



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de
Recursos Hídricos

Renata Amorim Lima

**Influência da pluviosidade na balneabilidade das praias da Barra da
Tijuca, município do Rio de Janeiro**

Rio de Janeiro

2023

Renata Amorim Lima

Influência da pluviosidade na balneabilidade das praias da Barra da Tijuca, município do Rio de Janeiro

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Curso de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROF-ÁGUA), na Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Instrumentos da Política de Recursos Hídricos.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Cássia de Oliveira Farias

Rio de Janeiro

2023

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/C

L732 Lima, Renata Amorim.
Influência da pluviosidade na balneabilidade das praias da Barra da Tijuca, município do Rio de Janeiro. / Renata Amorim Lima. – 2023.
64 f. : il.

Orientador: Cássia de Oliveira Farias.

Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia e Ciências.

1. Colimetria – Teses. 2. Precipitação – Teses. 3. Canal da Joatinga – Barra da Tijuca – Rio de Janeiro (RJ) – Teses. 4. Escoamento superficial – Teses. I. Farias, Cássia de Oliveira. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Centro de Tecnologia e Ciências. III. Título.

CDU 556.115

Bibliotecária responsável: Ingrid Pinheiro / CRB-7: 7048

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Renata Amorim Lima

Influência da pluviosidade na balneabilidade das praias da Barra da Tijuca, município do Rio de Janeiro

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Curso de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROF-ÁGUA), na Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Instrumentos da Política de Recursos Hídricos.

Aprovada em 07 de fevereiro de 2023.

Banca Examinadora:

Prof^ª. Dr^ª. Cássia de Oliveira Farias (Orientadora)

Instituto de Oceanografia - UERJ

Prof^ª. Dr^ª. Cláudia Hamacher

Instituto de Oceanografia - UERJ

Prof^ª. Dr^ª. Luana Queiroz Pinho

Instituto de Oceanografia - UERJ

Rio de Janeiro

2023

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Prof^ª. Dra. Cássia de Oliveira Farias, por todo o apoio, dedicação e paciência comigo por estar sempre disponível para tirar dúvidas e discutir os caminhos a seguir.

A todos os professores do programa de pós-graduação do mestrado profissional de Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - Polo UERJ em especial ao coordenador, Prof. Dr. Friedrich Wilhelm Herms, por sempre me ajudar e estar disponível em todos os momentos que eu precisei. Agradeço à secretária do Prof^ªgua do polo UERJ, Ana Beatriz.

Ao professor Gandhi (PEAMB) que passou todo o seu conhecimento e proporcionou-me um olhar diferente, visando o bem-estar socioambiental.

À Universidade do Estado do Rio de Janeiro, por proporcionar essa nova etapa maravilhosa em minha vida.

Em especial à Lívia Soalheiro pela oportunidade da realização do meu estágio profissional, à Monalisa por toda sua paciência e dedicação comigo e todos da Superintendência de Recursos Hídricos da Subsecretaria de Recursos Hídricos e Sustentabilidade da Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade – INEA.

O presente trabalho foi realizado com apoio da coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – Prof^ªgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE N^o. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

A menos que modifiquemos nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo.

Albert Einstein

RESUMO

AMORIM, R. L. *Influência da pluviosidade na balneabilidade das praias da Barra da Tijuca, município do Rio de Janeiro*. 2023. 61 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – PROF-ÁGUA), Centro de Tecnologia e Ciências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

No presente estudo, foi realizada uma análise da distribuição espacial dos valores de coliformes termotolerantes das praias do Recreio, Barra da Tijuca e da Joatinga, sob a influência da pluviosidade, durante o período de 2010 a 2019, visando identificar possíveis fontes de poluição nas praias. Quando ocorrem chuvas significativas (grande volume de água) em um curto período, há geração de escoamento superficial do terreno, via primária pela qual os indicadores microbiológicos (coliformes termotolerantes, *Escherichia coli* e/ou *Enterococos*) alcançam as praias. A metodologia consistiu na técnica rain threshold level que analisa a frequência de observações de níveis colimétricos e os eventos pluviométricos através de análises estatísticas, correlação de Spearman entre a variável nível de precipitação e a variável colimetria nos períodos seco (maio a novembro) e chuvoso (dezembro a abril). Os resultados mostraram que a variação de amplitude de maré e a precipitação tem efeito significativo sobre a balneabilidade das praias da Barra da Tijuca, apresentando maior correlação no período chuvoso. O aporte de bactéria está associado à proximidade com a desembocadura do canal da Joatinga que drena a água no complexo lagunar de Jacarepaguá.

Palavras-chave: Colimetria. Precipitação. Canal da Joatinga. Barra da Tijuca. Escoamento superficial.

ABSTRACT

AMORIM, R. L. *Influence of rainfall on the bathing ability of the beaches of Barra da Tijuca, municipality of Rio de Janeiro*. 2023. 69 f. Dissertation (Professional Master's Degree in National Network in Management and Regulation of Water Resources – PROF-ÁGUA), Center for Technology and Sciences, State University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

In the present study, an analysis of the spatial distribution of the values of thermotolerant coliforms of the beaches of Recreio, Barra da Tijuca and Joatinga, under the influence of rainfall, during the period from 2010 to 2019, was carried out, in order to identify possible sources of pollution on the beaches. When significant rainfall occurs (large volume of water) in a short period, there is generation of surface runoff from the terrain, the primary route by which microbiological indicators (thermotolerant coliforms, *Escherichia coli* and/or *Enterococci*) reach the beaches. The methodology consisted of the rain threshold level technique that analyzes the frequency of observations of colimetric levels and rainfall events through statistical analysis, Spearman's correlation between the variable level of precipitation and the variable colimetry in the dry (May to November) and rainy (December to April) periods. The results showed that the variation of tidal amplitude and precipitation has a significant effect on the bathing ability of the beaches of Barra da Tijuca, presenting a higher correlation in the rainy season. The contribution of bacteria is associated with the proximity to the mouth of the Joatinga channel that drains the water in the lagoon complex of Jacarepaguá.

Keywords: Collimetry. Precipitation. Joatinga Channel. Barra da Tijuca. Runoff

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Localização da área de estudo, praia da Barra da Tijuca localizada no município do Rio de Janeiro (RJ).....	31
Figura 2 –	Mapa com a delimitação da bacia hidrográfica de Jacarepaguá (linha azul), georreferenciamento das estações pluviométricas em azul e de monitoramento da balneabilidade em vermelho.....	33
Figura 3 –	Mapa com a localização das estações de monitoramento de balneabilidade das praias da Barra da Tijuca em vermelho e o complexo lagunar de Jacarepaguá em lilás.....	33
Figura 4 –	Série temporal de ventos de 2010 a 2019 monitorados na estação do Aeroporto de Jacarepaguá, a legenda ao lado com escala de cores mostra a velocidade dos ventos em $m\ s^{-1}$ e sua localização no complexo lagunar de Jacarepaguá.....	42
Figura 5 –	Rosa dos ventos mostrando a localização da estação meteorológica do aeroporto no complexo lagunar de Jacarepaguá.....	42
Figura 6 –	Conexão da lagoa da Tijuca com a praia da Barra da Tijuca através do canal da Joatinga e sua proximidade com os pontos de monitoramento de balneabilidade BD09, BD10 e JT00.....	49
Figura 7 –	Evento ocorrido em 22 de junho de 2015, presença de esgoto na praia da Barra da Tijuca e Ilhas Tijucas, proveniente do canal da Joatinga. Análise colimétrica do dia foi 2400 col. term. (NMP/100mL) no ponto BD10.....	54
Figura 8 –	Evento ocorrido em 5 agosto 2020, mancha escura apareceu na praia da Barra da Tijuca devido a variação das marés. Análise colimétrica do dia foi 3500 col. term. (NMP/100mL) no ponto BD10	54
Figura 9 –	Evento ocorrido em 26 outubro 2020 na praia dos Amores (Quebra-mar), após análise da água da praia da Barra da Tijuca constatou presença de esgoto, cianobactérias em maré baixa de sizígia. Análise colimétrica do dia foi 3500 col. term. (NMP/100mL) no ponto BD10.....	54
Figura 10 –	Evento ocorrido em 5 novembro de 2020, despejo irregular de esgoto direto nas lagoas da Barra da Tijuca por um condomínio local. Análise colimétrica do dia foi 20 col. term. (NMP/100mL) no ponto	

	BD10.....	55
Figura 11 –	Evento ocorrido no dia 06 dezembro de 2020, contaminação de esgoto e floração de cianobactérias no complexo lagunar da baixada de Jacarepaguá. Análise colimétrica do dia 07 de dezembro foi 780 col. term. (NMP/100mL) no ponto BD10.....	55
Figura 12 –	Evento ocorrido em 16 de janeiro de 2021, floração de cianobactérias na altura do quebra-mar e Pepê, devido ao lançamento de esgoto nas lagoas de Jacarepaguá. Análise colimétrica do dia 18 de jan. foi de 18 col. term. (NMP/100mL) no ponto BD10.....	55
Figura 13 –	Evento ocorrido no 25 de julho de 2021, gigogas no complexo lagunar devido lançamento de esgoto. Análise colimétrica do dia 22 de julho foi de 16000 col. term. (NMP/100mL) no ponto BD10 e no dia 26 de julho 170 col. term. NMP/100mL.....	56
Figura 14 –	Evento ocorrido no 25 de julho de 2021, gigogas invadem praia na Barra da Tijuca. Análise colimétrica do dia 22 de julho foi de 16000 col. term. (NMP/100mL) no ponto BD10 e no dia 26 de julho 170 col. term. (NMP/100mL) no ponto BD10.....	56

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 –	Série temporal de coliformes termotolerantes (NMP/100ml) entre 2010 e 2019 dos pontos de monitoramento das praias da Barra da Tijuca.....	36
Gráfico 2 –	Distribuição de frequência de concentração de coliformes termotolerantes (NMP/100mL) nos pontos de monitoramento de balneabilidade pelo INEA das praias da Barra da Tijuca no período entre 2010 e 2019.....	37
Gráfico 3 –	Variação da média mensal da pluviosidade (mm) nas estações de monitoramento da bacia hidrográfica de Jacarepaguá durante o período de 2010 a 2019. Dados:.....	39
Gráfico 4 –	Pluviosidade anual (mm) nas estações de monitoramento da bacia hidrográfica de Jacarepaguá durante o período de 2010 a 2019.....	40
Gráfico 5 –	Variação temporal da maré (m) da praia da Barra da Tijuca durante o período de 2010 a 2019.....	43
Gráfico 6 –	Série temporal da Colimetria (100 NMP/100mL) do ponto BD09 da praia da Barra da Tijuca no período de 2010 a 2019 na maré vazante (v) e enchente (e). Dados:.....	44
Gráfico 7 –	Série temporal da colimetria (100 NMP/100mL) do ponto BD10 da praia da Barra da Tijuca no período de 2010 a 2019 na maré vazante (v) e enchente (e). Dados:.....	44
Gráfico 8 –	Correlação da série temporal entre as variáveis altura de maré, em m e colimetria em NMP/100mL, dos pontos de monitoramento BD09, BD10 e JT00 do INEA na praia da Barra da Tijuca.....	46
Gráfico 9 –	Percentual de boletins próprios para recreação de contato primário nas estações de monitoramento do INEA entre os anos de 2007 a 2021. Gráfico elaborado pelo INEA.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Resumo da classificação da balneabilidade de praias para recreação de contato primário em função de parâmetros microbiológicos do CONAMA.....	21
Tabela 2 –	Resumo da classificação da balneabilidade de praias para recreação de contato primário em função de parâmetros microbiológicos da União Europeia.....	22
Tabela 3 –	Resumo da classificação da balneabilidade de praias para recreação de contato primário em função de parâmetros microbiológicos do DEFRA...	24
Tabela 4 –	Resumo da classificação da balneabilidade de praias para recreação de contato primário em função de parâmetros microbiológicos da classificação da EPA.....	25
Tabela 5 –	Resumo da classificação da balneabilidade de praias para recreação de contato primário em função de parâmetros microbiológicos da WHO e graduação de riscos de contaminação de GI (doença gastrointestinal) e AFRI (doença respiratória febril aguda).....	26
Tabela 6 –	Resumo da classificação da balneabilidade de praias para recreação de contato primário em função de parâmetros microbiológicos do NHMRC e graduação de riscos de contaminação das doenças: AFRI (doença respiratória febril aguda) e GI (doença gastrointestinal).....	28
Tabela 7 –	Localização dos pontos de monitoramento de balneabilidade do INEA nas praias do Recreio e Barra da Tijuca.....	32
Tabela 8 –	Localização das estações meteorológicas da Fundação Geo-Rio.....	32
Tabela 9 –	Análise descritiva dos valores de coliformes termotolerantes (NMP/100ml) durante o período de 2010 a 2019 nos pontos de monitoramento das praias da Barra da Tijuca.....	37
Tabela 10 –	Teste de normalidade K-S dos dados de colimetria das estações de monitoramento de balneabilidade do INEA durante o período de 2010 a 2019.....	45
Tabela 11 –	Teste de normalidade S-W dos dados de colimetria das estações de monitoramento de balneabilidade do INEA durante o período de 2010 a	

