



UFRJ

Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Escola Politécnica & Escola de Química  
Programa de Engenharia Ambiental

ALTERAÇÕES DA ESTRUTURA DA COMUNIDADE DO MICROFITOPLÂNCTON  
DA BAÍA DE GUANABARA (RJ): 20 ANOS DE AMOSTRAGEM

**MELISSA MEDEIROS FERREIRA HATHERLY**

RIO DE JANEIRO  
2013



UFRJ

**MELISSA MEDEIROS FERREIRA HATHERLY**

**ALTERAÇÕES DA ESTRUTURA DA COMUNIDADE DO MICROFITOPLÂNCTON  
DA BAÍA DE GUANABARA (RJ): 20 ANOS DE AMOSTRAGEM**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental

Orientador: Dr. Sérgio Bonecker

Co-orientadora: Dr. Denise Rivera Tenenbaum

RIO DE JANEIRO  
2013

Hatherly, Melissa Medeiros Ferreira.

Alterações da estrutura da comunidade do microfitoplâncton da Baía de Guanabara (RJ): 20 anos de amostragem / Melissa Medeiros Ferreira Hatherly

f.:

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica e Escola de Química, Programa de Engenharia Ambiental, Rio de Janeiro, 2013.

Orientador: Sérgio Luiz Costa Bonecker

Co-orientador: Denise Rivera Tenenbaum

1. Microfitoplâncton. 2. Variação Espacial. 3. Variação Temporal. 4. Eutrofização. I. Bonecker, Sérgio Luiz Costa. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola Politécnica e Escola de Química. III. Alterações da estrutura da comunidade do microfitoplâncton da Baía de Guanabara (RJ): 20 anos de amostragem.



UFRJ

ALTERAÇÕES DA ESTRUTURA DA COMUNIDADE DO MICROFITOPLÂNCTON  
DA BAÍA DE GUANABARA (RJ): 20 ANOS DE AMOSTRAGEM

**MELISSA MEDEIROS FERREIRA HATHERLY**

Orientador: Dr. Sérgio Bonecker

Co-orientadora: Dr. Denise Rivera Tenenbaum

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica & Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental

Aprovada pela Banca:

Banca: \_\_\_\_\_  
Presidente, Sérgio Luiz Costa Bonecker, DSc., UFRJ

\_\_\_\_\_  
xxx, DSc., UFRJ

\_\_\_\_\_  
xxx, DSc., UFRJ

\_\_\_\_\_  
xxx, DSc., UFRJ

RIO DE JANEIRO  
2013

“É exatamente disso que a vida é feita: De momentos! Momentos os quais temos que passar, sendo bons ou não, para o nosso próprio aprendizado, por algum motivo. Nunca esquecendo do mais importante: Nada na vida é por acaso...”

Chico Xavier

“O correr da vida embrulha tudo. A vida é assim: esquenta e esfria, aperta e daí afrouxa, sossega e depois desinquieta. O que ela quer da gente é coragem”

Guimarães Rosa

## DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho ao meu esposo André e às  
minhas queridas filhas Luisa e Júlia

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela vida e por tudo que ele colocou na minha vida.

Ao orientador Prof. Sérgio Bonecker, por ter acreditado e aceito imediatamente a minha proposta de dissertação.

À minha co-orientadora Prof.<sup>a</sup> Denise Rivera Tenenbaum, por ter aceitado a orientação desta pesquisa, pelas contribuições sempre pertinentes, por acreditar no meu trabalho e por todos os anos de aprendizado.

Aos professores do PEA, por todos os conhecimentos repassados.

Aos Projetos de Pesquisa PELD e PRONEX e aos autores que foram os geradores de dados para realização deste trabalho.

Ao Laboratório Fitomar e toda sua equipe sempre prontos para ajudar, para uma conversa amiga, uma palavra de estímulo, em especial, Nicole, pelo seu companheismo e grande ajuda na formatação final, Juan Alba, pela elaboração do “bendito” abstrac, e Márcio Tenório, pelas descontrações e palavras de conforto.

Às Bibliotecárias do CT, que mesmo por e-mail prontamente tiraram minhas dúvidas e se colocaram à disposição para auxiliar.

Membros da banca examinadora pelo aceite em participar, pela dedicação na análise deste trabalho e sugestões de melhoria;

Às amigas de sempre Kátia, Cristiane, Janaína, Maria Cristina e Simone pela amizade e todo incentivo a continuar mesmo com as dificuldades da vida.

Aos meus familiares e amigos, que acreditaram no meu trabalho e me incentivaram, compreendendo minhas ausências, em especial, Rodrigo, Pedrino, Marcinha, Marreco, Fran, Francisco, amigos da CEAH.

Aos meus queridos pais, pelo acolhimento incondicional que sempre estiveram dispostos a oferecer, pelo apoio logístico e por todo o esforço em oferecer uma boa educação.

A minha querida irmã, pela atenção, amizade e por todas as coisas que passamos juntas.

Ao meu marido, André Luis, pela paciência e apoio constante e, especialmente, pela compreensão na ausência nesta reta final.

Às minhas filhas Luisa e Júlia, às quais sempre procurarei dar o exemplo de meus pais, e fundamentais para os momentos de descontração. São verdadeiros tesouros!

## RESUMO

HATHERLY, Melissa M. F.. Alterações da estrutura da comunidade do microfitoplâncton da Baía de Guanabara (RJ): 20 anos de amostragem. Rio de Janeiro, 2013. Dissertação (Mestrado) - Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

Este trabalho apresenta uma síntese das variações espaciais e temporais microfitoplâncton da baía de Guanabara, Rio de Janeiro, Brasil, sob os aspectos estruturais da abundância expressa pela densidade celular e composição taxonômicas (diatomáceas, dinoflagelados e euglenofíceas). Os dados foram oriundos de monografias, dissertações e relatórios de pesquisas no período de 1985 a 2011 gerados pelo Laboratório de Fitoplâncton da Universidade Federal do Rio de Janeiro. O microfitoplâncton apresentou abundância na ordem de grandeza de  $10^6$  cel.L<sup>-1</sup> confirmando o já descrito caráter eutrófico da Baía. Apesar das densidades celulares entre o canal de circulação e a entrada da Baía serem similares, representatividade entre os grupos taxonômicos foi diferenciado. Enquanto as diatomáceas dominaram com 93% na entrada os flagelados, representado os dinoflagelados e euglenofíceas contribuíram com 76% da comunidade do microfitoplâncton. As variações sazonais foram condicionadas por um verão chuvoso, como predomínio de diatomáceas e um inverno seco onde aumenta na contribuição de flagelados. Ao longo dos anos uma tendência de aumento da densidade é observada, principalmente dos flagelados. As variações da comunidade fitoplanctônica da Baía de Guanabara expressa pelos seus principais componentes refletiu ao longo do tempo e as mudanças decorrentes de alterações ambientais naturais ou antrópicas. Entretanto, estudos de longa duração são necessários para a melhor compreensão dos fatores que interferem na dinâmica do fitoplâncton da Baía de Guanabara.

Palavras-chave: Microfitoplâncton, variação espacial, variação temporal, eutrofização.



## ABSTRACT

HATHERLY, Melissa M. F.. Alterações da estrutura da comunidade do microfitoplâncton da Baía de Guanabara (RJ): 20 anos de amostragem. Rio de Janeiro, 2013. Dissertação (Mestrado) - Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

This study shows a synthesis of the microphytoplankton spatial and temporal variability on the Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil, considering structural aspects of the abundance, in terms of cellular density, and taxonomic composition (diatoms, dinoflagellates and euglenophytes). A data series from scientific monographs, Masters, and scientific reports produced on the Phytoplankton Laboratory of the Federal University of Rio de Janeiro from 1985 to 2011. Phytoplankton abundance showed values of  $10^6$  cel.L<sup>-1</sup>, confirming the related eutrophic characteristic of this ecosystem. Although similar cellular densities were observed at the main channel and at the mouth of the bay, taxonomic composition was different. While diatoms dominated at the mouth 93%, flagellates, mainly dinoflagellates and euglenophytes, represented 76% of microphytoplankton community at main channel. Seasonal variability was characterized by rainy summer, dominated by diatoms, and a dry winter, with an increasing of flagellate's contribution. A yearly trend of increasing on density, mainly flagellates, were observed. Variability in phytoplankton community, in terms of the main components, observed in Guanabara Bay, reflected the changes resulting from environmental and anthropogenic sources. Nevertheless, long-term studies are necessary to better understanding of the factors that influence on the dynamic of phytoplankton community of Guanabara Bay.

Keywords: Microphytoplankton, temporal variability, spatial variability, eutrophication.

## SUMÁRIO

DEDICATÓRIA .....	vi
AGRADECIMENTOS .....	vii
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
SUMÁRIO .....	x
Índice de Figuras .....	xii
Índice de Tabelas.....	xiv
1. Introdução.....	1
2. Área de estudo.....	3
3. Justificativa .....	6
4. Hipótese.....	6
5. Objetivo Geral.....	6
5.1.Objetivos Específicos .....	6
6. Metodologia .....	6
7. Resultados.....	10
7.1. Entrada da Baía de Guanabara .....	10
7.1.1. Variação Temporal da densidade celular do microfitoplâncton.....	10
7.1.2. Variação Temporal da densidade celular dos grupos taxonômicos do microfitoplâncton.....	14
7.2. Canal de circulação Baía de Guanabara.....	19
7.2.1. Variação Temporal da densidade celular do microfitoplâncton.....	19
7.2.2. Variação Temporal da densidade celular do grupos taxonômicos do microfitoplâncton.....	22
7.3. Qualidade Ambiental.....	27
8. Discussão .....	30
8.1. Variação Espacial .....	30
8.2. Variação Sazonal.....	36
8.3. Variação Interanual.....	38
8.4. Qualidade Ambiental.....	40
9. Conclusão.....	42
10. Referências Bibliográficas.....	43



## Índice de Figuras

Figura 1: Baía de Guanabara com os setores de acordo com os diferentes níveis de qualidade da água (SECT, 2000 modificado de Mayr et al., 1989)

Figura 2: Pontos de coleta da área de estudo (A1 na entrada; A4 e B2 no canal de circulação)

Figura 3: Variação mensal da densidade do microfitoplâncton na entrada da Baía de Guanabara (média e desvio padrão).

Figura 4: Variação mensal do microfitoplâncton por ano de coleta na entrada da Baía de Guanabara: a) 1985, b) 1999 e c) 2000.

Figura 5: Variação sazonal da densidade do microfitoplâncton nos quatro períodos do ano por anos de coleta na entrada da Baía de Guanabara. V= verão (n= 24), O= outono (n= 25), I= inverno (n= 19), P= primavera (n= 33). (média e desvio padrão).

Figura 6: Variação sazonal da densidade do microfitoplâncton (valores médios) por ano de coleta na entrada da Baía de Guanabara V= verão, O= outono, I= inverno, P= primavera

Figura 7: Variação anual da contribuição média dos grupos taxonômicos na entrada da Baía de Guanabara

Figura 8: Variação anual dos grupos taxonômicos na entrada da Baía de Guanabara

Figura 9: Distribuição sazonal do microfitoplâncton na entrada da Baía de Guanabara a) diatomáceas, b) dinoflagelados e c) euglenofíceas. V= verão, O= outono, I= inverno, P= primavera (média e desvio padrão).

Figura 10: Variação sazonal da densidade celular do microfitoplâncton por ano de coleta, na entrada da Baía de Guanabara. a) diatomáceas, b) dinoflagelados e c) euglenofíceas. V= verão, O= outono, I= inverno, P= primavera.

Figura 11: Variação mensal da densidade celular do microfitoplâncton no canal de circulação da Baía de Guanabara (média e desvio padrão).

Figura 12: Variação mensal do microfitoplâncton por ano de coleta no canal de circulação da Baía de Guanabara.

Figura 13: Variação sazonal da densidade do microfitoplâncton nos quatro períodos do ano, por anos de coleta, no canal de circulação da Baía de Guanabara. V= verão (n= 70), O= outono (n= 47), I= inverno (n= 52), P= primavera (n= 61). (média e desvio padrão).

Figura 14: Variação sazonal da densidade do microfitoplâncton (valores médios) por ano de coleta, no canal de circulação da Baía de Guanabara a) verão, b) outono, c) inverno, d) primavera

Figura 15: Variação anual da contribuição dos grupos taxonômicos no canal de circulação da Baía de Guanabara

Figura 16: Variação mensal dos grupos taxonômicos no canal de circulação da Baía de Guanabara. a) diatomáceas, b) dinoflagelados e c) euglenofíceas (média e desvio padrão).

Figura 17: Distribuição sazonal dos grupos taxonômicos no canal de circulação da Baía de Guanabara a) diatomáceas, b) dinoflagelados e c) euglenofíceas. V= verão, O= outono, I= inverno, P= primavera. (média e desvio padrão).

Figura 18: Variação sazonal da densidade celular dos grupos taxonômicos no canal de circulação da Baía de Guanabara: a) verão, b) outono, c) inverno, d) primavera.

Figura 19: Contribuição das diatomáceas, dinoflagelados e euglefiáceas nos dois pontos de coleta da Baía de Guanabara. a) entrada b) canal de circulação

Figura 20: Variação mensal da precipitação (mm) e temperatura do ar (°C) média na Baía de Guanabara durante o período de estudo ( <http://www.inmet.gov.br/portal/>).

Figura 21: Variação mensal da densidade do microfitoplâncton na baía de Guanabara durante o período de estudo

Figura 22: Variação anual média da temperatura do ar (a) e da precipitação (b) na Baía de Guanabara durante o período de estudo (<http://www.inmet.gov.br/portal/>).

Figura 23: Tendência temporal das diatomáceas (linha tracejada) e flagelados (linha contínua) na Baía de Guanabara.

## Índice de Tabelas

Tabela 1: Amostragem em dois setores da Baía de Guanabara nos quatro períodos por anos de coleta.

Tabela 2: Estatística descritiva de algumas variáveis físico-químicas e da clorofila *a* na Baía de Guanabara durante o período de estudo

Tabela 3: Média das densidades ( $\text{cel.L}^{-1}$ ) das Diatomáceas, Dinoflagelados e Euglenas encontradas ao longo dos meses, anos e períodos na Baía de Guanabara: 1) entrada 2) canal de circulação.

Tabela 4: Estatística descritiva ( $\text{cel.L}^{-1}$ ) e frequências de ocorrência (%) das Diatomáceas, Dinoflagelados e Euglenas encontradas ao longo dos meses, anos e períodos na Baía de Guanabara: 1) entrada 2) canal de circulação.

## 1. Introdução

A cidade do Rio de Janeiro cresceu às margens da Baía de Guanabara em função de vários aspectos positivos, representados não só por sua geomorfologia e rede de drenagem, que garantiam a penetração além da linha da costa, como também, por suas águas limpas, resultantes de um eficiente sistema de auto-depuração, responsável pela reciclagem do volume de despejos urbanos daquela época pretérita (Mayr et al., 1989). Com a rápida expansão urbano-industrial ocorrida nestas últimas décadas, a partir dos anos 40, a capacidade de renovação foi superada em alguns pontos da baía, onde o processo de renovação e circulação de suas águas ficou prejudicado devido aos assoreamentos e aterros efetuados em suas margens, gerando áreas fortemente degradadas (Cruz et al, 1998).

A Baía de Guanabara apresenta uma reconhecida importância histórica, econômica, cultural, científica, social e ambiental, mas é um dos ambientes costeiros mais degradados do país. Tanto do ponto de vista da ocupação urbana, quanto ambiental. O processo de destruição teve início com a colonização a partir do século XVI e se acentuou drasticamente com o modelo de desenvolvimento urbano-industrial no século passado (Amador, 1997).

Desta forma, a carga poluidora lançada na Baía, tem sido a causa do desequilíbrio no ecossistema aquático, alterando a vários atributos físicos, químicos e biológicos. Tal fenômeno denominado eutrofização interfere diretamente no ambiente, devido ao enriquecimento das águas por matéria orgânica biodegradável, e nutrientes, especialmente, nitrogênio e fósforo, que propiciam o crescimento de microalgas e o aumento da produtividade primária (Lima, 2006). A elevada disponibilidade de matéria orgânica, e conseqüente, degradação em nutrientes inorgânicos propiciará a proliferação de organismos, levando ao maior consumo de oxigênio podendo acarretar na morte de peixes (Aguiar et al., 2011).

As florações algais nocivas estão associadas a conhecidos e diversos eventos de mortalidade de peixes e intoxicações que atingem diretamente os seres humanos. Dois grupos distintos podem ser reconhecidos dentro das chamadas florações algais nocivas (Gilbert & Pitcher 2001). Ao primeiro estão associadas às

espécies produtoras de toxinas (autótrofas e heterótrofas) que podem contaminar os consumidores primários, secundários e até predadores topo através do processo de bioacumulação. Já o segundo, inclui os grandes produtores de biomassa, que podem levar à hipoxia e anoxia e, conseqüentemente, a grandes taxas de mortalidade no ambiente marinho após as densas concentrações terem se desenvolvido, tendo produzido ou não toxinas (Castro et al., 2012)

Outro aspecto relevante em termos de qualidade biológica da água é a presença de agentes patogênicos com altas concentrações de bactérias do tipo coliformes e a transmissão de doenças. A falta de tratamento dos esgotos sanitários é a principal fonte de poluição da Baía de Guanabara. As redes coletoras são insuficientes à média da população urbana do país. Em áreas mais pobres da Bacia esgotos correm a céu aberto. Em todos os casos, os efluentes sanitários acabam chegando in natura à Baía, receptora natural de todos os rios, canais e galerias. (FEEMA, 2006).

