



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR
CURSO DE OCEANOGRAFIA**

JAMILLE DA SILVA RABELO

**ABUNDÂNCIA E DIVERSIDADE BACTERIANA NA MICROCAMADA
SUPERFICIAL E BIOAEROSSÓIS MARINHOS NA ORLA OCEÂNICA DE
FORTALEZA, CEARÁ.**

**FORTALEZA
2017**

JAMILLE DA SILVA RABELO

ABUNDÂNCIA E DIVERSIDADE BACTERIANA NA MICROCAMADA
SUPERFICIAL E BIOAEROSSÓIS MARINHOS NA ORLA OCEÂNICA DE
FORTALEZA, CEARÁ.

Monografia apresentada ao Curso de graduação em Oceanografia do Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR) da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Oceanografia.

Orientadora: Prof. Dr.^a Oscarina Viana de Sousa.

FORTALEZA
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

R114a Rabelo, Jamille.

ABUNDÂNCIA E DIVERSIDADE BACTERIANA NA MICROCAMADA SUPERFICIAL E
BIOAEROSSÓIS MARINHOS NA ORLA OCEÂNICA DE FORTALEZA, CEARÁ. / Jamille
Rabelo. – 2017.

70 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto
de Ciências do Mar, Curso de Oceanografia, Fortaleza, 2017.

Orientação: Profa. Dra. Oscarina Viana de Sousa.

1. bacterioneuston. 2. aeromicrobiota. 3. superfície oceânica. 4. região costeira. I. Título.

CDD 551.46

JAMILLE DA SILVA RABELO

ABUNDÂNCIA E DIVERSIDADE BACTERIANA NA MICROCAMADA
SUPERFICIAL E BIOAEROSSÓIS MARINHOS NA ORLA OCEÂNICA DE
FORTALEZA, CEARÁ.

Monografia apresentada ao Curso de graduação em Oceanografia do Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR) da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Oceanografia.

Aprovada em: 07/07/2017

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Oscarina Viana de Sousa (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará

Prof^a. Dr^a. Rosa Helena Rebouças
Universidade Federal do Piauí (UFPI)

Prof. Dr. Vicente Vieira Faria
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Zuleide e Ivaldo, por todo o amor, ensinamento e liberdade que me proporcionaram estar nesse momento. Vocês sempre tiveram paciência e me apoiaram na minha felicidade, mesmo nem sempre entendendo. Sou eternamente grata por todo o apoio e amor, amo vocês!

À minha irmã, Janaina, por sermos eternas companheiras, por sempre estar presente e me ajudar em todos os momentos da minha vida. Te amo, bocó.

À Prof^a. Oscarina, por aceitar me orientar e me inserir na família Lamap, mesmo sem me conhecer. Você é um exemplo de professora e pessoa, uma inspiração dentro dessa imensa área que é a microbiologia. Me sinto muito honrada de ter você como orientadora.

À Cristiane Teles, por me adotar dentro do Lamap, me ensinar tudo que precisei, acompanhar meu progresso dentro do laboratório, sempre se preocupando e sempre com muito bom humor. Obrigada, Cris!!

À Rosa Rebouças, por se disponibilizar em me ajudar nessa reta final, sempre me guiando quando estava perdida. Além de sempre me tirar dúvidas rotineiras de laboratório. Obrigada!!

Ao Prof. Federico Baltar, por sua contagiante paixão no seu trabalho que me fez abrir os olhos, mente e coração para o mundo da microbiologia, e pela oportunidade de trabalhar em sua pesquisa.

À Jéssica Lucinda, Mariana Franco, Rebeca Martins, Rubson Carvalho e Raul Vitor, por me ajudarem a finalizar os procedimentos laboratoriais quando precisei, além das dúvidas tiradas, dicas e piadas sempre que necessário!

A todos os outros integrantes do Lamap, que sempre foram receptivos e me ajudaram onde puderam, Marina Torres, Sylvânio Ferreira, Jade Abreu, Gleire Menezes, Patrícia Carneiro, Maria João, Ítalo Magno e Mariana Lima.

A todos que disponibilizaram do seu tempo para me ajudar durante as coletas e por todos os dias gerados, Camilo Ribeiro, Débora Moraes, Richelle Soares, Luanny Medeiros, Yasmin Barros, Lucas Lima, Vitória Vasconcelos, Lívia Fonteles e José Vitor. Vocês foram indispensáveis nesse trabalho e no final da minha graduação.

À Monique Vinhas e Prof^a. Ana Paula Krelling, pela ajuda com os gráficos de vento.

Ao Regimário Filho, pela ajuda com o mapa e pela jornada partilhada dentro e fora da graduação.

Ao Sócrates Abreu, por nos encontrarmos e nos reconhecermos.

À Olga Moara, por enxergar além do que transpareço e me mostrar a vida em suas várias formas, uuuuuuh.

Ao Vitor Azevedo, por todas as conversas, apoio e presença constante.

À amiga Silvia, por oferecer suporte em momentos necessários.

À Ingrid Santana, por sua eficiência e simpatia, sempre me ajudando com os processos burocráticos na coordenação de Oceanografia.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de pesquisa.

A todos que torceram por essa etapa da minha vida.

"With every drop of water you drink,
every breath you take, you're
connected to the sea." (Sylvia Earle)

RESUMO

A diversidade e abundância da microbiota presente nas matrizes da microcamada superficial oceânica (MCSO) e atmosfera sofre influência de diversos fatores. A interação microbiológica entre água/ar possui papel importante na regulamentação dos processos oceanográficos e meteorológicos do planeta. Assim, esse trabalho teve como objetivo principal investigar a abundância e diversidade de bactérias cultiváveis na MCSO e bioaerossóis formados na costa de Fortaleza em área influenciada pela descarga do riacho Maceió. As coletas ocorreram em pontos à montante (P1) e à jusante (P2) da desembocadura do riacho, em diferentes períodos sazonais (chuvoso e estio), em marés de sizígia. As bactérias presentes na MCSO e bioaerossóis marinhos foram coletadas pela impregnação em papéis de filtro e da sedimentação espontânea, respectivamente. As colônias crescidas foram contadas e os resultados expressos em UFC/m² e UFC/m³, para água e ar, respectivamente. Colônias bacterianas foram isoladas e identificadas através da fenotipagem. Quantitativamente, as bactérias da MCSO mostraram-se superiores durante o período chuvoso, com relação à microbiota presente nos bioaerossóis para o mesmo período. Entre os pontos de coleta P1 e P2, neste último as contagens apresentaram maiores valores. Para ambas as matrizes ambientais houve predominância de bactérias Gram-negativas. No entanto, houve alternância da dominância de acordo com a estação climática, marés e pontos de coleta. Ao todo foram identificados 29 grupos taxonômicos com diversidade variável para a MCSO e bioaerossóis. Foi observada coincidência de estirpes e grupos bacterianos nos dois micro-ambientes, demonstrando que existe uma interação entre eles. As variáveis meteorológicas, oceanográficas e o aporte continental influenciaram a abundância e diversidade bacteriana. Os grupos taxonômicos bacterianos identificados demonstraram as contribuições marinha e continental na formação da microbiota da MCSO e bioaerossóis marinhos com destaque para a constante e representativa presença dos gêneros *Bacillus* e *Corynebacterium*.

Palavras-chave: bacterioneuston, aeromicrobiota, superfície oceânica, região costeira.

ABSTRACT

The diversity and abundance from microbiota that is present in sea surface microlayer (SML) and atmosphere are influenced by several factors. Microbiological interactions between water/air play an important role in regulating the oceanographic and meteorological processes of the planet. Thereby, this study had as leading aim to investigate the abundance and diversity of cultivable bacteria in SML and bioaerosols originated in Fortaleza coast in an area influenced by the discharge of the Maceió stream. Sampling occurred at points upstream (P1) and downstream (P2) of the stream's mouth, during different seasonal periods (rainy and sunny seasons) and spring tides. The bacteria present in SML and marine bioaerosols were sampled by impregnation in filter papers and spontaneous sedimentation, respectively. The colonies that grew were counted and the results were expressed as CFU/m² and CFU/m³ for water and air, respectively. Bacterial colonies were isolated and identified by phenotyping. Quantitatively, the SML bacteria showed superiors during the rainy season when compared with the microbiota present in the bioaerosols for the same period. Among the collection points, P2 showed higher values. For both environments there was predominance of Gram-negative bacteria. However, there were shifts in dominance according to climatic season, tides and collection points. In total, 29 taxonomic groups were identified with variable diversity for SML and bioaerosols. It was observed coincidence of bacterial strains and groups in both micro-environments, demonstrating that there is interaction between them. The meteorological, oceanographic and continental variables influenced bacterial abundance and diversity. The identified bacterial taxonomic groups demonstrated the marine and continental contributions in the formation of SML microbiota and marine bioaersols, highlighting the constant and representative presence of the genera *Bacillus* and *Corynebacterium*.

Keywords: bacterioneuston, aeromicrobiota, oceanic surface, coastal region.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa indicando os pontos de coleta no riacho Maceió	32
Figura 2 - Fluxograma da metodologia aplicada para a coleta, contagem e isolamento as bactérias	35
Figura 3 - Fluxograma representando a técnica de coloração de Gram.....	36

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Cálculo do número de UFC/m ³ de ar pelo método de sedimentação em placa.....	34
---	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Informações do dia, horário e amplitude de maré das coletas realizadas.....	32
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LAMAP	Laboratório de Microbiologia Ambiental e do Pescado
GSP	Ágar Seletivo para <i>Pseudomonas Aeromonas</i>
MCSO	Microcamada Superficial Oceânica
PCA	Ágar de Contagem em Placa
pH	Potencial Hidrogeniônico
TSA	Ágar Tripsona Soja
TCBS	Ágar Tioissulfato Citrato Bile Sacarose
UFC	Universidade Federal do Ceará
UV	Ultravioleta
VM	Vermelho de Metila
VP	Voges-Proskauer
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
µg	Micrograma
π	Pi
°C	Grau Celsius
cm ²	Centímetro quadrado
CO ₂	Dióxido de Carbono
H ₂ S	Sulfeto de Hidrogênio
m	Metro
m ²	Metro quadrado
m/s	Metro por segundo
O ₂	Oxigênio
ppm	Parte por milhão
UFC	Unidades Formadoras de Colônia
UFC/m ²	Unidades Formadoras de Colônia por metro ao quadrado
UFC/m ³	Unidades Formadoras de Colônia por metro cúbico

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Variações na temperatura da água do mar de acordo com os períodos e pontos de coleta.....	38
Gráfico 2 - Mensuração do pH da água do mar para os diferentes períodos e pontos de coleta	39
Gráfico 3 - Mensuração da salinidade das amostras da água do mar coletadas nos diferentes períodos e pontos.....	40
Gráfico 4 - Variação em metros da amplitude de maré nos períodos coletados.....	41
Gráfico 5 - Representação das variações de temperatura do ar nos períodos e pontos de coleta.....	42
Gráfico 6 - Porcentagem expressa da variação da umidade relativa do ar nos períodos coletados.....	43
Gráfico 7 - Velocidade e direção dos ventos durante os períodos de coleta na orla marítima de Fortaleza, Ceará	44
Gráfico 81 - Percentual de bactérias Gram-positivas e Gram-negativas isoladas das amostras da microcamada superficial oceânica na costa de Fortaleza, Ceará.....	47
Gráfico 92 - Distribuição percentual de bactérias Gram positivas e Gram negativas isoladas nas amostras da microcamada superficial oceânica de acordo com ponto de origem e maré de coleta no período de estio (Fortaleza, Ceará).....	48

Gráfico 10 - Distribuição percentual de bactérias Gram positivas e Gram negativas isoladas nas amostras da microcamada superficial oceânica de acordo com ponto de origem e maré de coleta no período chuvoso (Fortaleza, Ceará).....	48
Gráfico 11 - Percentual de bactérias Gram-positivas e Gram-negativas isoladas das amostras de bioaerossóis marinhos coletadas na costa de Fortaleza, Ceará.....	49
Gráfico 12 - Distribuição percentual de bactérias Gram positivas e Gram negativas isoladas nos bioaerossóis marinhos de acordo com ponto de origem e maré de coleta, no período de estio (Fortaleza, Ceará).....	50
Gráfico 13 - Distribuição percentual de bactérias Gram positivas e Gram negativas isoladas nos bioaerossóis marinhos de acordo com ponto de origem e maré de coleta, no período chuvoso (Fortaleza, Ceará).....	49
Gráfico 14 - Distribuição percentual dos isolados bacterianos identificados no total e por tipo de amostra.....	50
Gráfico 15 - Distribuição percentual dos isolados bacterianos da microcamada superficial oceânica de acordo com o período do ano (Fortaleza, Ceará).....	53
Gráfico 16 - Abundância relativa dos isolados bacterianos identificados na microcamada superficial oceânica por pontos de coleta e amplitudes de maré no período de estio (Fortaleza, Ceará).....	55
Gráfico 17 - Abundância relativa dos isolados bacterianos identificados na microcamada superficial oceânica por pontos de coleta e amplitudes de maré no período chuvoso (Fortaleza, Ceará).....	57
Gráfico 3 - Percentual das bactérias identificadas nos bioaerossóis marinhos na orla de Fortaleza (Ceará) nos períodos coletados.....	58

Gráfico 49 - Abundância relativa dos isolados bacterianos identificados nos bioaerossóis marinhos por pontos de coleta e amplitudes de maré no período de estio (Fortaleza, Ceará)..... 60

Gráfico 20 - Abundância relativa dos isolados bacterianos identificados nos bioaerossóis marinhos por pontos de coleta e amplitudes de maré no período chuvoso (Fortaleza, Ceará)..... 61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Contagens de bactérias nas amostras da microcamada superficial oceânica nos dois pontos amostrados na orla oceânica de Fortaleza, Ceará, expressas em UFC/m²..... 45

Tabela 1 - Contagens de bactérias nas amostras do ar nos dois pontos amostrados na orla oceânica de Fortaleza, Ceará, expressas em UFC/m³..... 46

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1	Microcamada Superficial Oceânica	23
2.2	Bioaerossóis Marinhos	24
2.3	Fatores Contribuintes	26
2.3.1	Temperatura	26
2.3.2	Potencial Hidrogeniônico	26
2.3.3	Salinidade	26
2.3.4	Marés e Ondas	27
2.3.5	Deriva Litorânea	27
2.3.6	Umidade relativa do Ar	28
2.3.7	Radiação Solar	28
2.3.8	Vento	29
2.3.9	Sazonalidade	29
2.3.10	Região Costeira	30
3	OBJETIVOS	31
3.1	Objetivo geral	31
3.2	Objetivos específicos	31
4	MATERIAIS E MÉTODOS	32
4.1	Pontos de Coleta	32
4.2	Período de Coleta	32
4.3	Procedimentos de Coleta	33
4.3.1	Microcamada Superficial	33
4.3.2	Bioaerossóis	33
4.3.3	Parâmetros Físico-Químicos	33
4.4	Processamento das Amostras	33
4.4.1	Microcamada Superficial	33
4.4.2	Bioaerossóis	34
4.5	Isolamento de Bactérias	35
4.6	Identificação	36

4.6.1	<i>Análise Morfotintorial</i>	36
4.6.2	<i>Identificação através de provas bioquímicas</i>	36
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1	Parâmetros Físico-Químicos	38
5.1.1	<i>Temperatura da água do mar</i>	38
5.1.2	<i>Potencial Hidrogeniônico</i>	39
5.1.3	<i>Salinidade</i>	40
5.1.4	<i>Amplitude de Maré</i>	41
5.1.5	<i>Temperatura do ar</i>	42
5.1.6	<i>Umidade relativa do ar</i>	43
5.1.7	<i>Velocidade e direção dos ventos</i>	44
5.2	Quantificação das colônias bacterianas	45
5.2.1	<i>Microcamada Superficial</i>	45
5.2.2	<i>Bioaerossóis</i>	46
5.3	Caracterização Morfotintorial	47
5.3.1	<i>Microcamada Superficial</i>	47
5.3.2	<i>Bioaerossóis</i>	49
5.4	Identificação dos isolados bacterianos	51
5.4.1	<i>Microcamada Superficial</i>	54
5.4.2	<i>Bioaerossóis</i>	58
6	CONCLUSÃO	63
	REFERÊNCIAS	64

INTRODUÇÃO

Por muito tempo, bactérias foram consideradas pouco importantes no ecossistema marinho, sendo reconhecidas apenas como decompositoras e agentes patogênicos (MADIGGAN *et al.*, 2010; POMAR; BRUNI; MAUGERI, 1993). Atualmente sabe-se da dominância desses seres procariotos no planeta tanto como produtores primários como na atuação de bactérias heterotróficas na remineralização e reintegração de carbono orgânico dissolvido no ambiente, ajudando nos ciclos biogeoquímicos e na cadeia trófica marinha (MAAS *et al.*, 2013, REINTHALER; SINTES; HERNDL, 2008).

A Terra tem aproximadamente 70% de sua superfície coberta de água (oceanos, lagos, rios), o que torna os processos que acontecem nesse ambiente de grande relevância (CUNLIFFE; MURRELL, 2009; FRANKLIN *et al.*, 2005; REINTHALER; SINTES; HERNDL, 2008).

A microcamada superficial oceânica (MCSO) corresponde aos primeiros centímetros de água, separando a interface atmosfera/hidrosfera. Essa micro-região apresenta características químicas, físicas e biológicas distintas de águas subjacentes e ajudam nas trocas de gases e disponibilização de partículas e nutrientes para atmosfera e águas inferiores (ALVES, 2014; CUNLIFFE *et al.*, 2013). As bactérias nesse habitat podem ser até 1000 vezes mais abundantes que nas águas sub-superficiais (ALLER *et al.*, 2005). Essa abundância e diversidade faz com que a MCSO seja determinante na formação de bioaerossóis na atmosfera. Fatores físicos, químicos, meteorológicos, sazonais e regionais afetam a distribuição e abundância das bactérias na MCSO e na atmosfera, sendo ainda difícil estabelecer um padrão desempenhado por esses microrganismos (ALVES, 2014; STOLLE *et al.*, 2010). Atividades antropogênicas também podem modificar esse micro-ambiente, principalmente na costa de grandes cidades com descarte inadequado de esgotos e resíduos sólidos no mar (VIEIRA *et al.*, 2003, 2011).