	2019.....	45
Tabela 12 –	Correlação de Spearman entre os pontos de coleta de coliformes termotolerantes e a precipitação (mm) acumulada.....	48
Tabela 13 –	Comparação dos parâmetros dos indicadores bacteriológicos ent. (enterococos), E. coli (Escherichia coli), col. ter. (coliformes termotolerantes) de balneabilidade em águas marinhas.....	52
Tabela 14 –	Correlação de Spearman entre os dados de coliformes termotolerantes (NMP/100mL) e a precipitação (mm) da estação pluviométrica do Alto da Boa Vista, durante o período de 2010 a 2019, os valores em vermelho mostram correlação significativa a $p < 0,05$	62
Tabela 15 –	Correlação de Spearman entre os dados de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) e a precipitação (mm) da estação pluviométrica da Barrinha, durante o período de 2010 a 2019, os valores em vermelho mostram correlação significativa a $p < 0,05$	62
Tabela 16 –	Correlação de Spearman entre os dados de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) e a precipitação (mm) da estação pluviométrica da Cidade de Deus, durante o período de 2010 a 2019, os valores em vermelho mostram correlação significativa a $p < 0,05$	63
Tabela 17 –	Correlação de Spearman entre os dados de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) e a precipitação (mm) da estação pluviométrica Grajaú/Jacarepaguá, durante o período de 2010 a 2019, os valores em vermelho mostram correlação significativa a $p < 0,05$	63
Tabela 18 –	Correlação de Spearman entre os dados de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) e a precipitação (mm) da estação pluviométrica da Grotta Funda, durante o período de 2010 a 2019, os valores em vermelho mostram correlação significativa a $p < 0,05$	64
Tabela 19 –	Correlação de Spearman entre os dados de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) e a precipitação (mm) da estação pluviométrica do Recreio, durante o período de 2010 a 2019, os valores em vermelho mostram correlação significativa a $p < 0,05$	64
Tabela 20 –	Correlação de Spearman entre os dados de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) e a precipitação (mm) da estação pluviométrica do Rio Centro, durante o período de 2010 a 2019, os valores em vermelho	

	mostram correlação significativa a $p < 0,05$	65
Tabela 21 –	Correlação de Spearman entre os dados de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) e a precipitação (mm) da estação pluviométrica do Tanque, durante o período de 2010 a 2019, os valores em vermelho mostram correlação significativa a $p < 0,05$	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AFRI	Doença Respiratória Febril Aguda
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DAEC	Aderente Difuso
DEFRA	Department for Environment, Food and Rural Affairs
EAEC	Enteroagregativa
E. coli	Escherichia coli
EHEC	Enterohemorrágica
EIEC	Enteroinvasiva
EPA	Environmental Protection Agency
EPEC	Enteropatogênica
ETEC	Enterotoxigênica
GI	Doença Gastrointestinal
ICEA	Instituto de Controle do Espaço Aéreo
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
K-S	Kolgomorov-Smirnov
mL	Mililitro
NHMRC	National Health and Medical Research Council
NMP	Número Mais Provável
pH	Potencial de Hidrogênio
S-W	Shapiro-Wilk
UFC	Unidade formadora de colônia
UV	Ultravioleta
WHO	World Health Organization

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	13
1	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
1.1	Balneabilidade	17
1.1.1	Balneabilidade e Saúde Pública.....	18
1.2	Instrumentos legais aplicados à balneabilidade	19
1.2.1	Resolução CONAMA n.º 274/2000.....	19
1.2.2	Diretiva 2006/7/EC.....	21
1.2.3	Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA).....	22
1.2.4	Environmental Protection Agency (EPA).....	24
1.2.5	World Health Organization (WHO).....	26
1.2.6	Health Canadá.....	27
1.2.7	National Health and Medical Research Council (NHMRC).....	27
2	ÁREA DE ESTUDO	29
2.1	Caracterização do município do Rio de Janeiro	29
2.2	Pontos de monitoramento	32
3	METODOLOGIA	34
4	RESULTADOS	36
4.1	Coliformes termotolerantes	36
4.2	Pluviosidade	39
4.3	Vento	41
4.4	Maré	43
4.5	Análises estatísticas	45
4.5.1	Teste de normalidade.....	45
4.5.2	Teste de correlação de Spearman.....	46
5	DISCUSSÕES	49
	CONCLUSÕES	57
	REFERÊNCIAS	58
	APÊNDICE	62

INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma zona costeira com aproximadamente 9.000 Km de extensão; abrigando uma grande biodiversidade. A zona costeira corresponde à área geográfica de interação do mar, da terra e do ar, integrando os recursos renováveis e não renováveis, áreas marinhas e terrestres e é constituída de costões rochosos, baías, ilhas, praias, recifes, manguezais, dunas, restingas e entre outros (INEA, 2019).

O estado do Rio de Janeiro possui 1.200 km de linha de costa. A área costeira do estado tem uma grande importância econômica, sendo responsável por 71 % da produção nacional do petróleo e 77 % de gás extraídos de poços marítimos (INEA, 2019).

Nos últimos anos, o município do Rio de Janeiro vem apresentando um crescimento devido aos investimentos em infraestrutura e imobiliários e as construções irregulares. Este crescimento urbano sem um planejamento adequado e a ausência de um sistema de saneamento básico eficaz, comprometem a salubridade ambiental, o que torna a questão da balneabilidade de praias crucial para a saúde pública. Isto é visto na Barra da Tijuca, um dos bairros mais conhecidos da zona oeste, que é cercado por praias, lagoas e montanhas que contribuem para o aumento do turismo na região.

O binômio atividade turística e qualidade da água são inseparáveis, pois o turismo alavanca a economia local, enquanto a condição sanitária da água reflete uma provável transmissão de doença aos usuários, impactando tanto no comércio quanto em atividades recreativas, turismo, economia, cultura local, no ecossistema e na sua beleza cênica. Corpos hídricos poluídos e/ou contaminados oferecem um risco potencial ao expor os banhistas a doenças de veiculação hídrica, principalmente as gastroenterites e a doença respiratória febril aguda (EPA, 2010). Neste sentido, a gestão da balneabilidade atua com o objetivo de refletir a qualidade das águas para recreação, sendo de suma importância seu monitoramento para uma política de saneamento básico e gestão costeira.

A Resolução nº 274/00 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA dispõe sobre a balneabilidade, o uso de parâmetros microbiológicos (indicadores bacteriológicos) e os critérios de monitoramento, sendo responsável por determinar os critérios de balneabilidade das águas brasileiras, sejam elas: doces, salobras ou salinas (CONAMA, 2000).

A Resolução nº 357/05 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA traz a diferenciação de recreação de contato primário de secundário, importante para definir os critérios de balneabilidade. A recreação de contato primário é quando existe o contato direto e

prolongado com a água como, por exemplo, na natação, mergulho, esqui-aquático, atividades nas quais há possibilidade de o banhista ingerir água. A recreação de contato secundário é quando o contato com a água é esporádico ou acidental e a possibilidade de ingerir água é pequena, por exemplo, pesca, navegação e iatismo (CONAMA, 2005).

A Resolução CONAMA nº 274 classifica as águas em relação à balneabilidade em 4 categorias: excelente, muito boa, satisfatória e imprópria. A classificação é feita a partir da concentração dos indicadores microbiológicos (coliformes termotolerantes, *Escherichia coli* e/ou *Enterococos*) obtidos em cinco semanas consecutivas. O órgão consultivo considera as categorias excelente, muito boa e satisfatória como própria para recreação de contato primário. As águas podem ser classificadas como impróprias, independente dos valores dos indicadores microbiológicos, a partir de critérios que ofereçam riscos à saúde pública, como a presença de efluentes, resíduos, despejos sólidos ou líquidos, óleos, graxas, pH, florações algais e outras substâncias capazes de tornar a água imprópria para à recreação (CONAMA, 2000).

O monitoramento sistemático da balneabilidade a nível institucional no estado do Rio de Janeiro é feito pelo Instituto Estadual do Ambiente - INEA. O indicador microbiológico usado nas praias da zona oeste e zona sul do Rio de Janeiro é o coliforme termotolerante (INEA, 2019).

Os índices pluviométricos são importantes na avaliação da qualidade das praias, pois dependendo da rede de drenagem, as chuvas podem contribuir de forma significativa para alterar a balneabilidade da praia a qual recebe uma grande quantidade de esgotos, lixo e outros detritos, carregados através de galerias de águas pluviais, córregos e canais de drenagem. Além disso, há o risco de contaminação da água da chuva por poluentes da lavagem superficial dos solos, de cursos d'água contaminados e da atmosfera (BERG; GUERCIO; ULBRICHT, 2013; CETESB, 2018).

Quando ocorrem chuvas significativas em um curto período de tempo, o escoamento superficial é gerado podendo carrear poluentes prejudiciais. Os escoamentos de águas pluviais e de águas superficiais (riachos e rios) são as vias primárias pelas quais os microrganismos alcançam as praias. O volume das águas pluviais e as cargas poluentes geradas dependem das características da área de drenagem e sua infraestrutura, das condições das águas residuais, do volume e da intensidade da precipitação (EPA, 2010).

Peleja (2015) destaca que as praias oceânicas têm capacidade de autodepuração, devido as correntes marinhas conduzidas pelos ventos, de modo que, após um distúrbio, o equilíbrio pode ser restaurado por meio de mecanismos basicamente naturais. O

monitoramento do corpo hídrico é necessário quando há mudanças na qualidade da água causadas por processos de poluição e autodepuração. Diagnosticar as fontes específicas de contaminação fecal ajuda na avaliação dos riscos para a saúde pública e no direcionamento em relação às barreiras adequadas de gestão de risco.

Vários parâmetros ambientais afetam o comportamento dos indicadores microbiológicos no ambiente aquático, tais como, temperatura, precipitação (volume e intensidade), vento (velocidade e direção), marés e correntes, radiação solar, escoamento superficial, sólidos em suspensão, turbidez, profundidade da água, estratificação, mistura e ressuspensão, pH, alcalinidade, salinidade e fisiografia costeira. O efeito destes parâmetros podem ser potencializados dependendo do clima (tropical, subtropical ou temperado) e pela combinação deles (BERG; GUERCIO; ULBRICHT, 2013; EPA, 2010).