Neste contexto a comunidade fitoplanctônica desempenha um papel fundamental no entendimento da dinâmica do ecossistema marinho. Devido às suas dimensões microscópicas (20 a 200  $\mu\text{m}$ ) e altas taxas de crescimento, responde rapidamente às mudanças ambientais pode fornecer subsídios sobre a dinâmica dos processos oceanográficos e interação com a comunidade biótica (Smetacek, 1988; Day Jr et al., 1989; Buskey, 1993). A composição e abundância das comunidades têm sido utilizadas como indicadores de qualidade de suas águas que, apesar de constituir o receptor final de rejeitos orgânicos e químicos da região metropolitana do Rio de Janeiro, mantém grande biodiversidade biológica (Villac & Tenenbaum, 2010).

O fitoplâncton da Baía de Guanabara é constituído por populações tipicamente neríticas, termófilas, com a ocorrência marcante de espécies estuarinas e a presença ocasional de espécies oceânicas. A comunidade fitoplanctônica obedece à sazonalidade climática da região, onde o período de verão, quente e chuvoso, é individualizado do resto do ano por representar uma época de grande estresse ambiental. Nos meses de verões ocorrem as chuvas sazonais que estão associadas às maiores densidades de organismos na entrada



da baía, pois as chuvas elevam os níveis de nutrientes carregados dos rios, aumentando a produção fitoplanctônica. (ZEE, 2000).

O plâncton da Baía de Guanabara vem sendo estudado desde o início do século XX, com os primeiros estudos de Faria (1914) e Faria & Cunha (1917) seguidos posteriormente por Oliveira (1945; 1962). O fitoplâncton começa a ser estudado em meados da década de 60 por Balech & Soares (1966), seguidos por Sevrin-Reyssac et al (1979), Rodrigues (1988), Schutze et al. (1989) e Villac (1990), através de levantamentos de espécies, estimativas de biomassa e produção primária em várias localidades da baía e épocas do ano. Mais recentemente a diferenciação entre os componentes autotróficos e heterotróficos das diversas frações do plâncton começa a ser avaliada em ambos os sistemas a partir dos estudos desenvolvidos por Dias et al. (1998), Tenenbaum et al. (2001), Santos (2002). Sobre a abordagem da qualidade de água na Baía de Guanabara, temos Lima (2006) e Pantera et al. (2006), além de estudo sobre eutrofização como em Aguirra et al. (2011).

Visando avaliar a variação espacial e temporal da comunidade fitoplanctônica ao longo de 20 anos, o presente trabalho será baseado em dados pretéritos gerados pelo Laboratório de Fitoplâncton do Departamento de Biologia Marinha (IB/UFRJ), disponíveis em Villac (1990), Barboza (1997), Santos (2002) e Lima (2007) e nos Projetos PRONEX (2007, 2008), “PELD Guanabara – Estrutura e Funções do ecossistema da Baía de Guanabara: uma Pesquisa Ecológica de Longa Duração” (2011, 2012).

## **2. Área de estudo**

A Baía de Guanabara (22°41'-22°56'S e 43°02'-43°18'W) é a segunda baía do litoral do Brasil em área e volume. É um corpo de água semi-fechado cercado por grandes áreas urbanas, como as cidades do Rio de Janeiro e Niterói (Schwamborn *et al.*, 2004). Possui uma superfície de aproximadamente 400 km<sup>2</sup> e um volume estimado de 2x10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>. Sua profundidade varia de 51 m na entrada do canal de ligação com a plataforma interna (~1,8 km de largura), até menos de 1 m nas áreas internas, próximas às margens (JICA, 1994). Considerada como um ambiente estuarino, que recebe aporte de água doce através dos rios de sua bacia de

drenagem e pela descarga de efluentes domésticos e industriais (MAYR et al., 1989).

As características hidrológicas variam temporalmente em função da oscilação da maré e pluviosidade, influenciadas pontualmente pelos aportes continentais. No verão, a alta precipitação promove uma maior descarga fluvial (VALENTIN et al., 1999). A maré apresenta variações semi-diúrnas (AMADOR, 1997) com amplitude média de 0,7m, estando em torno de 1,1 m em condição de sizígia e 0,3 m em condição de quadratura (JICA, 1994). Os focos de poluição desigualmente distribuídos e o padrão de circulação de suas águas, determinado pela influência dos rios e pelas variações da maré propiciam que a diluição de despejos de esgoto ocorra de maneira diferenciada gerando áreas com diferentes qualidades ambientais (Mayr et al., 1989).

De acordo com as características hidrobiológicas, Mayr et al., 1989, caracterizou a Baía de Guanabara em 5 setores (Figura 1):

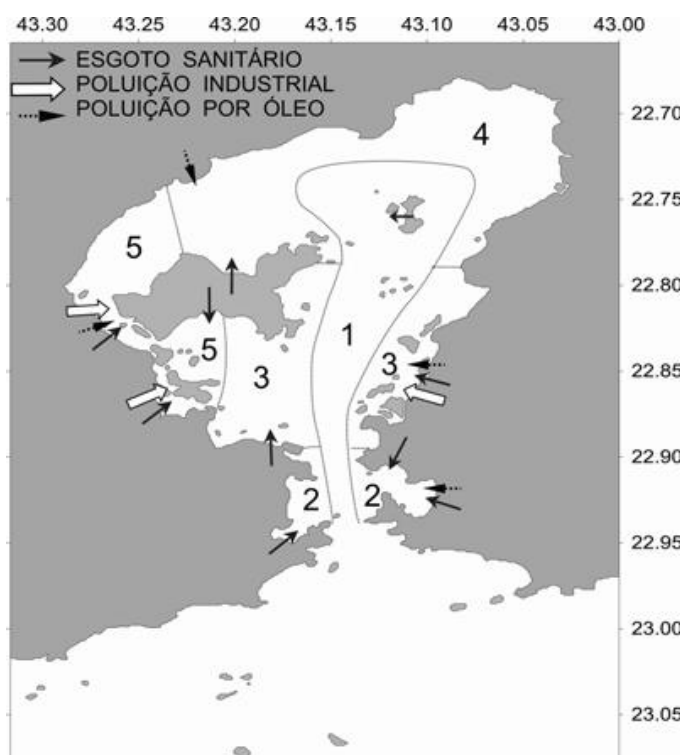


Figura 1: Baía de Guanabara com os setores de acordo com os diferentes níveis de qualidade da água (SECT, 2000 modificado de Mayr et al., 1989)

Setor 1: Área que apresenta melhor qualidade das águas e menor sensibilidade da baía, o que é explicado pela existência de um canal central de circulação. Encontram-se as maiores profundidades e os melhores indicadores de qualidade de água, por receberem influência direta de águas de interiores e costeiras.

Setor 2: Área próxima a entrada da Baía. apesar desta localização as enseadas estão sujeitas a forte poluição orgânica, oriundas dos dois centros urbanos mais desenvolvidos da região, as cidades do Rio de Janeiro (parte oeste da Baía) e de Niterói (parte leste da Baía).

Setor 3: Área com avançado nível de deterioração devido à influência de várias formas de poluição, inclusive das zonas portuárias.

Setor 4: Região sob influência dos rios menos poluídos de águas menos comprometidas. É o berço da Área de Proteção Ambiental (APA) de Guapimirim, onde está presente um dos poucos manguezais remanescentes.

Setor 5: Área que apresenta o mais avançado estado de deterioração ambiental, devido ao aporte de várias fontes de poluição.

Os atuais níveis de poluição da Baía de Guanabara são decorrentes de um processo de degradação que se intensificou, principalmente, nas décadas de 1950-1960, com o elevado crescimento urbano verificado, especialmente, na região sudeste do Brasil (INEA, 2005)

Essa heterogeneidade na qualidade das águas também se reflete no fitoplâncton, sendo a densidade e biomassa desses organismos maiores nas áreas internas mais impactadas, enquanto que áreas externas, mais influenciadas pela dinâmica de marés e pela água da plataforma, apresentam maiores valores de riqueza e diversidade específica (Santos, 2002).

De acordo com o histórico dos estudos sobre a biodiversidade do fitoplâncton da Baía de Guanabara realizado por Villac & Tenenbaum (2010), existem cerca de 57 publicações relativas a amostras coletadas nos períodos entre 1913 e 2004. As publicações que foram incluídas nesse histórico são baseadas na identificação através de microscopia e 80% das mesmas são voltadas para ecologia, onde apenas espécies mais abundantes são citadas. Até o ano de 2010, inventários florísticos de espécies apresentaram em 24 publicações, onde nestes trabalhos, o fitoplâncton reflete a heterogeneidade espacial da baía apresentando densidades

características de estuários com intensa poluição orgânica. A partir do ano 2000 temos mais publicações referentes a sazonalidade, qualidade de água, eutrofização e florações tóxicas e nocivas.

### **3. Justificativa**

Analisar a variação espacial e temporal ao longo de 20 anos, tendo o fitoplâncton como indicador da qualidade de água da Baía de Guanabara, associada à crescente eutrofização.

### **4. Hipótese**

As alterações na composição e abundância da comunidade do fitoplâncton ao longo de 20 anos estão associadas à crescente eutrofização das águas da Baía de Guanabara.

### **5. Objetivo Geral**

Identificar as alterações na composição e densidade da comunidade fitoplanctônica ao longo de 20 anos na entrada e no canal de circulação da Baía de Guanabara, Rio de Janeiro – Brasil.

#### **5.1. Objetivos Específicos**

- I) Estimar a densidade celular das frações do microfitoplâncton ( $>20\mu\text{m}$ ).
- II) Avaliar a variação interanual, entre pontos amostrais, com qualidade de águas distinta, e entre os períodos na superfície amostrada.
- III) Determinar a classificação para a qualidade de água em função do percentual do valor absoluto de cada parâmetro (frequência de ocorrência).

### **6. Metodologia**

Os dados de densidade celular do microfitoplâncton foram obtidos a partir de dados de projetos como PRONEX, 2007, 2008; e dos trabalhos de Gomes, 2012; Lima, 2007; Santos, 2002; Barboza, 1997; Villac, 1990 realizados no Laboratório de Fitoplâncton Marinho do Departamento de Biologia Marinha (IB/UFRJ).

Foram objeto de amostragem o setor 1 (pontos B2 e A4), correspondente a área de influência do canal central da Baía, com alta hidrodinâmica e influenciada pelas águas provenientes do oceano; e o setor 2 (ponto A1), próximo à entrada da Baía com as enseadas sujeitas a forte poluição orgânica. (Figura 2). Ambos expressam diferentes níveis de comprometimento, devido à ação conjunta dos focos de poluição e do padrão de circulação das águas (Figura 1).

As amostras de água foram coletadas com garrafas de Van Dorn, fixadas imediatamente com formaldeído a 2% tamponado com tetraborato de sódio, e mantidas resfriadas durante transporte e estocagem (Booth, 1987; Sournia, 1978). A análise do microfitoplâncton ( $>20\mu\text{m}$ ) foi feita a partir de alíquotas entre 5 a 50mL, de acordo com a concentração dos organismos, através de microscópio invertido pelo método de sedimentação (Utermöhl, 1958).

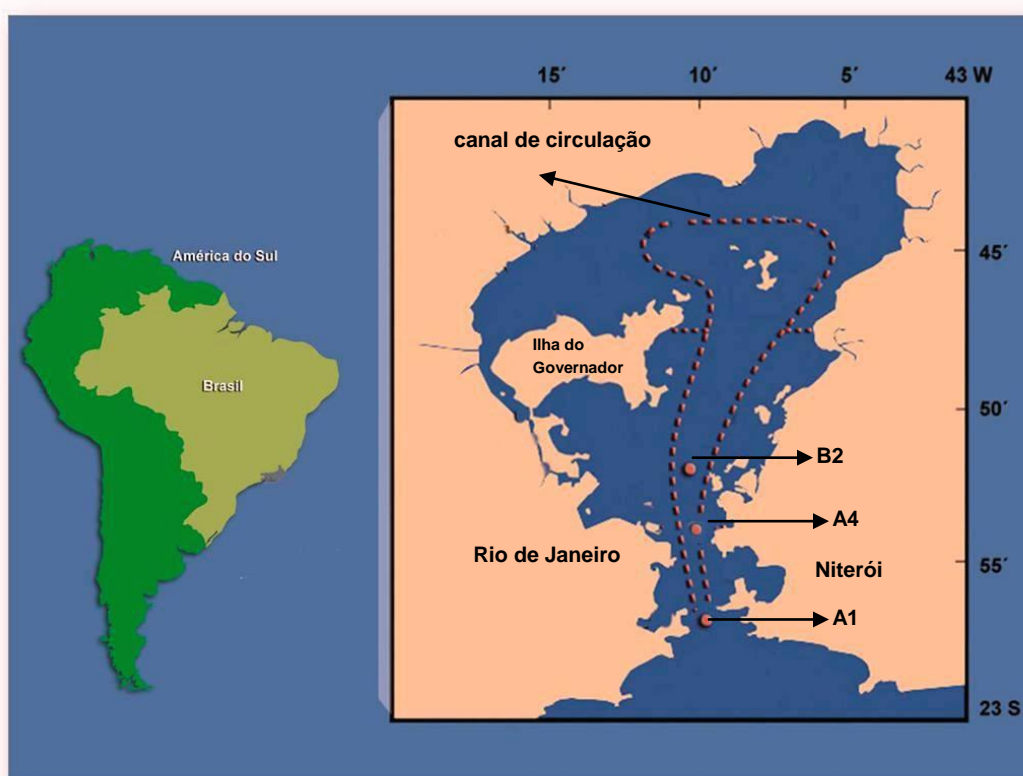


Figura 2: Pontos de coleta da área de estudo (A1 na entrada; A4 e B2 no canal de circulação)

Na Tabela 1, as amostras estão organizadas conforme o ano e periodicidade, totalizando 329 amostras (99 amostras na entrada e 230 no canal de circulação)

distribuídas nos setores 1 e 2, em 3 pontos de amostragem coletados na superfície (Figura 2).

Tabela 1: Amostragem em dois setores da Baía de Guanabara nos quatro períodos por anos de coleta.

	Entrada				Canal de Circulação						
	A1				A4			B2			
	1885	1999	2000	2007	2008	2011	1985	1986	1987	1990	2004
Verão	3	10	11		32	2	3		8		25
Outono	3	11	11		33	3	3		8		
Inverno	2	9	8	6	18	2	2		8	16	
Primavera	2	16	13	45		4	4	8			
Total por ano	10	46	43	51	83	11	12	8	24	16	25
Total amostras		99			145				85		

Os dados obtidos serão apresentados segundo a quantificação das populações, com valores expressos em células por litro ( $\text{cel.L}^{-1}$ ). A densidade celular foi plotada em função dos anos, meses e períodos.

Para avaliar a qualidade de água utilizando os grupos fitoplanctônicos Diatomáceas, Dinoflagelados e Euglenas foi escolhida a diretiva WFD (Water Framework Directive). O princípio desta Diretiva é de enquadrar em classes de

qualidade um ambiente através de um indicador biológico baseado em parâmetros biológicos, neste caso, utilizando a densidade celular.

Essa diretiva foi uma iniciativa do Parlamento Europeu visando à proteção das águas subterrâneas, águas superficiais interiores, estuarinas e costeiras (Anonymous, 2000), também adotando um critério de classificação subjetivo entre um status ecológico bom e moderado (Andersen et al., 2006).

A classificação da qualidade das águas da baía de Guanabara utilizando as densidades de Diatomáceas, Dinoflagelados e Euglenas como indicadores biológicos do seu estado ecológico foi realizada através do estabelecimento de três categorias:

Classe 1: estado ou potencial ecológicos ruim

Classe 2: estado ou potencial ecológicos moderados

Classe 3: estado ecológico elevado ou potencialmente máximo

Cada categoria foi estabelecida em função do percentual de ocorrência de cada grupo de fitoplanctônico em função de sua densidade. Quanto maior o valor da densidade maior era o estado ou potencial ecológico do mês, ano ou período sazonal.

A frequência de ocorrência das densidades foi estimada pelos valores de densidades em cada mês, ano e período sazonal. Desta forma as Classes estabelecidas seguiram o seguinte critério:

Classe 1: percentual de valores de densidade acima de 75% do valor máximo

Classe 2: percentual de valores do grupo entre 75% e 25% do valor máximo

Classe3: percentual de valores do grupo abaixo de 25% do valor máximo

A qualidade das águas da baía em função do indicador grupos fitoplanctônicos estabelecida pela Classes do Estado ou Potencial Ecológicos acima é proposta com uma alternativa de monitoramento ambiental

## **7. Resultados**

A avaliação da variação espacial e temporal da comunidade fitoplanctônica será baseada em dados pretéritos da densidade celular. A densidade celular total contempla diferentes grupos taxonômicos do microfitoplâncton (diatomáceas, dinoflagelados, cianobactérias, euglenofíceas, silicoflagelados, fitoflagelados, ebríídeos, prasinofíceas e clorofíceas). Para este trabalho, optou-se em utilizar a densidade celular total e a densidade de três grupos taxonômicos (diatomáceas, dinoflagelados e euglenofíceas), pois dentre os demais grupos, estes apresentaram maiores densidades e percentual de contribuição, além das características ecológicas referentes à eutrofização.