Os bioaerossóis são ressuspensos na atmosfera por meio de ventos, ondas e bolhas ascendentes da coluna d'água. Eles são ubíquos no planeta, distribuídos tanto horizontal como verticalmente na atmosfera, podendo permanecer viáveis por um longo tempo (ALLER *et al.*, 2005; POLYMENAKOU, 2012; XIA *et al.*, 2015). Essas partículas biológicas podem

ser transportadas por longas distâncias e representam um importante mecanismo para a dispersão e biogeografia de microrganismos marinhos podendo contribuir para a manutenção cosmopolita de algumas bactérias entre elas patógenos humanos (CUNLIFFE *et al.*, 2013).

Desse modo, essa pesquisa foi realizada na região praial de Fortaleza, cidade costeira com uma população estimada em mais de 2 milhões de pessoas (IBGE, 2016) e teve como objetivo principal estudar a abundância e diversidade de bactérias cultiváveis na microcamada superficial oceânica e bioaerossóis formados na costa de Fortaleza em área influenciada pela descarga de um riacho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Microcamada Superficial Oceânica

A microcamada superficial tem sua profundidade estabelecida até 1000µm (ALVES, 2014). Essa espessura pode sofrer mudanças temporárias por meio de influências ambientais, como ventos e ondas. No entanto, devido às forças de tensão superficial e filmes que atuam, esse micro-ambiente permanece estável (FRANKLIN *et al.*, 2005; HARDY, 1982).

As bolhas que ascendem das camadas inferiores da água do mar agregam materiais orgânicos dissolvidos, particulados e microrganismos presentes na coluna d'água. Ao chegarem na superfície, essas bolhas estouram e adicionam o conteúdo trazido na superfície e na atmosfera (ALLER *et al.*, 2005; ALVES, 2014; KUZNETSOVA; LEE, 2002). Deposição de partículas na MCSO oriundas da atmosfera, principalmente após chuvas, também é outro significativo fator de enriquecimento desse ambiente (WURL; KARUPPIAH; OBBARD, 2006).

As altas concentrações desses compostos podem atuar como nutrientes, tornando um meio favorável para crescimento de microbiota (AGOGUÉ *et al.*, 2005). As bactérias presentes na MCSO, chamadas de *bacterioneuston*, podem chegar a ser 10⁵ vezes mais abundantes do que bactérias habitantes de águas inferiores (ALLER *et al.*, 2005; ALVES, 2014; FRANKLIN *et al.*, 2005).

No entanto, a microcamada superficial está sujeita a vários fatores climáticos que as águas subsuperficiais não sofrem, como mudanças rápidas de temperaturas e salinidade, intensa radiação solar e ultravioleta (UV), concentração de poluentes orgânicos e metais pesados (AGOGUÉ *et al.*, 2005; HARDY, 1982; STOLLE *et al.*, 2010). Os compostos orgânicos presentes nesse ambiente podem formar filmes, géis e surfactantes, que facilitam a agregação das bactérias e as protegem dessas condições adversas, estendendo a viabilidade de microrganismos que habitam a microcamada superficial (ALVES, 2014; CUNLIFFE *et al.*, 2009).

Os *bacterioneustons* desempenham papéis no controle de fluxo de gases entre o oceano e a atmosfera, principalmente nas trocas de O₂ e CO₂ (REINTHALER; SINTES; HERNDL, 2008). Bactérias heterotróficas apresentam

capacidade de remineralizar carbono orgânico dissolvido, tornando-o novamente disponível para o ambiente, o que as tornam essenciais nos ciclos biogeoquímicos (MAAS *et al.*, 2013, REINTHALER; SINTES; HERNDL, 2008). No entanto, o papel das bactérias presentes na MCSO ainda não está totalmente claro (STOLLE *et al.*, 2010).

Por ser um ambiente ainda pouco entendido, as metodologias para seu estudo ainda não são padronizadas, podendo haver sub ou super estimação de microrganismos e compostos presentes na microcamada superficial (AGOGUÉ *et al.*, 2004; ALVES, 2014). Diferentes metodologias coletam diferentes profundidades, e dependendo do objetivo desejado, podem influenciar nos resultados (ALVES, 2014; CUNLIFFE; MURRELL, 2009). É necessário levar em consideração na escolha da metodologia o volume de amostra e o tipo de material para a coleta, pois distintos componentes vão ser absorvidos dependendo do material (FRANKLIN *et al.*, 2005). Alguns autores sugerem que o uso de membranas hidrofílicas e hidrofóbicas é a metodologia mais eficiente para coletar amostras microbiológicas da MCSO, visto que não se mistura com águas subsuperficiais e são menos propícias à contaminação no seu manuseio, além da facilidade e rapidez de coleta (ALVES, 2014; CUNLIFFE *et al.*, 2009; FRANKLIN *et al.*, 2005).

2.2 Bioaerossóis Marinhos

As bolhas que ascendem da coluna d'água e estouram na superfície, assim como ondas quebrando na costa, disponibilizam partículas na atmosfera, incluindo bactérias, fungos e vírus, denominados de bioaerossóis marinhos (ALLER *et al.*, 2005; POSFÁI *et al.*, 2003). Esses microrganismos refletem as características encontradas na MCSO (ALVES, 2014; CHO; HWANG, 2011). Os aerossóis também podem ser de origem continental, carregados pelo vento a partir dos solos, lagos, plantas, pessoas, animais, *etc* (CHO; HWANG, 2011; POLYMENAKOU, 2012; QI *et al.*, 2014; XIA *et al.*, 2015).

A abundância dos bioaerossóis é amplificada pela ação dos ventos e tempestades, que podem distribuir horizontalmente esses microrganismos em uma escala global por processos advectivos (ALLER *et al.*, 2005; POLYMENAKOU, 2012; XIA *et al.*, 2015). Ao investigar a distribuição vertical

dos bioaerossóis, pesquisadores também encontraram a presença de bactérias da troposfera à estratosfera, com altitude variando de 1 a 41km da superfície do mar, mas acreditando-se que esses microrganismos poderiam ser encontrados até às últimas camadas da atmosfera (GRIFFIN, 2004; WAINWRIGHT *et al.*, 2003). Quando comparados, os bioaerossóis são mais abundantes do que bactérias que habitam a microcamada superficial (ALLER *et al.*, 2005).

Assim como são inseridos na atmosfera, os bioaerossóis podem voltar à superfície através de processos "secos", que seriam a aderência natural em alguma superfície, como plantas, construções e superfícies líquidas, e processos "molhados", que seriam a deposição através de chuvas, neve e granizo (POLYMENAKOU, 2012; SMETS *et al.*, 2016).

Os bioaerossóis podem permanecer viáveis por semanas ou meses, apesar dos fatores adversos presentes no meio, como alterações na temperatura, ausência de nutrientes e intensa radiação solar e UV (ALVES, 2014; MARKS *et al.*, 2000; SMETS *et al.*, 2016). Alguns autores associam essa resistência com a presença de géis e surfactantes proveniente da MCSO que envolvem essas bactérias, protegendo-as de condições desfavoráveis (ALLER *et al.*, 2005; ALVES, 2014). Adaptações também são encontradas nas células de bactérias que sofrem com a radiação solar, como formação de esporos, presença de pigmentos e alta concentração de enzimas, como guanina e citosina, que ajudam na resistência dos raios UV (GRIFFIN, 2004; POLYMENAKOU, 2012; SMETS *et al.*, 2016).

Por estarem cosmopolitadamente distribuídos, os bioaerossóis desempenham papéis controladores do clima e ciclos biogeoquímicos da Terra (ALVES, 2014; ARIYA; AMYOT, 2004; XIA *et al.*, 2015). Atuam na dispersão e absorção da radiação solar, como nucleadores na formação de cristais de gelo e nuvens, podendo alterar a cobertura de nuvens e formação de chuvas, e assim, atuando no clima (ANDREAE; ROSENFELD, 2008; SMETS *et al.*, 2016; SUN; ARIYA, 2006; YUAN, *et al.*, 2017). Também é sugerido que os bioaerossóis agem na transformação de compostos orgânicos presentes na atmosfera, podendo usá-los como nutrientes, alterando quimicamente e reciclando de volta para a atmosfera (AMATO *et al.*, 2007; ARIYA; AMYOT,

2004). Além de serem indicadores de poluição e dispersão de doenças (QI *et al.*, 2014; XIA *et al.*, 2015; POLYMENAKOU, 2012).

2.3 Fatores Contribuintes

2.3.1 Temperatura

A temperatura afeta diretamente o crescimento de bactérias no meio (KIRCHMAN, 2000). Cada microrganismo apresenta uma faixa de temperatura ideal para seu crescimento, denominada de temperatura ótima. Distingue-se bactérias em quatro grupos quanto à sua temperatura ótima: psicrófilos (variando em baixas temperaturas), mesófilos (temperaturas até 50°C), termófilos (temperaturas até 100°C) e hipertermófilos (temperaturas acima de 100°C) (MADIGAN *et al.*, 2010).

Sabe-se que a temperatura da água no mar nas regiões tropicais tem altos valores quando comparadas com regiões de maiores latitudes devido à intensa radiação solar que recebem durante todo o ano, havendo pouca variação (AYOADE, 2010; GARRINSON, 2016).

2.3.2 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH da água do mar varia entre 7,5 a 8,4, permanecendo na faixa de neutro a básico, variando de acordo com as substâncias presentes na água, localização e fatores físicos (MUNN, 2004). No geral, microrganismos tem seu crescimento inalterado em variações nas faixas de pH até 3 unidades, dependendo de cada organismo e seu crescimento ótimo (MADIGAN *et al.*, 2010).

2.3.3 Salinidade

A média da salinidade da água do mar varia entre 34 e 37, podendo ser maior ou menor de acordo com a localidade, taxa de evaporação e precipitação, descarga de rios, entre outros (GARRISON, 2016; MUNN, 2004).

Um alto teor de salinidade pode causar perda de água da célula para o meio, resultando em sua lise. Assim, diversas bactérias desenvolveram

meios de adaptação para altas concentrações de sais, como acumulação de açúcares, aminoácidos e alcoóis que atuam como soluto (MUNN, 2004).

2.3.4 *Marés e Ondas*

As marés astrológicas ocorrem devido à força de gravidade da lua e sol junto com o movimento da Terra, gerando mudanças periódicas de curto tempo no nível do mar. Podemos denominar a maré de baixa-mar como o menor nível de água alcançado pela oscilação dessas forças, enquanto a maré de preamar seria o maior nível de água (GARRINSON, 2016).

Quando a lua e sol estão alinhados com a Terra (correspondendo às luas cheias e novas), amplifica-se a força de atração, causando as maiores e menores marés, denominadas marés de sizígia. Enquanto nas luas crescentes e minguantes, esses astros não estão alinhados, havendo marés menos intensas, chamadas de marés de quadratura (GARRINSON, 2016). Caracterizadas por duas preamares e duas baixa-mares em um dia lunar (24h 50 min), as marés em Fortaleza são do tipo semi-diurno (SILVA, 2012).

Marés altas e baixas apresentam diferenças quanto à ação na dinâmica das regiões costeiras e estuários. Durante a baixa-mar, há um fluxo de nutrientes e microrganismos originados do continente para o mar, enquanto na preamar, há uma maior dominância de partículas originadas do mar para o continente, além de uma maior mistura de águas (ANWAR; ROBINSON; BARRY, 2014, KOLM; ANDRETTA, 2003).

As ondas são geradas principalmente pela força do vento, que remexem sedimentos e partículas do oceano. Quando chega à costa, a profundidade diminui, forçando a onda quebrar, gerando o *spray* marinho, bolhas que chegam à superfície e estouram, disponibilizando partículas, incluindo bactérias, no ar e superfície da água (GARRINSON, 2016; SILVA, 2012; PARK; LIM; PARK, 2014).

2.3.5 *Deriva Litorânea*

A deriva litorânea é uma corrente costeira formada pela ação das ondas e gravidade, resultando um grande transporte de sedimentos e

partículas paralelo à linha de costa (GARRINSON, 2016). Nas praias de Fortaleza, o sentido da corrente de deriva litorânea é de leste para oeste (SILVA, 2012).

2.3.6. Umidade relativa do Ar

Segundo Ayoade (2010), o vapor d'água é o fator mais importante na regulamentação do clima na Terra, apesar de representar apenas 4% de volume na atmosfera. O vapor d'água desempenha papéis na origem de chuvas, absorção radiação solar e terrestre, temperatura do ar, evaporação, entre outros.

A umidade do ar pode ser denominada como o vapor d'água presente na atmosfera, excluindo as formas líquidas e sólidas que podem que a água pode se apresentar na atmosfera. A umidade do ar diminui com a altitude, onde além da troposfera é raro encontrar presença de vapor d'água. Nas áreas costeiras e tropicais, a umidade se apresenta em grande quantidade, variando durante o dia e estações do ano (AYOADE, 2010).

A taxa de umidade relativa é difundida como uma das principais forçantes na distribuição dos bioaerossóis, pois pouco vapor d'água presente na atmosfera, juntamente com a ação dos ventos, facilitaria a propagação desses microrganismos, enquanto uma alta taxa de umidade do ar dificultaria a propagação de bactérias, vírus e fungos, causando uma adesão nas moléculas de água presentes na atmosfera (QI *et al.*, 2014; ZHEN *et al.*, 2017).

2.3.7. Radiação Solar

A energia solar que chega na Terra varia de acordo os ângulos de incidências (latitude), período do dia e período do ano. Em latitudes próximas a zero, como no caso de Fortaleza, a quantidade de radiação imergente é grande devido ao pouco desvio de ângulo de incidência, chegando a ser máxima durante a tarde, e mais baixa pela manhã e ao entardecer. No verão, há também maior radiação solar quando comparado com o inverno. A quantidade e espessura de nuvens presentes na atmosfera ajuda a refletir a radiação que atinge a superfície terrestre (AYOADE, 2010).

Os raios solares, incluindo radiação UV, são conhecidos por causar diversos danos às células e DNA de bactérias (KIRCHMAN, 2000; MUNN, 2004; QI *et al.*, 2014), sendo necessário mecanismos de adaptações para sobreviver (SMETS *et al.*, 2016). Lighthart (1999) sugere que a concentração de bactérias na atmosfera varia entre o dia e noite.

2.3.8. Vento

Os ventos alísios são os ventos formados nas latitudes de 30° e que se direcionam ao equador, onde se convergem na Zona de Convergência Intertropical (AYOADE, 2010; GARRINSON, 2016). Em Fortaleza, esses tipos de ventos dominam o regime da região, sendo mais intensos nos meses de junho a novembro (FERREIRA; MELLO, 2005; MAIA *et al.*, 2001; SILVA, 2012).

As brisas marítimas e terrestres são processos causados pela diferença de aquecimento térmico entre a superfície terrestre e aquática, devido ao alto calor específico da água que consegue variar de temperatura mais lentamente, resultando em ventos do mar para a terra (brisa marítima) e da terra para o mar (brisa terrestre). Esses sistemas também atuam, em menor escala, na intensidade e direção dos ventos em Fortaleza (AYOADE, 2010; FERREIRA; MELLO, 2005).

O vento é um dos principais parâmetros que atuam no deslocamento de partículas oceânicas e terrestres, promovendo a dispersão de bactérias na atmosfera tanto horizontalmente como verticalmente de forma global, deposição e sua ausência pode promover também a retenção de microrganismos no ambiente (ALLER *et al.*, 2005; ALVES, 2014; CHO; HWANG, 2011; ZHEN *et al.*, 2017).

2.3.9. Sazonalidade

Em latitudes tropicais, o clima é influenciado principalmente pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Nos meses de dezembro a abril, ela se desloca para o sul do equador, causando precipitações, e assim, a estação chuvosa no Ceará. Enquanto nos meses de junho a novembro, a ZCIT está mais ao norte do equador, aumentando a intensidade dos ventos alísios e

diminuindo as chuvas, que seria a época de estio no Ceará (AYOADE, 2010; FERREIRA; MELLO, 2005; MAIA *et al.*, 2001; SILVA, 2012).

A sazonalidade causa mudanças em diversos parâmetros físico-químicos, e assim, muda também comunidades de bactérias presentes no meio (INNOCENTE *et al.*, 2017; JONES; HARRISON, 2004; ZHONG *et al.*, 2016).

2.3.10. Região Costeira

A dinâmica de regiões costeiras inclui fatores ausentes em regiões oceânicas, como quebra de ondas e a forte contribuição continental (GARRINSON, 2016). Em cidades muito povoadas é mais difícil haver um controle de saneamento básico, o que acaba sendo foco de poluição ao ocorrer descarga de água no mar (VIEIRA *et al.*, 2003, 2011).

Galerias pluviais em grandes centros urbanos drenam, além do escoamento da água de chuva, esgotos clandestinos e resíduos sólidos que deságuam no mar, modificando e poluindo o ambiente, representando um risco à saúde de pessoas que frequentam a praia (VIEIRA *et al.*, 2003, 2011).

Estudos já realizados para análise da balneabilidade nas praias de Fortaleza e no riacho Maceió demonstraram contaminação resultante de atividade antrópica e esgotos clandestinos (VIEIRA *et al.*, 2002, 2003, 2011).

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Estabelecer a abundância e diversidade de bactérias cultiváveis componentes da microcamada superficial e bioaerossóis marinhos na costa de Fortaleza, Ceará e os fatores que os influenciam.