As praias sofrem influência das marés que são movimentos de fluxo e refluxo das águas dos mares. Durante as marés de enchente, a água movimenta-se em direção à costa, subindo gradualmente até atingir a altura da maré alta, favorecendo a diluição dos esgotos domésticos e poluentes orgânicos e inorgânicos. Nas marés vazantes, a água se desloca para o alto mar, levando maior quantidade de carga difusa carreada pela drenagem urbana, não só esgotos oriundos de ocupações e lançamentos irregulares como também esgotos de uma forma geral, tratados ou não. Cabe observar que as chuvas aumentam o aporte microbiológico, diminuindo a qualidade das águas das praias podendo ocasionar doenças como, gastroenterites, dermatites e viroses nos banhistas (CETESB, 2018; MEDEIROS, 2009).

O monitoramento da balneabilidade é um dos principais instrumentos da gestão costeira, contribuindo para prevenção das doenças de veiculação hídrica. A qualidade da água das praias está diretamente ligada às condições de saneamento básico da região.

A técnica rain threshold level (nível de limiar de chuva) é uma ferramenta preditiva usada em muitos locais como base para notificar a qualidade da água da praia, devido à conexão entre as concentrações de bactérias indicadoras de poluição fecal e a quantidade de chuva recebida em áreas próximas. Essa relação é quantificada através do volume ou da intensidade da chuva (um nível limiar) que provavelmente causará exceções nos padrões de qualidade da água em uma praia, e o tempo necessário para exceder os padrões. A técnica baseia-se em regressão simples ou em análise de frequência de observações de níveis colimétricos e eventos pluviométricos em locais como praia e/ou bacia hidrográfica (EPA, 2010).

Esse estudo contribui com os Indicadores Brasileiros para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável; o objetivo 3 – Boa Saúde e Bem-Estar: Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades; objetivo 6 – Água Potável e Saneamento: Garantir disponibilidade e manejo sustentável da água e saneamento para todos e objetivo 14 – Vida na Água: Conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável.

O objetivo geral é o de avaliar a variação temporal da balneabilidade das praias da Barra da Tijuca, no município do Rio de Janeiro sob a influência da pluviosidade visando à contribuição para o planejamento urbano no contexto socioambiental e de saúde pública.

Enquanto os objetivos específicos são: avaliar a distribuição espacial das concentrações de coliformes termotolerantes nas praias da Barra da Tijuca durante o período de 2010 a 2019; comparar a balneabilidade das praias da Barra da Tijuca entre os diferentes períodos de maré; correlacionar possíveis alterações na qualidade da água decorrentes de eventos de pluviosidade; identificar possíveis fontes de poluição nas praias.

Dessa maneira, as praias do município do Rio de Janeiro possuem elevada atividade turística, e são utilizadas para a prática de esportes náuticos e pesca. Portanto é de extrema importância o monitoramento da qualidade da água visando o seu aproveitamento pleno.

O crescimento desordenado no município do Rio de Janeiro, sem um planejamento adequado, compromete a salubridade ambiental, o que torna a questão da balneabilidade crucial para a saúde pública. A ocorrência de chuvas, sistemas de coleta e tratamento de esgotos ineficientes, galerias de águas pluviais antigas sem a devida manutenção, a impermeabilização do solo que diminui a infiltração da água de chuva, prejudicam seriamente as condições de balneabilidade.

Dentro desse contexto, a presente dissertação pretende correlacionar o índice pluviométrico com os índices de balneabilidade verificados nas praias da Barra da Tijuca no município do Rio de Janeiro com o objetivo de analisar o impacto das chuvas na qualidade da água. O estudo servirá como um instrumento de gestão e possível aplicação de pesquisa para fins públicos. O critério de escolha das praias para o presente estudo foi as suas importâncias econômicas para o município, tanto a nível nacional como internacional.

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 Balneabilidade

Balneabilidade é a capacidade de um corpo hídrico em possibilitar o contato direto e/ou prolongado com suas águas no banho ou em atividades esportivas como natação, mergulho, esqui aquático etc. com segurança para a população; ou seja, é a qualidade das águas destinadas à recreação de contato primário e secundário que não causem doenças de vinculação hídrica.

A qualidade da água de recreação de contato primário e secundário é determinada através dos indicadores microbiológicos tais como coliformes termotolerantes, *Escherichia coli* e *Enterococos*, os quais estimam o risco potencial de contrair doenças a partir do contato com a água. No Brasil a legislação vigente que rege a balneabilidade de corpos hídricos é a Resolução CONAMA nº 274/2000.

O CONAMA (2005) define coliformes termotolerantes como bactérias gram-negativas, em forma de bacilos, oxidase-negativas, caracterizadas pela atividade da enzima β -galactosidase que podem crescer em meios contendo agentes tensoativos e fermentar a lactose nas temperaturas de 44° - 45°C, com produção de ácido, gás e aldeído. Encontram-se presentes em fezes humanas e de animais homeotérmicos, ocorrem em solos, plantas ou outras matrizes ambientais que não tenham sido contaminados por material fecal.

A *Escherichia coli* é uma bactéria pertencente à família Enterobacteriaceae caracterizada pela atividade da enzima β -glicuronidase. Produz indol a partir do aminoácido triptofano. É uma espécie que pertence ao grupo coliformes termotolerantes, encontradas exclusivamente e com densidades elevadas no intestino humano e de animais homeotérmicos (CONAMA, 2005).

O monitoramento da balneabilidade dos corpos hídricos é importante para a saúde da população. A salubridade ambiental pode ser definida como o estado de higidez em que vive a população urbana e rural, no que se refere à sua capacidade de inibir, prevenir ou impedir a ocorrência de endemias ou epidemias veiculadas pelo meio ambiente. O saneamento básico é um dos fatores de promoção de um ambiente salubre, que favorece condições de saúde, quando devidamente implantado e adequado às características locais (FUNASA, 2019).

O Health Canada (2012) destaca que os *Enterococos* são bons indicadores microbiológicos porque muitas espécies desse gênero são encontradas em alta concentração em fezes humanas e alguns animais. Eles não são comumente encontrados em águas não

poluídas. Quando comparados com *E. coli* e coliformes termotolerantes, os *Enterococos* demonstraram maior resistência à radiação solar, à salinidade e às práticas de tratamento de águas residuais, incluindo a cloração. Acredita-se que eles estão presentes em concentrações aproximadamente 1 a 3 vezes menores do que as de *E. coli* nas fezes e nos resíduos municipais.

A grande maioria das cepas de *E. coli* são inofensivas; entretanto, existem várias cepas que possuem fatores de virulência permitindo atuar como patógenos humanos. Estas cepas entéricas foram classificadas em seis grupos de acordo com sua virulência: enterohemorrágica (EHEC), enterotoxigênica (ETEC), enteroinvasiva (EIEC), enteropatogênica (EPEC), enteroagregativa (EAEC) e aderente difuso (DAEC). O esgoto sanitário é a principal fonte de todas as cepas de *E. coli*, com exceção de EHEC. O gado é considerado o reservatório primário de EHEC, embora os dejetos humanos também continuem como uma fonte importante (HEALTH CANADA, 2012).

1.1.1 Balneabilidade e Saúde Pública

Patógenos são microrganismos com potencial de causar doenças em um hospedeiro. A evolução das doenças causadas pelos patógenos tem três etapas: exposição, infecção e doença propriamente dita. A exposição a patógenos pode ocorrer por contato direto com água recreativa. A infecção é uma interação dinâmica envolvendo a suscetibilidade do hospedeiro e a virulência do patógeno. As doenças resultantes dessa dinâmica podem variar em sintomas a gravidade. As doenças mais comuns relatadas por contato com água contaminada para recreação primária são as gastrointestinais, doenças respiratórias, erupções cutâneas e infecções nos ouvidos, olhos e feridas. Às vezes, essas infecções podem resultar em morte. Patógenos em águas recreativas podem ser de origem ambiental, como a bactéria *Vibrio vulnificus* e a ameba *Naegleria fowleri*, ou podem ser introduzidos por contaminação com fezes humanas e outros animais de sangue quente (por exemplo, norovírus, *Escherichia coli* enterohemorrágica e *Cryptosporidium* sp.) (EPA 2014).

Os principais microrganismos patogênicos encontrados em águas recreativas são as bactérias, os vírus e os protozoários. Entre eles a *Salmonella* spp., a *Shigella* spp., a *Escherichia coli* e o *Vibrio cholerae* são responsáveis pelos numerosos casos de enterites, diarreias infantis e doenças epidêmicas como a febre tifoide, que constituem grave risco para a saúde humana (DEFRA, 2013; FUNASA, 2019). A Organização Mundial da Saúde

identificou pelo menos 20 patógenos encontrados na água recreativa que podem causar efeitos graves à saúde, incluindo adenovírus, vírus da hepatite, *Giardia lamblia*, *Cryptosporidium parvum*, *Escherichia coli*, *Campylobacter* spp. e *Salmonella* spp. (WHO, 2005).

Os vírus são microrganismos resistentes podendo sobreviver a períodos prolongados quando lançados no ambiente aquático. A sobrevivência deles depende de vários fatores biológicos e ambientais como temperatura, pH, salinidade, turbidez e níveis de radiação ultravioleta (UV) (DEFRA, 2013).

Mais de 100 espécies de vírus estão presentes em águas contaminadas por esgoto doméstico podendo causar uma ampla variedade de doenças no homem. Os vírus entéricos possuem dois grupos; o primeiro são os enterovírus (poliovírus, coxsackievírus e echovírus) que geralmente não causam doenças. O segundo grupo são os rotavírus, astrovírus, adenovírus 40/41, calicivírus (norovírus e saporovírus) e vírus das hepatites A e E, que são os responsáveis pelas gastroenterites e hepatites. Os vírus entéricos são capazes de continuar infectantes durante meses na água contaminadas, suportando fatores ambientais adversos, e podendo ser resistentes ao tratamento de água e esgoto e à cloração; porém eles não se multiplicam, porque eles precisam de uma célula hospedeira para isto (TAVARES; CARDOSO; BRITO 2005).

1.2 Instrumentos legais aplicados à balneabilidade

São diversas legislações que definem a balneabilidade. Será abordado regulamentações nacionais e internacionais que dispõem sobre a classificação da qualidade da água marinha para a recreação de contato primário e as diretrizes para o seu enquadramento.

1.2.1 Resolução CONAMA n.º 274/2000

A regulamentação que dispõe sobre os critérios de avaliação e classificação de balneabilidade dos corpos hídricos no Brasil é a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA n.º 274, de 2000. As águas doces, salobras e salinas destinadas à balneabilidade de recreação de contato primário e de contato secundário tem sua condição avaliada nas categorias própria e imprópria, segundo critérios de qualidade baseados em 5

coletas semanais consecutivas. As águas consideradas próprias poderão ser subdivididas nas seguintes categorias:

- a) Excelente: quando em 80% ou mais do conjunto de 5 amostras, colhidas no mesmo local, houver, no máximo, 250 NMP de coliformes termotolerantes ou 200 *Escherichia coli* ou 25 *Enterococos* em 100 mL de água.
- b) Muito Boa: quando em 80% ou mais do conjunto de 5 amostras, colhidas no mesmo local, houver, no máximo, 500 NMP de coliformes termotolerantes ou 400 *Escherichia coli* ou 50 *Enterococos* em 100 mL de água; e
- c) Satisfatória: quando em 80% ou mais do conjunto de 5 amostras, colhidas no mesmo local, houver no máximo 1.000 NMP de coliformes termotolerantes ou 800 *Escherichia coli* ou 100 *Enterococos* em 100 mL de água.

