de nutrientes observadas na estação seca, devem-se, provavelmente, à menor diluição pelos fluxos de água doce (Gang et al., 2014).

A granulometria, com predominância de areia, observada nesse estudo, corrobora os dados de Hatje et al. (2008) e Carreira et al. (2016) para a região de Camamu. Carreira et al. (2016) também registrou exceções em pontos localizados próximos aos rios e na região mais central da baía, conforme observado nesse estudo. Além disso, foram registradas mudanças nos percentuais de cascalho e lama entre os períodos chuvoso e seco, associadas com mudanças na hidrodinâmica local.

O rio Sorojó apresentou as maiores oscilações para as variáveis ambientais analisadas, principalmente no período chuvoso, e isso pode estar associado a mudança no sentido da coleta, iniciada na maré vazia na estação mais a montante do rio, não sendo influenciada pelo fluxo de maré. Além disso, a posição central desse estuário possibilita forte influência das correntes de maré, boa circulação e mistura (Amorim, 2005).

4.2. Efeitos sobre a diatomoflórula

Como observado na ordenação da CCA, as espécies dominantes na baía de Camamu (e.g., *Cymatosira belgica*, *Cyclotella striata* e *Navicula spp*) não sofrem efeitos notáveis das variáveis ambientais analisadas, o que, provavelmente, deve-se às suas amplas tolerâncias ecológicas, situação comum em ecossistemas estuarinos onde a salinidade e as concentrações de nutrientes são bastante variáveis (Wachnicka et al., 2011). Segundo Hatin et al. (2017), a espécie *Cyclotella striata* é

característica de ambiente salobro, caracterizado por elevada variação da salinidade. Santos-Fischer *et al.* (2016) afirmam que a espécie *Cymatosira belgica* é considerada eurihalina (tolerantes à larga faixa de salinidade) de ambiente marinho-salobro. De acordo com Dalu *et al.* (2017), o gênero *Navicula* apresenta amplas tolerâncias ecológicas, inclusive à poluição associada a impactos antropogênicos.

As espécies *Thalassionema nitzchioides* e *Paralia sulcata* também estiveram centralizadas na ordenação da CCA, dominando as comunidades de diatomáceas da baía de Camamu, sofrendo pouca influência das variáveis ambientais. Segundo Di *et al.*, (2013), a espécie *Paralia sulcata* é considerada indicadora de eutrofização. Hatin *et al.* (2017) classificaram a espécie *Thalassionema nitzchioides* como diatomácea de ambiente eutrófico, que prospera em ambientes com altas concentrações de sílica e alta taxa de reabastecimento de nutrientes.

O enriquecimento de nutrientes em algumas estações amostrais pode ser evidenciado também pela ocorrência da espécie *Cocconeis placentula* apenas nas estações 9 e 10 do rio Marau, sendo indicadora de baixa salinidade e elevadas concentrações de nutrientes, como evidenciado por Wachnicka *et al.* (2011), que também observaram a relação da espécie *Tabularia waernii* com o enriquecimento de nutrientes, sendo comumente encontrada em manguezais. *Plagiogrammopsis vanheurkii*, neste estudo, esteve correlacionada com ORP e ODS, respondendo as concentrações de nutrientes e saturação de oxigênio dissolvido, no entanto, segundo Juneau *et al.* (2015), essa espécie é típica de ambientes com uma mistura de sedimentos lamosos e arenosos, sendo a baía de Camamu favorável a sua ocorrência, visto que, de maneira geral, apresentou esse tipo de granulometria.

Segundo Dalu *et al.* (2017), as concentrações de nutrientes, juntamente com a entrada de esgoto e os fluxos de água afetam os níveis de OD, temperatura e turbidez, tendo efeitos significativos nas comunidades de diatomáceas, visto que diferentes espécies de diatomáceas em uma determinada comunidade respondem de forma diferente ao enriquecimento de nutrientes e alterações hidromorfológicas (Bere *et al.*, 2016). Nesse estudo, pelo fato dos nutrientes estarem muito correlacionados com potencial redox, eles podem estar influenciando conjuntamente, apesar de não terem sido significativos isoladamente.