3.1 Objetivos específicos

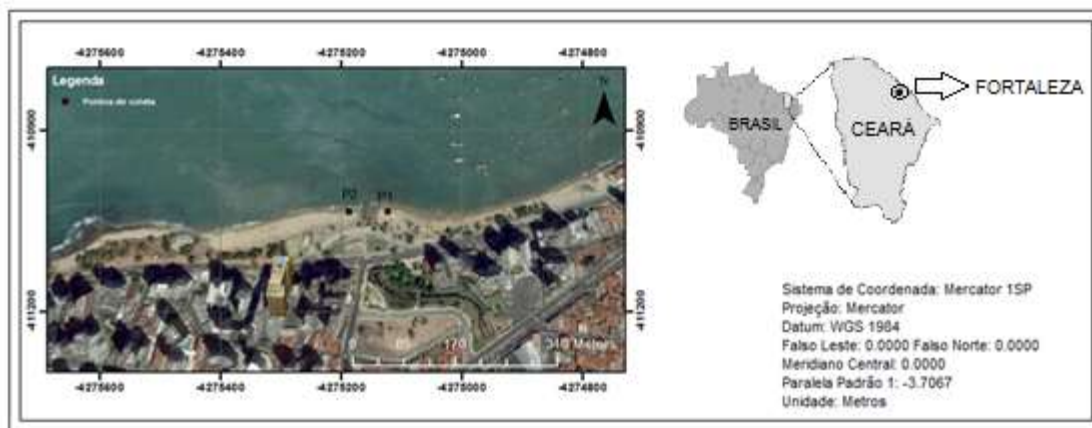
1. Quantificar as bactérias na microcamada superficial e bioaerossóis marinhos na orla de Fortaleza;
2. Isolar e identificar estirpes bacterianas da microcamada superficial e bioaerossóis marinhos através de provas bioquímicas;
3. Verificar influência de fatores físico-químicos da água do mar e do ar sobre a quantidade e composição da microbiota da microcamada superficial e bioaerossóis marinhos;
4. Verificar influência de fontes pontuais de contaminação da água do mar sobre a quantidade e composição da microbiota da microcamada superficial e bioaerossóis marinhos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 - Pontos de Coleta

As coletas da MCSO e de bioaerossóis marinhos foram realizadas em dois pontos de uma área de praia. O ponto 1 (P1) situado à montante e o ponto 2 (P2) à jusante da desembocadura do riacho Maceió - praia do Mucuripe - Fortaleza, Ceará (Figura 1).

Figura 1 - Mapa indicando os pontos de coleta no riacho Maceió.



Fonte: Elaborado pela autora.

4.2 - Período de Coleta

Foram coletadas amostras representativas dos períodos de estio e chuvoso da região nordeste. A tábua de maré foi consultada através do site da Marinha do Brasil, para a escolha dos dias de coleta que compreenderam as maiores amplitudes de maré (sizígia). Em cada dia de coleta, foram realizadas duas amostragens, uma durante a maré de preamar e outra no período de baixa-mar (Quadro 1).

Quadro 1 - Informações do dia, horário e amplitude de maré das coletas realizadas.

	Dia	Horário e Amplitude de maré			
Setembro	20	7:01h	2,9m	13:02h	0,2m
Novembro	14	16:23h	3,2m	10:04h	0,0m
Março	13	17:31h	2,9m	11:14h	0,2m
Abril	10	16:32h	2,8m	10:14h	0,3m

4.3 - Procedimentos de Coleta

4.3.1. *Microcamada Superficial Oceânica*

As amostras da microbiota da MCSO foram coletadas a uma distância mínima de 5 metros da desembocadura do riacho Maceió. Papeis de filtro estéreis foram depositados em triplicata na água do mar com o auxílio de uma pinça previamente esterilizada e guardados em placas de Petri de vidro estéreis para posterior processamento no Laboratório de Microbiologia Ambiental e do Pescado (LAMAP) da Universidade Federal do Ceará (UFC).

4.3.2. *Bioaerossóis*

Nos pontos 1 e 2, foi usada a técnica de sedimentação espontânea em placas (PASQUARELLA *et al.*, 2000) para a coleta dos bioaerossóis marinhos, consistindo na abertura de placas de Petri contendo o meio de cultura Ágar de Contagem em Placa (PCA) confeccionado com água do mar a uma salinidade de 20ppm, expostas durante 30 minutos.

4.3.3. *Parâmetros Físico-Químicos*

Nos dois pontos, a salinidade e pH da água do mar foram verificados através de um refratômetro (ATAGO S/MILL) e de um potenciômetro (MARCONI - PA 200P), respectivamente. As temperaturas de ar e água foram medidas através de um termômetro (INCOTERM). Dados sobre vento e umidade relativa foram previamente consultados no site do INMET (<http://inmet.gov.br/>).

4.4 - Processamento das Amostras

4.4.1. *Microcamada Superficial*

O processamento das amostras da MCSO foi realizado de acordo com a técnica *Pour Plate* (ou semeadura em profundidade), que consiste em colocar o meio de cultura após o depósito da amostra na placa de Petri (MADIGAN *et al.*, 2010). O meio de cultura usado foi o Ágar de Contagem em

Placa (PCA) diluído com água do mar a 20ppm, que posterior solidificação do meio, as placas de Petri de vidro foram colocadas em uma estufa de 35°C por 48 horas. Após o tempo de incubação, as contagens foram feitas usando contador de colônias (Phoenix) e os resultados expressos em Unidades Formadoras de Colônias por metro quadrado (UFC/m²).

Para o cálculo de área foi considerado a placa de Petri, utilizando a fórmula da área do círculo, que é o valor de π (pi) multiplicado pelo raio elevado ao quadrado. Considerando que o diâmetro das placas de Petri utilizadas é 9cm, a área da placa tem como resultado 63,585cm² ou 0,0063585m².

4.4.2. Bioaerossóis

Para as amostras dos bioaerossóis, após o tempo de sedimentação, as placas de Petri foram fechadas e levadas para o laboratório de Microbiologia Ambiental e do Pescado (Lamap), onde foram colocadas em uma estufa de 35°C por 48 horas. Seguindo à incubação, houve a contagem das colônias sobre a superfície do meio de cultura que apresentaram crescimento e os resultado foi expresso em UFC/m³. O cálculo da amostra dos bioaerossóis foi baseado na Equação 1 para transformar a área da placa em unidade de volume (FRIBERG *et al.*, 1999a; FRIBERG *et al.*, 1999b).

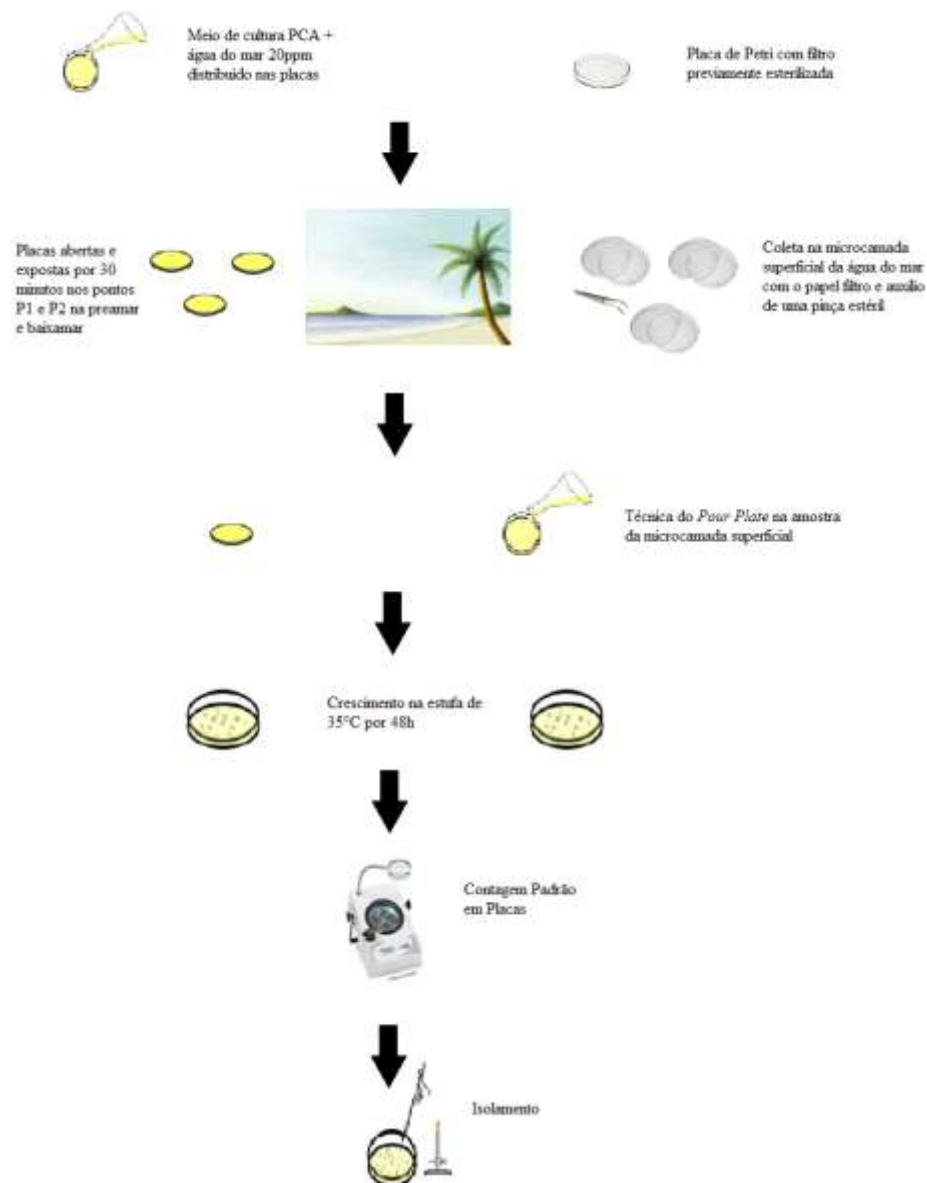
Equação 1 - Cálculo do número de UFC/m³ de ar pelo método de sedimentação em placa.

$$n^{\circ} \text{ de UFC/m}^3 = \frac{n^{\circ} \text{ de UFC em cada caixa}}{\text{área da caixa (m}^2\text{)}} \times \frac{1}{23}$$

A razão 1:23 relaciona o número de células na superfície e o número de células no ar (SAR) em ambientes com sedimentação espontânea (MORAIS *et al.*, 2010).

A figura 2 representa o fluxograma da metodologia descrita.

Figura 2 - Fluxograma da metodologia aplicada para a coleta, contagem e isolamento as bactérias



Fonte: Adaptado de ABREU (2016)

4.5 - Isolamento de Bactérias

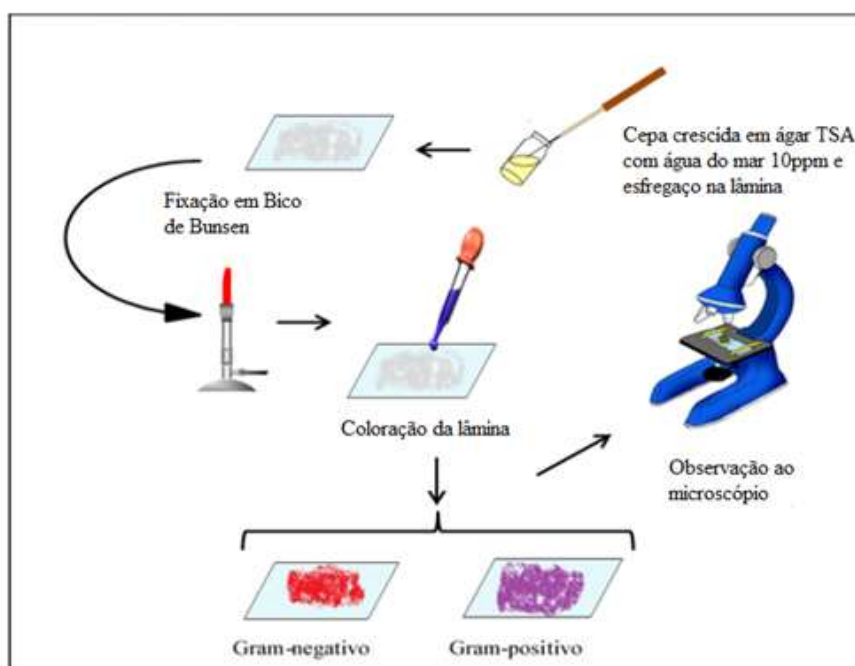
Após as contagens, foram retiradas colônias e transferidas para meio de cultura Ágar Triptona Soja (TSA, diluído com água do mar a 10ppm), incubadas a 35°C durante 24 horas, para o procedimento de isolamento de estirpes. A morfologia e características de parede celular das culturas bacterianas foram analisadas por coloração de Gram. Foram selecionadas e repicadas 40 colônias em cada dia de coleta.

4.6 - Identificação

4.6.1 - Análise Morfotintorial

A análise morfológica das estirpes isoladas foi realizada através da técnica de coloração de Gram (Figura 3), método que permite classificar e dividir as bactérias em Gram-positivas e Gram-negativas, dois grandes grupos que se diferenciam quanto à parede celular (SOARES *et al.*, 1987; TORTORA *et al.*, 2005).

Figura 3 - Fluxograma representando a técnica de coloração de Gram.



Fonte: adaptado de SANTOS (2013).

4.6.2 - Identificação através de provas bioquímicas

Para a identificação das estirpes isoladas, seguiu-se o manual de identificação de Bergey (STALEY *et al.*, 2005) e Módulo 6 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (BRASIL, 2013), onde são propostos provas bioquímicas de acordo com as características morfológicas das cepas, como as provas de oxidase, catalase, motilidade, produção de indol e sulfeto de hidrogênio (H₂S), teste do vermelho de metila (VM) e *Voges-Proskauer* (VP), caldo ureia, citrato *Simmons*, fermentação de glicose, lactose e sacarose (teste TSI), bile esculina, susceptibilidade ao vibriostático O/129 (10 µg e 150 µg), fermentação de

manitol, hidrólise de amido, teste de coagulase, coloração rápida-ácida e crescimento em meios de cultura seletivos como ágar GSP, TCBS e *MacConkey* (KONEMAN *et al.*, 2006; STALEY *et al.*, 2005).

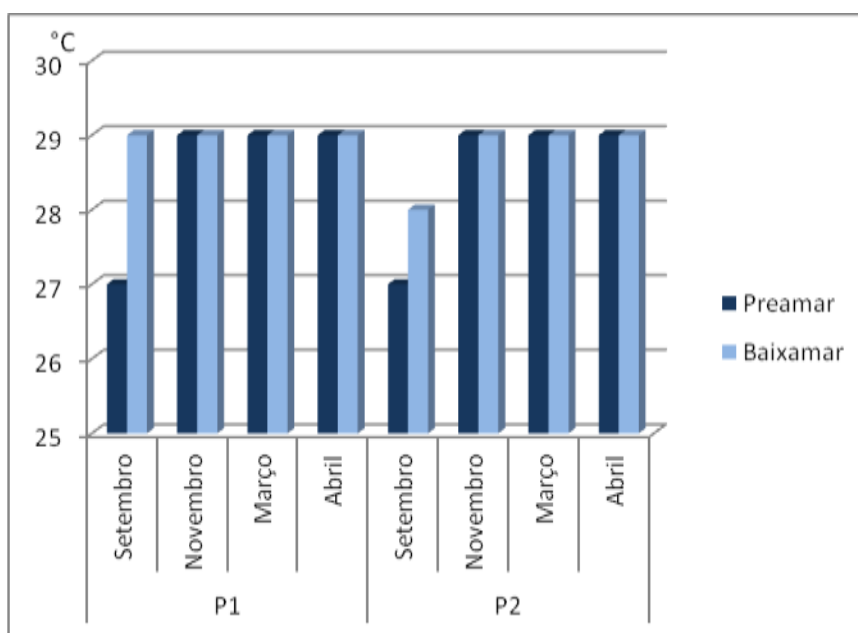
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Parâmetros Físico-Químicos

5.1.1. Temperatura da água do mar

No instante da coleta, a água do mar apresentou poucas variações de temperatura nos pontos 1 e 2, de acordo com o Gráfico 1.

Gráfico 5 - Variações na temperatura da água do mar de acordo com os períodos e pontos de coleta.



Período de estio: meses setembro e novembro; Período chuvoso: meses de março e abril.

Em P1 e P2, observou-se o mesmo padrão na variação na temperatura da água do mar. No mês de setembro, durante a preamar, a temperatura apresentou os valores mais baixos (27°C) para ambos os pontos de coleta. Nos períodos restantes, a temperatura para P1 e P2 nas diferentes condições de maré manteve-se constante (29°C).

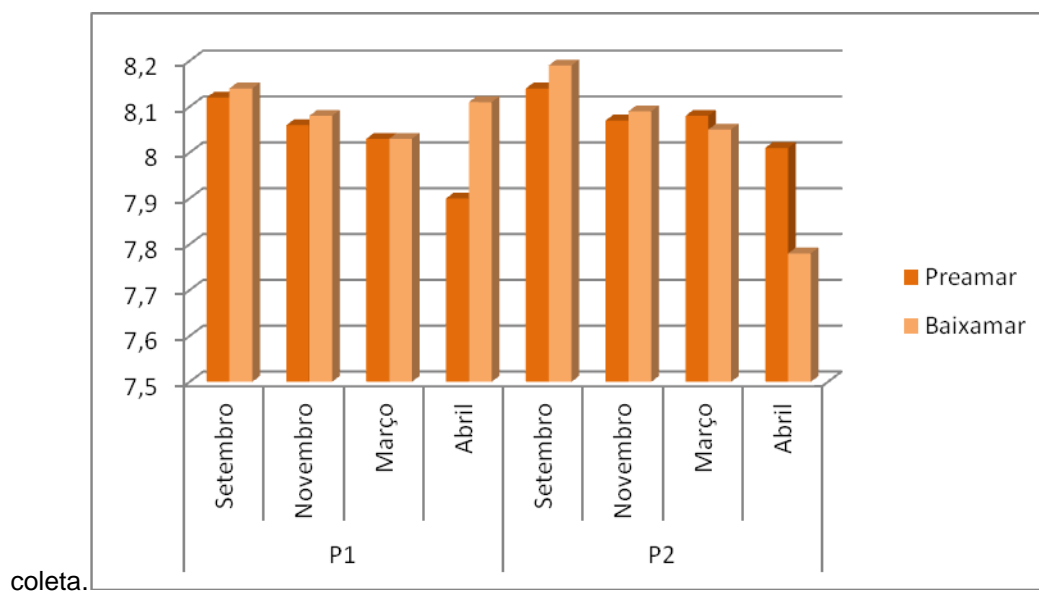
A média da temperatura de superfície do mar (TSM) no Atlântico tropical é superior a 27°C (BOMVENTI *et al.* 2006). A manutenção da temperatura do ambiente é proporcionalmente relacionada ao controle da taxa de crescimento bacteriano. Ou seja, temperaturas mais elevadas contribuem para maiores crescimentos microbianos de acordo com a faixa ótima do metabolismo de cada microrganismo (KIRCHMAN, 2000). Desta forma, as

temperaturas da água do mar nas áreas amostradas, favorecem o aumento populacional de bactérias psicrófilas e mesófilas.