### **7.1. Entrada da Baía de Guanabara**

#### **7.1.1. Variação Temporal da densidade celular do microfitoplâncton**

A distribuição anual da densidade celular nos três anos de estudos variou entre  $10^4$  a  $10^6$  cel.L<sup>-1</sup>. Destacam-se os meses de fevereiro e abril como os de maiores densidades ( $2 \cdot 10^6$  cel.L<sup>-1</sup>) em oposição a julho, onde a densidade celular foi a mais baixa ( $2 \cdot 10^5$  cel.L<sup>-1</sup>). Ressalta-se ainda a grande amplitude de variação dos dados no mês de fevereiro (Figura 3).



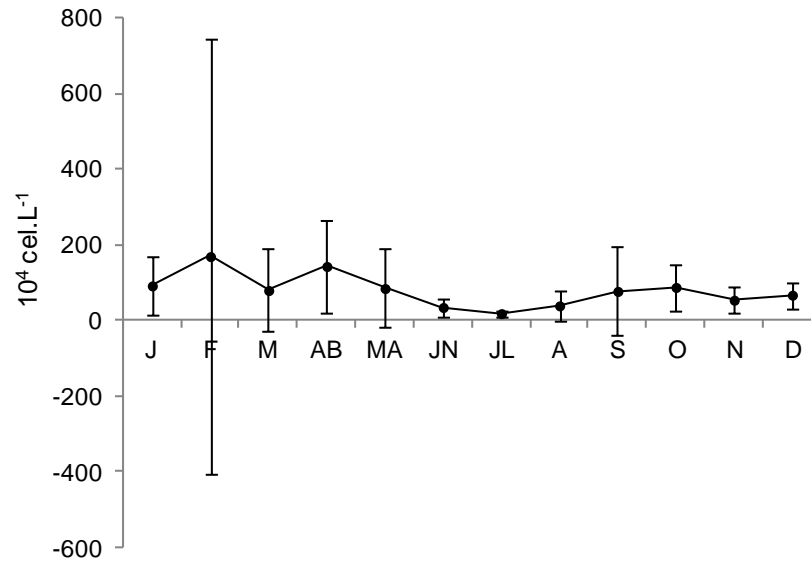


Figura 3: Variação mensal da densidade do microfitoplâncton na entrada da Baía de Guanabara (média e desvio padrão).

O padrão sazonal e eventuais anomalias são melhor evidenciados ao analisarmos a variação anual por ano de amostragem (Figura 4) onde são destacadas as médias dos três anos de estudo ( $7 \cdot 10^5 \text{ cel.L}^{-1}$ ) e a média do ano de estudo.

O ano de 1985 apresentou valores de densidade celular ( $2 \cdot 10^5 \pm 3 \cdot 10^5 \text{ cel.L}^{-1}$ ) três vezes inferiores a média dos três anos, exceto em dezembro onde a densidade celular alcançou  $10^6 \text{ cel.L}^{-1}$  (Figura 4a).

Em 1999, os valores de densidade celular de  $5 \cdot 10^4$  a  $6 \cdot 10^6 \text{ cel.L}^{-1}$ , foram acima da média anual ( $10^6 \text{ cel.L}^{-1}$ ), do mesmo modo que em fevereiro ( $4 \cdot 10^6 \text{ cel.L}^{-1}$ ) e março ( $2 \cdot 10^6 \text{ cel.L}^{-1}$ ), onde a densidade foi superior a média dos três anos. (Figura 4b).

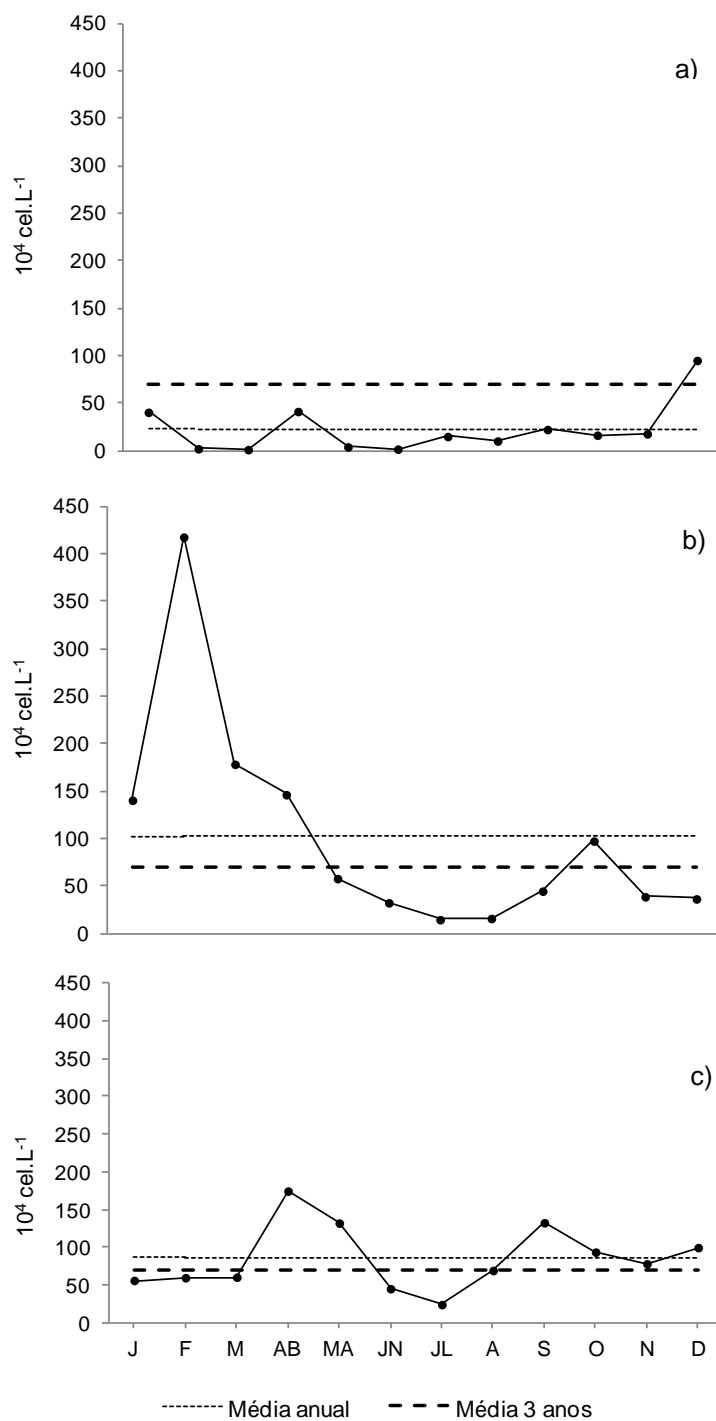


Figura 4: Variação mensal do microfitoplâncton por ano de coleta na entrada da Baía de Guanabara: a) 1985, b) 1999 e c) 2000.

Em 2000, a densidade variou entre  $6.10^4$  a  $4.10^6 \text{ cel.L}^{-1}$ , apresentando valores superiores a media anual ( $9.10^5 \text{ cel.L}^{-1}$ ) e dos três anos em abril ( $2.10^6 \text{ cel.L}^{-1}$ ), maio, setembro e dezembro ( $10^6 \text{ cel.L}^{-1}$ ) (Figura 4c).

Comparando os três anos, a densidade celular de junho ( $3.10^5 \text{ cel.L}^{-1}$ ) e julho

( $2 \cdot 10^5 \text{ cel.L}^{-1}$ ) estiveram abaixo das médias dos três anos (Figura 4a, 4b e 4c).

A partir da observação da variação da densidade celular do microfitoplâncton nos quatro períodos do ano é possível identificar algumas tendências (Figura 5).

As maiores densidades celulares ( $6 \cdot 10^6 \text{ cel.L}^{-1}$ ), foram observadas no verão (janeiro a março), enquanto no período de inverno (julho e agosto) a concentração celular foi mais baixa ( $3 \cdot 10^5 \text{ cel.L}^{-1}$ ). Nos períodos intermediários, as densidades celulares foram similares no outono (abril a junho) com valores de  $8 \cdot 10^5 \text{ cel.L}^{-1}$  e com  $7 \cdot 10^5 \text{ cel.L}^{-1}$  na primavera (setembro a dezembro).

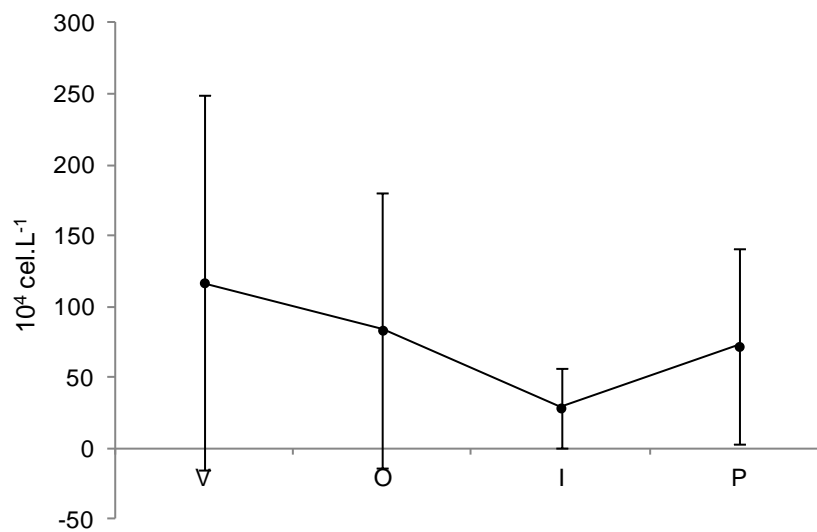


Figura 5: Variação sazonal da densidade do microfitoplâncton nos quatro períodos do ano por anos de coleta na entrada da Baía de Guanabara. V= verão (n= 24), O= outono (n= 25), I= inverno (n= 19), P= primavera (n= 33). (média e desvio padrão).

O período do verão ( $10^6 \pm 10^6 \text{ cel.L}^{-1}$ ) seguido do outono ( $8 \cdot 10^5 \pm 10^6 \text{ cel.L}^{-1}$ ) destaca-se pela maior amplitude de variação quando comparado o inverno ( $3 \cdot 10^5 \pm 3 \cdot 10^5 \text{ cel.L}^{-1}$ ).

Em função do padrão temporal apresentado na Figura 5, foram observadas algumas de anomalias quando analisamos isoladamente os anos de estudo (Figura 6). No ano de 1985, a primavera apresentou valores até quatro vezes superiores ( $4 \cdot 10^5 \text{ cel.L}^{-1}$ ) aos outros períodos do ano ( $10^5$  a  $2 \cdot 10^5 \text{ cel.L}^{-1}$ ). Em 1999, seguiu o padrão sazonal, apresentando valores superiores no verão ( $2 \cdot 10^6 \text{ cel.L}^{-1}$ ), reduzindo uma ordem de grandeza no inverno e um ligeiro aumento na primavera ( $6 \cdot 10^5 \text{ cel.L}^{-1}$ ) e outono ( $7 \cdot 10^5 \text{ cel.L}^{-1}$ ). Em 2000, o outono e primavera

apresentaram as maiores densidades celulares ( $10^6 \text{ cel.L}^{-1}$ ), comparando ao verão ( $6.10^5 \text{ cel.L}^{-1}$ ) e inverno ( $5.10^5 \text{ cel.L}^{-1}$ ).

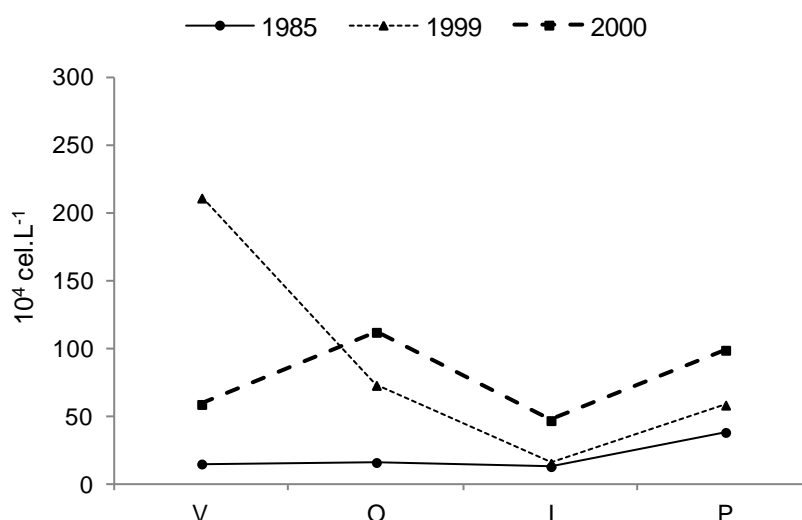


Figura 6: Variação sazonal da densidade do microfitoplâncton (valores médios) por ano de coleta na entrada da Baía de Guanabara V= verão, O= outono, I= inverno, P= primavera

### 7.1.2. Variação Temporal da densidade celular dos grupos taxonômicos do microfitoplâncton

A contribuição das diatomáceas, dinoflagelados e euglenofíceas variaram ao longo dos três anos de estudo (Figura 7). Diatomáceas contribuíram com valores superiores a 75% da densidade celular do microfitoplâncton, aproximadamente três vezes superior a dos dinoflagelados.

A maior contribuição das diatomáceas com 93% da densidade celular do microfitoplâncton ocorreu no mês de setembro, enquanto que o percentual máximo de dinoflagelados e euglenofíceas não foi superior a 30%.

Os anos de 1985, 1999 e 2000 apresentaram valores percentuais de contribuição das diatomáceas superior a 80%. Dinoflagelados e euglenofíceas tiveram baixa contribuição, com percentuais inferiores a 15%.

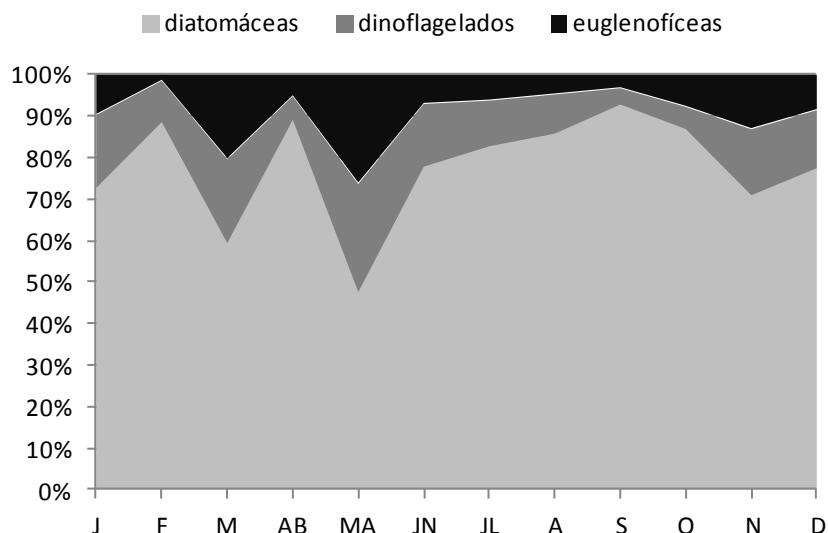


Figura 7: Variação anual da contribuição média dos grupos taxonômicos na entrada da Baía de Guanabara.

A variação anual da densidade celular do microfitoplâncton evidenciou uma variação ao longo dos meses (Figura 8).

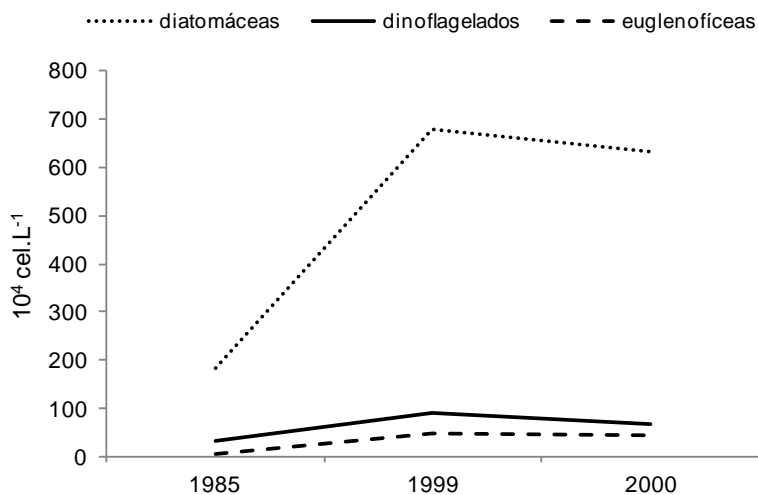


Figura 8: Variação anual dos grupos taxonômicos na entrada da Baía de Guanabara

Durante os quatro períodos do ano, nos três anos de estudo, a variação da densidade celular do microfitoplâncton aponta para algumas tendências (Figura 9).

O padrão de variação observado na Figura 3 sugere haver um incremento no ano de 1999 pelas diatomáceas, onde se destacam os meses de fevereiro e abril como os valores de maiores densidades, em oposição a junho, julho, onde as

densidades celulares foram as mais baixas.