O potencial redox é dependente da periodicidade das trocas de água e da taxa de consumo de oxigênio e decomposição da matéria orgânica (Bianchi, 2007), sendo significativamente correlacionado com a variabilidade estrutural da comunidade de diatomáceas nos rios estudados. Chen *et al.* (2016) também registraram a importância do potencial redox na distribuição das diatomáceas, uma vez que influencia na atividade microbiana, sendo baixo potencial redox indicativo de um pobre caráter decompositor da matéria orgânica (baixa atividade eletrônica).

As variações nos teores de saturação de oxigênio dissolvido também são significativas na estruturação das comunidades. Segundo Bichoff (2016) as diatomáceas são favorecidas por maiores concentrações de oxigênio dissolvido. Dalu *et al.* (2017) afirmam que a concentração de OD é o preditor mais forte na riqueza de espécies, o que não se observa neste estudo na baía de Camamu, na qual a riqueza esteve mais correlacionada, proporcionalmente, com a salinidade e os percentuais de lama.

De acordo com Liu *et al.* (2015), o tamanho do grão é um fator importante na preservação das diatomáceas nos sedimentos, sendo que os mais finos tendem a favorecer a preservação. O fato da riqueza e diversidade terem variado nas estações amostrais nas quais os percentuais de lama tenderam a zero, possivelmente está relacionado com as variações de areia fina, areia grossa e cascalho, sendo as menores riquezas e diversidades associadas aos sedimentos mais grossos.

A salinidade apresenta elevada significância na estruturação da comunidade, relacionada às descargas fluviais, principalmente para o rio Marau, associada às estações 9 e 10, com menor salinidade sendo responsável pela diminuição da riqueza e diversidade. Segundo Schröder *et al.* (2015), a salinidade é considerada uma das variáveis mais importantes na influência das assembleias biológicas. Zong *et al.* (2010) em seu estudo no estuário do rio Pearl, registrou a salinidade como a variável mais significativa na estruturação da comunidade de diatomáceas. Para a baía de Camamu, as variações de salinidade são responsáveis pela dominância de espécies de ambiente marinho-salobro, com amplas tolerâncias ambientais.

Vale ressaltar que, embora esse estudo tenha mostrado significância da salinidade, saturação de oxigênio dissolvido, potencial redox e sólidos totais dissolvidos, nenhuma variável atua sozinha na estruturação da comunidade de

diatomáceas na baía de Camamu, mas sim a correlação das variáveis físico-químicas, associadas à dinâmica estuarina, são determinantes. Segundo Dalu et al. (2016) a covariância dos gradientes ambientais em estuários dificulta a determinação de qual variável as espécies estão respondendo primariamente (Dalu *et al.*, 2016), podendo ocultar a influência de outras variáveis.

5.CONCLUSÃO

A salinidade, a saturação de oxigênio dissolvido, o potencial de oxidação e redução e as concentrações de sólidos totais dissolvidos são as variáveis responsáveis pela estruturação das comunidades de diatomáceas encontradas nos sedimentos superficiais nos três principais tributários da baía de Camamu.

Foram registradas 182 espécies, das quais 15 foram dominantes, sendo estas *Thalassionema nitzchioides*, *Psammococconeis brasiliensis*, *Cymatosira belgica*, *Paralia sulcata*, *Diploneis sp*, *Navicula spp* (3), *Fallacia spp* (3), *Amphora spp* (2), *Achnantheidium sp* e *Cyclotella striata*. As espécies mais abundantes registradas na baía de Camamu são típicas de ambientes marinho-salobro e estuarino, tolerantes às flutuações de salinidade e nutrientes.