5.1.2. Potencial Hidrogeniônico

Os valores de pH referentes à água do mar no momento da coleta podem ser observados no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Mensuração do pH da água do mar para os diferentes períodos e pontos de



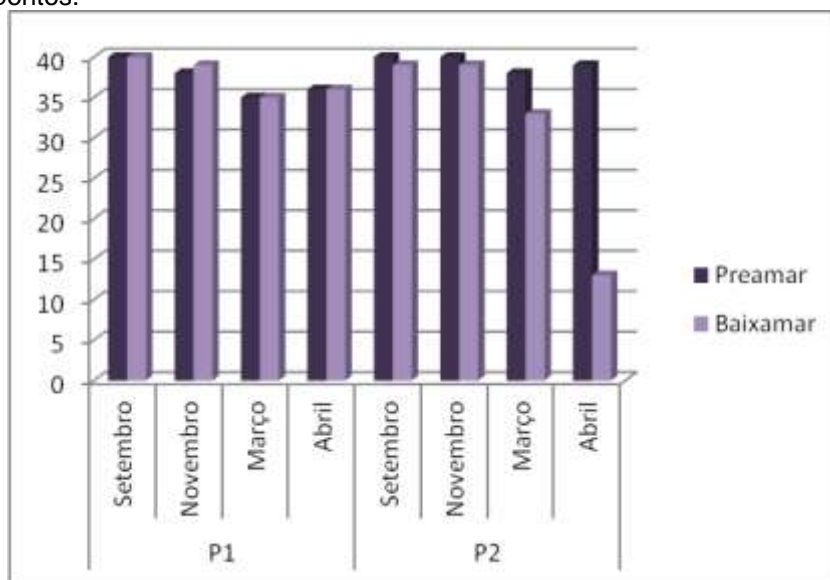
Para o mês de setembro, esses valores variaram entre 8,12 a 8,19 entre as marés e pontos de coleta. Para o mês de novembro, os valores foram entre 8,06 a 8,09. Durante o mês de março, a variação foi de 8,03 a 8,08. Para o mês de abril, os valores variaram entre 7,78 a 8,11.

Os microrganismos podem crescer normalmente suportando uma variação de pH na faixa de 2-3 unidades (MADIGAN *et al.* 2010). No geral, os valores apresentaram pouca variação e permaneceram na faixa de neutro à básico, o que é esperado para a água do mar (GARRINSON, 2016; MUNN, 2004).

5.1.3. Salinidade

A salinidade da água do mar apresentou valores distintos com relação ao período sazonal de coleta, de acordo com o Gráfico 3.

Gráfico 3 - Mensuração da salinidade das amostras da água do mar coletadas nos diferentes períodos e pontos.



Para o mês de setembro, os valores da salinidade apresentaram-se os mais altos do estudo, com 40 para todos os pontos e amplitudes de marés amostrados, com exceção de P2 na baixa-mar onde observou-se o valor de 39. Em novembro, esse padrão sofreu uma sutil modificação, onde as leituras de salinidade no P1 e P2 em preamar foram respectivamente de 38 e 40, enquanto nas condições de baixa-mar a salinidade foi de 39 e 36 em P1 e P2, respectivamente.

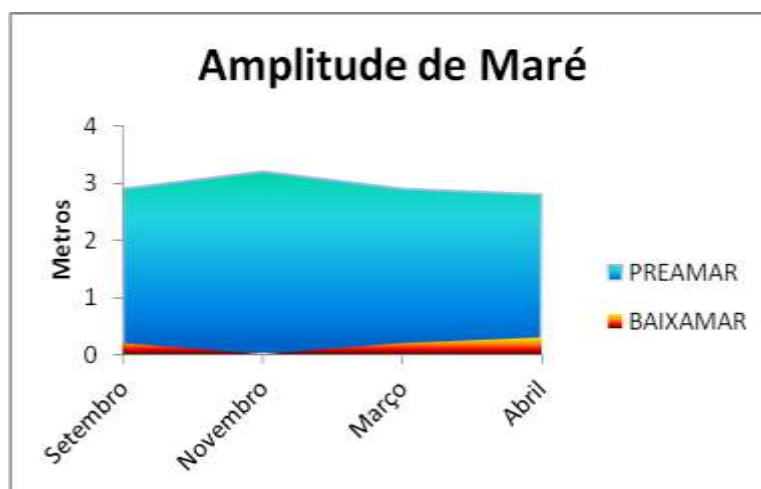
Os mais baixos teores de salinidade foram observados no período chuvoso da região nordeste. Apresentando valores que variaram em uma ampla faixa entre 13 e 38, de acordo com os pontos e amplitudes de maré de amostragem. Notou-se no mês de abril o menor valor de salinidade (13) durante a baixa-mar em P2, lugar à jusante do riacho Maceió, que recebe maior aporte de água doce no período de chuvas, fato que pode explicar essa queda brusca no valor observado de salinidade.

Durante as preamares, todos os valores em P2 foram mais altos do que P1, demonstrando dominância da maré sob a influência do riacho. No entanto, durante as baixa-mares, ocorreu o contrário, principalmente para o mês de abril, onde observou-se uma alta descarga do riacho Maceió devido às chuvas, evidenciando a influência desse corpo d'água no meio. Uma mudança de salinidade pode causar uma mudança na composição de bactérias presentes no ambiente (COCI *et al.*, 2005; HENRIQUES *et al.*, 2006; JIANG *et al.*, 2007; WU *et al.*, 2006; ZHANG *et al.*, 2006).

5.1.4. Amplitude de Maré

Pelo fato das coletas terem sido realizadas durante marés de sizígias, a amplitude de maré era máxima na preamar e mínima na baixa-mar, variando entre 2,9 e 3,2 metros para a preamar e entre 0,0 e 0,3 metros para a baixa-mar (Gráfico 4).

Gráfico 4 - Variação em metros da amplitude de maré nos períodos coletados.

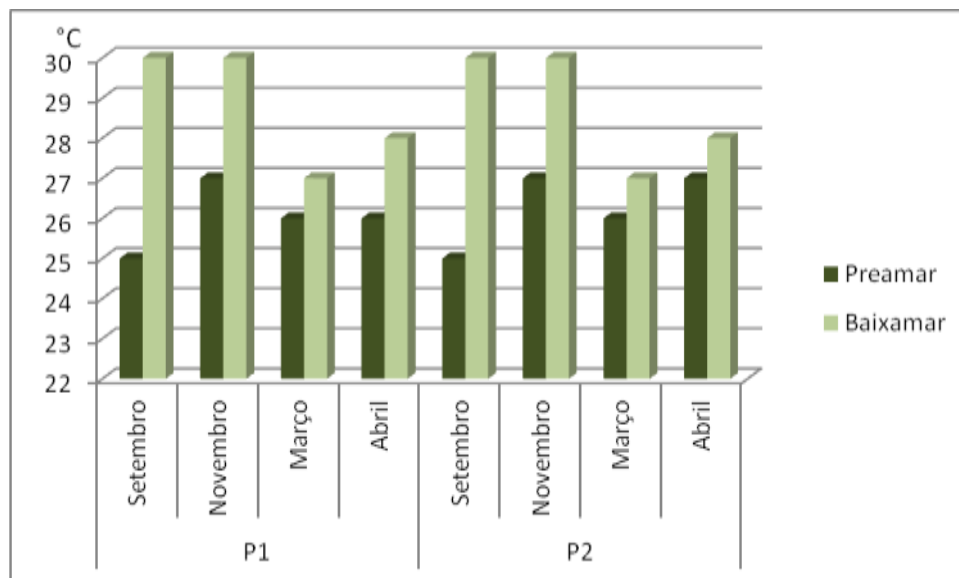


A diferença das amplitudes de marés contribui na dinâmica das regiões costeiras, podendo influenciar também na população de bactérias presentes na água, considerando que nas preamares as águas desses ambientes tem suas propriedades dominadas pela água marinha e nas baixa-mares são mais influenciadas pelos aportes de rios e lençol freático (KOLM; ANDRETTA, 2003).

5.1.5. Temperatura do ar

A temperatura do ar apresentou oscilações de acordo com os períodos coletados, como pode ser visto no Gráfico 5.

Gráfico 5 - Representação das variações de temperatura do ar nos períodos e pontos de coleta.



Para a época de estio, as temperaturas do ar nos pontos à montante (P1) e à jusante (P2) foram iguais, onde em setembro foi de 25°C para a preamar e de 30°C para a baixa-mar. Enquanto em novembro, a temperatura da preamar indicou 27°C e para baixa-mar 30°C.

Para a época de chuva, não foram observadas variações importantes na temperatura nos meses de março e abril. No primeiro mês, durante a preamar a temperatura foi 26°C para os dois pontos, enquanto para baixa-mar, foi 27°C. No mês de abril, durante a preamar as temperaturas apresentadas foram 26°C e 27°C para P1 e P2, respectivamente, e na baixa-mar as temperaturas foram 28°C para todos os pontos amostrados.

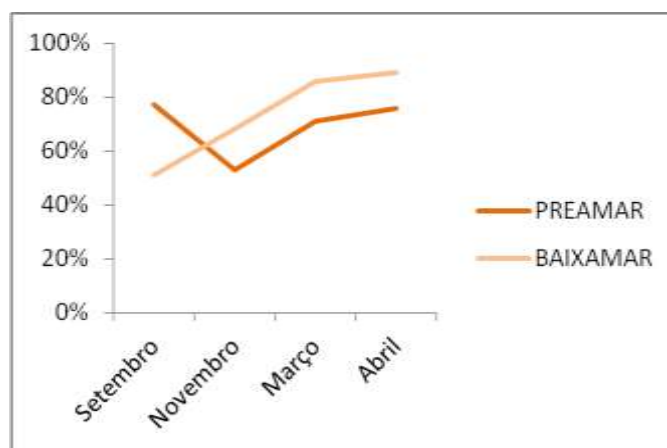
A temperatura do ar se resfria e aquece mais rapidamente do que a da água, devido ao alto calor específico da água, desse modo, ela varia tanto durante o dia quanto entre estações do ano, de acordo com a latitude, cobertura de nuvens, vapor d'água, ventos, entre outros (AYOADE, 2010; GARRINSON, 2016). Assim, os menores valores coincidiram com os horários

das coletas onde a intensidade dos raios solares estava fraca, e as temperaturas que apresentaram maiores valores coincidiram com as maiores intensidades de raios solares. Também observou-se que apenas no período seco as temperaturas chegaram a 30°C.

5.1.6. Umidade relativa do ar

Como pode ser observado no Gráfico 6, a umidade relativa do ar durante o período de estio, no mês de setembro, foi de 77% para a preamar e 51% durante a baixa-mar.

Gráfico 6 - Porcentagem expressa da variação da umidade relativa do ar nos períodos coletados.



No mês de novembro, a umidade estava a 53% durante a preamar e 68% na baixa-mar. Para o período de chuva, no mês de março, a umidade estava a 71% durante a preamar e 86% na baixa-mar, enquanto no mês de abril, na preamar estava a 76% e 89% durante a baixa-mar. A umidade relativa do ar nos trópicos varia durante o dia e estações do ano, apresentando os menores valores durante a tarde na estação seca, e os máximos valores durante a época de chuva e noite (AYOADE, 2010).

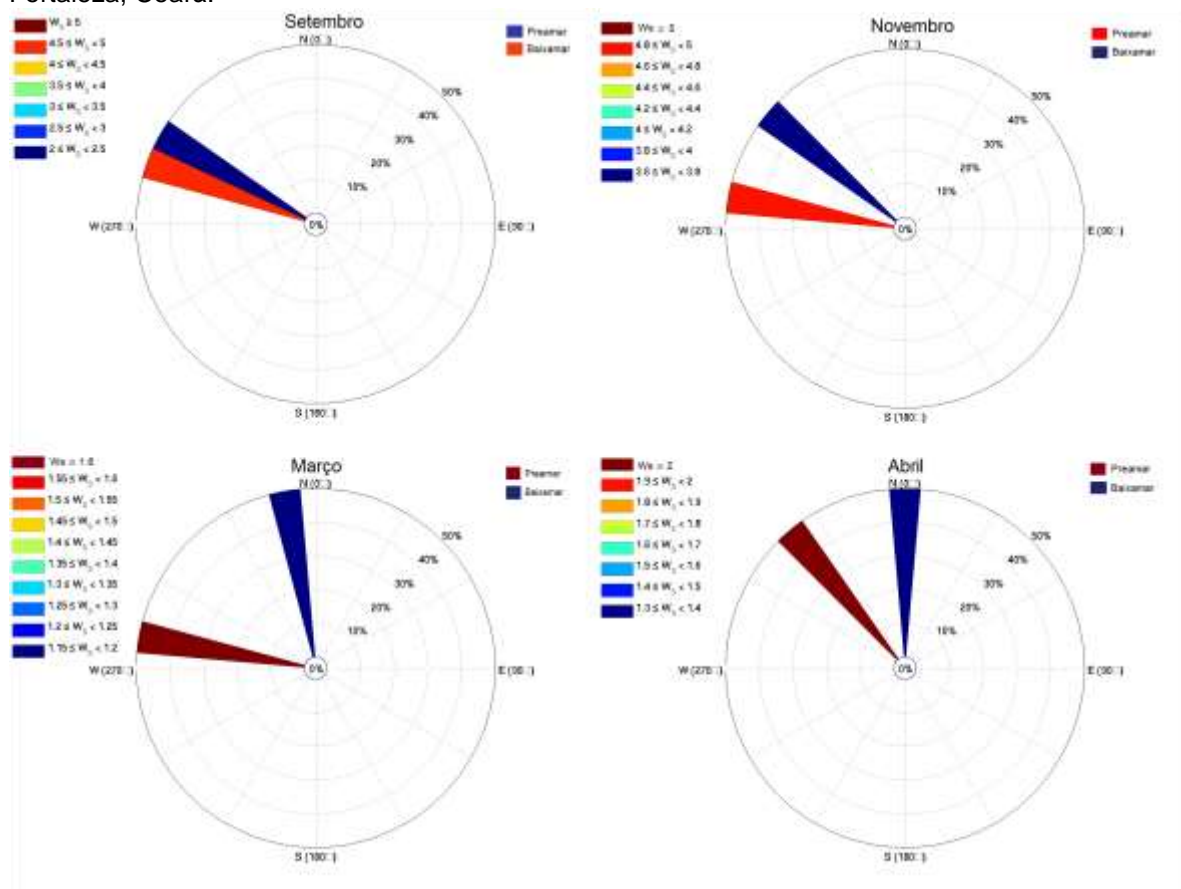
Estudos afirmam que os bioaerossóis apresentam diferentes distribuições de acordo com as condições climáticas da região, sendo a baixa taxa de umidade relativa uma das mais importantes para a sua difusão, pois grandes quantidades de vapor d'água no ar forçariam os bioaerossóis a se

adsorverem nas moléculas de água, dificultando sua propagação (QI *et al.*, 2014; ZHEN *et al.*, 2017).

5.1.7. Velocidade e direção dos ventos

As velocidades dos ventos durante a época de estio variaram entre 2,3 e 4,8m/s e entre 1,2 e 2m/s durante a época de chuva. A direção do vento foi preponderantemente para noroeste, variando entre 277° e 355°. Os ventos na região de Fortaleza são dominados principalmente pelos ventos alísios de sudeste, onde são mais intensos nos meses agosto a novembro (FERREIRA; MELLO, 2005; MAIA *et al.*, 2001). As brisas marítimas e terrestres também podem atuar na mudança de direção dos ventos (AYOADE, 2010; FERREIRA; MELLO, 2005), deslocando um pouco a trajetória dos alísios para o norte, como é possível observar nas baixa-mares dos meses de março e abril (Gráfico 7).

Gráfico 7 - Velocidade e direção dos ventos durante os períodos de coleta na orla marítima de Fortaleza, Ceará.



Os ventos atuam na dispersão de bactérias da microcamada superficial e bioaerossóis, ajudando na troca do continente e oceano, podendo carregá-las por milhares de quilômetros, assim como prendê-las localmente (ALVES, 2014; CHO; HWANG, 2011; ZHEN *et al.*, 2017).

5.2. Quantificação das colônias bacterianas

5.2.1. Microcamada Superficial

A tabela 1 apresenta os valores das contagens de colônias que cresceram na microcamada superficial da água do mar.

Tabela 1 – Contagens de bactérias nas amostras da microcamada superficial oceânica nos dois pontos amostrados na orla oceânica de Fortaleza, Ceará, expressas em UFC/m².

Mês de Coleta	P1		P2	
	Baixa-mar	Preamar	Baixa-mar	Preamar
Setembro/2016	9,4x10 ²	2,6x10 ³	1,9x10 ³	2,4x10 ³
Novembro/2016	2,8x10 ³	3,3x10 ³	3,1x10 ³	4,9x10 ³
Março/2017	7,8x10 ⁴	1,9x10 ⁴	7,8x10 ⁴	2,2x10 ⁴
Abril/2017	1,0x10 ⁵	8,0x10 ⁴	1,2x10 ⁵	5,3x10 ⁴

As médias das contagens bacterianas variaram de acordo com os períodos coletados. No período chuvoso (março e abril) observou-se um demasiado aumento na quantificação microbiana quando comparado com o período de estio (setembro e novembro), implicando uma atuação da chuva na deposição de bioaerossóis no mar.

Durante o período de estiagem, as maiores médias das contagens bacterianas ocorreram durante as preamares nos dois pontos (P1 e P2). Essa ocorrência pode ser explicada pelo fato de que as maiores amplitudes de maré revolvem mais substâncias e há maiores ondas, o que pode trazer um maior número de bactérias. As propriedades da microcamada superficial podem variar de acordo com as condições meteorológicas e estações do ano (AGOGUÉ *et al.*, 2005; HARDY, 1982; STOLLE *et al.*, 2010). As bactérias

presentes na microcamada superficial da água do mar chegam principalmente por processos de bolhas ascendentes da coluna d'água e deposição atmosférica (ALLER *et al.*, 2005; ALVES, 2014; KUZNETSOVA; LEE, 2002).