As diatomáceas mantiveram destaque nos grupos taxonômicos, com valores superiores em fevereiro ( $10^6 \pm 5.10^6 \text{ cel.L}^{-1}$ ) e abril ( $10^6 \text{ cel.L}^{-1} \pm 10^6 \text{ cel.L}^{-1}$ ), assim como, maior amplitude de variação. Já os dinoflagelados, tiveram maiores valores nos meses de janeiro e março ( $2.10^5 \pm 10^5 \text{ cel.L}^{-1}$ ) e fevereiro ( $2.10^5 \pm 4.10^5 \text{ cel.L}^{-1}$ ). Assim como os dinoflagelados, as euglenófitas apresentaram valores inferiores de densidade celular comparando com as diatomáceas. Em janeiro ( $9.10^4 \pm 10^5 \text{ cel.L}^{-1}$ ) e abril ( $7.10^4 \pm 10^5 \text{ cel.L}^{-1}$ ) tiveram valores superiores de densidade celular.

As diatomáceas apresentaram maiores densidades celular no verão ( $9.10^5 \pm 10^6 \text{ cel.L}^{-1}$ ) e outono ( $7.10^5 \pm 10^6 \text{ cel.L}^{-1}$ ), ocorrendo um declínio no período do inverno ( $2.10^5 \pm 10^5 \text{ cel.L}^{-1}$ ) e um incremento na primavera ( $6.10^5 \pm 7.10^5 \text{ cel.L}^{-1}$ ). (Figura 9a).

Com menores valores ( $2.10^5 \pm 1.10^5 \text{ cel.L}^{-1}$ ) que as diatomáceas, os dinoflagelados tiveram maior destaque no período do verão (Figura 9b). As euglenófitas apresentaram valores de densidade celular análogos nos quatro períodos, destacando-se o verão ( $6.10^4 \pm 8.10^4 \text{ cel.L}^{-1}$ ) e a primavera ( $5.10^4 \pm 9.10^4 \text{ cel.L}^{-1}$ ) com valores superiores, e com valores inferiores ( $10^4 \pm 9.10^3 \text{ cel.L}^{-1}$ ) o inverno (Figura 9c).

Conforme observado na Figura 5, a distribuição com os maiores valores de densidade celular são verificados no período primavera – verão. Desta forma, podemos evidenciar algumas anomalias, analisando por ano de estudo (Figura 10).

Na distribuição anual, as diatomáceas no ano de 1999, teve direta influencia no verão com  $2.10^6 \text{ cel.L}^{-1}$ . O ano 2000 foi atípico, por apresentar maiores valores de densidade celular no outono ( $10^6 \text{ cel.L}^{-1}$ ) e primavera ( $8.10^5 \text{ cel.L}^{-1}$ ) (Figura 10a).

Nos três anos, os dinoflagelados apresentaram o padrão sazonal típico (Figura 5), tendo em 1999, os maiores valores no verão ( $2.10^5 \text{ cel.L}^{-1}$ ) e no outono ( $8.10^4 \text{ cel.L}^{-1}$ ) (Figura 10b).

As euglenófitas também tiveram os maiores valores no verão de 2000, com densidade celular de  $8.10^4 \text{ cel.L}^{-1}$  e no outono com  $5.10^4 \text{ cel.L}^{-1}$ . Em oposição, o ano de 1985 apresentou-se atípico conforme a Figura 3, tendo apenas o verão

( $2 \cdot 10^4 \text{ cel.L}^{-1}$ ) como exceção (Figura 10c).

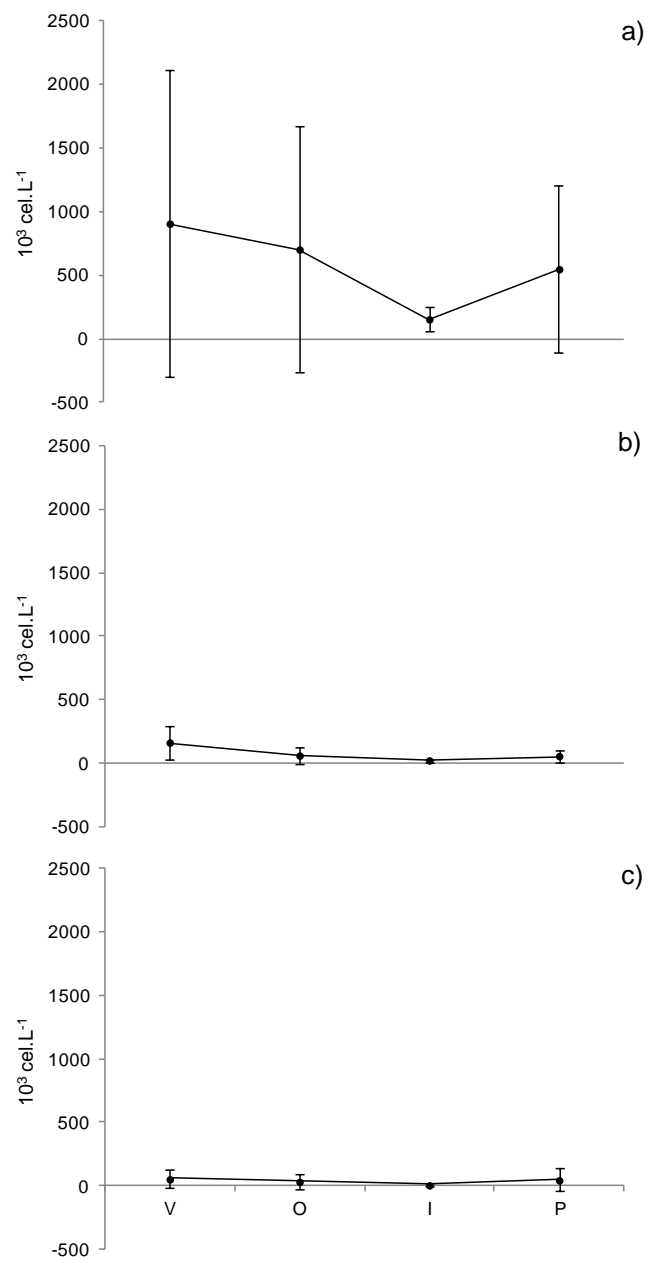


Figura 9: Distribuição sazonal do microfitoplâncton na entrada da Baía de Guanabara a) diatomáceas, b) dinoflagelados e c) euglenófitas. V= verão, O= outono, I= inverno, P= primavera (média e desvio padrão).

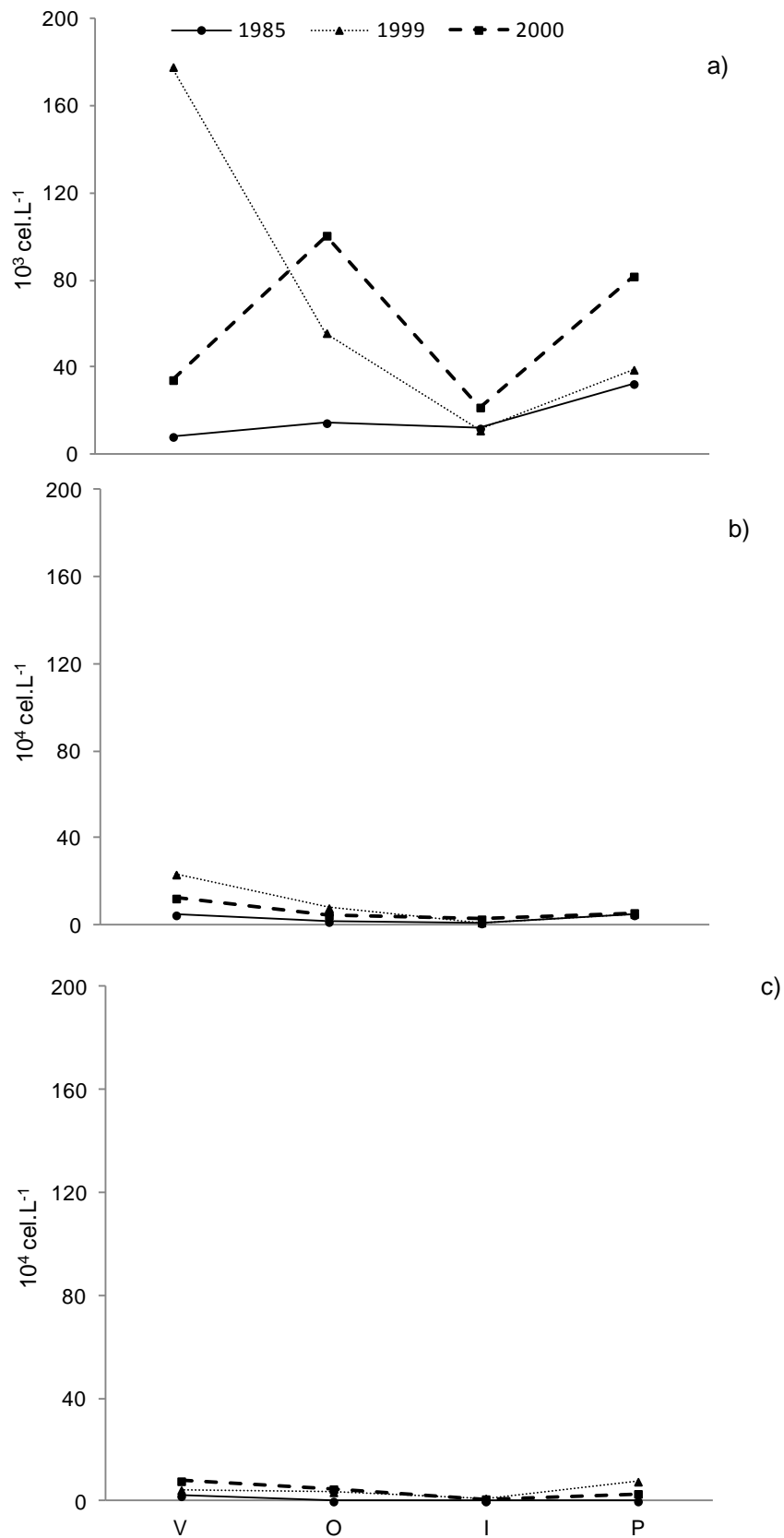


Figura 10: Variação sazonal da densidade celular do microfitoplâncton por ano de coleta, na entrada da Baía de Guanabara. a) diatomáceas, b) dinoflagelados e c) euglenofíceas. V= verão, O= outono, I= inverno, P= primavera.



## 7.2. Canal de circulação Baía de Guanabara

### 7.2.1. Variação Temporal da densidade celular do microfitoplâncton

A distribuição anual da densidade celular nos oito anos de estudos está entre  $10^4$  a  $10^6$  cel.L<sup>-1</sup>, apresentando os meses de janeiro, março, abril, maio e dezembro como as maiores densidades em oposição a junho, julho e agosto, onde as densidades celulares foram mais baixas. Destaca-se ainda a grande amplitude de variação dos dados nos meses de fevereiro e abril (Figura 11).

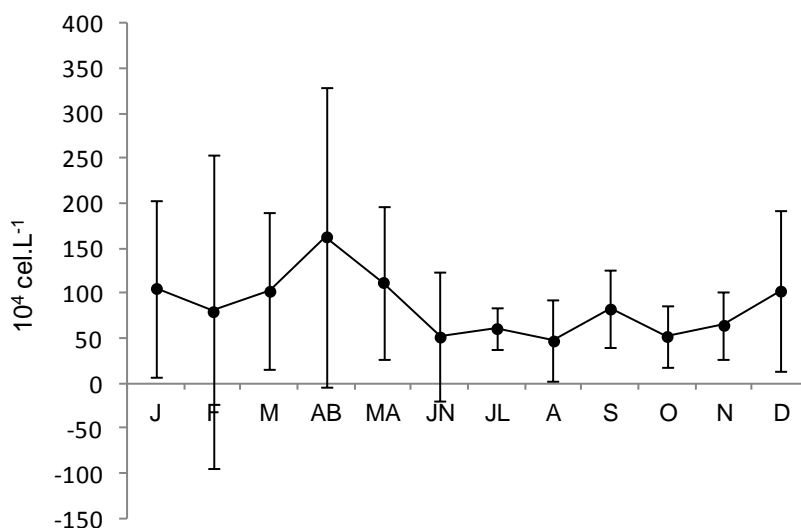


Figura 11: Variação mensal da densidade celular do microfitoplâncton no canal de circulação da Baía de Guanabara (média e desvio padrão).

Analisando a variação mensal por ano de amostragem, as médias dos oito anos de estudo ( $5 \cdot 10^6$  cel.L<sup>-1</sup>) e a média anual em alguns anos, pode-se evidenciar o padrão e as eventuais anomalias (Figura 12). A média anual foi observada apenas nos anos de 1985 e 2011, onde temos a distribuição ao longo do ano, enquanto que a média dos oito anos esteve representada em todos os anos.

A densidade celular em 1985 variou entre de  $2 \cdot 10^4$  a  $2 \cdot 10^6$  cel.L<sup>-1</sup> ( $4 \cdot 10^5 \pm 5 \cdot 10^5$  cel.L<sup>-1</sup>), abaixo da média dos 8 anos e acima da média anual ( $4 \cdot 10^5$  cel.L<sup>-1</sup>), apenas nos meses de agosto, setembro e outubro.

Assim como o ano 2011, os valores de densidade celular de  $1 \cdot 10^4$  a  $3 \cdot 10^5$  cel.L<sup>-1</sup> ( $10^5 \pm 9 \cdot 10^4$  cel.L<sup>-1</sup>), estiveram abaixo do média dos oito anos e da média anual ( $10^5$  cel.L<sup>-1</sup>), com exceção dos meses de fevereiro, abril e dezembro.

Os demais anos estão representados pela densidade celular e pela média dos oito anos, ou não foram graficados, por apresentarem apenas dados pontuais.

Com valores acima da média dos oito anos observa-se o ano de 2007, no período de agosto a dezembro, e 2008, apenas no período de janeiro a julho. Já com valores abaixo da média dos oito anos temos o ano de 2008 em agosto.

O ano que mais se aproxima do padrão de distribuição mensal, observado na figura 9, seria o ano de 2008, apesar de apenas apresentar dados no período de janeiro a agosto.

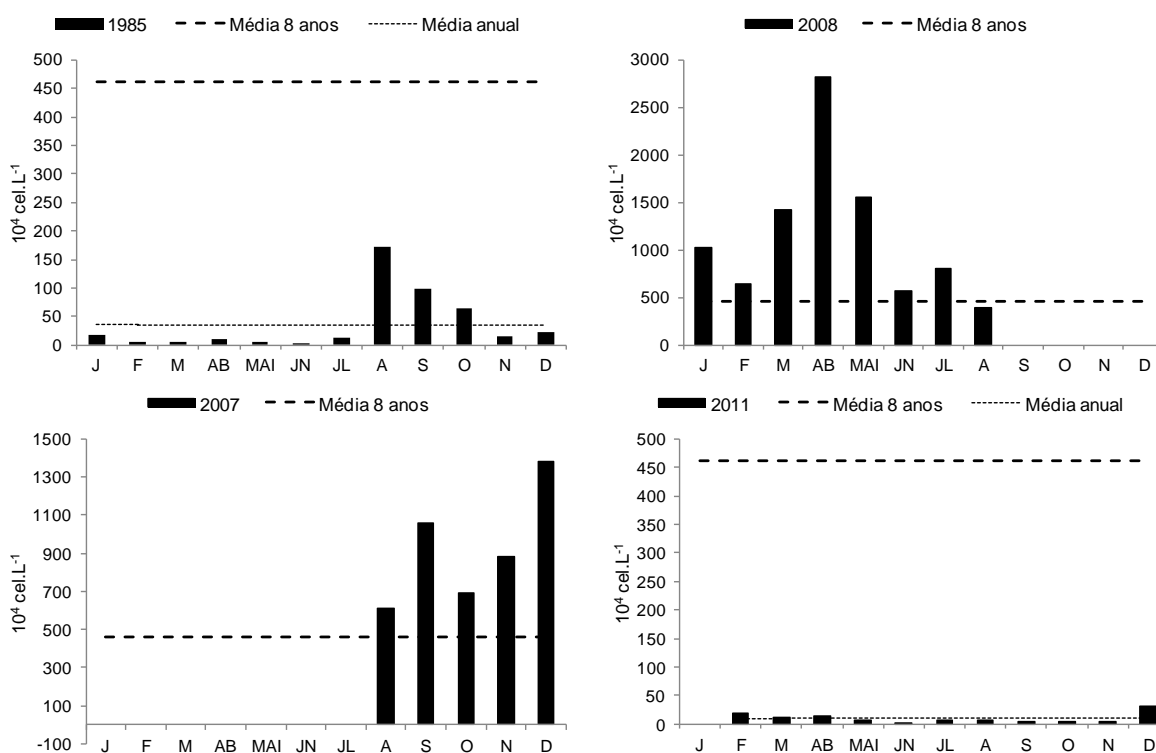


Figura 12: Variação mensal do microfitoplâncton por ano de coleta no canal de circulação da Baía de Guanabara.

A variação da densidade celular do microfitoplâncton pode ser avaliada a partir dos oito anos de estudo e quatro períodos do ano indicando tendências do padrão de distribuição, que está diretamente influenciado pela diferença entre os meses do ano (Figura 13).