A riqueza e diversidade de espécies da baía de Camamu apresentaram grande variação entre as estações amostrais, associadas às variações de salinidade e do tipo de granulometria dos sedimentos analisados, sendo maiores nas estações mais marinhas e nas estações com predominância de sedimentos mais finos.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, F.N.; Caracterização oceanográfica da Baía de Camamu e adjacências e mapeamento das áreas de risco à derrames de óleo. 2005. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, 170p.
- ATTISANO, K.K.; A oceanografia química e os processos oceanográficos presentes na plataforma continental das regiões de Santa Marta (SC) e Albardão (RS). Dissertação de mestrado da Universidade Federal do Rio Grande. 2007.
- BALDI, F.; FACCA, C.; MARCHETTO, D.; NGUYEN, T.N.M.; Diatom quantification and their distribution with salinity brines in coastal sediments of Terra Nova Bay (Antactica). *Marine Environmental Research* 71 (2011) 304-311.
- BARBER, H.G.; HAWORTH, E.Y.; A guide to the morphology of the diatom frustule. *Freshwater Biological Association Scientific Publication No.44*. 1981.
- BATTARBEE, R.W.; JONES, V.J., FLOWER, R.J.; CAMERON, N.G.; BENNION, H.; CARVALHO, L.; JUGGINS, S.; 2001. Diatoms. In: Smol, J.P., Birks, H.J., Last, W.M. (Eds.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments*, v.3: Terrestrial, Algal and Siliceous Indicators. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, pp. 155–202.
- BERE, T.; MANGADZE, T.; MWEDZI, T.; Variation partitioning of diatom species data matrices: Understanding the influence of multiple factors on benthic diatom communities in tropical streams. *Science of the Total Environment* 566–567 (2016) 1604–1613.
- BERE, T.; TUNDISI, J.G.; Epipsammic diatoms in streams influenced by urban pollution, São Carlos, SP, Brazil. *Braz. J. Biol.*, 2010, vol. 70, no. 4, p. 921-930.
- BIANCHI, T.S.; *Biogeochemistry of Estuaries*. 2007 by Oxford University Press, Inc.
- BICHOFF, A.; OSÓRIO, N.C.; DUNCK, B.; RODRIGUES, L.; Periphytic algae in a floodplain lake and river under low water conditions. *Biota Neotropica* 16(3): e20160159, 2016.
- CARREIRA, R.S.; CORDEIRO, L.G.M.S.; BERNARDES, M.C.; HATJE, V.; Distribution and characterization of organic matter using lipid biomarkers: A case study in a pristine tropical bay in NE Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 168 (2016) 1-9.
- CHEN, X.; BU, Z.; STEVENSON, M.A.; CAO, Y.; ZENG, L.; QIN, B.; Variations in diatom communities at genus and species levels in peatlands (central China) linked to microhabitats and environmental factors. *Science of the Total Environment* 568 (2016) 137–146.
- CLARKE, K.R. & WARWICK, R.M.; 2001. *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*, 2nd edition. PRIMER-E:Plymouth.

- DALU, T.; RICHOUX, N.B.; FRONEMAN, P.W.; Distribution of benthic diatom communities in a permanently open temperate estuary in relation to physico-chemical variables. *South African Journal of Botany* 107 (2016) 31–38.
- DALU, T.; WASSERMAN, R.J.; MAGORO, M.L.; MWEDZI, T.; FRONEMAN, P.W.; A, WEYL, O.L.F.; Variation partitioning of benthic diatom community matrices: Effects of multiple variables on benthic diatom communities in an Austral temperate river system. *Science of the Total Environment* 601–602 (2017) 73–82.
- DAY, J.W.; HALL, C.A.S.; KEMP, W.M.; YANEZ-ARANCIBIA, A.; *Estuarine ecology*. 1989 by John Wiley & Sons, Inc.
- DI, B.; LIU, D.; WANG, Y.; DONG, Z.; LI, X.; SHI, Y.; Diatom and silicoflagellate assemblages in modern surface sediments associated with human activity: a case study in Sishili Bay, China. *Ecological Indicators* 24 (2013) 23-30.
- GANG, L.; QIANG, L.; JUNDA, L.; XINGYU, S.; YEHUI, T.; LIANGMIN, H.; Environmental gradients regulate the spatial variations of phytoplankton biomass and Community structure in surface water of the Pearl River estuary. *Acta. Ecologica Sinica* 34 (2014) 129-133.
- HATIN, T.; CROSTA, X.; LE HÉRISSE, A.; DROZ, L.; MARSSET, T.; Diatom response to oceanographic and climatic changes in the Congo fan area, equatorial Atlantic Ocean, during the last 190 ka BP. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 469 (2017) 47-59.
- HATJE, V.; BARROS, F.; MAGALHÃES, W.; RIATTO, V.B.; AMORIM, F.N.; FIGUEIREDO M.B.; SPANÓ, S.; CIRANO, M.; Trace metals and benthic macrofauna distributions in Camamu Bay, Brazil: Sediment quality prior oil and gas exploration. *Marine Pollution Bulletin* 56 (2008) 348–379.
- INGEBRIGTSEN, R.A.; HANSEN, E.; ANDERSEN, J.H.; EILERTSEN, H.C.; Light and temperature effects on bioactivity in diatoms. *Journal of Applied Phycology*. 2015.
- JUGGINS, S.; KELLY, M.; ALLOTT, T.; QUINN, M.K.; MONTEITH, D.; A Water Framework Directive-compatible metric for assessing acidification in UK and Irish rivers using diatoms. *Science of the Total Environment* 568 (2016) 671–678.
- JUNEAU, P.; BARNETT, A.; MÉLÉDER, V.; DUPUY, C.; LAVAUD, J.; Combined effect of high light and high salinity on the regulation of photosynthesis in three diatom species belonging to the main growth forms of intertidal flat inhabiting microphytobenthos. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 463 (2015) 95–104.
- KOOISTRA, W.H.C.F.; GERSONDE, R.; MEDLIN, L.K.; MANN, D.G.; The Origin and Evolution of the Diatoms: Their Adaptation to a Planktonic Existence. *Evolution of Primary Producers in the sea*. 2007. Chapter 11. Pages 207–249.