Ao comparar as médias das contagens bacterianas de acordo com o período sazonal, nota-se que os valores mais elevados surgiram no período correspondente à quadra chuvosa para os dois pontos de amostragem, ressaltando novamente o papel da chuva na contribuição da abundância de bactérias. Esse resultado coincide com o de Andretta (1999), que estudou bactérias heterotróficas em Gamboa do Perequê (Paraná) e observou maiores valores em pontos durante a baixa-mar e após chuvas. Também há a possibilidade do riacho Maceió contribuir para esses maiores valores, visto que dentre os dois pontos, P2 apresenta maiores médias. Esse tipo de sistema pode funcionar como aporte de materiais orgânicos provenientes de água doce e fontes antrópicas (VIEIRA; OLIVEIRA; SOUSA, 2007).

5.2.2. Bioaerossóis

A tabela 2 apresenta os valores das contagens de unidades formadoras de colônias registradas nas amostras da microbiota do ar na orla de Fortaleza.

Tabela 2 - Contagens de bactérias nas amostras do ar nos dois pontos amostrados na orla oceânica de Fortaleza, Ceará, expressas em UFC/m³

Mês de Coleta	P1		P2	
	Baixa-mar	Preamar	Baixa-mar	Preamar
Setembro/2016	5,5x10 ²	1,6x10 ³	1,7x10 ³	1,3x10 ³
Novembro/2016	3,6x10 ³	4,9x10 ³	3,2x10 ³	9,1x10 ³
Março/2017	7,0x10	1,0x10 ⁴	5,4x10	5,3x10 ³
Abril/2017	8,4x10	2,6x10 ³	1,5x10 ²	1,2x10 ³

Durante as preamares, predominantemente, observou-se as maiores médias para todos os períodos e pontos, com exceção de P2 em setembro.

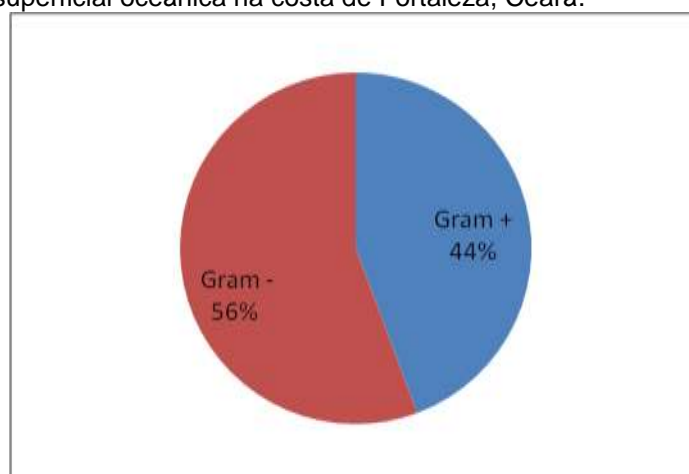
Esse resultado reafirma a importância da influência marítima na formação dos bioaerossóis e riqueza de bactérias na zona costeira (CHO; HWANG, 2011). Houve uma queda brusca nas contagens de bactérias nas coletas em baixamares no período chuvoso, demonstrando a ação da chuva na retirada e deposição dos bioaerossóis (QI *et al.*, 2014; ZHEN *et al.*, 2017).

5.3. Caracterização Morfotintorial

5.3.1. Microcamada Superficial

Do total de cepas isoladas na microcamada superficial da água do mar, 56% das bactérias apresentaram característica de parede celular Gram-negativa e 44% Gram-positiva (Gráfico 8).

Gráfico 88 - Percentual de bactérias Gram-positivas e Gram-negativas isoladas das amostras da microcamada superficial oceânica na costa de Fortaleza, Ceará.



Cho & Hwang (2011) estudaram bactérias de águas superficiais e bioaerossóis tanto na costa quanto *offshore* e constataram também a predominância de bactérias Gram-negativas.

As estirpes selecionadas apresentaram variações morfotintoriais conforme os períodos de coleta, estio e chuva, e amplitudes de maré (Gráfico 9 e 10).

Gráfico 99 - Distribuição percentual de bactérias Gram positivas e Gram negativas isoladas nas amostras da microcamada superficial oceânica de acordo com ponto de origem e maré de coleta no período de estio (Fortaleza, Ceará).

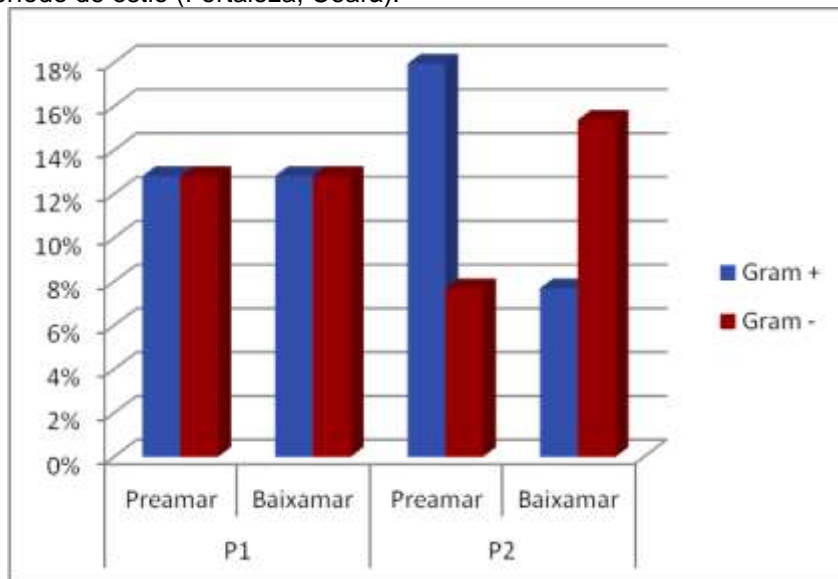
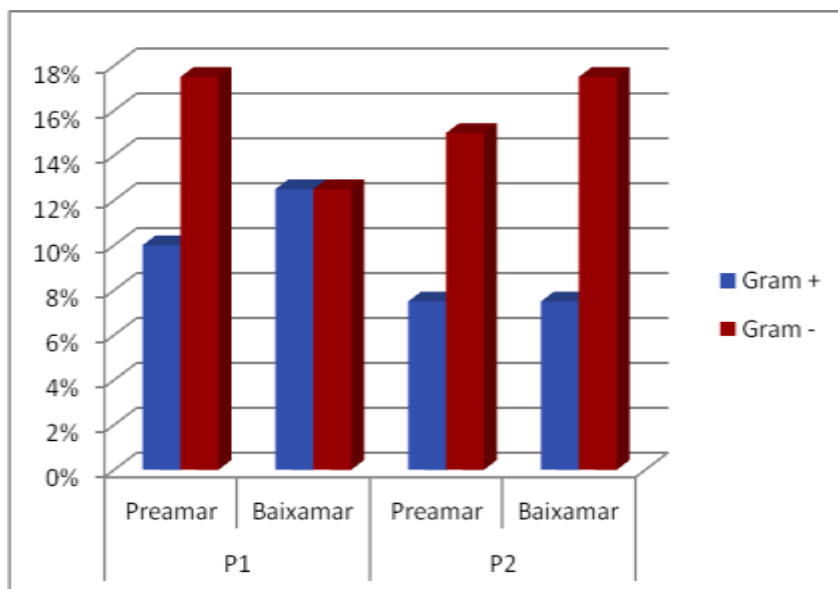


Gráfico 10 - Distribuição percentual de bactérias Gram positivas e Gram negativas isoladas nas amostras da microcamada superficial oceânica de acordo com ponto de origem e maré de coleta no período chuvoso (Fortaleza, Ceará).



Durante o período seco em P1, foi isolado o mesmo percentual (13%) de bactérias Gram-negativas e positivas nas duas amplitudes de maré. Em P2 houve alternância no domínio dos grupos, com 18% de Gram-positivas e 8% de Gram-negativas durante a preamar, enquanto para a baixa-mar o percentual de isolados foi 15% de Gram-negativas e 8% de Gram-positivas. Para o período chuvoso, as bactérias Gram-negativas se mostraram mais

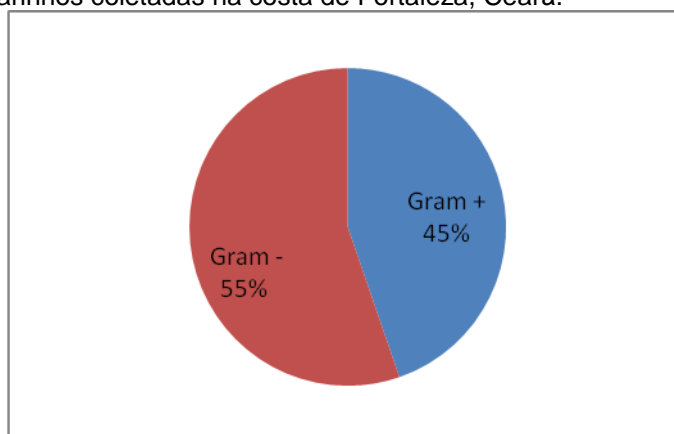
abundantes nos dois pontos e amplitudes de marés coletados, com exceção do P1 durante a baixa-mar que apresentou a mesma porcentagem para os dois grupos de bactérias (13%).

A microcamada superficial tem na sua biota contribuição tanto do mar, como do continente (ALVES, 2014; CHO; HWANG, 2011; XIA *et al.*, 2015). Ventos e chuva ajudam no transporte continental para esse ambiente (ALVES, 2014; CHO; HWANG, 2011). Estudos realizados apontam que a presença de Gram-negativas no ambiente marinho é predominante, no entanto as bactérias Gram-positivas possuem adaptações para se sobressaírem em condições adversas (CHO; HWANG, 2011; XIA *et al.*, 2015). Desse modo, a maior presença de bactérias Gram-negativas está de acordo com a literatura encontrada. A exceção encontrada em P2 durante a preamar no período de estio pode ter sido causada pelo deságue do riacho Maceió, que traria bactérias Gram-positivas de origem antrópica. No entanto, é importante ressaltar que fatores externos não analisados nesse trabalho também podem ter sido causa dessa expressão fora do padrão encontrado.

5.3.2. Bioaerossóis

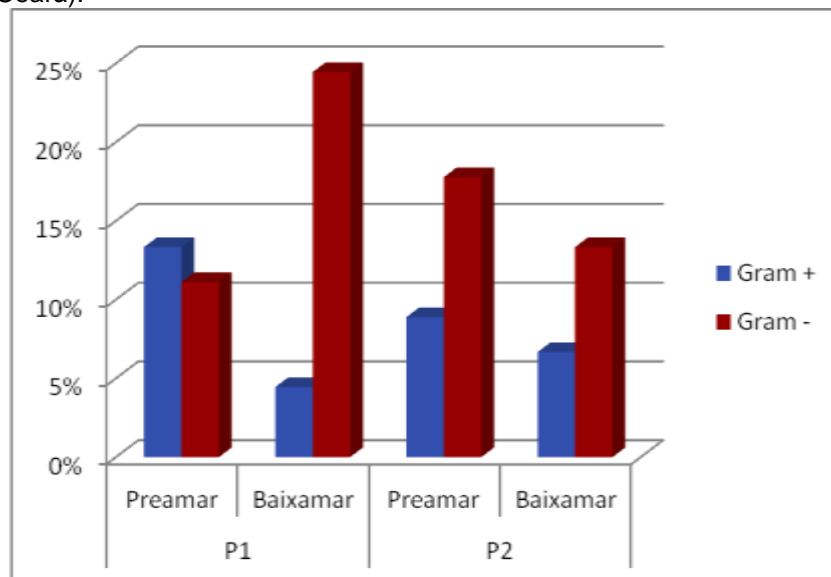
Do total de cepas isoladas dos bioaerossóis, 55% apresentaram característica de parede celular Gram-negativa e 45% Gram-positivas (Gráfico 11), confirmando a dominância das bactérias Gram-negativas nos bioaerossóis de origem marinha (CHO & HWANG, 2011; XIA *et al.*, 2015).

Gráfico 11 - Percentual de bactérias Gram-positivas e Gram-negativas isoladas das amostras de bioaerossóis marinhos coletadas na costa de Fortaleza, Ceará.



Os gráficos 12 e 13 mostram as variações morfotintoriais das estirpes selecionadas conforme os períodos de coleta e amplitudes de maré.

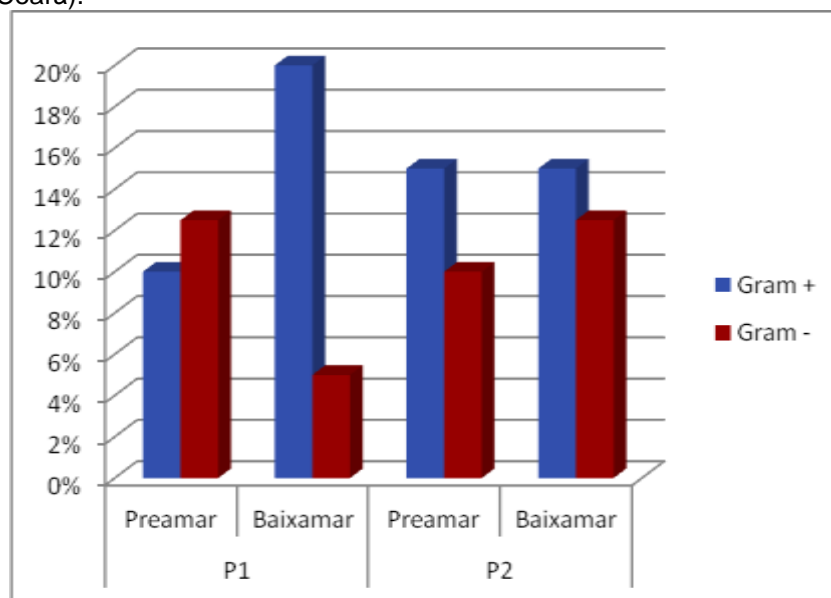
Gráfico 12 - Distribuição percentual de bactérias Gram positivas e Gram negativas isoladas nos bioaerossóis marinhos de acordo com ponto de origem e maré de coleta, no período de estio (Fortaleza, Ceará).



O período de estio apresentou predominância de bactérias Gram-negativas para os dois pontos e amplitudes de maré, com exceção da preamar em P1, onde as bactérias Gram-positivas foram mais abundantes (13%).

Para o período chuvoso ocorreu o inverso (Gráfico 13). Bactérias Gram-positivas dominaram os dois pontos e amplitudes de maré coletados, com exceção da preamar em P1, onde as bactérias Gram-negativas foram mais abundantes, também com 13%. As chuvas causam uma deposição dos bioaerossóis nos solos e águas (QI *et al.*, 2014, ZHEN *et al.*, 2017), as adaptações já mencionadas de bactérias Gram-positivas podem ter favorecido sua predominância durante a chuva em um ambiente de clima seco. Em condições de alta umidade relativa, bactérias Gram-positivas apresentam maiores chances de sobrevivência do que as Gram-negativas (THEUNISSEN *et al.*, 1993). A pouca intensidade de ventos nesse período também dificultaria a interação entre as bactérias marinhas e continentais. Zhen *et al.* (2017) estudaram o efeito das condições meteorológicas na abundância e diversidade de bactérias presentes no ar, concluindo que há grande variação entre estações do ano.

Gráfico 13 - Distribuição percentual de bactérias Gram positivas e Gram negativas isoladas nos bioaerossóis marinhos de acordo com ponto de origem e maré de coleta, no período chuvoso (Fortaleza, Ceará).

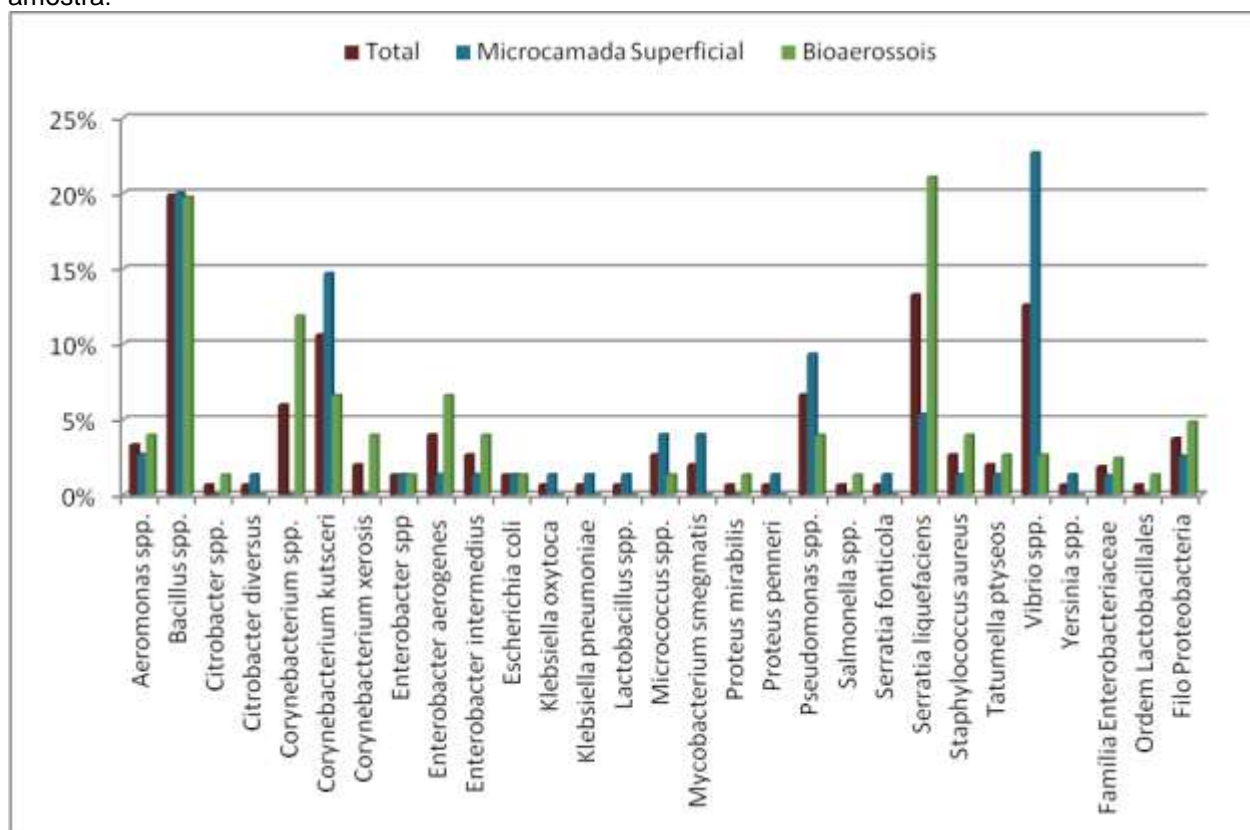


5.4. Identificação dos isolados bacterianos

Foram isoladas e identificadas 164 culturas bacterianas, identificadas até nível de espécie (15): *Citrobacter diversus*, *Corynebacterium kutscheri*, *Corynebacterium xerosis*, *Enterobacter aerogenes*, *Enterobacter intermedius*, *Escherichia coli*, *Klebsiella oxytoca*, *Klebsiella pneumoniae*, *Mycobacterium smegmatis*, *Proteus mirabilis*, *Proteus penneri*, *Serratia fonticola*, *Serratia liquefaciens*, *Staphylococcus aureus* e *Tatumella ptyseos*; até nível de gênero (11): *Aeromonas*, *Bacillus*, *Citrobacter*, *Corynebacterium*, *Enterobacter*, *Lactobacillus* spp., *Micrococcus*, *Pseudomonas*, *Salmonella*, *Vibrio* e *Yersinia*, e nível de Família (1), Ordem (1) e Filo (1): Enterobacteriaceae, Lactobacillales e Proteobacteria, respectivamente.