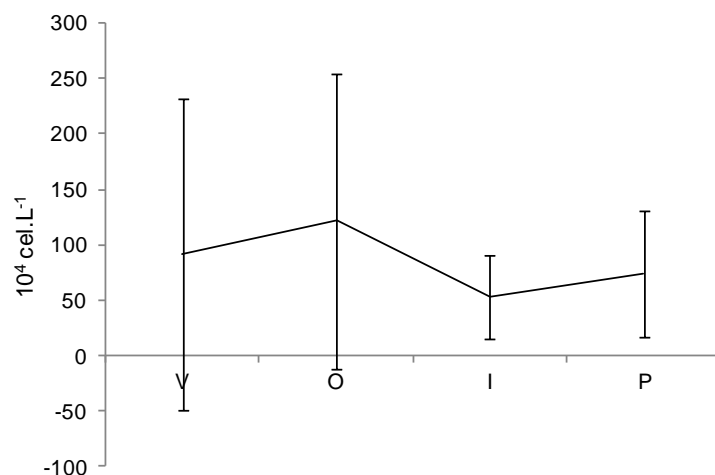


Figura 13: Variação sazonal da densidade do microfitoplâncton nos quatro períodos do ano, por anos de coleta, no canal de circulação da Baía de Guanabara. V= verão (n= 70), O= outono (n= 47), I= inverno (n= 52), P= primavera (n= 61). (média e desvio padrão).

O período de outono (abril a junho) apresentou valores superiores de densidade celular ( $10^6 \text{ cel.L}^{-1}$ ), com uma ampla faixa de variação. Enquanto no inverno (julho e agosto) as densidades celulares foram mais baixas ( $5 \cdot 10^5 \text{ cel.L}^{-1}$ )

Com valores de densidade menor ( $9 \cdot 10^5 \pm 10^6 \text{ cel.L}^{-1}$ ) e uma ampla faixa de variação, o período do verão (janeiro a março) foi assim caracterizado, enquanto que na primavera os valores de densidade foram de  $7 \cdot 10^5 \pm 6 \cdot 10^5 \text{ cel.L}^{-1}$ .

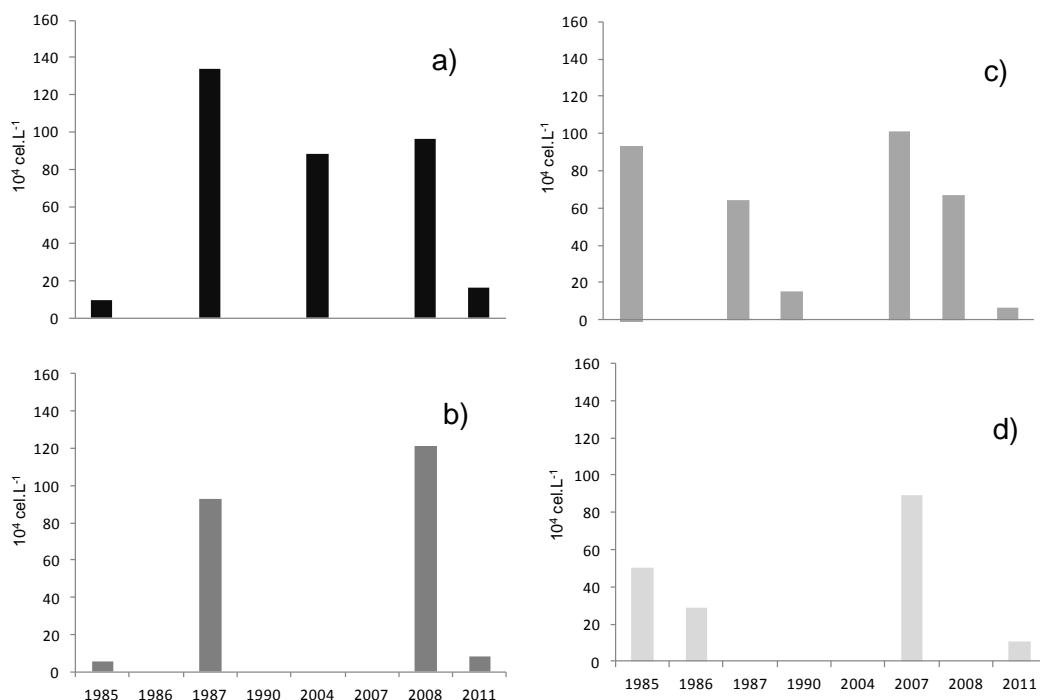


Figura 14: Variação sazonal da densidade do microfitoplâncton (valores médios) por ano de coleta,

no canal de circulação da Baía de Guanabara a) verão, b) outono, c) inverno, d) primavera.

Analisando os períodos por ano de estudo, podemos evidenciar as tendências, em função do padrão estabelecido na figura 13, conforme apresentado na Figura 14.

Seguindo o padrão de distribuição na figura 13, temos que no período do verão, o ano de 1987 apresentou valores superiores ( $10^6$  cel.L<sup>-1</sup>). Destacou-se o ano de 2008 ( $10^6$  cel.L<sup>-1</sup>) no outono, e 2007, no período de inverno ( $10^6$  cel.L<sup>-1</sup>) e primavera ( $9 \cdot 10^5$  cel.L<sup>-1</sup>).

### 7.2.2. Variação Temporal da densidade celular do grupos taxonômicos do microfitoplâncton

Ao longo dos oito anos de estudo, a contribuição dos principais grupos taxonômicos apresentaram variações (Figura 15).

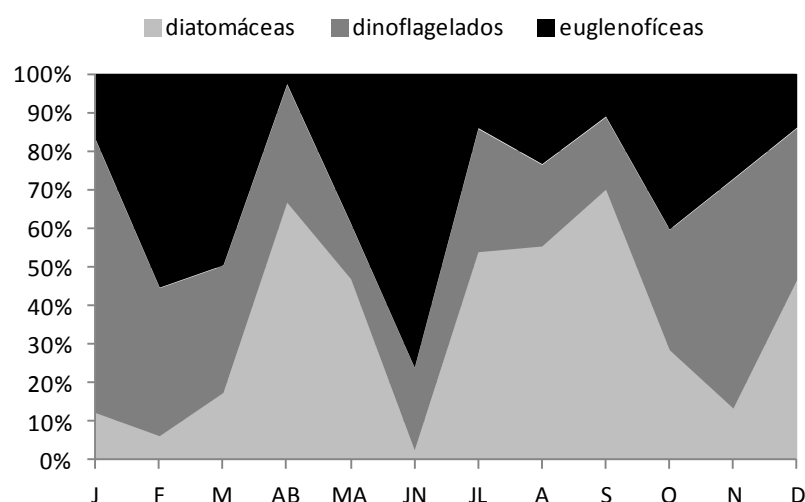


Figura 15: Variação anual da contribuição dos grupos taxonômicos no canal de circulação da Baía de Guanabara

As diatomáceas constituíram o grupo mais representativo do microfitoplâncton com contribuição máxima de 70%, apresentando maior valor de densidade celular média em abril ( $10^6$  cel.L<sup>-1</sup>), com 67% de contribuição. Em janeiro, os dinoflagelados tiveram o maior percentual de contribuição (71%) e maior valor de densidade celular ( $7 \cdot 10^5$  cel.L<sup>-1</sup>), assim como as euglenófitas, em junho com 76% e maior valor de densidade celular ( $5 \cdot 10^5$  cel.L<sup>-1</sup>) em março.

A variação anual da densidade celular dos principais grupos taxonômicos

(Figura 16) evidenciou uma variação ao longo dos meses. Seguindo o padrão estabelecido pela Figura 11, as diatomáceas apresentaram nos meses de abril ( $10^6 \pm 2.10^6 \text{ cel.L}^{-1}$ ), maio ( $5.10^5 \pm 6.10^5 \text{ cel.L}^{-1}$ ), setembro ( $6.10^5 \pm 5.10^5 \text{ cel.L}^{-1}$ ) e dezembro ( $5.10^5 \pm 8.10^5 \text{ cel.L}^{-1}$ ), valores superiores de densidade e de variação, em oposição ao mês de junho ( $10^4 \pm 9.10^3 \text{ cel.L}^{-1}$ ) com os valores mais inferiores (Figura 16a).

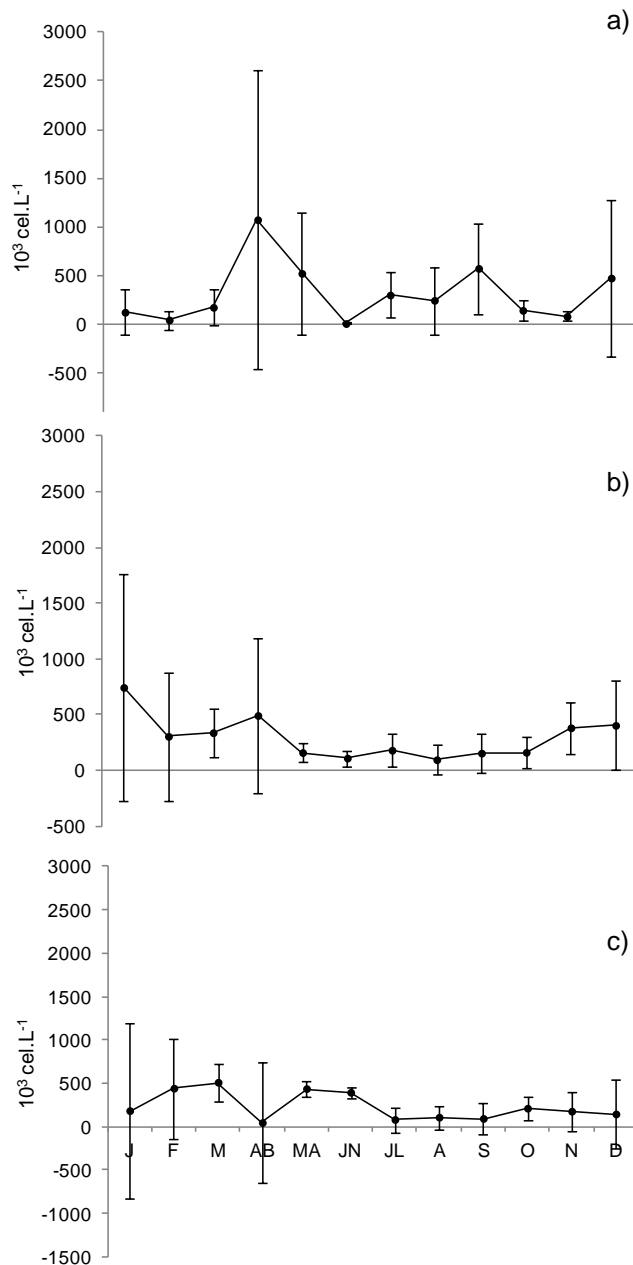


Figura 16: Variação mensal dos grupos taxonômicos no canal de circulação da Baía de Guanabara. a) diatomáceas, b) dinoflagelados e c) euglenófitas (média e desvio padrão).

Com padrão semelhante os dinoflagelados tiveram os meses de janeiro

( $7.10^5 \pm 1.10^6$  cel.L<sup>-1</sup>) e abril ( $5.10^5 \pm 7.10^5$  cel.L<sup>-1</sup>) com os maiores valores de densidade e de variação, sendo no mês de fevereiro ( $3.10^5 \pm 6.10^5$  cel.L<sup>-1</sup>) com ampla variação e baixa densidade (Figura 16b).

Diferenciando-se dos demais grupos, as euglenófitas no mês de fevereiro tiveram a maior amplitude de variação e baixa densidade celular ( $4.10^5$  cel.L<sup>-1</sup>  $\pm 10^6$  cel.L<sup>-1</sup>), enquanto que no mês de março com maior valor da densidade celular ( $5.10^5$  cel.L<sup>-1</sup>) (Figura 16c). Tanto as diatomáceas como dinoflagelados apresentaram ampla variação no mês de abril, enquanto as euglenófitas tiveram o valor inferior ( $5.10^4$  cel.L<sup>-1</sup>) (Figura 16a, 16b e 16c).

Conforme na Figura 11, os maiores valores de densidade celular são verificados no período verão – outono. Desta forma, podemos evidenciar algumas anomalias, analisando por ano de estudo (Figura 17).

Verificamos que cada grupo segue o padrão como modelo, de acordo com a figura 11. Na figura 17a, as diatomáceas no período de outono ( $7.10^5$  cel.L<sup>-1</sup>  $\pm 10^6$  cel.L<sup>-1</sup>), apresentaram maiores valores de densidade e amplitude de variação, com o declínio no período do verão ( $10^5 \pm 2.10^5$  cel.L<sup>-1</sup>). Os dinoflagelados com maior destaque no período do verão ( $4.10^5 \pm 7.10^5$  cel.L<sup>-1</sup>) e valores superiores aos demais períodos (Figura 15b), enquanto as euglenófitas com valores superiores somente no verão ( $4.10^5 \pm 10^6$  cel.L<sup>-1</sup>) (Figura 17b).

Os três grupos taxonômicos mantiveram no período de primavera os menores valores de densidade (Figura 17a, 17b e 17c).

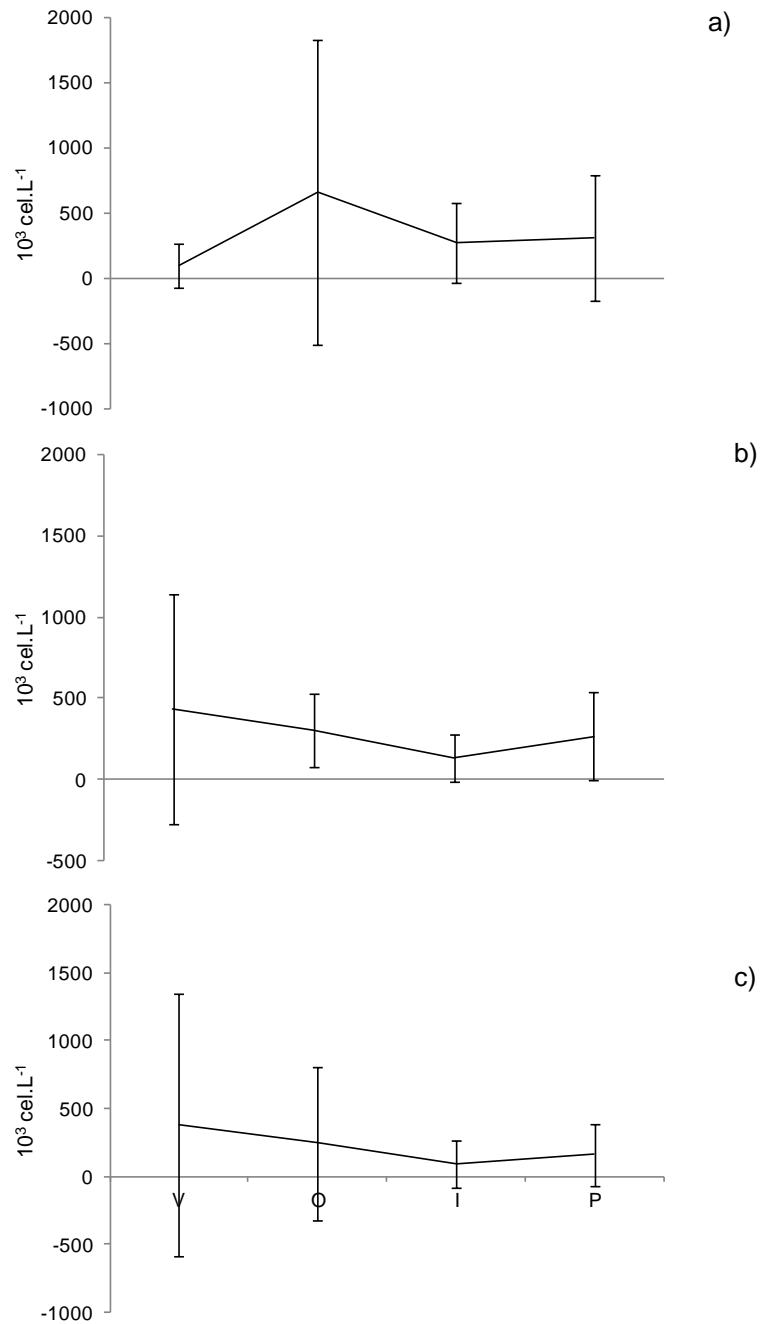


Figura 17: Distribuição sazonal dos grupos taxonômicos no canal de circulação da Baía de Guanabara a) diatomáceas, b) dinoflagelados e c) euglenofíceas. V= verão, O= outono, I= inverno, P= primavera. (média e desvio padrão).

A variação sazonal da densidade celular dos principais grupos taxonômicos, analisando por ano de estudo, pode evidenciar algumas diferenças, ao seguir o padrão estabelecido na Figura 14 (Figura 18).