- KUO, Y.M.; JANG, C.S.; YU, H.L.; CHEN, S.C.; CHU, H.J.; Identifying nearshore groundwater and river hydrochemical variables influencing water quality of Kaoping River Estuary using dynamic factor analysis. *Journal of Hydrology* 486 (2013) 39–47.
- LIU, D.; LIU, L.; DI, B.; WANG, Y.; WANG, Y.; Paleoenvironmental analyses of surface sediments from the Bohai Sea, China, using diatoms and silicoflagellates. *Marine Micropaleontology* 114 (2015) 46–54.
- LOPES, C.; MIX, A.C.; ABRANTES, F.; Diatoms in northeast Pacific surface sediments as paleoceanographic proxies. *Marine Micropaleontology* 60 (2006) 45-65.
- MANZOLLI, R.P.; PORTZ, L.; PAIVA, M.; Oceanografia química. Cap 6. Estudos oceanográficos: do instrumental ao prático. Organização: Danilo Calazans. 2011.
- OKSANEN, J.; BLANCHET, F.G.; FRIENDLY, M.; KINDT, R.; LEGENDRE, P.; MCGLINN, D.; MINCHIN, P.R.; O'HARA, R.B.; SIMPSON, G.L.; SOLYMOS, P.; STEVENS, M.H.H.; SZOEC, E.; WAGNER, H.; 2017. *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.4-3. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>.
- OLIVEIRA, O.M.C.; CRUZ, M.J.M.; QUEIROZ, A.F.S.; Comportamento geoquímico de metais em sedimentos de manguezal da baía de Camamu-Bahia. *Braz. J. Aquat. Sci. Technol.*, 2009, 13(2):1-8.
- OLIVEIRA, O.M.C.; QUEIROZ, A.F.S.; ARGOLLO, J.L.; Estudo mineralógico do sedimento de manguezal da baía de Camamu-Ba. *Revista Escola de Minas*, v.55 n.2, Ouro Preto, abr. 2002.
- R CORE TEAM (2017). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- ROUND, F.E.; CRAWFORD, R.M.; MANN, D.G.; *The diatoms: biology & morphology of the genera*. Cambridge university press, 1990.
- ROVIRA, L.; TROBAJO, R.; LEIRA, M.; IBÁÑEZ, C.; The effects of hydrological dynamics on benthic diatom community structure in a highly stratified estuary: The case of the Ebro Estuary (Catalonia, Spain). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 101 (2012) 1-14.
- SANTOS-FISCHER, C.B.; CORRÊA, I.C.S.; WESCHENFELDER, J.; TORGAN, L.C.; STONE, J.R.; Paleoenvironmental insights into the Quaternary Evolution of the Southern Brazilian coast based on fossil and modern diatom assemblages. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 446 (2016) 108-124.
- SCHRÖDER, M.; SONDERMANN, M.; SURES, B.; HERING, D.; Effects of salinity gradients on benthic invertebrate and diatom communities in a German lowland river. *Ecological Indicators* 57 (2015) 236–248.
- SMOL, J.P.; STOERMER, E.F.; *The Diatoms: applications for the environmental and earth sciences*. 2010.