As águas serão consideradas impróprias quando tiver uma das seguintes ocorrências:

- a) não atendimento aos critérios estabelecidos para as águas próprias;
- b) valor obtido na última amostragem for superior a 2500 coliformes termotolerantes ou 2000 *Escherichia coli* ou 400 *Enterococos* em 100 mL de água;
- c) incidência elevada ou anormal, na região, de enfermidades transmissíveis por via hídrica, indicada pelas autoridades sanitárias;
- d) presença de resíduos ou despejos, sólidos ou líquidos, inclusive esgotos sanitários, óleos, graxas e outras substâncias, capazes de oferecer riscos à saúde ou tornar desagradável a recreação;
- e) pH < 6,0 ou pH > 9,0 (águas doces), à exceção das condições naturais;
- f) floração de algas ou outros organismos, até que se comprove que não oferecem riscos à saúde humana; e
- g) outros fatores que contraindiquem, temporária ou permanentemente, o exercício da recreação de contato primário.

A Tabela 1 apresenta um resumo do limite de microrganismos para as categorias própria e imprópria.

Tabela 1 – Resumo da classificação da balneabilidade de praias para recreação de contato primário em função de parâmetros microbiológicos do CONAMA

CATEGORIA	LIMITE DE MICROORGANISMOS (NMP/100 mL)		
	Col. term.	Escherichia coli	Enterococos
Excelente	≤ 250	≤ 200	≤ 25
Muito Boa	≤ 500	≤ 400	≤ 50
Satisfatória	≤ 1000	≤ 800	≤ 100
Imprópria	>2500	> 2000	> 400

Fonte: CONAMA, 2000.

1.2.2 Diretiva 2006/7/EC

A diretiva de águas balneares 2006/7 foi elaborada pelo parlamento europeu e o conselho da União Europeia, e dispõe sobre a gestão da qualidade das águas balneares; cujo objetivo consiste na preservação, proteção e melhoria da qualidade do ambiente e na proteção da saúde humana. Aplica-se às águas de superfície onde a autoridade competente preveja que há muitos banhistas e que não tenha sido proibido ou desaconselhado a prática banhar (EEA, 2006).

Segundo essa diretiva, a classificação das águas costeiras possui 4 categorias: má qualidade, suficiente, boa e excelente, definidas como:

1. Má qualidade - as águas balneares devem ser classificadas como de má qualidade se, no conjunto de dados de qualidade das águas balneares para a última avaliação do período, os valores percentuais para enumerações microbiológicas são maiores que os valores suficientes (Tabela 2);

2. Qualidade suficiente - as águas balneares devem ser classificadas como de qualidade suficiente se, no conjunto de dados de qualidade das águas balneares para o último período de avaliação, os valores percentuais para as enumerações microbiológicas são iguais ou maiores que os valores suficientes estabelecidos (Tabela 2); e se as águas balneares estiverem sujeitas a poluição de curta duração, desde que as medidas de gestão adequadas estejam sendo tomadas para prevenir, reduzir ou eliminar as causas de poluição;

3. Boa qualidade - as águas balneares devem ser classificadas como de boa qualidade se, no conjunto de dados de qualidade das águas balneares para o último período de avaliação, os valores percentuais para as enumerações microbiológicas são iguais ou maiores que os valores de boa qualidade (Tabela 2); e se as águas balneares estiverem sujeitas a poluição de curta duração, desde que as medidas de gestão adequadas estejam sendo tomadas para prevenir, reduzir ou eliminar as causas de poluição; e

4. Excelente qualidade - as águas balneares devem ser classificadas como de qualidade excelente se, no conjunto de dados sobre a qualidade das águas balneares do último período de avaliação, os valores percentuais das enumerações microbiológicas forem iguais ou maiores que os valores de qualidade excelente (Tabela 2); e se as águas balneares estiverem sujeitas a poluição de curto prazo, desde que estejam sendo tomadas medidas de gestão adequadas para prevenir, reduzir ou eliminar as causas da poluição. A Tabela 2 mostra o resumo dos parâmetros de balneabilidade segundo a União Européia.

Tabela 2 – Resumo da classificação da balneabilidade de praias para recreação de contato primário em função de parâmetros microbiológicos da União Europeia

PARÂMETRO	EXCELENTE	BOA	SUFICIENTE
Enterococos (UFC/100 mL)	100 (*)	200 (*)	185 (**)
Escherichia coli (UFC/100 mL)	250 (*)	500 (*)	500 (**)

(*) Com base em uma avaliação de 95% das amostras.

(**) Com base em uma avaliação de 90% das amostras.

Fonte: EEA, 2006.

1.2.3 Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA)

O Departamento para Meio Ambiente, Alimento e Assuntos Rurais (DEFRA – sigla em inglês) é um departamento ministerial apoiado por 33 agências e órgãos públicos do governo britânico, responsável pela salvaguarda do ambiente natural.

Para todas as águas balneares designadas no Reino Unido, a Agência Ambiental monitora os indicadores microbiológicos *Escherichia coli* e *enterococos* na água durante toda a estação balnear que compreende o período de 15 de maio a 30 de setembro. Os valores limites podem variar dependendo do clima, poluição de fontes agrícolas e urbanas, transbordamento de águas pluviais, entre outros fatores. As leituras realizadas nas últimas

quatro estações balneares determinam a classificação anual do corpo hídrico. As classificações são:

- Excelente - a classe com menor colimetria e mais limpa;
- Boa - água com boa qualidade;
- Suficiente - a qualidade da água atende ao padrão mínimo; e
- Fraco - a qualidade da água não atingiu o padrão mínimo.

A metodologia da balneabilidade do DEFRA consiste no “valor percentil” baseado em uma avaliação percentual da função de densidade de probabilidade normal em \log_{10} dos dados microbiológicos usados para a avaliação sob a regra 10. A agência apropriada deve derivar um valor percentil da seguinte forma:

- (a) calcular o valor \log_{10} de todas as concentrações bacterianas na sequência de dados a ser avaliada ou, se um valor zero for obtido, calcular o valor \log_{10} do limite de detecção do método analítico utilizado;
- (b) calcular a média aritmética (μ) dos valores do \log_{10} ;
- (c) calcular o desvio padrão (σ) dos valores do \log_{10} ;
- (d) derivar o ponto do percentil 90 superior da função de densidade de probabilidade dos dados da seguinte equação: percentil 90 superior = $\text{antilog}(\mu + 1,282 \sigma)$; e
- (e) derivar o ponto do percentil 95 superior da função de densidade de probabilidade dos dados da seguinte equação: percentil 95 superior = $\text{antilog}(\mu + 1,65 \sigma)$.

No final de cada estação balnear, a agência classifica a água balnear. A classificação consiste em “ruim” quando no conjunto de dados de qualidade das águas balneares utilizadas, os valores percentuais para concentrações microbiológicas forem maiores que o suficiente (Tabela 3). É classificado como “suficiente” quando os valores percentuais das concentrações microbiológicas são iguais ou inferiores aos padrões suficientes (Tabela 3); e a água do banho não é classificada como boa ou excelente. A classificação é “boa” quando os valores percentuais para as concentrações microbiológicas são iguais ou inferiores aos bons (Tabela 3); e a água do banho não é classificada como excelente. A classificação é considerada “excelente” quando os valores percentuais para concentrações microbiológicas forem iguais ou inferiores aos excelentes (Tabela 3), (DEFRA, 2013). A Tabela 3 mostra o resumo dos parâmetros de balneabilidade, os valores limites são os mesmos da UE.

Tabela 3 – Resumo da classificação da balneabilidade de praias para recreação de contato primário em função de parâmetros microbiológicos do DEFRA

PARÂMETRO	EXCELENTE	BOA	SUFICIENTE
Enterococos (UFC/100 mL)	100 (*)	200 (*)	185 (**)
Escherichia coli (UFC/100 mL)	250 (*)	500 (*)	500 (**)

(*) Com base em uma avaliação de 95% das amostras.
(**) Com base em uma avaliação de 90% das amostras.

Fonte: DEFRA, 2013.

1.2.4 Environmental Protection Agency (EPA)

Nos Estados Unidos a Agência de Proteção Ambiental (EPA) é o órgão federal responsável por proteger a saúde humana e o meio ambiente. Sendo encarregado pela regulamentação da qualidade das águas recreacionais. Os parâmetros e critérios utilizados para avaliar a qualidade microbiológica da água estão descritos no documento “critérios ambientais para qualidade bacteriológica da água” desde 1986. Nele a colimetria é verificada a partir da concentração dos indicadores de contaminação fecal *enterococos* (indicador de água marinha e água doce) e *Escherichia coli* (indicador de água doce) (EPA, 2014).

A EPA recomenda que os estados busquem uma decisão de gerenciamento de risco sobre a taxa de doenças para determinar qual conjunto de valores de critérios (média geométrica e valor limite estatístico) é mais apropriado para suas águas. Esses valores correspondem aos percentis 50 e 90, respectivamente, de uma mesma distribuição de amostras de água e, portanto, estão associados ao mesmo nível de proteção à saúde pública (EPA, 2014).

Os critérios de qualidade de água recreativa consistem em três componentes: magnitude, duração e frequência. A magnitude dos indicadores bacterianos é descrita por uma média geométrica e um valor limite estatístico para as amostras de bactérias. A EPA recomenda que a média geométrica de um corpo d'água seja calculada tomando o log10 dos valores das amostras, calculando a média desses valores e, em seguida, eleva-se a décima potência (EPA, 2012).

Os critérios correspondem a uma taxa de doença de 36 por 1.000 recreações de contato primário (taxa de doença gastrointestinal estimada) se correlaciona com os níveis de qualidade da água associados aos critérios de 1986. Assim, a taxa de doença tem um histórico de aceitação pelo público. Os critérios que correspondem a esta taxa de doença incentivaram uma melhoria incremental na qualidade da água (EPA, 2014).

A Tabela 4 mostra os critérios da qualidade da água para recreação de contato primário. O conjunto de critérios é constituído pela média geométrica colimétrica e por um valor estatístico limite da colimetria.

Tabela 4 – Resumo da classificação da balneabilidade de praias para recreação de contato primário em função de parâmetros microbiológicos da classificação da EPA

ELEMENTOS DE CRITÉRIOS	Taxa de doença estimada: 36 por 1.000 recreações de contato primário				
	Média geométrica	Valor limite estatístico	ou	Média geométrica	Valor limite estatístico
Enterococos (UFC/100 mL)	35	130		30	110
E. coli (UFC/100 mL)	126	410		100	320

Fonte: EPA, 2014.

A EPA disponibiliza dois critérios de qualidade de água recreativa: recomendação 1 e recomendação 2.

Recomendação 1 (magnitude) - *Enterococos* cultiváveis em uma média geométrica de 35 UFC/100 mL e um valor limite estatístico de 130 UFC/100 mL. E *E. coli* cultivável em uma média geométrica de 126 UFC/100 mL e um valor limite estatístico de 410 UFC/100 mL (EPA, 2012).

Recomendação 2 (magnitude) - *Enterococos* cultiváveis em uma média geométrica de 30 UFC/100 mL e um valor limite estatístico de 110 UFC/100 MI. E *E. coli* cultivável a uma média geométrica 100 UFC/100 mL e um valor limite estatístico de 320 UFC/100 MI (EPA, 2012).

Para ambas as recomendações a duração e a frequência da média geométrica do corpo de água não devem ser maior que a magnitude da média geométrica selecionada em nenhum intervalo de 30 dias. Não deve haver mais de dez por cento de frequência de excursão da magnitude do valor limite estatístico selecionado no mesmo intervalo de 30 dias (EPA, 2012).