O Gráfico 14 compara a diversidade total de bactérias cultiváveis isoladas e a diversidade por tipo de amostra (microcamada superficial e bioaerossóis).

Gráfico 14 - Distribuição percentual dos isolados bacterianos identificados no total e por tipo de amostra.



As bactérias mais abundantes no total foram pertencentes ao gênero *Bacillus* (20%). Na microbiota da microcamada superficial, o gênero *Vibrio* predominou com 23%, seguido do gênero *Bacillus* (20%) e da espécie *Corynebacterium kutscheri* (15%). Nos bioaerossóis, a espécie *Serratia liquefaciens* predominou com 21% dos isolados, seguido do gênero *Bacillus*, também com 20%, e do gênero *Corynebacterium* (12%).

Apesar de uma maior presença de bactérias Gram-negativas, o gênero *Bacillus*, bactérias de origem terrígena e pertencentes ao grupo de bactérias Gram-positivas, predominou nas identificações, demonstrando que suas adaptações, como formação de endósporo, metabolismo e parede celular, favorecem a maior abundância dessas bactérias (MADIGAN *et al.*, 2010; MUNN, 2004). Da Silva *et al.* (2013) identificaram bactérias presentes em sedimento do oceano Atlântico Sul profundo e também encontraram predominância do gênero *Bacillus*. Ao estudar bactérias e fungos em uma altitude de 20km, Griffin (2004) encontrou uma dominância de 99% da espécie *Bacillus luciferensis*. Outros estudos realizados na microcamada superficial e

dos bioaerossóis constantemente citam a presença desse gênero (AGOGUÉ *et al.*, 2005; CHO; HWANG, 2011; XIA *et al.*, 2015).

O gênero *Vibrio* é amplamente conhecido como biota residente nas águas dos oceanos, costas, sedimentos marinhos e associados a animais marinhos e humanos, como patógenos (MADIGAN *et al.*, 2010; MUNN, 2004). São bactérias Gram-negativas que possuem grande capacidade de produzir biofilme e permanecer no ambiente por anos, de acordo com temperatura e salinidade do local (CHAVÉZ *et al.*, 2005; COWELL, 1996; MENEZES, 2011; MUNN, 2004). Organismos com adaptações para sobrevivência em biofilmes apresentam maiores vantagens para se sobressaírem na microcamada superficial, pois há compostos nesse meio que facilitam a formação de géis e filmes (CUNLIFFE; MURRELL, 2009). Franklin *et al.* (2005) estudaram a composição da microcamada superficial no Mar Norte e encontraram a dominância de *Vibrio* e *Pseudoalteromonas* no meio, diferenciando da diversidade de águas subjacentes a 0,4m.

A espécie *Serratia liquefaciens* é conhecida por ser generalista, habitando ambientes diversos, como água, sedimento, plantas, alimentos e atuando como patógeno em animais e humanos, além da capacidade de produzir pigmentos (MADIGAN *et al.*, 2010). Schuerger *et al.* (2003) conduziram um estudo de crescimento de bactérias onde simulavam condições presentes no planeta Marte, das 22 espécies presentes no experimento, apenas *S. liquefaciens* foi capaz de crescer, demonstrando a alta capacidade de adaptação dessa espécie. Apesar de que a alta abundância dessa espécie destacou-se apenas nos bioaerossóis.

O gênero *Corynebacterium* é associado a vários patógenos humanos e zoonoses, assim como participando da composição da microbiota normal humana, além de algumas espécies serem saprófitas (BERNARD, 2012; MADIGAN *et al.*, 2010). A presença da espécie *Corynebacterium kutscheri* está diretamente relacionada com atividades antrópicas, sendo encontradas em águas e sedimentos de áreas poluídas por indústrias, demonstrando resistência a metais pesados e características emulsificantes (ALVAREZ *et al.*, 2017; OYETIBO *et al.*, 2010; SAPTUTE *et al.*, 2010). A

significante abundância encontrada desse gênero e espécie pode estar associada com atividade humana na praia e na descarga de efluentes do riacho Maceió.

Apesar da pouca abundância encontrada, é importante ressaltar a presença da espécie *Escherichia coli*, pois é uma bactéria exclusiva do trato gastrointestinal de animais de sangue quente que pode causar doenças, e sua presença fora desse meio é relacionado com origem fecal, indicando a contaminação do ambiente (MADIGAN *et al.*, 2010, MUNN, 2004, VIEIRA *et al.*, 2011). Vieira *et al.* (2011) analisaram a presença de coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* em galerias pluviais de Fortaleza, incluindo na desembocadura do riacho Maceió, e encontraram em todas quantidades acima do estabelecido pela legislação, confirmando a poluição antrópica nesses ambientes.

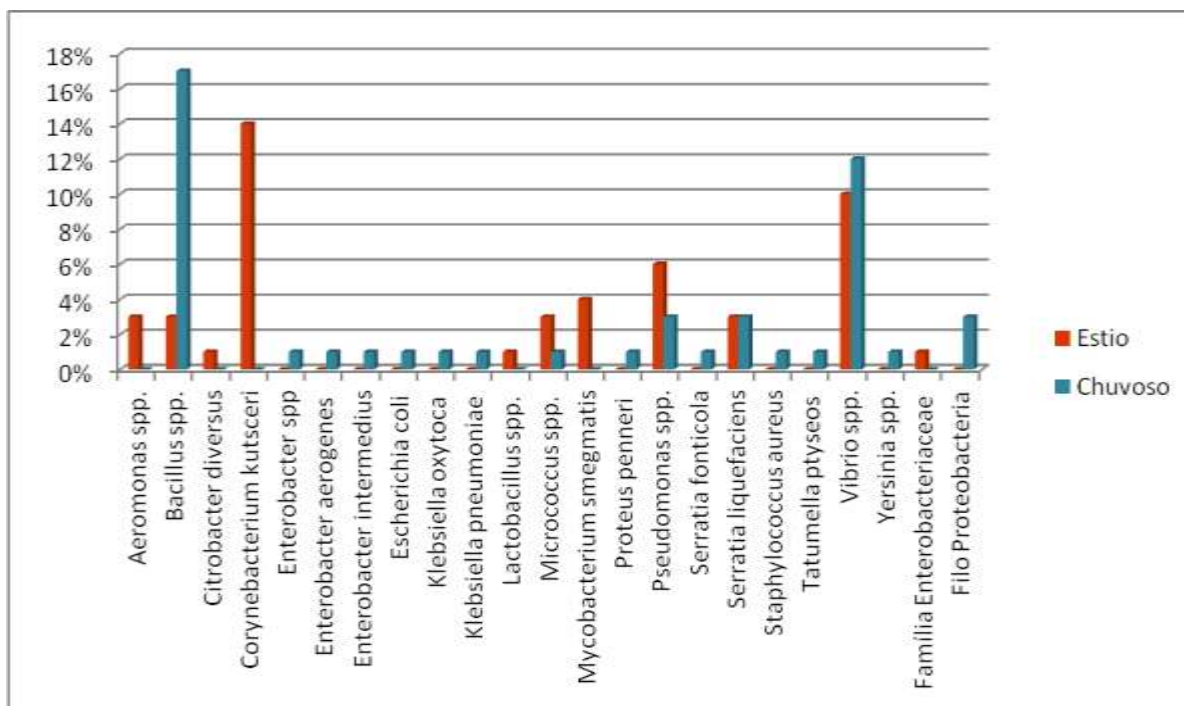
A quantidade de linhagens identificadas entre as metodologias de coleta foi parecida, com 23 grupos taxonômicos identificados para a microcamada superficial e 20 para os bioaerossóis. Todavia, houveram bactérias que apareceram somente na microcamada superficial: *Citrobacter diversus*, *Klebsiella oxytoca*, *Klebsiella pneumoniae*, *Lactobacillus* spp., *Mycobacterium smegmatis*, *Proteus penneri*, *Serratia fonticola* e *Yersinia* spp. E outras que apareceram somente nos bioaerossóis: *Corynebacterium xerosis*, *Proteus mirabilis*, *Salmonella* spp. e a Ordem Lactobacillales.

5.4.1. Microcamada Superficial

Dos 23 grupos taxonômicos identificados na microcamada superficial oceânica, houve diferença quanto ao período de coleta. Apenas 11 grupos taxonômicos foram presentes no período de estio, sendo *Aeromonas* spp., *Citrobacter diversus*, *Corynebacterium kutscheri*, *Lactobacillus* spp., *Mycobacterium smegmatis* e a Família Enterobacteriaceae exclusivas para esse período. Durante o período chuvoso, houve uma maior diversidade de bactérias, com 17 grupos taxonômicos identificados, sendo *Enterobacter* spp., *Enterobacter aerogenes*, *Enterobacter intermedius*, *Escherichia coli*, *Klebsiella oxytoca*, *Klebsiella pneumoniae*, *Proteus penneri*, *Serratia fonticola*,

Staphylococcus aureus, *Tatumella ptyseos*, *Yersinia* spp. e o Filo Proteobacteria particulares desse período. Os grupos taxonômicos presentes nos dois períodos foram: *Bacillus* spp., *Micrococcus* spp., *Pseudomonas* spp., *Serratia liquefaciens* e *Vibrio* spp (Gráfico 15).

Gráfico 15 - Distribuição percentual dos isolados bacterianos da microcamada superficial oceânica de acordo com o período do ano (Fortaleza, Ceará).



Heidelberg, Heidelberg e Colwell (2002) analisaram as espécies presentes na água de uma baía e constataram que a abundância e diversidade das bactérias estudadas variam com a sazonalidade e fatores físico-químicos. Já Frka, Kozarac e Cosovic (2009) estudaram as variações sazonais de substâncias ativas formadoras de filmes na microcamada superficial do mar Adriático e constataram maiores valores para os períodos quentes.

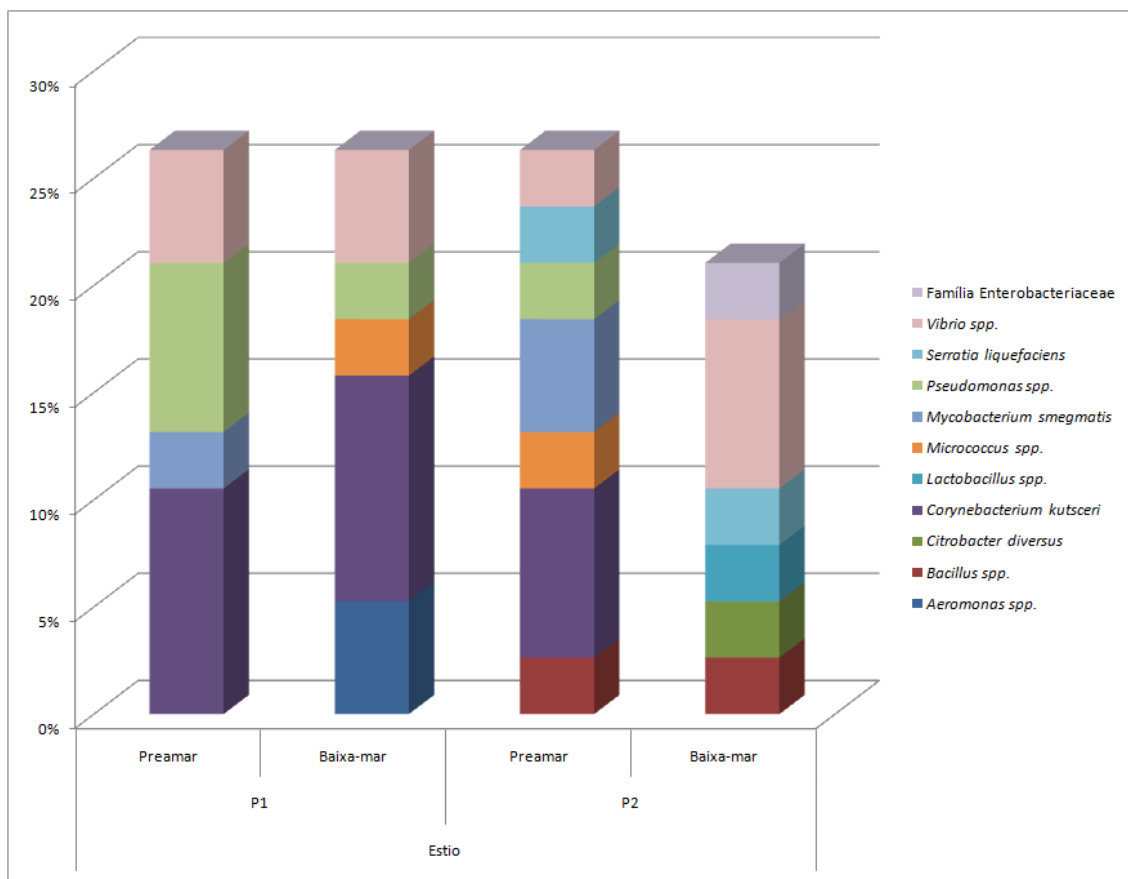
Desse modo, a sazonalidade e os fatores que variam a partir dela demonstram ser cruciais na distribuição das bactérias na microcamada superficial. Considerando a pouca variação de outros parâmetros físico-químicos entre as estações, a maior diversidade durante o período chuvoso reforça a contribuição da chuva como agente na deposição de bactérias no mar, assim como a pouca intensidade de ventos pode desfavorecer a

distribuição de partículas, causando uma maior concentração de microrganismos naquele ambiente.

A espécie *Corynebacterium kutscheri* apareceu como a mais abundante no período seco (14%), seguido do gênero *Vibrio* com 10%. Para o período chuvoso, o gênero *Bacillus* predominou com 17%, acompanhado do gênero *Vibrio* com 12%.

Os gráficos 16 e 17 mostram a abundância relativa das linhagens identificadas por ponto de coleta e amplitude de marés, de acordo com as estações coletadas.

Gráfico 16 - Abundância relativa dos isolados bacterianos identificados na microcamada superficial oceânica por pontos de coleta e amplitudes de maré no período de estio (Fortaleza, Ceará).

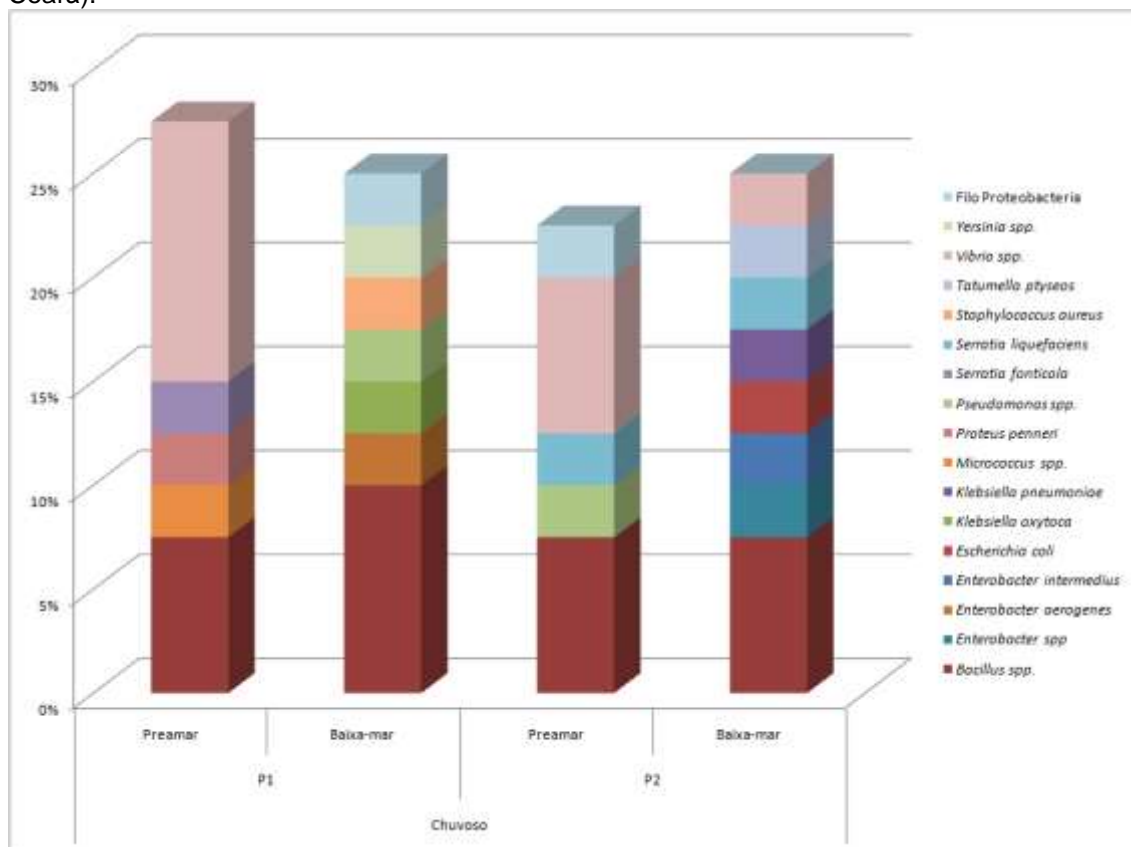


Para o período de estio (Gráfico 16), o gênero *Vibrio* esteve presente em todos os pontos e amplitudes de maré coletados. A espécie *Corynebacterium kutscheri* foi a mais abundante nas preamares dos dois pontos

e na baixa-mar em P1. Houve ausência dessa espécie durante a baixa-mar em P2.