- SYLVESTRE, F.; GUIRAL, D.; DEBENAY, J.P.; Modern diatom distribution in mangrove swamps from the Kaw Estuary (French Guiana). *Marine Geology* 208 (2004) 281– 293.
- TER BRAAK, C.J.F.; Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology* 67 (5) 1986, p. 1167-1179.
- WACHNICKA, A.; GAISER, E.; BOYER, J.; Ecology and distribution of diatoms in Biscayne Bay, Florida (USA): Implications for bioassessment and paleoenvironmental studies. *Ecological Indicators* 11 (2011) 622–632.
- WEI, T. AND SIMKO, V.; 2016. corrplot: Visualization of a Correlation Matrix. R package version 0.77. <https://CRAN.R-project.org/package=corrplot>.
- ZHANG, Y.; HUO, S.; LI, R.; XI, B.; LI, H.; HE, Z.; PANG, C.; Diatom taxa and assemblages for establishing nutrient criteria of lakes with anthropogenic hydrologic alteration. *Ecological indicators* 67 (2016) 166-173.
- ZONG, Y.; KEMP, A.C.; YU, F.; LLOYD, J.M.; HUANG, G.; YIM, W.W.S.; Diatoms from the Pearl River estuary, China and their suitability as water salinity indicators for coastal environments. *Marine Micropaleontology* 75 (2010) 38–49.

Apêndice A. Lista de códigos e nomes das espécies com abundância superior a 2% em pelo menos três estações amostrais dos três rios da baía de Camamu.

Códigos	Espécies
x19	<i>Psammococconeis brasiliensis</i>
x106	<i>Thalassionema nitzschioides</i>
x84	<i>Amphora</i> sp1
x587	<i>Amphora</i> sp2
x131	<i>Achnantheidium</i> sp
x5	<i>Paralia sulcata</i>
x345	<i>Thalassiosira</i> sp
x353	<i>Cymatosira belgica</i>
x418	<i>Navicula clementes</i>
D1	<i>Nitzschia</i> sp1
D2	<i>Neofragilaria</i> sp
D3	<i>Eunotogramma laeve</i>
D4	<i>Plagiogrammopsis vanheurckii</i>
x382	<i>Navicula recurvata</i>
x383	<i>Dickieia</i> sp
x56	<i>Navicula</i> sp2
x381	<i>Nitzschia</i> sp2
x2	<i>Cyclotella striata</i>
x8	<i>Tryblioptychus cocconeiformis</i>
x32	<i>Diploneis</i> sp1
x36	<i>Fallacia</i> sp1
x44	<i>Planothidium delicatulum</i>
x310	<i>Navicula</i> sp3
x440	<i>Planothidium</i>
x470	<i>Cyclotella</i> sp
x498	<i>Fallacia tenera</i>
x34	<i>Petroneis punctigera</i>
x376	<i>Opephora pacifica</i>
x380	Indeterminado
x487	<i>Cocconeis</i> sp
x350	<i>Navicula</i> sp5
x77	<i>Eunotogramma</i> sp1
x73	<i>Pleurosigma</i> sp
x423	Indeterminado
x27	<i>Diploneis weissflogii</i>
x316	<i>Rhaphoneis capensis</i>
x439	<i>Desikaneis gessneri</i>
x438	Indeterminado
x451	Indeterminado
x122	<i>Paralia</i> sp
x70	<i>Seminavis</i> sp
x497	Indeterminado

Códigos	Espécies
x528	<i>Cocconeis</i> sp
x37	<i>Fallacia</i> sp2
x116	<i>Cymatosira</i> sp
x20	<i>Cocconeis</i>
x123	<i>Eunotogramma</i>
x771	<i>Nitzschia</i> sp
x777	Indeterminado
D11	<i>Staurosirella pinnata</i>
D12	<i>Cocconeis placentula</i>
D18	<i>Anaulus minutus</i>
D8	<i>Tabularia waernii</i>