1.2.5 World Health Organization (WHO)

A Organização Mundial da Saúde (World Health Organization – WHO) é a autoridade que dirige e coordena as questões de saúde das Nações Unidas. Sua responsabilidade é providenciar liderança global nos problemas relacionados à saúde, modelar a agenda de pesquisas de saúde, criar normas e padrões, articular opções políticas baseadas em evidências, providenciar suporte técnico para os países, monitorar e avaliar as tendências da saúde (WHO, 2003).

A classificação da água recreativa é obtida pela combinação da categoria de inspeção sanitária e da avaliação da qualidade da água microbiana; comparando os níveis de concentração de *enterococos* das amostras com os padrões de qualidade, expressos em termos do valor do percentil 95 da distribuição de série de dados. É recomendado que dados de cem amostras coletadas em um período de cinco anos, sejam utilizados na avaliação microbiológica, pois quanto mais amostras, maior é a precisão da avaliação (WHO, 2003).

Os *enterococos* são utilizados como indicadores para a água salina, pois os níveis desses organismos apresentaram-se mais preditivos para casos agudos de doenças gastrointestinais ao invés dos níveis de coliformes termotolerantes (WHO, 2003).

Segundo a WHO, a classificação das águas recreacionais marinhas é dividida em 04 classes de acordo com o valor do percentil 95 da concentração de *enterococos*, porque ele está associado diretamente com o risco em se contrair gastroenterites (GI) e doenças respiratórias febris agudas (AFRI). Considera aceitável um risco inferior a 2% (equivalente a 19 indivíduos contraindo a doença em 1.000 banhistas) para doenças respiratórias febris e inferior a 5% (equivalente a 1 indivíduo contraindo a doença em 20 banhistas) para gastroenterites (WHO, 2003). Os valores de orientação de balneabilidade mostrados na Tabela 5 são os preconizados pela WHO.

Tabela 5 – Resumo da classificação da balneabilidade de praias para recreação de contato primário em função de parâmetros microbiológicos da WHO e graduação de riscos de contaminação de GI (doença gastrointestinal) e AFRI (doença respiratória febril aguda)

CLASSE	Enterococos UFC/100 mL	CASOS	GI	AFRI
Muito boa	< 40	Menos de 1 em 100 exposições	< 1%	< 0,3%
Boa	41-200	1 em 200 exposições	1 - 5%	0,3 - 1,9%
Regular	201-500	De 1 em 10 a 1 em 20 exposições	5 - 10%	1,9 - 3,9%
Ruim	> 500	10% por 1 exposição	> 10%	> 3,9%

Fonte: WHO, 2003.

A WHO (2003) considera o banhista com contato primário com águas com concentrações de *enterococos* maior que 500 UFC/100 mL, têm risco maior que 10% em contrair doenças gastrointestinais em uma única exposição. E que *enterococos* abaixo de 158 UFC/100 mL e *Escherichia coli* abaixo de 32UFC/100 mL não representam risco à saúde humana.

1.2.6 Health Canada

Health Canada é o departamento federal responsável por manter e melhorar a saúde da população canadense. Avalia a segurança dos medicamentos e produtos de consumo, ajuda a melhorar a segurança dos alimentos e fornece informações aos canadenses para ajudá-los a tomar decisões saudáveis. Oferece serviços de saúde, trabalhando com as províncias para garantir que o sistema de saúde atenda às necessidades dos canadenses. Segundo o departamento, as águas recreativas marinhas usadas para atividades de contato primário possuem os seguintes valores de referência (HEALTH CANADA, 2012):

Média geométrica da concentração (mínimo de cinco amostras): ≤ 35 enterococos UFC/100 mL e ≤ 200 *E. coli* UFC/100 mL;

Concentração máxima de amostra única: ≤ 70 enterococos UFC/100mL e ≤ 400 *E. coli* UFC/100 mL.

1.2.7 National Health and Medical Research Council (NHMRC)

O órgão responsável pela avaliação microbiológica de águas marinhas na Austrália e Nova Zelândia é o Conselho Nacional de Saúde e Pesquisa Médica (NHMRC). Os valores microbiológicos de balneabilidade são expressos em termos do percentil 95 do número de *enterococos* em 100 mL de amostra (medidos diretamente ou transformados a partir de dados de coliformes, quando houver dados suficientes e disponíveis) e representam níveis de risco compreendidos com base nas condições de exposição dos principais estudos epidemiológicos do conselho (Tabela 6). Os valores podem ser adaptados para levar em consideração as condições locais (NHMRC, 2008).

Tabela 6 – Resumo da classificação da balneabilidade de praias para recreação de contato primário em função de parâmetros microbiológicos do NHMRC e graduação de riscos de contaminação das doenças: AFRI (doença respiratória febril aguda) e GI (doença gastrointestinal)

Categoria	Percentil 95 enterococos UFC/100 mL	Estimativa de probabilidade	
A	≤40	Risco de doença GI: < 1% O valor do percentil 95 superior a 40/100 ml se refere a uma probabilidade média de menos de um caso de gastroenterite em a cada 100 exposições. O risco AFRI seria insignificante.	Risco de AFRI: < 0,3%
B	41–200	Risco de doença GI: 1–5% O valor do percentil 95 superior a 200/100 mL se refere a uma probabilidade média de um caso de gastroenterite em 20 exposições. A taxa de doenças AFRI seria de 19 por 1000 exposições ou aproximadamente 1 em 50 exposições.	Risco AFRI: 0,3-1,9%
C	201–500	Risco de doença GI: 5-10% Este intervalo de valores do 95º percentil representa uma probabilidade de 1 em 20 a 1 em 10 risco de gastroenterite por uma única exposição. As exposições nesta categoria também sugerem um risco de AFRI na faixa de 19-39 por 1000 exposições ou uma faixa de aproximadamente 1 em 50 a 1 em 25 exposições.	Risco de AFRI: 1,9-3,9%
D	> 501	Risco de doença GI:> 10% Há mais de 10% de chance de doença por uma única exposição. A taxa de doenças AFRI no valor de referência de 500 enterococos por 100 mL seriam 39 por 1000 exposições ou aproximadamente 1 em 25 exposições.	Risco AFRI:> 3,9%

Fonte: NHMRC, 2008, adaptada pela autora.

ÁREA DE ESTUDO

2.1 Caracterização do Município do Rio de Janeiro

O município do Rio de Janeiro possui área territorial de 1.255,3 km², com população estimada em 2019 em 6.718.903 pessoas, densidade demográfica 5.265,82 hab./km² (IBGE, 2018), além da população flutuante que aumenta durante as épocas turísticas.

O município do Rio de Janeiro é a capital do Estado do Rio de Janeiro, localiza-se na região sudeste do Brasil. Possui belas paisagens, com águas e montanhas dominando sua vigorosa geografia; a sul é banhado pelo oceano Atlântico, a leste pela baía de Guanabara, e a oeste pela baía de Sepetiba. Sua fronteira marítima é mais ampla do que a terrestre. Mede de leste a oeste 70 km e de norte a sul 44 km. O município está dividido em 32 Regiões Administrativas com 159 bairros (RIO DE JANEIRO, 2009).

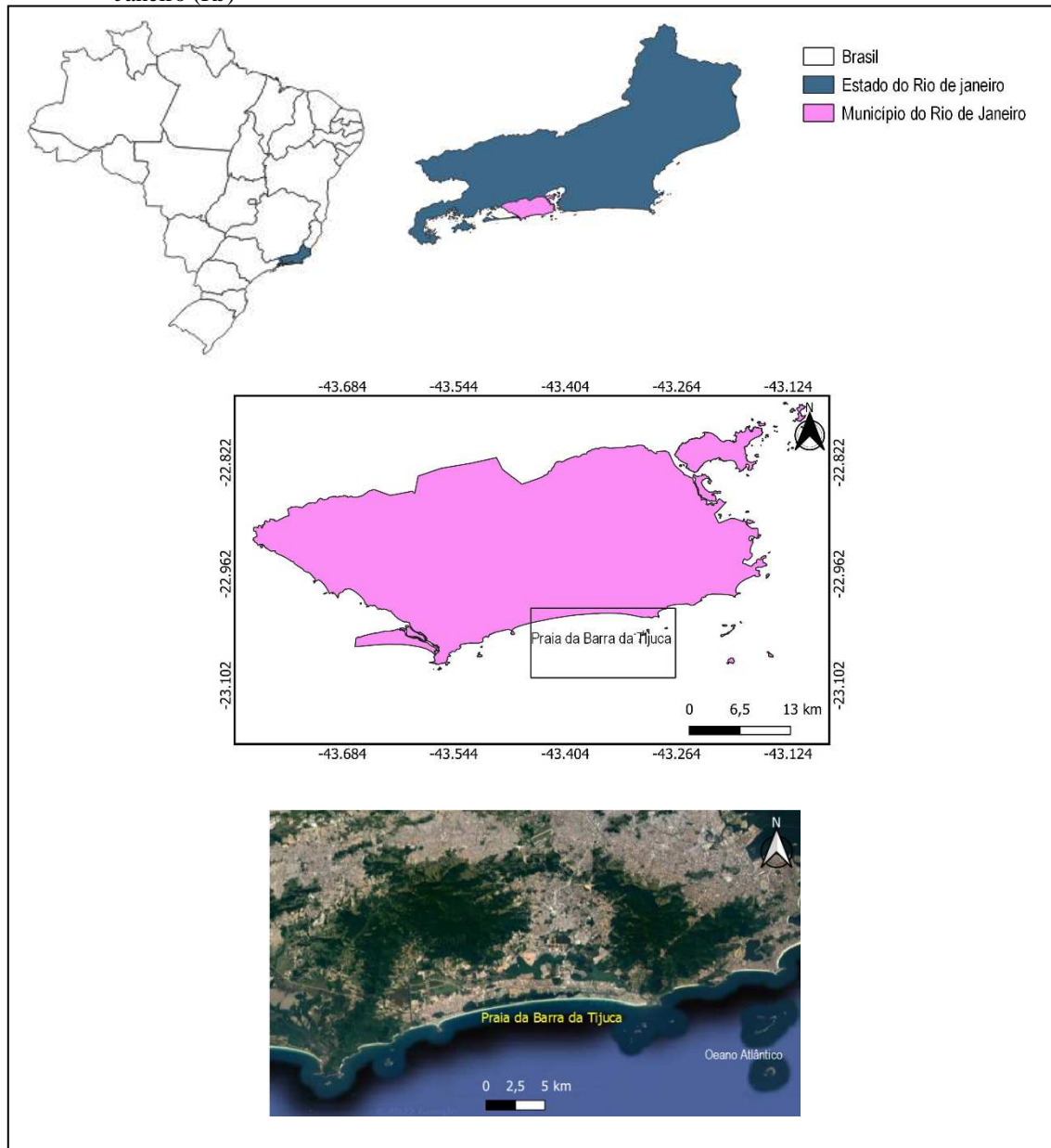
O litoral do município do Rio de Janeiro tem extensão estimada de 246,22 km e é dividido em três partes: baía de Guanabara, oceano Atlântico e baía de Sepetiba. A primeira mencionada é a maior e a de mais antiga ocupação. Estende-se da foz do Rio São João de Meriti ao Pão de Açúcar. Repleta de ilhas e ilhotas que valorizam essa seção litorânea devido a uma pequena diversidade de espécies. Outros acidentes geográficos importantes encontrados nesta seção são: as pontas do Caju e Calabouço, ambas ampliadas por aterros. Existem algumas praias importantes nesta área: Ramos, Flamengo, Botafogo e Urca. O segundo setor estende-se do Pão de Açúcar à Barra de Guaratiba. Neste, a costa é alta quando as ramificações dos maciços da Tijuca e da pedra Branca se aproximam do litoral; é baixa quando elas se afastam. Torna-se retilínea nas regiões planas, onde são encontradas belas praias de restingas, e estreita junto às regiões montanhosas. Do Leblon para o leste a faixa litorânea é mais densamente povoada; para o oeste o turismo e o lazer são mais explorados; todavia houve um aumento da ocupação urbana. No litoral oceânico há duas praias: a primeira estende-se por 18 km ao longo da Avenida Sernambetiba, desde o píer da Barra da Tijuca até o Recreio dos Bandeirantes e Copacabana (4,15 Km), famosa por sua beleza internacionalmente reconhecida. O terceiro setor vai da Barra de Guaratiba até a foz do Rio Guandu e só possui um acidente importante, a Restinga de Marambaia. Destacando três praias: Sepetiba, Pedra de Guaratiba e Barra de Guaratiba. A densidade demográfica é menor, devido a distância que o separa do centro da cidade, e por sua fisiografia repleta de áreas pantanosas, cobertas de manguezais e área de colônias de pescadores (RIO DE JANEIRO, 2009).