Nas amostras do ponto à jusante do riacho Maceió (P2) verificou-se uma maior diversidade nas duas amplitudes de maré quando comparado com P1, demonstrando contribuição do deságue do riacho.

Gráfico 17 - Abundância relativa dos isolados bacterianos identificados na microcamada superficial oceânica por pontos de coleta e amplitudes de maré no período chuvoso (Fortaleza, Ceará).



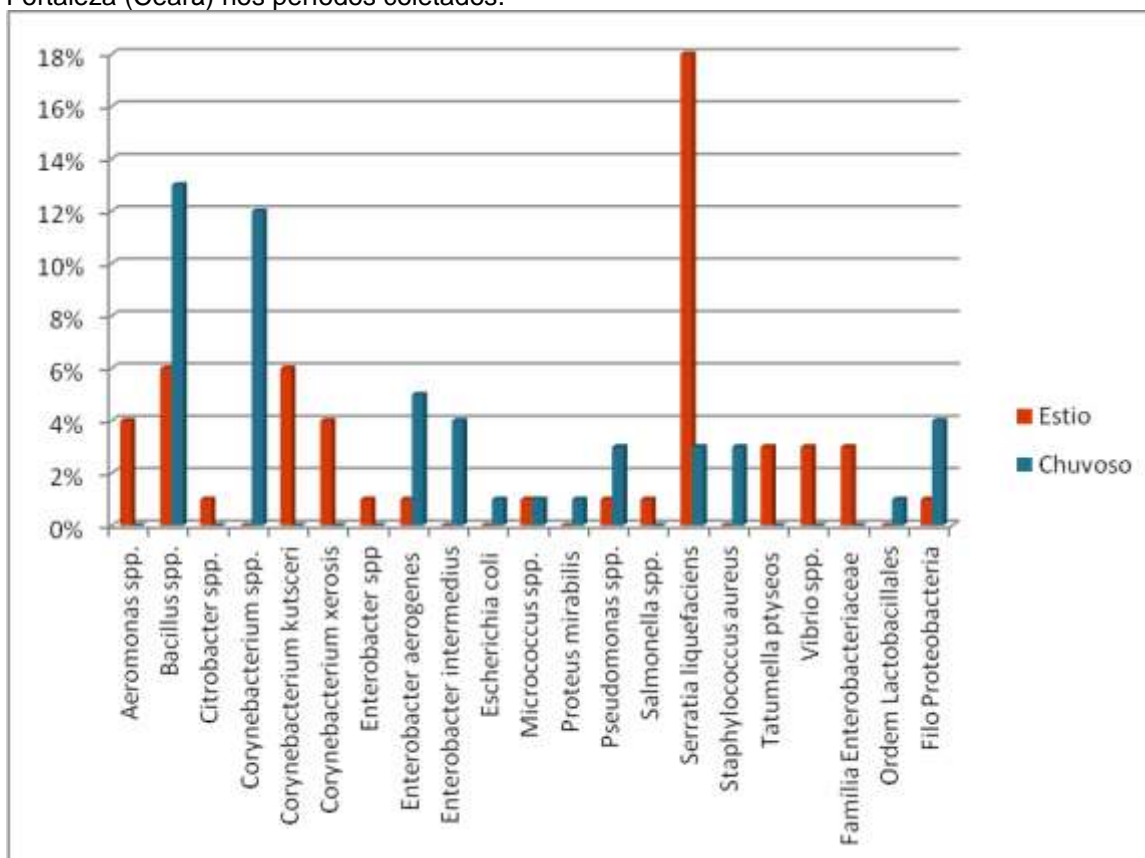
O gênero *Bacillus* esteve amplamente presente no período chuvoso (Gráfico 17) em todos os pontos e marés coletados. A grande diferença entre o período de estio e chuvoso para as presenças desse gênero pode ser relacionado com a ação das chuvas na deposição no mar dessas bactérias de origem continental. O gênero *Vibrio* também apareceu em todos os pontos e amplitudes de maré coletados, com exceção da baixa-mar em P1.

As baixa-mares apresentaram as maiores diversidades, tanto para P1 como para P2. Esse resultado coincide com o resultado para as contagens de bactérias encontradas e com os resultados de Andretta (1999).

5.4.2. Bioaerossóis

Do total de 21 grupos taxonômicos identificados para os bioaerossóis, houve diferença quanto ao período de coleta (Gráfico 18).

Gráfico 10 - Percentual das bactérias identificadas nos bioaerossóis marinhos na orla de Fortaleza (Ceará) nos períodos coletados.



O período de estio apresentou maior diversidade com 15 grupos taxonômicos identificados, sendo *Aeromonas* spp., *Citrobacter* spp., *Corynebacterium kutscheri*, *Corynebacterium xerosis*, *Enterobacter* spp., *Salmonella* spp., *Tatumella tyseos*, *Vibrio* spp., e a Família Enterobacteriaceae exclusivas para esse período. Durante o período chuvoso, 12 grupos taxonômicos foram identificados, sendo *Corynebacterium* spp., *Enterobacter intermedius*, *Escherichia coli*, *Proteus mirabilis*, *Staphylococcus aureus*, e a Ordem Lactobacillales exclusivas para esse período. Os grupos taxonômicos presentes nos dois períodos foram: *Bacillus* spp., *Enterobacter aerogenes*, *Micrococcus* spp., *Pseudomonas* spp., *Serratia liquefaciens* e o Filo Proteobacteria.

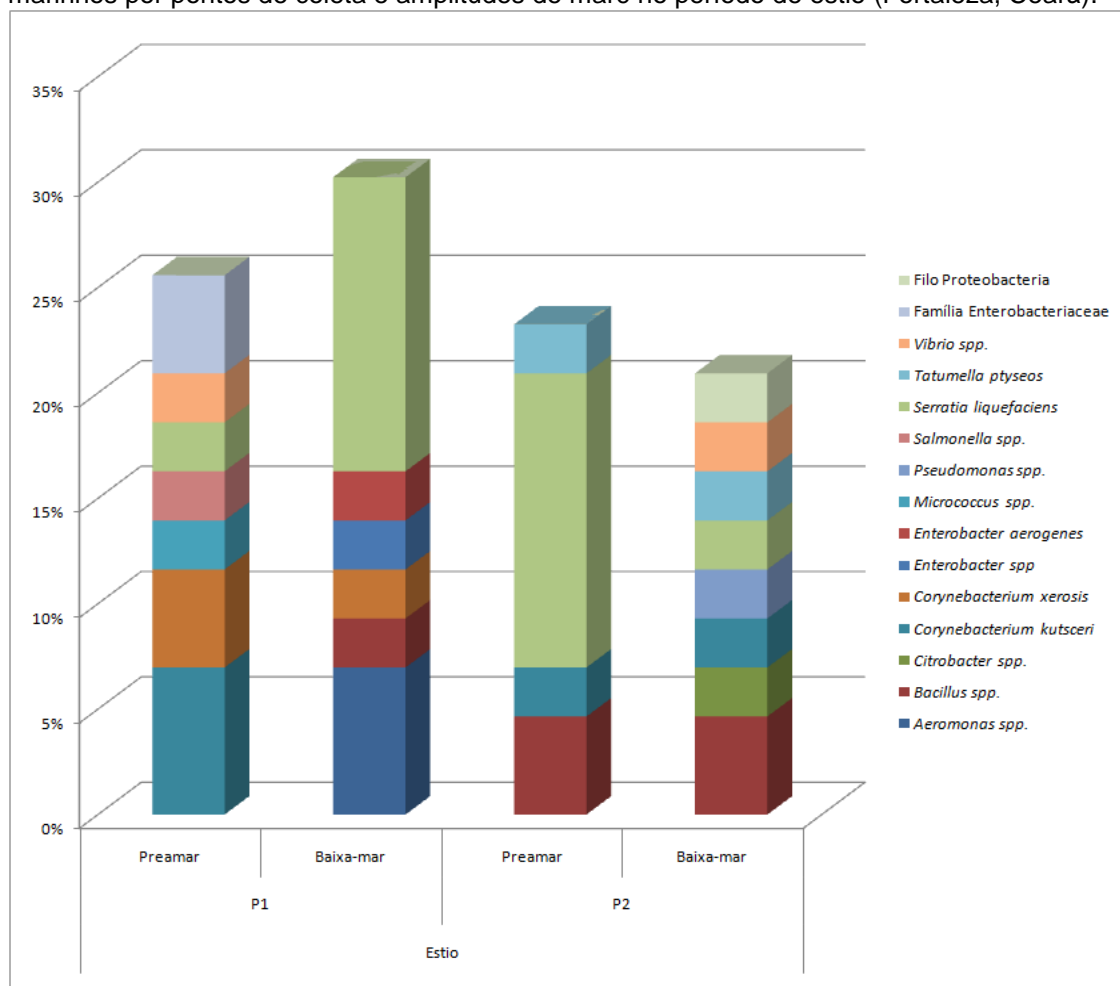
Diversos estudos mostram a forte influência da sazonalidade e os fatores meteorológicos na abundância e composição dos bioaerossóis (ALMAGUER *et al.*, 2014; INNOCENTE *et al.*, 2017; QI *et al.*, 2014; ZHEN *et al.*, 2017; ZHONG *et al.*, 2016), onde vento, temperatura e umidade relativa aparecem como os principais parâmetros que variam com sazonalidade e governam a diversidade das espécies componentes dos bioaerossóis. É importante ressaltar a presença de *Vibrio* apenas na estação seca, reforçando a contribuição marinha para a composição dos bioaerossóis.

A espécie *Serratia liquefaciens* apareceu como a mais abundante no período seco (18%), acompanhada do gênero *Bacillus* e a espécie *Corynebacterium kutscheri* com 6% cada. Para o período chuvoso, o gênero *Bacillus* predominou com 13%, seguido do gênero *Corynebacterium* com 12%.

Innocente *et al.* (2017) relacionam a mudança na diversidade dos bioaerossóis com a mudança de intensidade dos ventos, onde ventos mais fracos são influenciados por um longo transporte, trazendo bactérias de origem continental, enquanto ventos intensos trazem bactérias de origem marinha. Desse modo, além de levar em consideração a resistência de bactérias Gram-positivas na chuva, pode-se relacionar ventos de pouca intensidade durante o período chuvoso, causando a presença de bactérias Gram-positivas de origem continental dos gêneros *Bacillus* e *Corynebacterium*.

Os gráficos 19 e 20 mostram a abundância relativa dos grupos taxonômicos identificados por ponto de coleta e amplitude de marés, de acordo com as estações sazonais de coleta.

Gráfico 119 - Abundância relativa dos isolados bacterianos identificados nos bioaerossóis marinhos por pontos de coleta e amplitudes de maré no período de estio (Fortaleza, Ceará).

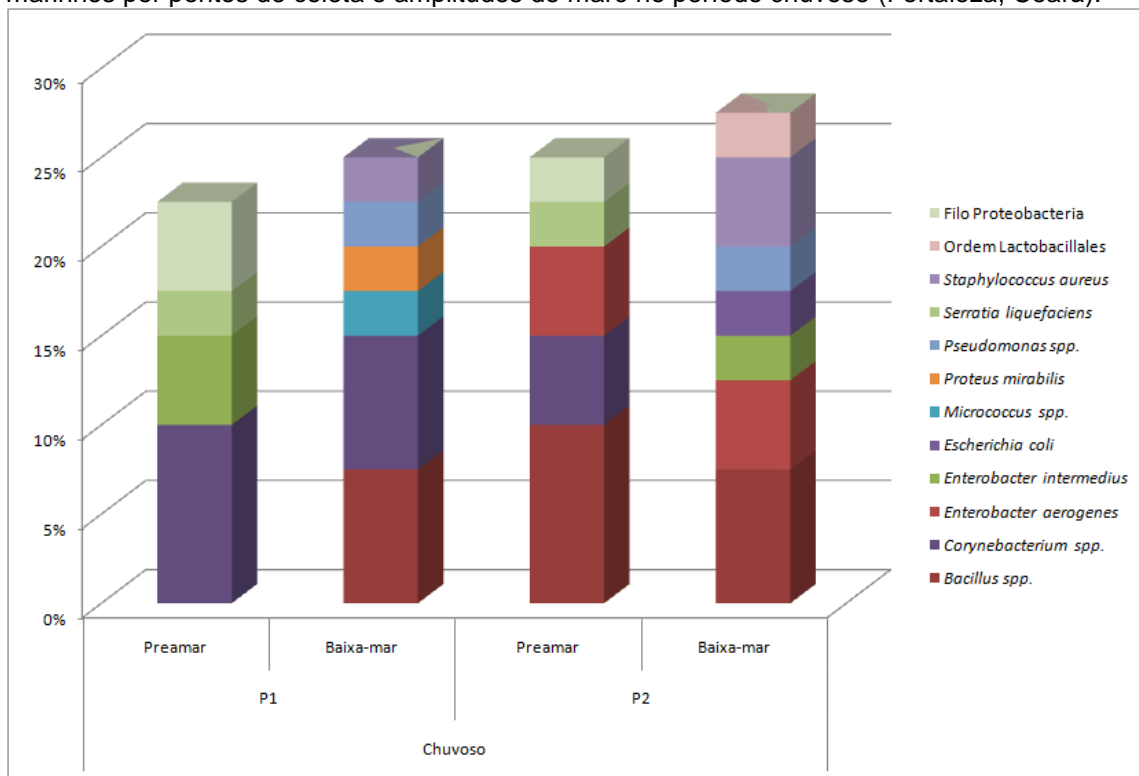


Para o período de estio (Gráfico 19), a espécie *Serratia liquefaciens* esteve presente em todos os pontos e marés coletados, sendo mais abundante na baixa-mar em P1 e preamar em P2. A capacidade de produção de pigmento dessa espécie pode ter influenciado sua dominância nos bioaerossóis durante o período de estio, visto que é uma adaptação para proteção de raios UV (KIRCHMAN, 2000; MUNN, 2004).

O gênero *Bacillus* também apareceu em todos os pontos, com exceção para o momento de preamar em P1. A espécie *Corynebacterium kutscheri* esteve ausente apenas no P1 durante a baixa-mar. Demonstrando mais uma vez a vantagem das bactérias Gram-positivas ao sobreviver em diferentes condições.

Os dois pontos apresentaram diversidade uniforme durante as duas amplitudes de maré, com exceção para P2 durante a preamar que apresentou baixa diversidade.

Gráfico 20 - Abundância relativa dos isolados bacterianos identificados nos bioaerossóis marinhos por pontos de coleta e amplitudes de maré no período chuvoso (Fortaleza, Ceará).



Durante o período chuvoso (Gráfico 20), houve presença do gênero *Corynebacterium* em todos os pontos e amplitudes de maré coletados. O gênero *Bacillus* apresentou maior abundância quando comparado com o período de estio e também esteve ausente durante a preamar em P1.

Para P2 durante a baixa-mar, as espécies *Enterobacter aerogenes* e *Staphylococcus aureus* mostraram uma importante presença, enquanto na preamar no P1 ocorreu o mesmo com a *Enterobacter intermedius* e o Filo Proteobacteria.

Bactérias do gênero *Enterobacter* não são consideradas como habitantes de ambientes marinhos. Quando encontradas, são associadas com poluição de fontes terrestres, visto que causam doenças em animais de sangue quente (MUNN, 2004). No entanto, há registros de espécies desse gênero que são encontradas em sedimentos marinhos e associadas com algas e dinoflagelados (IYER; MODY; JHA, 2004, 2005; ZHOU *et al.*, 2016).

A espécie *Staphylococcus aureus* está associada com a microbiota normal humana, mas também pode ser um patógeno. Apesar dessas bactérias serem pouco encontradas no ambiente marinho (MUNN, 2004), são muito resistentes a alta concentração de sais, calor e podem ficar no ambiente por meses, apesar de não produzir esporos (BRASIL, 2013; MADIGAN *et al.*, 2010).

Verificou-se que a diversidade bacteriana nos pontos a montante (P1) e jusante (P2) do riacho Maceió foi influenciada pelos parâmetros físicos (marés) e climáticos (período sazonal) e pressão antrópica representada pela descarga do riacho. É possível verificar a presença bactérias de origem entérica e relacionadas a atividades humanas como constituintes desses microcosmos marinhos.

CONCLUSÃO

As variáveis meteorológicas, oceanográficas e aportes continentais influenciam a abundância de bactérias heterotróficas presentes na microcamada superficial e bioaerossóis marinhos formados na região costeira de Fortaleza. Maiores contagens foram registradas em ponto à jusante do riacho Maceió, influenciado pelo deságue desse corpo hídrico de acordo com o fluxo da corrente presente nesse trecho.

O regime de chuvas também é determinante para essa abundância com a ampliação da descarga continental e ação deposicional das partículas na atmosfera. Essa influência também pode ser constatada pela redução brusca da abundância de bactérias nos bioaerossóis marinhos no período chuvoso.