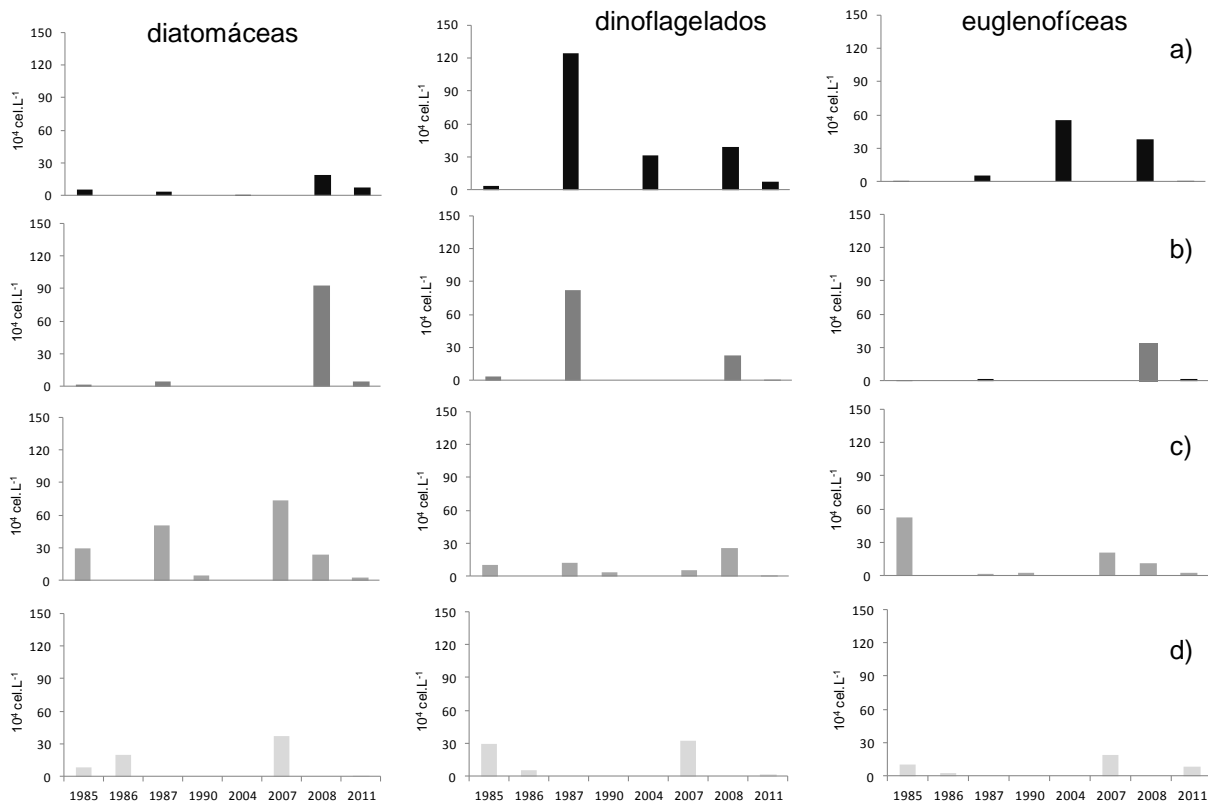


Figura 18: Variação sazonal da densidade celular dos grupos taxonômicos no canal de circulação da Baía de Guanabara: a) verão, b) outono, c) inverno, d) primavera.

O outono foi caracterizado pelas diatomáceas no ano de 2008 com valores superiores de  $9.10^5 \pm 10^6 \text{ cel.L}^{-1}$ , assim como no período de inverno nos anos de 1985 ( $3.10^5 \pm 2.10^5 \text{ cel.L}^{-1}$ ), 1987 ( $5.10^5 \pm 2.10^5 \text{ cel.L}^{-1}$ ), e 2007 ( $7.10^5 \pm 5.10^5 \text{ cel.L}^{-1}$ ) (Figura 18a).

Durante o período do verão, os dinoflagelados apresentaram valores superiores no ano de 1987 ( $10^6 \pm 10^6 \text{ cel.L}^{-1}$ ), e no período do outono ( $8.10^5 \pm 10^6 \text{ cel.L}^{-1}$ ). (Figura 18b).

As euglenofíceas mantiveram maiores valores no verão, caracterizado pelos anos de 2004 ( $6.10^5 \pm 10^6 \text{ cel.L}^{-1}$ ) e 2008 ( $4.10^5 \pm 7.10^5 \text{ cel.L}^{-1}$ ), enquanto o período de inverno pelos anos de 1985 ( $5.10^5 \pm 7.10^5 \text{ cel.L}^{-1}$ ) e 2007 ( $2.10^5 \pm 2.10^5 \text{ cel.L}^{-1}$ ) (Figura 18c).

Os três grupos apresentaram semelhanças no padrão de distribuição da figura 14, com diferenças entre os valores de densidade celular.



### **7.3. Qualidade Ambiental**

A média das densidades (cel.L-1) das Diatomáceas, Dinoflagelados e Euglenas encontradas ao longo dos meses, anos e períodos sazonais é apresentada na Tabela 3 e as frequências de ocorrência dos resultados apresentados na Tabela 4.

Os valores abaixo de 25% do maior valor por grupo fitoplanctônico foram os mais frequentes em todos os tratamentos (Tabela 4).

A análise mensal mostrou que os meses de fevereiro e abril foram os que apresentaram as maiores densidades para as diatomáceas. Estes valores representaram contudo apenas 10% do observado em todo o período de estudo. Entre os dinoflagelados foi encontrado apenas um único valor acima de do critério de 75% do valor máximo no mês de janeiro representando apenas 4% do total. As euglenofíceas apresentaram 17% dos valores acima de 75% do valor máximo de densidade para este grupo, sendo o mês de abril que apresentou a maior densidade.

Os maiores valores de densidade para diatomáceas foram no ano de 1999 e 2000, representando 36% do observado em todo o período de estudo. Entre os dinoflagelados apenas o ano de 1987 esteve acima de 75%, representando apenas 9% do total. Em 2004, as euglenofíceas apresentaram 18% dos valores acima de 75%.

mensal	diatomácea	dinoflagelado	euglenofícea
J 1	654.229	158.025	85.253
J 2	128.824	743.695	181.855
F 1	1.459.373	164.117	19.914
F 2	49.600	305.131	440.669
M 1	798.267	158.247	53.747
M 2	179.006	337.857	508.940
AB 1	1.256.617	79.898	70.056
AB 2	1.077.501	492.112	44.401
MAI 1	754.878	51.063	28.007
MAI 2	527.246	159.875	435.936
JN 1	229.150	44.517	20.056
JN 2	13.131	110.186	393.150
JL 1	130.035	17.305	9.439
JL 2	305.181	180.742	80.129
A 1	186.249	20.507	9.804
A 2	250.593	95.636	106.108
S 1	712.262	30.085	23.113
S 2	578.289	154.518	91.915
O 1	660.720	40.510	57.148
O 2	148.373	161.889	209.847
N 1	338.582	75.877	61.650
N 2	86.163	381.989	175.211
D 1	488.002	88.070	52.285
D 2	479.339	403.604	143.588
anual	diatomácea	dinoflagelado	euglenofícea
1985a	185.017	32.283	5.250
1985b	95.892	134.732	124.681
1986	204.850	59.050	26.000
1987	196.831	727.080	31.180
1990	48.325	40.775	24.725
1999	678.243	90.194	47.389
2000	633.149	65.763	43.128
2004	11.776	312.359	558.195
2007	416.508	292.058	196.944
2008	493.566	298.557	305.711
2011	34.009	24.782	44.818
Sazonal	diatomácea	dinoflagelado	euglenofícea
V 1	909.529	159.631	57.104
V 2	98.117	436.980	380.376
O 1	706.103	56.780	36.918
O 2	664.488	303.761	242.650
I 1	156.663	18.822	9.612
I 2	273.688	131.642	95.117
P 1	551.119	53.209	49.132
P 2	308.724	266.188	159.624

Tabela 3: Média das densidades (cel.L<sup>-1</sup>) das Diatomáceas, Dinoflagelados e Euglenas encontradas ao longo dos meses, anos e períodos na Baía de Guanabara: 1) entrada 2) canal de circulação.

No período de verão, outono e primavera as diatomáceas estavam representada por 50%, e dinoflagelados, por 38%, constituindo os grupos mais

representativo, enquanto euglenofíceas apresentaram valores acima de 75% nos períodos de verão e outono, representado por 25%.

As frequências de ocorrência dos resultados apresentados na Tabela 4 mostram que 67% das médias dos valores de densidade de diatomáceas, dinoflagelados e euglenofíceas ao longo dos meses estudados estão abaixo de 25% do valor máximo de densidade de cada grupo caracterizando a Baía como um corpo d'água com estado ecológico elevado ou potencialmente máximo. Da mesma forma 64% dos anos estudados apresentaram também esta condição.

Em termos sazonais, contudo, 50% dos valores apresentaram um estado ou potencial ecológico moderado. Estes resultados indicam que a maior parte do tempo a Baía de Guanabara apresenta uma população de diatomáceas, dinoflagelados e euglenofíceas significativa, mas com valores de densidade relativamente mais baixos aos maiores valores. Contudo, os maiores valores são observados em meses que refletem uma tendência sazonal de crescimento dessas populações, especialmente o verão e o outono, quando o aporte de nutrientes é maior em função principalmente da contribuição do descarte de esgoto continental.

MENOR	13.131	17.305	9.439
MAIOR	1.459.373	743.695	508.940
MÉDIA	478.817	185.644	137.593
DESVIO	389.099	176.745	151.391
Classe 1	2	1	4
Classe 2	7	5	4
Classe 3	12	18	16
Classe 1	10%	4%	17%
Classe 2	33%	21%	17%
Classe 3	57%	75%	67%
anual	diatomácea	dinoflagelado	euglenofícea
MENOR	11.776	24.782	5.250
MAIOR	678.243	727.080	558.195
MÉDIA	272.561	188.876	128.002
DESVIO	242.602	211.104	169.571
Classe 1	2	1	1
Classe 2	5	3	2
Classe 3	4	7	8
Classe 1	18%	9%	9%
Classe 2	45%	27%	18%
Classe 3	36%	64%	73%
sazonal	diatomácea	dinoflagelado	euglenofícea
MENOR	98.117	18.822	9.612
MAIOR	909.529	436.980	380.376
MÉDIA	458.554	178.377	128.817
DESVIO	291.134	145.776	126.758
Classe 1	2	1	1
Classe 2	4	4	3
Classe 3	2	3	4
Classe 1	25%	13%	13%
Classe 2	50%	50%	38%
Classe 3	25%	38%	50%

Tabela 4: Estatística descritiva ( $\text{cel.L}^{-1}$ ) e frequências de ocorrência (%) das Diatomáceas, Dinoflagelados e Euglenas encontradas ao longo dos meses, anos e períodos na Baía de Guanabara: 1) entrada 2) canal de circulação

## 8. Discussão

### 8.1. Variação Espacial

As altas concentrações celulares da Baía de Guanabara da ordem de  $10^6$   $\text{cel.L}^{-1}$ , detectadas no período de 1985 – 2011, identificam o já descrito ambiente como típico de um sistema eutrofizado (Lima, 2007, Santos (2002), Villac (1990), Barboza (1987), PELD e PRONEX. De fato estes valores são compatíveis com o

de outros sistemas estuarinos eutrofizados da costa do Brasil: Baía de Sepetiba, RJ (Matos, 2003), Estuário do Rio Paraíba do Norte – PB (Sassi, 1991), Baía de Paranaguá – PR (Brandini, 1985; Brandini & Thamm, 1994) e Canal de São Sebastião – SP ( Giancesella et al., 1999).

Várias são as respostas ecológicas ao processo de eutrofização. As altas concentrações de nutrientes têm sido relacionadas com a floração de microalgas, podendo levar a anoxia e gerando impactos nocivos ou mesmo tóxicos, para o ecossistema repercutindo na saúde humana e ou recreação. Este fenômeno pode ser verificado em diferentes regiões geográficas (Glibert et al., 2005), como na Baía de Chesapeake, o maior estuário dos EUA (Kemp et al., 2005), que vem sofrendo grandes mudanças, últimos dois séculos, em suas propriedades ecológicas em resposta aos processos de enriquecimento de nutrientes. No Brasil, o Sistema Estuarino de Santos, submetido a expressivas contribuições antrópicas levaram à maior eutrofização, devido à ocupação e uso do solo pela cidade, a presença do pólo industrial de Cubatão e por ser o maior porto da América Latina (Gasparro et al., 2008).

Na Baía de Guanabara durante o período de estudo o microfitoplâncton apresentou valores de densidade na mesma ordem de grandeza nos dois pontos de amostragem, apesar da heterogeneidade espacial das características oceanográficas determinarem condições ambientais diferenciadas (Villac, 1990). Entretanto, a distribuição da representatividade dos grupos taxonômicos refletiu esta heterogeneidade. A alternância da dominância de diatomáceas atingindo até 93% da população na entrada da Baía e a maior expressividade das euglenófitas no canal de circulação atingindo até 76%, exemplificam esta heterogeneidade.

Esta distribuição durante os anos de estudo evidenciou nitidamente um predomínio de diatomáceas com 84% da densidade do microfitoplâncton na entrada da Baía em contrapartida dos flagelados que contribuíram com 63% da comunidade no canal de circulação (Figura 19).

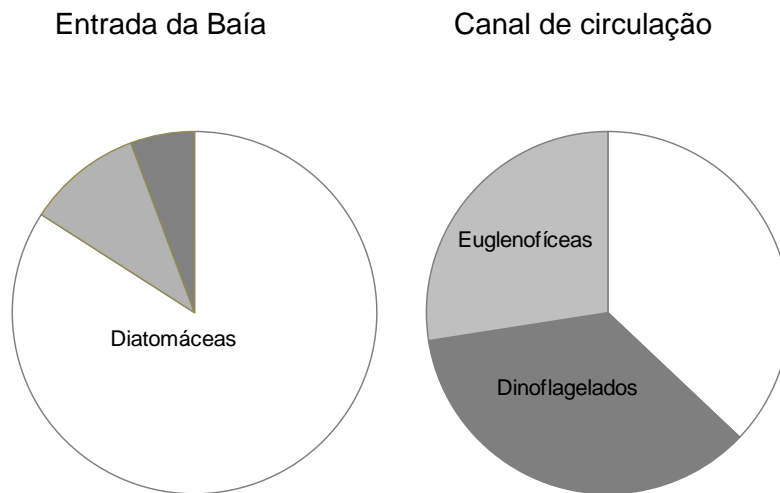


Figura 19: Contribuição das diatomáceas, dinoflagelados e euglenofíceas nos dois pontos de coleta da Baía de Guanabara. a) entrada b) canal de circulação

Apesar da entrada da Baía estar situada entre dois centros urbanos mais desenvolvidos da região, as cidades do Rio de Janeiro (parte oeste da Baía) e de Niterói (parte leste da Baía), e estar sujeitas a forte poluição orgânica, recebe a influência das águas mais salinas e transparentes, e menos eutrofizadas, enquanto no canal de circulação, há o menor aporte continental e maior influência do oceano (Mayr *et al*, 1989).

A ação conjunta dos focos de poluição e do padrão de circulação de águas determinam os diferentes níveis de comprometimento, já que no canal central há maior eficiência das correntes de maré, gerando uma região com melhor qualidade de água, a partir da água de plataforma que entra na baía. (Mayr *et al.*, 1989).

A dominância de diatomáceas em regiões costeiras rasas reflete a instabilidade na entrada, onde processos geradores de turbulência tendem a homogeneizar a coluna de água, disponibilizando altas concentrações de nutrientes na zona eufótica e minimizando a sedimentação de suas células (Villac, 1990).

A presença de euglenofíceas na Baía de Guanabara é verificada pela afinidade por águas salobras com altos teores de matéria orgânica, fósforo e nitrogênio (Alves-da-Silva & Laitano 1994). Por apresentarem um ou mais flagelos (estrutura responsável pela captura e armazenamento de alimento) que auxiliam na locomoção, favorece a alimentação fagotrófica (Porter 1989), sendo mais uma vantagem na nutrição, nestes ambientes ricos em matéria orgânica. Além das

esuglenoficeas dinoflagelados também apresentam esta hábito alimentar (Smayda 1997).

As características físicas, químicas e a CI a durante o período de estudo são sumarizadas na Tabela 2 como os fatores condicionantes e a resposta biológica das variações da estrutura do fitoplâncton.

A distribuição da temperatura e salinidade na Baía de Guanabara é determinada principalmente pela interação entre o aporte fluvial e a água marinha (Melo, 2004). Em escala sazonal, existe uma distribuição diferenciada da temperatura e da salinidade dentro da baía em virtude da variação do aporte fluvial. A amplitude de variação entre os valores de temperatura registrados para entrada, obedecem às flutuações sazonais. As temperaturas superficiais são mais elevadas (>22°C) e há direta influência oceânica, enquanto que no interior, as águas são mais rasas e sofrem influência da drenagem continental (Mayr et al., 1989; Mayr, 1998). A temperatura aumenta da entrada da baía até o fundo, em resposta a advecção de água do mar, mais fria, para a baía (Kjerfve et al., 1997). Atua controlando a distribuição e reprodução de diferentes espécies do fitoplâncton, influenciando indiretamente sobre a produção, através dos seus efeitos sobre o movimento e mistura das águas, e também no aporte de nutrientes para os níveis eufóticos. As águas mais quentes aumentam a taxa de atividade biológica e por essa razão, os organismos tropicais crescem mais rápido, têm uma expectativa de vida menor e se reproduzem mais cedo e mais freqüentemente do que aqueles de águas mais frias (Thurman, 1997).