A topografia da cidade possui partes íngremes que coexistem com uma ampla planície. Possui três maciços importantes: da Tijuca, Pedra Branca e Gericinó. O maciço da Tijuca abarca Jacarepaguá até a orla marítima; o maciço da Pedra Branca é o maior em extensão e separa a baixada de Jacarepaguá da zona oeste e dos campos de Guaratiba, sendo ocupado por lavouras em suas encostas e é delimitado por matas e arbustos. No extremo norte do município do Rio de Janeiro, encontra-se o maciço de Gericinó com uma vasta área desmatada devido à urbanização e o crescimento agrícola, mas ainda possui matas densas e bem preservadas em seu topo. Os maciços representam uma valiosa área de distribuição de água pluviais que se acumulam naturalmente no fundo do vale e nas planícies onde se concentram a maior população (RIO DE JANEIRO, 2015).

Devido às diferenças de altitude, vegetação e proximidade do oceano, a cidade do Rio de Janeiro possui o clima tropical, quente e úmido. A temperatura média anual é de 22° C, com médias diárias elevadas no verão de 30° a 32° C. A precipitação média anual é de 1.252 mm. Nos quatro meses de dezembro a março, os dias muito quentes são sempre acompanhados por tardes luminosas, geralmente com chuvas fortes e rápidas, com noites frescas e estreladas (RIO DE JANEIRO, 2009).

O bairro da Barra da Tijuca está localizado na zona oeste do município do Rio de Janeiro (Figura 1). Teve um aumento populacional de 154.608 em 2000 para 300.823 habitantes em 2010, devido ao aumento em investimento imobiliário e obras de infraestrutura, crescimento de construções irregulares e aumento de comunidades. É um bairro em ascensão, com vários polos gastronômicos, hoteleiros, de entretenimento e econômicos. Em 2016 foi sede dos jogos olímpicos e paraolímpicos. Sua praia é a maior do estado do Rio de Janeiro, com a extensão de 14,4 km, e de grande utilização para a prática de esportes aquáticos. As montanhas da Barra da Tijuca são muito utilizadas para a prática de trilhas e rapel, entre outros esportes. Possui áreas de preservação ambiental: Bosque da Barra, Parque Ecológico Chico Mendes e Parque Natural Municipal de Marapendi (RIO DE JANEIRO, 2015).

Figura 1 – Localização da área de estudo, praia da Barra da Tijuca localizada no município do Rio de Janeiro (RJ)



Fonte: A autora.

2.2 Pontos de monitoramento

O órgão responsável pelo monitoramento da balneabilidade das águas costeiras do estado do Rio de Janeiro e divulgação dos resultados ao público é o Instituto Estadual do Ambiente (INEA), gerando boletins semanais que reportam a qualidade das águas e as classifica como próprias ou impróprias para balneabilidade.

A área desse estudo compreende 6 pontos de monitoramento do INEA, distribuídos em 5 pontos na praia da Barra da Tijuca e 1 ponto na praia do Recreio. Não foram incluídos os demais pontos na praia do Recreio (BD00, BD02) por não sofrerem variação na qualidade da água (ação antrópica), mantendo-se sempre como excelente ao longo do período considerado (de 2010 a 2019). Os locais de monitoramento foram escolhidos com base na disponibilidade de sistemas de monitoramento da precipitação e da balneabilidade e suas informações completas disponíveis durante o período do estudo. As estações pluviométricas estão localizadas dentro da bacia hidrográfica de Jacarepaguá. As Tabelas 8 e 9 mostram a localização geográfica dos pontos de monitoramento de balneabilidade e de precipitação.

Tabela 7 – Localização dos pontos de monitoramento de balneabilidade do INEA nas praias do Recreio e Barra da Tijuca

Praias		Latitude	Longitude
Recreio	BD003	-23,012750S	-43,379994O
	BB005	-23,011839S	-43,365217O
Barra da Tijuca	BD007	-23,011692S	-43,335150O
	BD009	-23,015925S	-43,304178O
	BD010	-23,015417S	-43,298056O
Joatinga	JT000	-23,014789S	-43,289369O

Fonte: INEA, 2019.

Tabela 8 – Localização das estações meteorológicas da Fundação Geo-Rio

	Precipitação	
Estação	Latitude	Longitude
Grotá Funda	-23,01444S	-43,52139O
Recreio dos Bandeirantes	-23,01000S	-43,44056O
Barra/Riocentro	-22,97721S	-43,39155O
Jacarepaguá/Tanque	-22,91250S	-43,36472O
Jacarepaguá/Cidade de Deus	-22,94556S	-43,36278O
Est. Grajaú/Jacarepaguá	-22,92556S	-43,31583O
Barra/Barrinha	-23,00849S	-43,29965O
Alto da Boa Vista	-22,96583S	-43,27833O

Fonte: RIO, 2019.

As Figuras 2 e 3 apresentam o georreferenciamento dos pontos de monitoramento de balneabilidade das praias utilizadas neste estudo.

Figura 2 – Mapa com a delimitação da bacia hidrográfica de Jacarepaguá (linha azul), georreferenciamento das estações pluviométricas em azul e de monitoramento da balneabilidade em vermelho



Fonte: A autora, 2020.

Figura 3 – Mapa com a localização das estações de monitoramento de balneabilidade das praias da Barra da Tijuca em vermelho e o complexo lagunar de Jacarepaguá em lilás



Fonte: A autora, 2020.

3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada no presente estudo abrangeu a compilação de dados de monitoramento de balneabilidade das praias da Barra da Tijuca, referentes ao período de 2010 a 2019, disponíveis no site do INEA.

A coleta da água para avaliação da balneabilidade das praias foi realizada pelo órgão seguindo as regras estabelecidas na Resolução CONAMA n° 274/2000, com periodicidade regular de duas vezes por semana. Para execução das análises nas amostras coletadas, foram adotados os procedimentos descritos no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, a saber: método 9221-E para análise de coliformes termotolerantes, realizada no circuito Barra e Zona Sul (INEA, 2019).

Os dados de precipitação, também para o período de 2010 a 2019, foram obtidos no site da Fundação GEO-RIO (Alerta Rio). Esse sistema possui 33 estações telemétricas (pluviométricas e meteorológicas) distribuídas por todas as regiões do município do Rio de Janeiro. As estações enviam dados em tempo real, a cada 15 minutos, para a central do Alerta Rio, com o objetivo de emitir boletins de alerta à população.

Os dados históricos do vento (direção e velocidade) foram fornecidos pelo Instituto de Controle do Espaço Aéreo – ICEA, da estação meteorológica do Aeroporto de Jacarepaguá localizada na latitude 22°59' 15" S e 43°22' 12" O de longitude.

Os dados históricos da maré foram calculados usando o programa Pacmare e as constantes da tabela da FEMAR.

Todos os dados desse estudo foram compilados e tratados para confecção dos gráficos, e para as análises estatísticas utilizando os softwares Excel e o SigmaPlot.

Apenas os dados numéricos de concentração de indicador microbiológico e de precipitação foram utilizados para as análises estatísticas.

A escolha das praias baseou-se na sua proximidade com as estações pluviométricas em operação para possibilitar a elaboração da correlação entre quantidade de chuva e colimetria. Foram desconsiderados valores de precipitação inferiores a 1 mm.

A metodologia do estudo foi baseada na técnica de rain threshold levels (níveis de limiar de chuva) que visa correlacionar níveis de precipitação e as concentrações dos indicadores bacteriológicos das análises das águas.

Foi realizado os testes de normalidade Kolgomorov-Smirnov (K-S) e o Shapiro-Wilk (S-W). As amostras de colimetria não apresentaram distribuição normal, optando-se pelo uso de estatística não paramétrica. O coeficiente de correlação de Spearman entre os níveis de

precipitação e a colimetria foi analisado no período seco (maio a novembro) e no período chuvoso (dezembro a abril) separadamente, tendo em vista os níveis de precipitação acumulados em 24, 48 e 72 horas anteriores à data de amostragem de água.

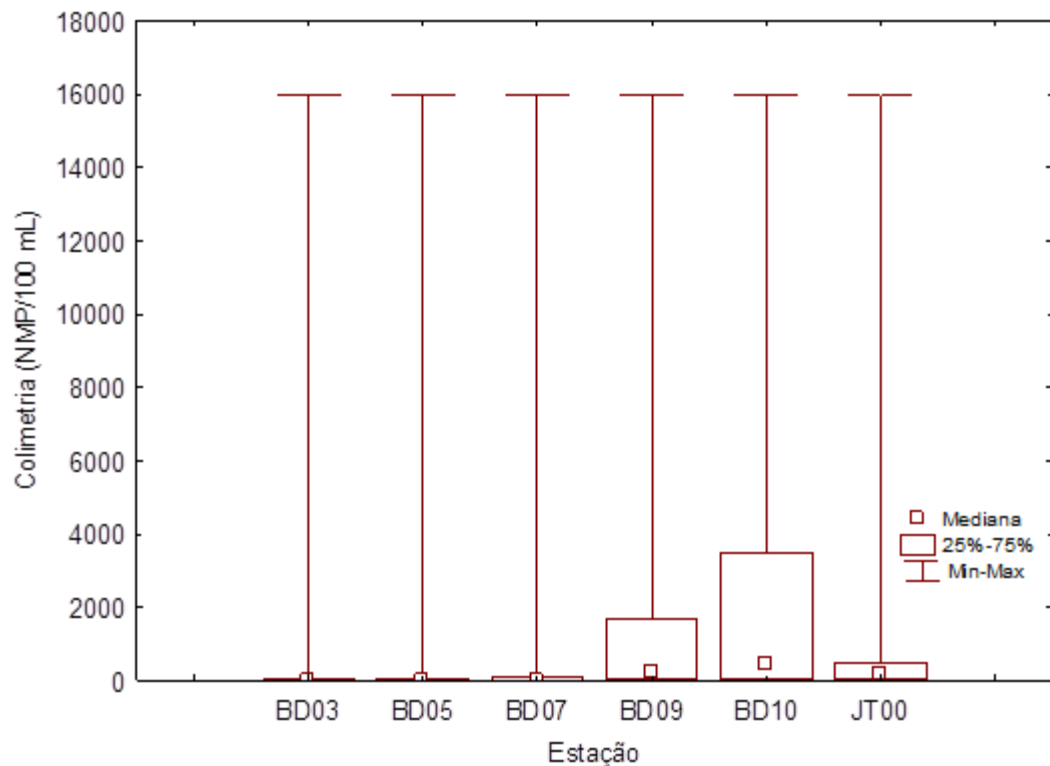
O nível de confiança adotado em todas as análises estatísticas foi de 95%, ou seja, resultados estatísticos significativos possuem valor $p < 0,05$.