Como contribuidores para a abundância de bactérias nos aerossóis marinhos estão a preamar e velocidade dos ventos, que resultam na disponibilização da microbiota no ar. Essa diversidade também é influenciada pelo transporte de substâncias e microrganismos de origem continental pelo riacho Maceió evidenciado pela maior pluralidade de grupos taxonômicos bacterianos em ponto a jusante do deságue, principalmente durante a baixa-mar.

Os grupos taxonômicos bacterianos identificados deixam claro as contribuições marinha e continental na formação da microbiota da microcamada superficial e bioaerossóis marinhos com destaque para a constante e representativa presença dos gêneros *Bacillus* e *Corynebacterium* nos dois ambientes.

São reconhecidos os papéis desempenhados pela microbiota da microcamada superficial oceânica e bioaerossóis marinhos nos ciclos biogeoquímicos e climáticos do planeta, entretanto poucos estudos foram produzidos abordando essa temática no Brasil.

REFERÊNCIAS

- ABREU, J.O. **Avaliação da qualidade microbiológica do ar interno em diferentes ambientes em um instituto de ensino e pesquisa**. 2016. 65f. Monografia apresentada ao Curso de graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR) da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2016.
- AGOGUÉ, H. *et al.* Comparison of samplers for the biological characterization of the sea surface microlayer. **Limnology and Oceanography: Methods**. v. 2, p. 213-225, 2004.
- AGOGUÉ, H. *et al.* A survey on bacteria inhabiting the sea surface microlayer of coastal ecosystems. **FEMS Microbiology Ecology**. v. 54, p. 269-280, 2005.
- ALLER, J.Y. *et al.* The sea surface microlayer as a source of viral and bacterial enrichment in marine aerosols. **Aerosol Science**. v. 36, p. 801-812, 2005.
- ALMAGUER, M. *et al.* Temporal dynamics of airborne fungi in Havana (Cuba) during dry and rainy seasons: influence of meteorological parameters. **International Journal of Biometeorology**. v. 58, p. 1459-1470, 2014.
- ALVAREZ, A. *et al.* Actinobacteria: Current research and perspectives for bioremediation of pesticides and heavy metals. **Chemosphere**. v. 166, p. 41-62, 2017.
- ALVES, C.A. Química entre a microcamada superficial oceânica e os aerossóis marinhos. **Química Nova**. v. 37, n. 8, p. 1382-1400, 2014.
- AMATO, P. *et al.* A fate for organic acids, formaldehyde and methanol in cloud water: their biotransformation by micro-organisms. **Atmospheric Chemistry and Physics**. v. 7, p. 4159-4169, 2007.
- ANDREAE, M.O.; ROSENFELD, D. Aerosol-cloud-precipitation interactions. Part 1. The nature and sources of cloud-active aerosols. **Earth-Science Reviews**. v. 89, p. 13-41, 2008.
- ANDRETTA, L. **Influência da maré sobre o bacterioplâncton da Gamboa do Perequê, Pontal do Sul, Paraná, Brasil**, 1999. 50f. Monografia apresentada ao Centro de Estudos do Mar da Universidade Federal do Paraná. Pontal do Sul, 1999.
- ANWAR, N.; ROBINSON, C.; BARRY, D.A. Influence of tides and waves on the fate of nutrients in a nearshore aquifer: Numerical simulations. **Advances in Water Resources**. v. 73, p. 203-213, 2014.
- ARIYA, P.A.; AMYOT, M. New directions: The role of bioaerosols in atmospheric chemistry and physics. **Atmospheric Environment**. v. 38, p. 1231-1232, 2004.

AYOADE, J.O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 13. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. 332p.

BERNARD, K. The Genus *Corynebacterium* and other medically relevant coryneform-like bacteria. **Journal of Clinical Microbiology**. v. 50, n. 10, p. 3152-3159, 2012.

BOMVENTI, T.N. *et al.* Relação entre a radiação de onda longa, precipitação e temperatura da superfície do mar no oceano Atlântico tropical. **Revista Brasileira de Geofísica**. v. 24, n. 4, p. 513-524, 2006.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA -. **Deteção e identificação de bactérias de importância médica**. Módulo 6. ANVISA: Brasília. 2013. 150 p.

BRASIL. Diretoria de Hidrografia e Navegação. **Marinha do Brasil**. Disponível em: <<http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-previsao-mare/tabuas/>>. Acesso em: 06 junho 2017

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Censo demográfico**, Fortaleza, 2016. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=230440>>. Acesso em: 20 junho 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instituto Nacional de Meteorologia - INMET**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>. Acesso em: 06 junho 2017.

CHAVÉZ, M.R.C. *et al.* Influence of water temperature and salinity on seasonal occurrences of *Vibrio cholerae* and enteric bacteria in oyster-producing areas of Veracruz, México. **Marine Pollution Bulletin**. v. 50, p. 1641-1648, 2005.

CHO, B.C.; HWANG, C.Y. Prokaryotic abundance and 16S rRNA gene sequences detected in marine aerosols on the East Sea (Korea). **FEMS Microbiology Ecology**. v. 76, p. 327-341, 2011.

COCI, N. *et al.* Effect of salinity on temporal and spatial dynamics of ammonia-oxidising bacteria from intertidal freshwater sediment. **FEMS Microbiology Ecology**. v. 53, p. 359-268, 2005.

COWELL, R.R. Global climate and infectious disease: the cholera paradigm. **Science**. v. 274, n. 5295, p. 2025-2031, 1996.

CUNLIFFE, M.; MURRELL, J. C. The sea-surface microlayer is a gelatinous biofilm. **The ISME Journal**. v. 3, p. 1001-1003, 2009.

- CUNLIFFE, M. *et al.* Comparison and validation of sampling strategies for the molecular microbial analysis of surface microlayers. **Aquatic Microbial Ecology**. v. 57, p. 69-77, 2009.
- CUNLIFFE, M. *et al.* Sea surface microlayers: A unified physicochemical and biological perspective of the air-ocean interface. **Progress in Oceanography**. v. 109, p. 104-116, 2013.
- DA SILVA, M. A. C. *et al.* Phylogenetic identification of marine bacteria isolated from deep-sea sediments of the eastern South Atlantic Ocean. **Springer Plus**. v. 2, n. 127. p. 1-10, 2013.
- FERREIRA, A.G.; MELLO, N.G.S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da Região. **Revista Brasileira de Climatologia**. v.1, n.1, p. 15-28, 2005.
- FRANKLIN, M.P. *et al.* Bacterial diversity in the bacterioneuston (sea surface microlayer): the bacterioneuston through the looking glass. **Environmental Microbiology**. v. 7, n. 5, p. 723-736, 2005.
- FRIBERG, B.; FRIBERG, S.; BURMAN, L.G. Correlation between surface and air counts of particles carrying aerobic bacteria in operating rooms with turbulent ventilation: an experimental study. **Journal of hospital infection**. v. 42, n. 1, p. 61-68, 1999a.
- FRIBERG, B.; FRIBERG, S.; BURMAN, L.G. Inconsistent correlation between aerobic bacterial surface and air counts in operating rooms with ultra clean laminar flows: proposal of a new bacteriological standard for surface contamination. **Journal of hospital infection**. v. 42, n. 4, p. 287-293-68, 1999b.
- FRKA, S.; KOZARAC, Z.; COSOVIC, B. Characterization and seasonal variation of surface active substances in the natural sea surface micro-layers of the coastal Middle Adriatic stations. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. v. 85, p. 555-564, 2009.
- GARRISON, Tom. **Fundamentos da oceanografia**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2016. 480.
- GRIFFIN, D.W. Terrestrial microorganisms at an altitude of 20,000 m in Earth's atmosphere. **Aerobiologia**. v. 20, p. 135-140, 2004.
- HARDY, J. T. The sea surface microlayer: biology, chemistry and anthropogenic enrichment. **Progress in Oceanography**. V. 11, p. 307-328, 1982.
- HEIDELBERG, J.F.; HEIDELBERG, K.B.; COLWELL, R.R. Seasonality of Chesapeake Bay bacterioplankton species. **Applied and Environmental Microbiology**. v. 68, n. 11, p. 5488-5497, 2002.

HENRIQUES, I.S. *et al.* Seasonal and spatial variability of free-living bacterial community composition along an estuarine gradient (Ria de Aveiro, Portugal). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. v. 68, p. 139-148, 2006.

INNOCENTE, E. *et al.* Influence of seasonality, air mass origin and particulate matter chemical composition on airborne bacterial community structure in the Po Valley, Italy. **Science of Total Environment**. v. 593-594, p. 677-687, 2017.

IYER, A.; MODY, K.; JHA, B. Accumulation of hexavalent chromium by an exopolysaccharide producing marine *Enterobacter cloacae*. **Marine Pollution Bulletin**. v. 49, p. 974-977, 2004.

IYER, A.; MODY, K.; JHA, B. Biosorption of heavy metals by a marine bacterium. **Marine Pollution Bulletin**. v. 50, p. 340-343, 2005.

JIANG, H. *et al.* Microbial response to salinity change in Lake Chaka, a hypersaline lake on Tibetan plateau. **Environmental Microbiology**. v. 9, n. 10, p. 2603-2621, 2007.

JONES, A.M.; HARRISON, R.M. The effect of meteorological factors on atmospheric bioaerosol concentration - a review. **Science of Total Environment**. v. 326, p. 151-180, 2004.

KIRCHMAN, D.L. **Microbial ecology of the oceans**. 1. ed. Canada: Wiley-Liss, 2000. 542p.

KOLM, H. E., ANDRETTA, L. Bacterioplankton in different tides of the Perequê tidal creek, Pontal do Sul, Paraná, Brazil. **Brazilian Journal of Microbiology**. v. 34, p. 97-103, 2003.

KONEMAN, E. *et al.* **Color Atlas and textbook of Diagnostic Microbiology**. 6th. ed. Washington: Lippincott Williams & Wilkins, 2006. 1535p.

KUZNETSOVA, M.; LEE, C. Dissolved free and combined amino acids in nearshore seawater, sea surface microlayers and foams: Influence of extracellular hydrolysis. **Aquatic Sciences**. v. 64, p. 252-268, 2002.

LIGHTHART, B. An hypothesis describing the general temporal and spatial distribution of alfresco bacteria in the earth's atmospheric surface layer. **Atmospheric Environment**. v. 33, p. 611-615, 1999.

MAAS, E.W. *et al.* Effect of ocean acidification on bacterial abundance, activity and diversity in the Ross Sea, Antarctica. **Aquatic Microbial Ecology**. v. 70, p. 1-15, 2013.

MADIGAN, M.T. *et al.* **Microbiologia de Brock**. 12. ed. Porto Alegre. Artmed, 2010. 1160p.

MAIA, L.P. *et al.* Dynamics of coastal dunes at Ceará state, Northeastern Brazil: dimensions and migration rate. **Arquivo de Ciências do Mar**. v. 34, p. 11-22, 2001.

MARKS, R. *et al.* Bacteria and fungi in air over the Gulf of Gdansk and Baltic Sea. **Aerosol Science**. v. 32, p. 237-250, 2001.

MENEZES, F. G. R. **Caracterização fenotípica e genotípica de bactérias do gênero *Vibrio* isoladas em alguns estuários do Estado do Ceará**, 2011. 93 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Pesca) – Departamento de Engenharia de Pesca, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

MORAIS, G.R. *et al.* Qualidade do ar interno em uma instituição de ensino superior brasileira. **Bioscience Journal**. v. 26, n. 2, p. 305-310. 2010.

MUNN, C.B. **Marine microbiology: ecology and applications**. 1. ed. New York: Taylor and Francis Publishers, 2004. 282p.

OYETIBO, G.O. *et al.* Bacteria with dual resistance to elevated concentrations of heavy metals and antibiotics in Nigerian contaminated systems. **Environmental Monitoring Assessment**. v. 168, p. 305-314, 2010.

PARK, J.Y.; LIM, S.; PARK, K. Mixing state of submicrometer sea spray particles enriched by insoluble species in bubble-bursting experiments. **American Meteorological Society**. v. 31, p. 93-104, 2014.

PASQUARELLA, C.; PITZURRA, O.; SAVINO, A. The index of microbial air contamination. **Journal of hospital infection**. v. 46, n. 4, p. 241-256, 2000.

POLYMENAKOU, P.N. Atmosphere: A source of pathogenic or beneficial microbes? **Atmosphere**. v. 3, p. 87-102, 2012.

POMAR, M.L.C.; BRUNI, V.; MAUGERI, T.L. Picoplankton biomass in the Ross Sea (Antarctica). **Polar Biology**. V. 13, p. 1-6, 1993.

POSFÁI, M. *et al.* Aerosol bacteria over the Southern Ocean during ACE-1. **Atmospheric Research**. v. 66, p. 231-240, 2003.

QI, J. *et al.* Seasonal distribution of bioaerosols in the coastal region of Qingdao. **Journal of Ocean University of China**. v. 13, n. 1, p. 57-65, 2014.

REINTHALER, T.; SINTES, E.; HERNDL, G.J. Dissolved organic matter and bacterial production and respiration in the sea-surface microlayer of the open Atlantic and the western Mediterranean Sea. **Limnology and Oceanography**. v. 53, n. 1, p. 122-136, 2008.

SANTOS, D. R. **Bioprospecção e avaliação do potencial biotecnológico de bactérias degradadoras de agrotóxicos isoladas do rio Pacotí- Ce**, 2013. 57f. Monografia apresentada ao Curso de graduação em Ciências Ambientais

do Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR) da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2013.

SATPUTE, S.K. *et al.* Biosurfactants, bioemulsifiers and exopolysaccharides from marine microorganisms. **Biotechnology Advances**. v. 28, p. 436-450, 2010.

SCHUERGER, A.C. *et al.* Growth of *Serratia liquefaciens* under 7 mbar, 0°C, and CO₂ enriched anoxic atmospheres. **Astrobiology**. v. 13, n. 2, p. 115-131, 2003.

SILVA, P. R. F. G. **Avaliação ambiental da área marinha do sistema de disposição oceânica dos esgotos sanitários e das praias do litoral oeste de Fortaleza, Ceará, Brasil**, 2012. 173f. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2012

SMETS, W. *et al.* Airborne bacteria in the atmosphere: Presence, purpose and potential. **Atmospheric Environment**. v. 139, p. 214-221, 2016.

SOARES, J.B.; Casimiro, A.R.; Aguiar, M.B. **Microbiologia Básica**. Fortaleza, Edições UFC. 1987. 175p.

STALEY, J. T. *et al.* **Bergey's Manual of Systematic Bacteriology: The Proteobacteria**. 2th ed. New York: Springer, 2005. v. 2, part B, 1388p.

STOLLE *et al.* Succession of the sea-surface microlayer in the coastal Baltic Sea under natural and experimentally induced low-wind conditions. **Biogeosciences**. v. 7, p. 2975-2988, 2010.

SUN, J.; ARIYA, P.A. Atmospheric organic and bio-aerosols as cloud condensation nuclei (CCN): A review. **Atmospheric Environment**. v. 40, p. 795-820, 2006.

THEUNISSEN, H.J.H. *et al.* Influence of temperature and relative humidity on the survival of *Chlamydia pneumoniae* in aerosols. **Applied and Environmental Microbiology**. v. 59, n. 8, p. 2589-2593, 1993.

TORTORA, G. J. ; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. **Microbiologia**. 8. ed. Artmed, 2005.

VIEIRA, R.H.S.F. *et al.* Poluição da água do mar e da areia de três praias de Fortaleza, Ceará, Brasil. **Arquivo de Ciências do Mar**. v. 35, p. 113-118, 2002.

VIEIRA, R.H.S.F. *et al.* Influência das águas das galerias pluviais como fator de poluição costeira, Fortaleza, Ceará. **Arquivo de Ciências do Mar**. v. 36, p. 123-127, 2003.

VIEIRA, R.H.S.F., OLIVEIRA, A.C.N., SOUSA, O.V. Monitoramento microbiológico das águas e areias das praias do Meireles e do Futuro

(Fortaleza-Ceará). **Boletim Técnico Científico Cepnor, Belém**. v. 7, n. 1, p. 17-26, 2007.

VIEIRA, R.H.S.F. *et al.* Galerias pluviais como fonte de poluição de origem fecal para as praias de Fortaleza-Ceará. **Arquivo de Ciências do Mar**. v. 44, n. 2, p. 5-12, 2011.

WAINWRIGHT, M. *et al.* Microorganisms cultured from stratospheric air samples obtained at 41 km. **FEMS Microbiology Letters**. v. 218, p. 161-165, 2003.

WU, Q.L. *et al.* Bacterioplankton community composition along a salinity gradient of sixteen high-mountain lakes located on the Tibetan Plateau, China. **Applied and Environmental Microbiology**. v. 72, n. 8, p. 5478-5485, 2006.

WURL, O.; KARUPPIAH, S.; OBBARD, J.P. The role of the sea-surface microlayer in the air-sea gas exchange of organochlorine compounds. **Science of Total Environment**. v. 369, p. 333-343, 2006.

XIA, X. *et al.* Bacterial communities in marine aerosols revealed by 454 pyrosequencing of the 16S rRNA gene. **Journal of the Atmospheric Sciences**. v. 72, p. 2997-3008, 2015.

YUAN, H. *et al.* Cell concentration, viability and culture composition of airborne bacteria during a dust event in Beijing. **Journal of Environmental Sciences**. v. 55, p. 33-40, 2017.

ZHANG, Y. *et al.* Contribution of major bacterial groups to bacterial biomass production along a salinity gradient in the South China Sea. **Aquatic Microbial Ecology**. v. 23, p. 233-241, 2006.

ZHANG, Z. *et al.* Studies on the sea surface microlayer II. The layer of sudden change of physical and chemical properties. **Journal of Colloid and Interface Science**. v. 264, p. 148-159, 2003.

ZHEN, Q. *et al.* Meteorological factors had more impact on airborne bacterial communities than air pollutants. **Science of Total Environment**. v. 601-602, p. 703-712, 2017.

ZHONG, X. *et al.* Seasonal distribution of microbial activity in bioaerosols in the outdoor environment of the Qingdao coastal region. **Atmospheric Environment**. v. 140, p. 506-513, 2016.

ZHOU, J. *et al.* Genome sequence of *Enterobacter* sp. ST3, a quorum sensing bacterium associated with marine dinoflagellate. **Genomics Data**. v. 7, p. 195-199, 2016.