As menores salinidades (<36,4), se referem as áreas internas onde há os efeitos dos rios e efluentes continentais, sobretudo em período de chuva, e está associada com a Água Central do Atlântico Sul (ACAS), segundo os limites definidos por Emilsson (1961) e Miranda (1982) . Os maiores valores >36,4 nas regiões de maior profundidade indicam à intrusão de Água da Plataforma durante as marés enchentes. A água costeira é constituída pela contribuição continental e pela Água de Plataforma, que é formada por duas massas d'água (Emilsson,1961; Miranda, 1982): a Água Tropical, através da Corrente do Brasil – direção sul, com a salinidade >36 e temperatura >20°C ) e a Água Subtropical, adjacente à Água

Tropical – direção norte (salinidade de 35-36 e temperatura entre 10-20°C). Baseado no princípio de que, o tempo de residência da água é o principal fator controlador do fitoplâncton, uma rápida mudança na salinidade pode ser um fator de estresse para a comunidade, podendo resultar alterações na abundância como na composição (Smayda, 1983). A variação da salinidade está relacionada à diluição da água marinha pelo aporte fluvial e a variação da temperatura pela entrada de uma água mais fria de origem marinha.

Os teores em oxigênio dissolvido são elevados na superfície e nas áreas internas onde há forte desenvolvimento fitoplanctônico, mas apresentam valores próximos a zero na camada mais profunda destas mesmas áreas, devido a intensos processos de oxidação da matéria orgânica. Em um ambiente eutrófico, poderá ocorrer queda na concentração de oxigênio dissolvido, que provém naturalmente de processos de dissolução/aeração das águas e como produto da reação de fotossíntese. Pode variar em função da temperatura e salinidade da água e da pressão atmosférica; ocorrendo reduções significativas provocadas por despejos de origem orgânica (esgotos e alguns efluentes industriais) e/ou com elevada temperatura, que pode diminuir a solubilidade do oxigênio na água.

Tabela 2: Estatística descritiva de algumas variáveis físico-químicas e da clorofila *a* na Baía de Guanabara durante o período de estudo

Variável	unidade	mínimo	máximo	média	Referências
Temperatura	°C	18	30,5		Villac 1990 <sup>1</sup>
	°C	20	29,4		Villac 1990 <sup>2</sup>
	°C			21,0	Barboza, 1997 <sup>2</sup>
	°C			22,5	Santos, 2002 <sup>1</sup>
	°C			24,0	Lima, 2007 <sup>2,4</sup>
Salinidade		20,70	36,45		Villac 1990 <sup>1</sup>
		24,50	36,60		Villac 1990 <sup>2</sup>
				32,0	Barboza, 1997 <sup>2</sup>
				33,4	Santos, 2002 <sup>1</sup>
				30,0	Lima, 2007 <sup>2,4</sup>



Oxigênio dissolvido	mL.L <sup>-1</sup>	1,3	7,4	Villac 1990 <sup>2</sup>
	μM			3,28 Santos , 2002 <sup>1</sup>
Amônia	μM	< 0,3	23,77	Villac 1990 <sup>2</sup>
	μM			7,07 Santos , 2002 <sup>1</sup>
	μM			3,21 Lima, 2007 <sup>2,4</sup>
Nitrato	μM			0,59 Lima, 2007 <sup>2,4</sup>
	μM			3,20 Santos , 2002 <sup>1</sup>
Silicato	μM			18,23 Lima, 2007 <sup>2,4</sup>
Clorofila a	μg. L <sup>-1</sup>	< 0,1	54,83	Villac 1990 <sup>2</sup>
				9,84 Santos , 2002 <sup>1</sup>
				39,29 Lima, 2007 <sup>2,4</sup>

Legenda: <sup>1</sup> entrada da Baía; <sup>2</sup> canal de circulação; <sup>4</sup> verão

Os altos teores de amônia (23,77μg) e nitrato (3,20μg) indicam que as águas da Baía vêm sofrendo um processo de degradação segundo os estudos de Karidis (2009) onde apresenta os indicadores com seus valores para águas consideradas eutróficas e Guimaraes (2005), sobre a estimativa dos fluxos de amônia e óxido nitroso na interface da Baía de Guanabara, RJ,

O silicato é um elemento nutriente, porém utilizado apenas por uma parcela dos organismos fitoplanctônicos (diatomáceas). A sua presença atua como um marcador da influência dos aportes terrestres, da diluição das águas e do espalhamento de plumas nos sistemas costeiros (Braga et al, 2008). Os valores apresentados por Lima (2007), foram superiores à superfície. Segundo Keith et al (2002), as concentrações dos nutrientes podem variar devido às mudanças dos gradientes de salinidades produzidos pelos processos de mistura, aporte de efluentes industriais e domésticos e a produção de nova matéria orgânica proveniente da atividade biológica.

Uma característica de fundamental importância no fitoplâncton é a presença de vários pigmentos fotossintéticos, os quais são responsáveis pela conversão de compostos inorgânicos em matéria orgânica, através da fotossíntese. A partir de

valores considerados para águas eutróficas em Karydis (2009), pode-se dizer que os maiores valores de clorofila variou em resposta a variáveis ambientais tal como os nutrientes (Gameiro, 2000), assim como a turbidez e a turbulência (Zhang, 1996).

## **8.2. Variação Sazonal**

As alterações estruturais e funcionais da comunidade fitoplanctônica em resposta a processos físicos, químicos e biológicos ocorrem em diferentes escalas de tempo, que podem variar segundo os anos. Em regiões costeiras, especialmente estuários, os efeitos das perturbações físicas são manifestados mais fortemente que em áreas oceânicas. Nos estuários, as variações sazonais estão associadas ao aumento do fluxo dos rios (Cloern, 1991) e alterações meteorológicas (Abboud-Abi Saab, 1992). As regiões tropicais apresentam duas estações bem marcadas pela presença ou ausência de chuvas (verão chuvoso e inverno seco), condicionando assim a intensidade do fluxo dos rios (Gilbes *et al.*, 1996).

A série temporal de 10 anos de observação de dados meteorológicos (Figura 20) coincidentes com as amostras de fitoplâncton evidenciam o período de dezembro a maio como o de maiores temperaturas ( $> 26^{\circ}\text{C}$ ) e precipitação ( $> 100\text{mm}$ ), caracterizado como o verão climático longo. Villac, 1990 analisando os dados de 1990 caracterizou a pluviosidade por sua concentração no trimestre mais chuvoso, a saber, jan-fev-mar, podendo se antecipar (outubro) ou se estender (abril, maio).

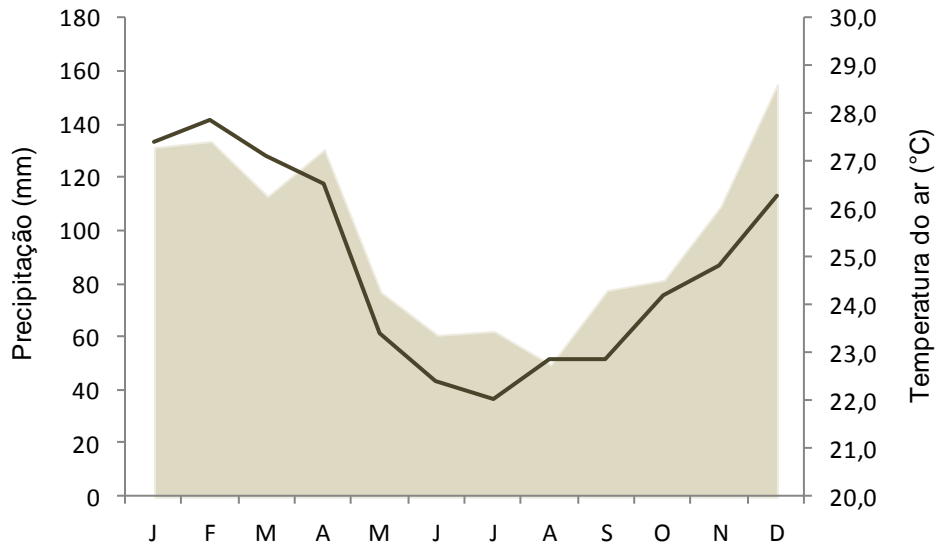


Figura 20: Variação mensal da precipitação (mm) e temperatura do ar (°C) média na Baía de Guanabara durante o período de estudo ( <http://www.inmet.gov.br/portal/>).

Verifica-se que o caráter de transição climática da região se inclina mais para os climas tropicais temperados, determinando uma estação chuvosa e outra seca. Em contrapartida os menores valores de temperatura e precipitação ocorrem no período de junho a agosto, caracterizando o inverno seco. Segundo Nimer, 1979, no período de inverno seco ocorrem chuvas ocasionais e pouco intensas, devido à reduzida umidade específica, uma vez que a baixa radiação solar característica desta estação climática acarreta numa baixa evaporação no hemisfério sul (Pellens et al., 2001).

A tendência temporal da densidade celular dos organismos planctônicos obedece à sazonalidade climática. No período de verão as maiores densidades celulares da ordem  $10^6$  cel.L<sup>-1</sup> contrastam com densidades celulares mais baixas do período de inverno (Figura 21). A variação entre os grupos taxonômicos evidencia a dominância das diatomáceas contribuindo com 60% da população do microfitoplâncton no verão enquanto que no inverno a repartição é homogênea. A dominância de diatomáceas no verão pode ser atribuída à alta taxa de crescimento em águas turbulentas e ricas em nutrientes (Margalef, 1978a). Além disso, em regiões costeiras pois a maior instabilidade da coluna de água permite a exploração dos nutrientes em diferentes profundidades, mesmo sem estruturas

para deslocamento (Margalef, 1997), pois são capazes de responder rapidamente a pulsos de nutrientes (Cloern & Dufford, 2005).

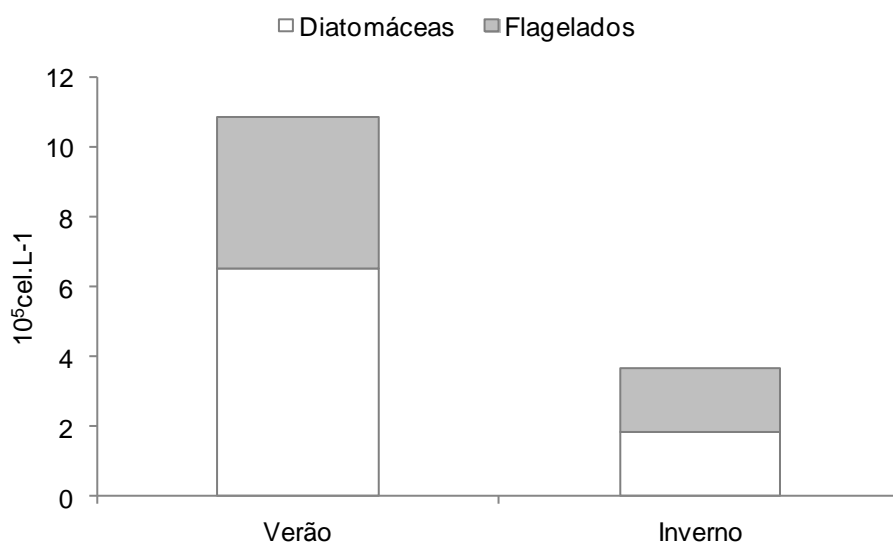


Figura 21: Variação mensal da densidade do microfitoplâncton na baía de Guanabara durante o período de estudo

### 8.3. Variação Interanual

Segundo a revisão de Santos, 2002, as alterações climáticas globais são causadas pelos fenômenos oceanográficos 'El Niño' e 'La Niña' têm sido associadas às variações interanuais e interdecadais na estrutura da comunidade fitoplanctônica em diversos sistemas aquáticos como: costa da Califórnia (Baughmgartner et al., 1985) e suas lagoas costeiras (Cota & Borrego, 1988), baía de São Francisco (Lehman, 2000) e baía de Chesapeake (Harding & Perry, 1997) nos EUA, Pacífico equatorial (Barber et al., 1996) e tropical (Fiedler et al., 1992). Estes fenômenos climáticos implicam em modificações no regime de chuvas e/ou na irradiância (Wells et al., 1996).

Durante os anos de estudos a série histórica da temperatura do ar assim como da precipitação identifica uma variação interanual através do aumento da temperatura e redução da precipitação (Figura 22).

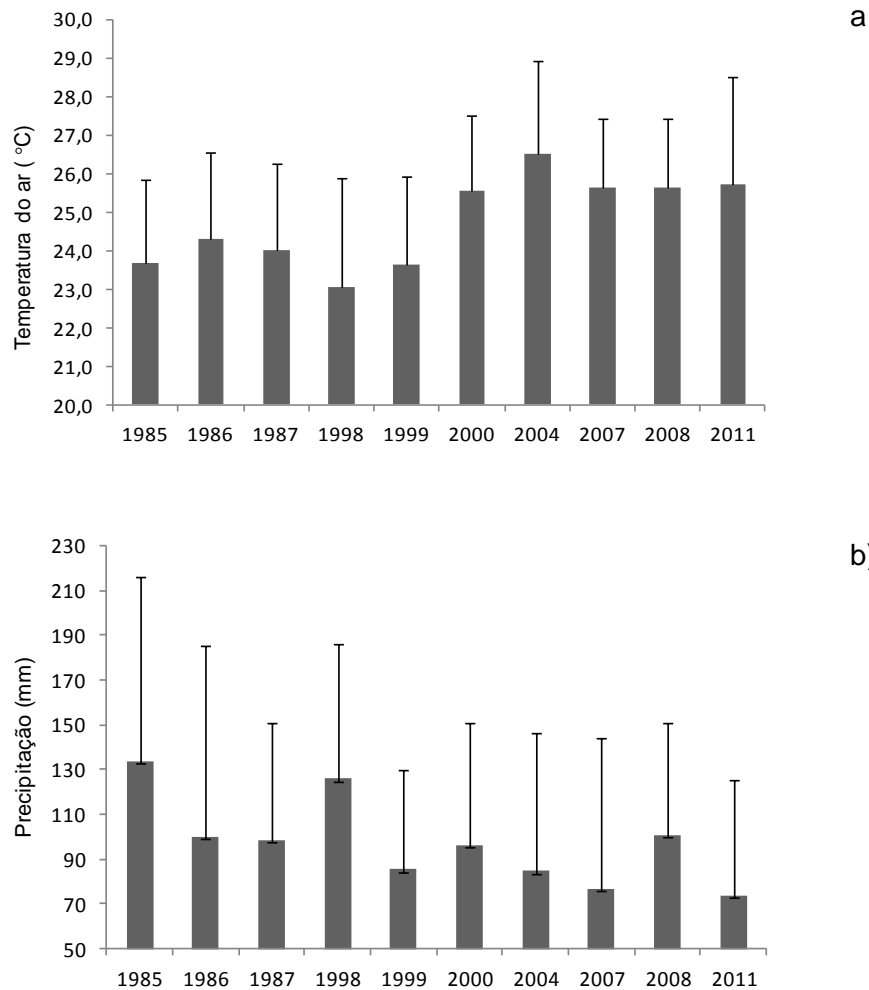


Figura 22: Variação anual média da temperatura do ar (a) e da precipitação (b) na Baía de Guanabara durante o período de estudo (<http://www.inmet.gov.br/portal/>).

As oscilações no regime de chuvas afetam diretamente o fluxo dos rios, alterando a salinidade, turbidez e turbulência da coluna d'água, enquanto que modificações na irradiância alteram a temperatura do ar e da água, influenciando nas taxas de fotossíntese e formação de termoclina. Tais modificações atuam em conjunto com a disponibilidade de nutrientes e fatores biológicos como competição e predação, interferindo na dinâmica fitoplanctônica.

Nossos dados evidenciam um aumento da densidade celular ao longo anos de estudo (Figura 23), especialmente pelo incremento de diatomáceas em 1999 e 2000 e 2008 e dos flagelados a partir de 2004.

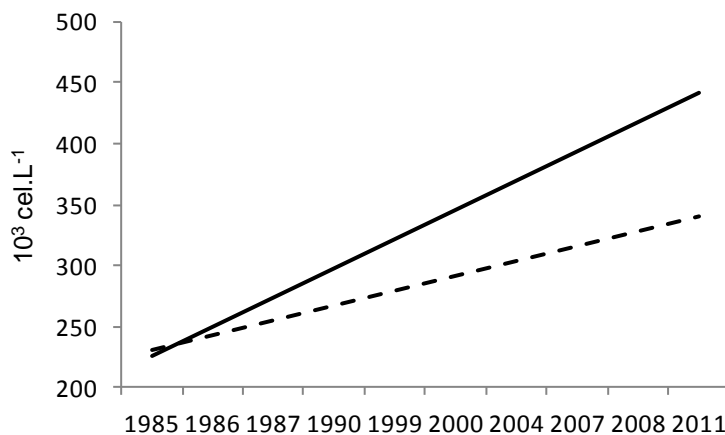


Figura 23: Tendência temporal das diatomáceas (linha tracejada) e flagelados (linha contínua) na Baía de Guanabara.

Apesar de evidente esta tendência é necessário um estudo com uma escala temporal maior para o entendimento das variações interanuais. Levantam-se as hipóteses que tais alterações podem ser atribuídas a mudanças globais pois variações de longa-escala do fitoplâncton podem estar associadas a modificações climáticas graduais (Harris, 1980).