4 RESULTADOS

4.1 Coliformes termotolerantes

Os valores de densidade de coliformes termotolerantes apresentaram grande variabilidade para todos os pontos de monitoramento das praias da Barra da Tijuca, considerando-se o período estudado, conforme observado no Gráfico 1, que mostra a distribuição temporal dessa variável. No gráfico são apresentados os valores mínimo, máximo, mediana, 1° e 3° quartil.

Gráfico 1 - Série temporal de coliformes termotolerantes (NMP/100ml) entre 2010 e 2019 dos pontos de monitoramento das praias da Barra da Tijuca



F

Fonte: A autora, 2022.

Ao analisar o Gráfico 1 e a Tabela 10, observa-se que a concentração de coliformes termotolerantes dos pontos BD03, BD05 e BD07 apresentou menor valor mediano ao longo dos dez anos. O ponto BD10 apresentou maior valor mediano de colimetria, seguido do BD09 e JT00.

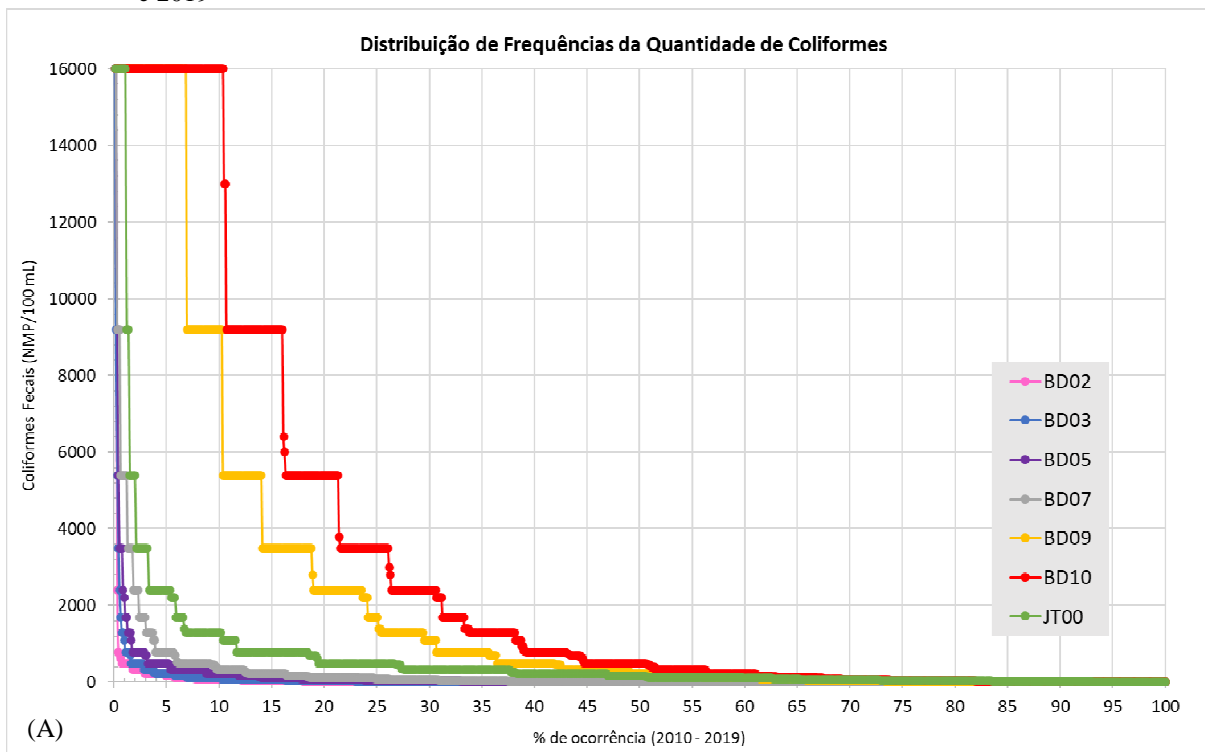
Tabela 9 – Análise descritiva dos valores de coliformes termotolerantes (NMP/100ml) durante o período de 2010 a 2019 nos pontos de monitoramento das praias da Barra da Tijuca

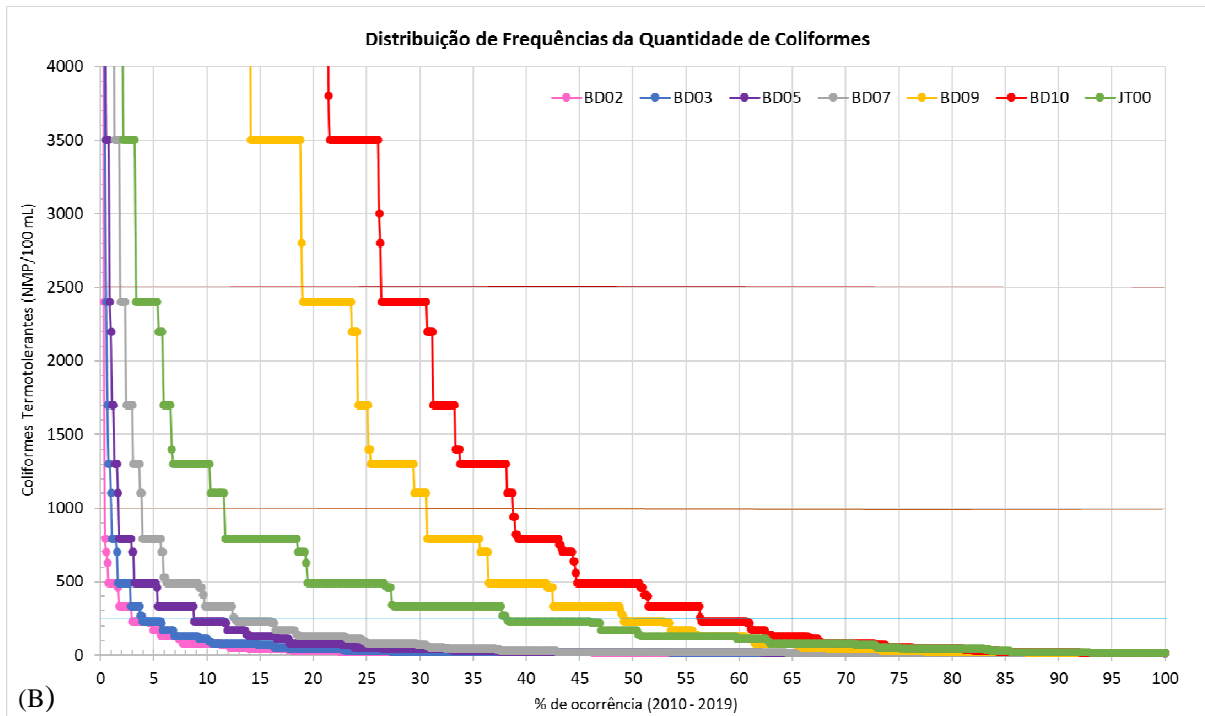
Pontos	Nº de Amostras	Máximo	Mínimo	Mediana	25%	75%
BD03	906	16000	18	20	18	33
BD05	906	16000	10	20	18	49
BD07	906	16000	10	23	18	79
BD09	905	16000	18	230	33	1700
BD10	905	16000	18	490	49	3500
JT00	657	16000	18	170	48	490

Fonte: A autora, 2022.

O Gráfico 2 mostra a frequência de distribuição da colimetria dos pontos de monitoramento das praias da Barra da Tijuca no período de 2010 a 2019.

Gráfico 2 – Distribuição de frequência de concentração de coliformes termotolerantes (NMP/100mL) nos pontos de monitoramento de balneabilidade pelo INEA das praias da Barra da Tijuca no período entre 2010 e 2019





Legenda: (A) distribuição da frequência da colimetria total, (B) distribuição da frequência da colimetria com corte no 4000 NMP/100mL e marcação em 1000 e 2.500 NMP/100mL.

Fonte: A autora, 2022.

Diante do Gráfico 2, observa-se que a maior frequência de amostras com valores colimétricos acima de 1000 (NMP/100 mL) foi no ponto BD10 (39%), seguido do ponto BD09 (31%). Uma amostra de 2500 (NMP/100 mL) é considerada como imprópria e os pontos BD10 e BD09 apresentaram valores a cima desse limite respectivamente 27% e 18% do seu tempo. A causa da alta frequência de coliformes termotolerantes no ponto BD10 é em decorrência de sua proximidade com a desembocadura do canal da Joatinga que descarga no sistema lagunar de Jacarepaguá.

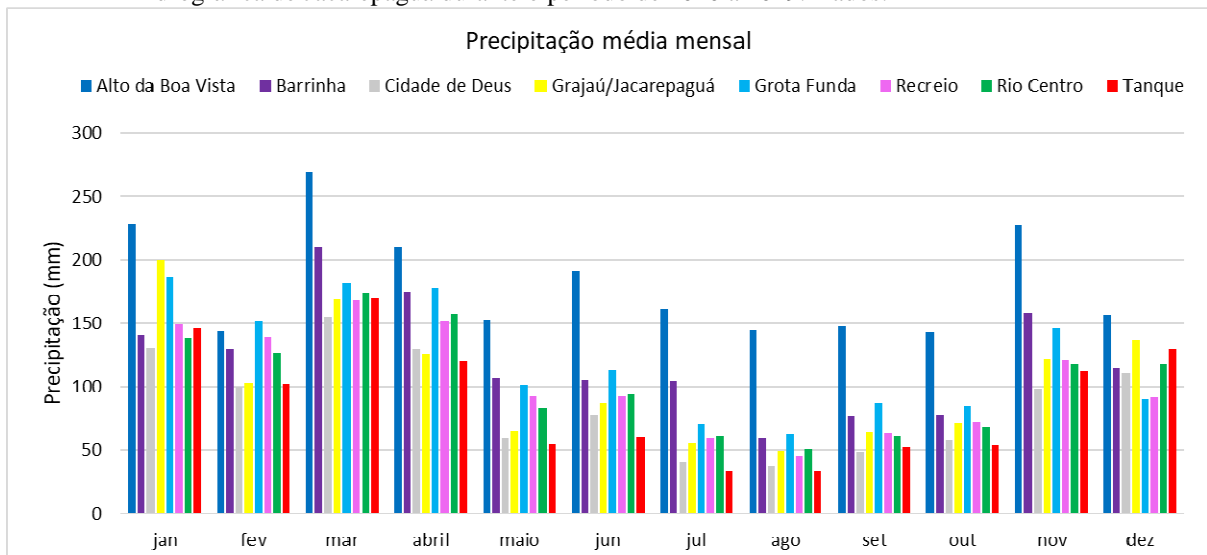
No total foram analisadas 906 amostras dos pontos BD03, BD05, BD07, BD09 e BD10, e 657 do ponto JT00 no período de 2010 a 2019. As águas coletadas nos pontos BD03, BD05 e BD07, na maior parte do tempo, permaneceram com concentrações de coliformes termotolerantes abaixo de 100 NMP/100mL. Essas estações de coleta apresentaram valores esporádicos acima de 1.000 NMP/100mL, sendo determinados em somente 1 % das amostras no ponto BD03, 2 % no ponto BD05 e 4 % no BD07. O ponto JT00 apresentou 12 % das amostras coletadas com concentrações de coliformes acima de 1000 (NMP/100mL).