#### 8.4. Qualidade Ambiental

No Brasil e, em particular, no Estado do Rio de Janeiro, a qualidade ambiental apresenta-se deteriorada, particularmente nas regiões de mais alta concentração populacional e onde se concentram atividades industriais (IBAMA, 2002).

A aplicação do conceito WFD em águas marinhas foi muito pouco utilizada. Andersen et al (2008) aplicaram a diretiva WFD para estudos de eutrofização costeira na definição e aplicações em estratégias de monitoramento. De qualquer forma esta é um oportunidade para abordar a qualidade de águas da Baía de Guanabara incluindo variáveis biológicas, ausentes nas Resoluções CONAMA, como a densidade celular de organismos planctônicos.

Já foram feita algumas tentativas de classificação de ambientes naturais utilizando indicadores biológicos. Uma proposta de classificar os ambientes

aquáticos quanto a trofia (produção) foi feita por Karydis (2009). O autor também propôs três categorias de classificação baseada na densidade total do fitoplâncton apresentada abaixo.

Classe 1: estado ou potencial ecológicos ruins ( $> 1,5 \cdot 10^5$  cel.L<sup>-1</sup>): águas eutróficas

Classe 2: estado ou potencial ecológicos moderados (entre  $6 \cdot 10^3$  a  $1,5 \cdot 10^5$  cel.L<sup>-1</sup>): águas mesotróficas

Classe 3: estado ecológico elevado ou potencialmente máximo (até  $6 \cdot 10^3$ .cel.L<sup>-1</sup>): águas oligotróficas

A identificação das condições ambientais capazes de conduzir à dominância de um determinado grupo fitoplanctônico, potencialmente nocivo ou não, é importante para programas de monitoramento, especialmente em áreas costeiras impactadas antropicamente (Mafrá-Junior et al., 2006).

## 9. Conclusão

A densidade celular do microfito Baía de Guanabara no período de 1985-2011, apresentou concentrações celulares na ordem de  $10^6 \text{cel.L}^{-1}$  caracterizando um sistema eutrófico.

As variações da abundância e composição dos principais grupos taxonômicos do microfitoplâncton apresentaram variação espacial e temporal.

Mesma densidade entre a entrada e canal de circulação, mas com representatividade dos grupos taxonômicos distintos. Enquanto diatomáceas dominaram na entrada contribuindo com 84% da comunidade no canal central os flagelados atingiram 63%.

As maiores densidades ( $5 \cdot 10^6 \text{cel.L}^{-1}$ ) se alternam sazonalmente no verão e outono, com dominância de diatomáceas.

A variação temporal é evidenciada a partir do gradiente crescente de diatomáceas e flagelados, que podem estar associadas a modificações climáticas graduais pelo aumento de temperatura e precipitação.

As variações da comunidade fitoplanctônica da Baía de Guanabara expressa pelos seus principais componentes refletiu ao longo do tempo as mudanças decorrentes de alterações ambientais naturais ou antrópicas. Entretanto, estudos de longa duração são necessários para a melhor compreensão dos fatores que interferem na dinâmica do fitoplâncton da Baía de Guanabara.



## 10. Referências Bibliográficas

ABBOUD-ABI SAAB, M. **Day-to-day variation in phytoplankton assemblages during spring blooming in a fixed stations along the Lebanese coastline.** Journal of Plankton Research, v. 14, n. 8, p. 1099-1115, 1992.

AGUIAR, V. M. de C. et al. **Eutrophication and hypoxia in four streams discharging in Guanabara Bay, RJ Brazil, a case study.** Marine Pollution Bulletin 62, 1915–1919, 2011.

ALVES-DA-SILVA, S.M. & LAITANO, C.S. **Euglenaceae pigmentadas do Banhado do Jacaré, em um parque de proteção ambiental,** Triunfo, RGS, Brasil. Iheringia 45:89-116, 1994.

AMADOR, E. S. **Baía de Guanabara e ecossistemas periféricos: homem e natureza.** Rio de Janeiro, Reproarte. 539p, 1997

ANDERSEN et al. – HORIZONS – **Coastal eutrophication: recent developments in definitions and implications for monitoring strategies.** Journal of Plankton

ANONYMOUS – **Directive 2000/6 EC of European Parliament and Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action of water policy.** Official Journal L., 327/1, 2000

BALECH, E. & SOARES, L.O. **Dos dinoflagelados de la Baía de Guanabara y proximidades (Brasil).** Neotropica 12:103-109. 1966

BARBOSA, M. B. **A Influência da maré na distribuição do microfitoplâncton na Baía de Guanabara (Rio de Janeiro, RJ).** Monografia (Especialização em Biologia Marinha) - Instituto de Biologia, UFF, Rio de Janeiro, 25p, 1997.

BOLD, H. C. & WYNNE, M. J. **Introduction to the algal. Structure and reproduction.** 2a ed. Prentice-Hall. New Jersey, 720p, 1985.

BOOTH, B.C. **The use of autofluorescence for analysing oceanic phytoplankton communities.** Botanica Marina, 30: 101-108, 1987.

BRANDINI, F. P. & THAMM, C. A. C. **Variações diárias e sazonais do fitoplâncton e parâmetros ambientais na Baía de Paranaguá.** Nerítica 8(1-2): 55-72. 1994

BRANDINI, F. P. **Seasonal succession of the phytoplankton in the Bay of Paranaguá (Paraná State–Brazil).** Revista Brasileira de Biologia 45 (4):687-694.1985

BRUNET, C. & LIZON, F. **Tidal and diel periodicities of size fractionated phytoplankton pigment signatures at an onshore station on in the southeastern English Channel.** Estuarine Coastal and Shelf Science. 56: 833-843, 2003.

BUSKEY, E. J. **Annual pattern of micro and mesoplankton abundance and biomass in a subtropical estuary.** Journal of Plankton Research, Oxford, v. 15, n. 8, p. 907-624, 1993.

C.RODRIGUES et al. **Distribuição da ictiofauna capturada em arrastos de fundo na Baía de Guanabara - Rio de Janeiro, Brasil.** Arq. Mus. Nac., Rio de Janeiro, v.65, n.2, p.199-210, abr./jun.2007

CAIRNS Jr., J.; McCORMICK, P. V. & NIEDERLEHNER, B. R., 1993. **A proposal framework for developing indicators of ecosystem health.** Hydrobiologia, 263:1-44, 1993.

CASTRO, N. de O. ; MOSER, G. A. O. **Florações de algas nocivas e seus efeitos ambientais.** Oecologia Australis, v. 16, p. 235-264, 2012.

CLOERN, J.E. & DUFFORD, R. **Phytoplankton community ecology: principles applied in San Francisco Bay.** Mar. Ecol. Prog. Ser., 258: 11-28. 2005

CLOERN, J.E. **Tidal stirring and phytoplankton bloom dynamics in an estuary.** Journal of Marine Research, v. 49, p. 203-221, 1991

CRUZ, C. B. M. et al. **Carga Antrópica da Bacia Hidrográfica da Baía de Guanabara.** Anais IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos, Brasil, 11-18 setembro 1998, INPE, p. 99-109. 1998

DAY JR., J. W., HALL, C. A. S., KEMP, W. M., et al. **Estuarine ecology**. New York: J. Wiley,. 556 p. 1989

DIAS, C.T.M. et al. **Distribuição vertical do microfitoplâncton e protozooplâncton da Baía de Guanabara durante um ciclo de maré**. In VIII Seminário Regional de Ecologia. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, p.1137-1148. 1998

DÍEZ, I., SECILLA, A., SANTOLARIA, A. & GOROSTIAGA, J.M. 1999. **Phytobenthic intertidal community structure along an environmental pollution gradient**. Marine Pollution Bulletin 38:463-472.

FARIA, J.G. **Um ensaio sobre o plankton, seguido de observações sobre occurencia de plankton monotono, causando mortandade entre os peixes na Bahia do Rio de Janeiro**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 1914

FARIA, J.G., CUNHA, A.M.C. **Estudos sobre o microplâncton da baía do Rio de Janeiro e suas imediações**. Mem. Inst. Oswaldo Cruz. 9:68-93.1917

FEEMA. FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE. **Qualidade de Água da Baía de Guanabara (1990/1997)**. Programa de Despoluição da Baía de Guanabara/Programas Ambientais Complementares. Rio de Janeiro, 1998. 1 vFEEMA. Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente. 2006

GASPARRO ET AL. **Occupation history of the Santos estuary**. In: Ramiro Neves, R.; Baretta, J. & Mateus, M. (eds.). Perspectives on Integrated Coastal Zone Management in South America, IST Press, Lisboa. 603 p. 2008

GIANESELLA, S. M. F., et al. **Assessment of plankton community and environmental conditions in São Sebastião Channel prior to the construction of a produced water outfall**. Revista brasileira de oceanografia, 47(1): 29-46. 1999.

GILBERT, P.M. & PITCHER, G. **Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms Science Plan**. SCOR & IOC, Baltimore & Paris. 87p. 2001

GILBES, F.; LÓPEZ, J.M.; YOSHIOKA, P.M. **Spatial and temporal variations of phytoplankton, chlorophyll a and suspended particulate matter in Mayagüez Bay, Puerto Rico.** *Journal of Plankton Research*, v. 18, n. 1, p. 29-43, 1996.

GLIBERT, P.M. **The role of eutrophication in the global proliferation of harmful algal blooms: new perspectives and new approaches.** *Oceanography* 18 (2): 198-209. 2005.

GUIMARÃES, G. P. **Estimativa dos fluxos de amônia e óxido nitroso na interface ar-mar da Baía de Guanabara, RJ.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Geociências, UFF, Rio de Janeiro, 116p. 2005.

INEA - Instituto Estadual do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/fma/baiadeguanabara.asp>. Acesso em: 14 de janeiro de 2013.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: (<http://www.inmet.gov.br/portal/>). Acesso em: 22 de fevereiro de 2013

JICA. JAPAN INTERNACIONAL COOPERATION AGENCY. **The Study on Recuperation of the Guanabara Bay Ecosystem.** Tokyo: Kokusai Kogyo., 5v. 1994

KARYDIS M. **Eutrophication assessment of coastal waters based on indicators: a literature review,** *Global NEST Journal*, Vol 11, No 4, pp 373-390. 2009.

KEMP W. M. et al. **Eutrophication of Chesapeake Bay: historical trends and ecological interactions.** *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 303: 1–29, November, 2005

KJERFVE, B. et al. **Oceanographic characteristics of an impacted coastal bay: Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, Brazil.** *Cont. Shelf Res.* 17:609-1643. 1997

LIMA, E. C. DA R. (2006). **Qualidade de Água da Baía de Guanabara e Saneamento: Uma Abordagem Sistêmica.** Rio de Janeiro. XII, 183 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, D.Sc., Planejamento Energético, 2006) Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

LIMA, I. V. **Variação em micro-escala temporal do nano e microplâncton da Baía de Guanabara (RJ).** Dissertação (Mestrado) - Biologia Marinha, UFF, Rio de Janeiro, 37p. 2007

MAFRA-JUNIOR, L.L.; FERNANDES, L.F. & PROENÇA, L.A. DE O. **Harmful algae and toxins in Paranaguá Bay, Brazil: bases for monitoring.** Braz. J. Oceanogr. 54: 107-121. 2006

MARGALEF, R. **Turbulence and marine life.** Scientia Marina, 61 (1): 109-123. 1997.

MARGALEF, R. Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. Oceanol. Acta, v.1, n.4, 493-509p. 1978a.

MATOS, M.C.F.G. **O Microfitoplâncton da Baía de Sepetiba (RJ, Brasil): Composição, Abundância e Distribuição (Primavera/ 2001 e Outono/ 2002).** Monografia de Bacharelado, Instituto de Biologia/Univ. Federal do Rio de Janeiro. 2003.

MAYR, L. M. et al. **Hydrobiological characterization of Guanabara Bay.** In: MAGOON, O. & NEVES, C. (eds.), Coastlines of Brazil, p. 124-139. New York, American Society of Civil Engineers. 1989

MELO, G. V. **Transporte de metais pesados no sedimento em suspensão na Baía de Guanabara, em um ciclo de maré.** Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geofísica Marinha, UFF, 2004

MILLER, U. & FLORIN, M.-B. 1989. **Diatom analysis. Introduction to methods and applications.** In: Geology and Paleoecology for Archaeologists, ed. T. Hackens & U. Miller, PACT, 24, 133-57. MORO, R. S. & FURSTENBERGER, C. B. 1998. Catalogo dos principais parametros ecologicos de diatomaceas nao-marinhas. Ponta Grossa, Ed. UEPG. 282 p.

MOURITSEN, L.T. & RICHARDSON, K. (2003) **Vertical microscale patchiness in nano and microplankton distributions in a stratified estuary.** Journal of Plankton Research, 25:783-797.

NETO, M. I. M, 2002. **Investigação geoambiental em área de mangue na Baía de Guanabara contaminada com resíduos industriais.** Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 158 p.

OLIVEIRA, L.P.H. **Águas com predominância de Eutreptia lanowii Steuer e Chlamydomonas reinhardi Dangeard no plâncton, na enseada de Inhauma, Baía de Guanabara.** Mem. Inst. Oswaldo Cruz 60:13-20. 1962.

PELLENS, R. ET AL. **Plano de manejo da Área de Proteção Ambiental de Guapimirim.** Ministério do Meio Ambiente, 381 p. 2001

PORTER, K.G. **Phagotrophic phytoplankton in microbial food webs.** Hydrobiologia 159:89-97. 1989.

SANTOS, V.S. **Nano- e microfitoplâncton da baía de Guanabara (RJ, Brasil) em condições tróficas distintas: aspectos estruturais e pré-funcionais.** Dissertação de Mestrado, Departamento de Botânica, Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 106p. 2002

SASSI, R. **Phytoplankton and environmental factors in the Paraíba do Norte river estuary, northeastern Brazil: composition, distribution and quantitative remarks.** Boletim do Instituto oceanográfico, São Paulo, 39(2): 93-115. 1991

SCHUTZE, M.L.M., MACHADO, M.C. & ZILLMAN, S.M.S. **Phytoplankton biomass of Guanabara Bay (Rio de Janeiro, Brazil) and adjacent oceanic area: Variations from January through July 1979.** In International Symposium on Utilization of Coastal Ecosystems: Planning, Pollution and Productivity (M.R.C. Figueiredo, N.L. Chao & W.K. Smith, eds.). Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, v.2., p.309-324. 1989.

SEVRIN-REYSSAC, J. et al. **Biomasse et production du phytoplancton de la baie de Guanabara (État de Rio de Janeiro, Brésil) et du secteur océanique adjacent. Variations de mai à juillet 1978.** Bul. Mus. Natn. Hist. Nat. 4:329-354. 1979

SMETACEK, V. **Plankton characteristics.** In: POSTMA, H.; ZIJLSTRA, J. J. (Eds.). Ecosystems of the world: Continental Shelves. Amsterdam: ELSEVIER, v. 27, cap. 4, p. 93-130. 1998.

SOARES, M.G. (2005) **Efeitos de fontes distintas de eutrofização, antrópica e natural, na estrutura de tamanho do fitoplâncton e na relação entre a produção primária e bacteriana: estudos na Baía de Guanabara e na região de ressurgência de**

**Cabo Frio, RJ.** Tese de Doutorado, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo. 208p

SOURNIA, A. **Phytoplankton manual.** Unesco, Paris. 1978

TENENBAUM, D.R. et al. **A new "sight" on microbial plankton ecology: coastal x oceanic system in Brazil.** Oecol. Bras. 9:133-152. 2001.

THOMPSON, P.A.; BONHAM, P.I. & SWADLING, K.M. 2008. **Phytoplankton blooms in the Huon Estuary Tasmania: top-down or bottom-up control?** J. Plankton Res. 30(7): 735-753.

UTERMÖHL, H. **Perfeccionamiento del método cuantitativo del fitoplancton.** Asociación Internacional de Limnología Teórica y Aplicada - Comité de métodos limnológicos, comunicación, 9: 1-39. 1958

VALENTIN, J.L. et al. **Caractéristiques hydrobiologiques de la Baie de Guanabara (Rio de Janeiro, Brésil).** Journal de Recherche Océanographique, 24: 33-41. 1999

VALENTIN, J.L. et al.. **O sistema planctônico da Baía de Guanabara: síntese do conhecimento.** In: Silva, S.H.G ; Lavrado, H.P.. (Org.). 1999

VILLAC, M.C. & TENENBAUM, D.R. **The phytoplankton of Guanabara Bay, Brazil.I. Historical account of its biodiversity.** Biota Neotropica, 10(2):271-293. 2010.

VILLAC, M.C. **O fitoplâncton como um instrumento de diagnose e monitoramento ambiental: Um estudo de caso da Baía de Guanabara.** Dissertação de Mestrado Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.193p. 1990

VILLAC, M.C., MAYR, L.M., TENENBAUM, D. R. & PARANHOS, R. 1991. **Sampling strategies proposed to monitor Guanabara Bay, RJ, Brazil.** In Coastal Zone 1991. Los Angeles, p.1168-1182.

ZEE, D.(Coord.) **Baía de Guanabara. Dossiê socioambiental. Gestão sustentável da Baía de Guanabara.** Seminário Internacional. Centro Internacional de Desenvolvimento Sustentável, Escola Brasileira de Administração Pública, Fundação Getúlio Vargas, RJ. 2000