4.2 Pluviosidade

4.2.1. Bacia hidrográfica de Jacarepaguá

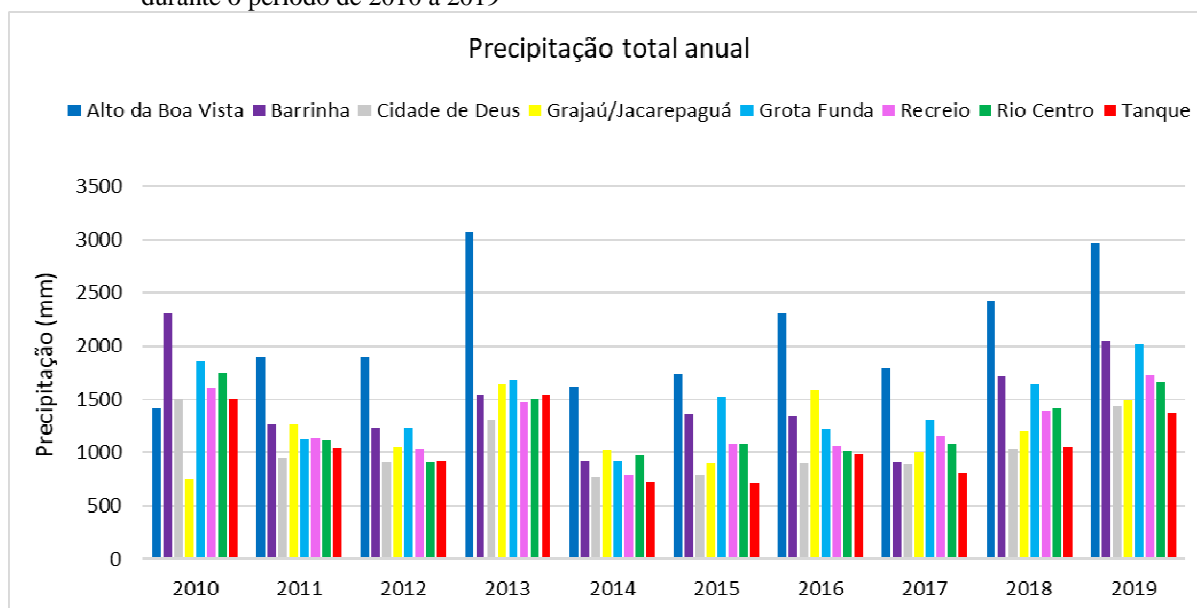
A bacia hidrográfica de Jacarepaguá é considerada a bacia de contribuição que influencia a qualidade da água das praias da Barra da Tijuca. Os rios drenam as águas para as lagoas e conseqüentemente para a praia. Diante do exposto, foram analisados 8 pontos de monitoramento de precipitação (mm): Alto da Boa Vista, Barrinha, Cidade de Deus, Grajaú/Jacarepaguá, Grota Funda, Recreio, Rio Centro e Tanque (Gráficos 4 e 5), todos situados na área da bacia hidrográfica de jacarepaguá.

Gráfico 3 – Variação da média mensal da pluviosidade (mm) nas estações de monitoramento da bacia hidrográfica de Jacarepaguá durante o período de 2010 a 2019. Dados:



Fonte: A autora, 2022.

Gráfico 4 – Pluviosidade anual (mm) nas estações de monitoramento da bacia hidrográfica de Jacarepaguá durante o período de 2010 a 2019



Fonte: A autora, 2022

Conforme demonstrado nos gráficos 4 e 5, a estação Alto da Boa Vista em geral apresentou o maior volume de precipitação (mm) média mensal e anual, seguido das estações Barrinha e Grota Funda. E março é o mês com maior índice pluviométrico médio considerando-se o período de estudo (2010 – 2019).

A fim de analisar a influência da precipitação na balneabilidade foi realizado o teste de Kruskal-Wallis Análise Unidirecional de Variância em Ranks, nesta etapa, a variável densidade de coliformes termotolerantes (100 NMP/100mL) das praias da Barra da Tijuca foram pareadas com a variável precipitação (mm) de todas as estações de monitoramento da bacia de Jacarepaguá, resultando:

Mediana anual da pluviosidade com a mediana anual da colimetria.

$H = 114,321$ ($P = <0,001$)

Mediana mensal da pluviosidade com a mediana mensal da colimetria.

$H = 135,085$ ($P = <0,001$)

Total anual da pluviosidade com a total anual da colimetria.

$H = 121,133$ ($P = <0,001$)

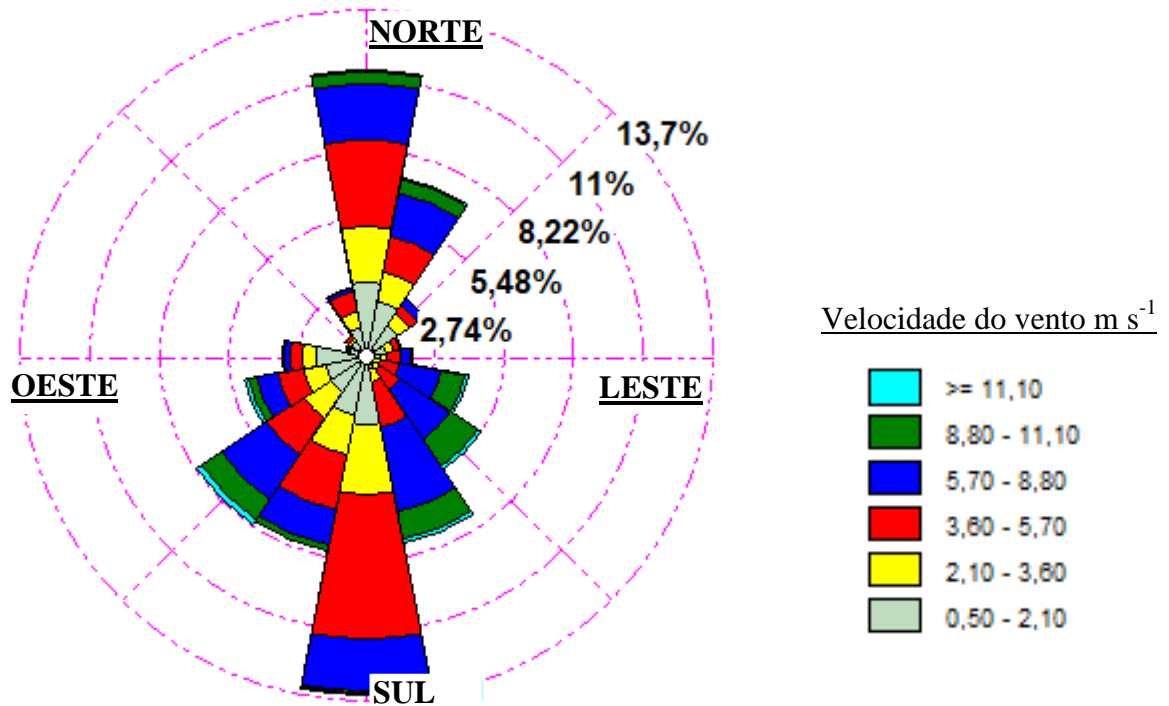
Devido ao alto valor de H conclui-se que as amostras apresentam diferenças significativas ($P < 0,05$), pois quanto menor o valor P, maior a probabilidade de que a variável é significativa.

4.3 Vento

A análise da direção e velocidade do vento foi realizada anualmente (Figura 4). A distribuição dos ventos na região estudada é marcada nas direções norte e sul, com velocidades de até 11 m s^{-1} . A estação meteorológica do aeroporto de Jacarepaguá se situa entre os maciços da Pedra Branca e Tijuca, gerando um corredor eólico nesta direção (Figura 5). No período matutino predomina o quadrante norte e no período vespertino predominam as direções sul/sudoeste (PINTO et al., 2019; PIMENTEL et al., 2014; MASTERPLAN, 2013).

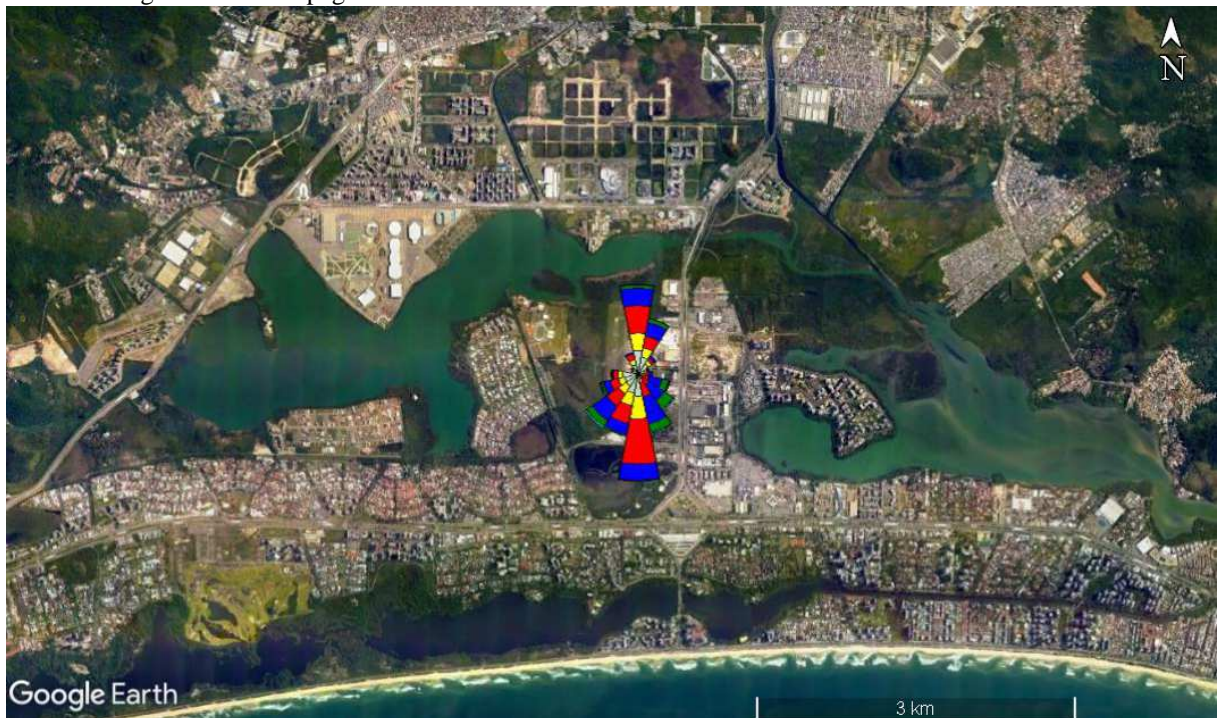
No município do Rio de Janeiro, os ventos de leste e nordeste estão relacionados ao Anticiclone Tropical do Atlântico Sul, são refratados pelo atrito causado pela presença da Serra do Mar, fazendo com que o vento leste/sudeste prevaleça ao longo do ano. A passagem dos sistemas frontais sobre o oceano interrompe a inércia dessa grande circulação que são acompanhados por anticiclones, que são afetados por sistemas de baixa pressão contendo ar frio polar, causando frentes frias com ventos mais fortes deslocando-se de sudeste para nordeste (SANTOS, 2017).

Figura 4 – Série temporal de ventos de 2010 a 2019 monitorados na estação do Aeroporto de Jacarepaguá, a legenda ao lado com escala de cores mostra a velocidade dos ventos em m s^{-1} e sua direção no complexo lagunar de Jacarepaguá.



Fonte: A autora, 2020.

Figura 5 – Rosa dos ventos mostrando a localização da estação meteorológica do aeroporto no complexo lagunar de Jacarepaguá

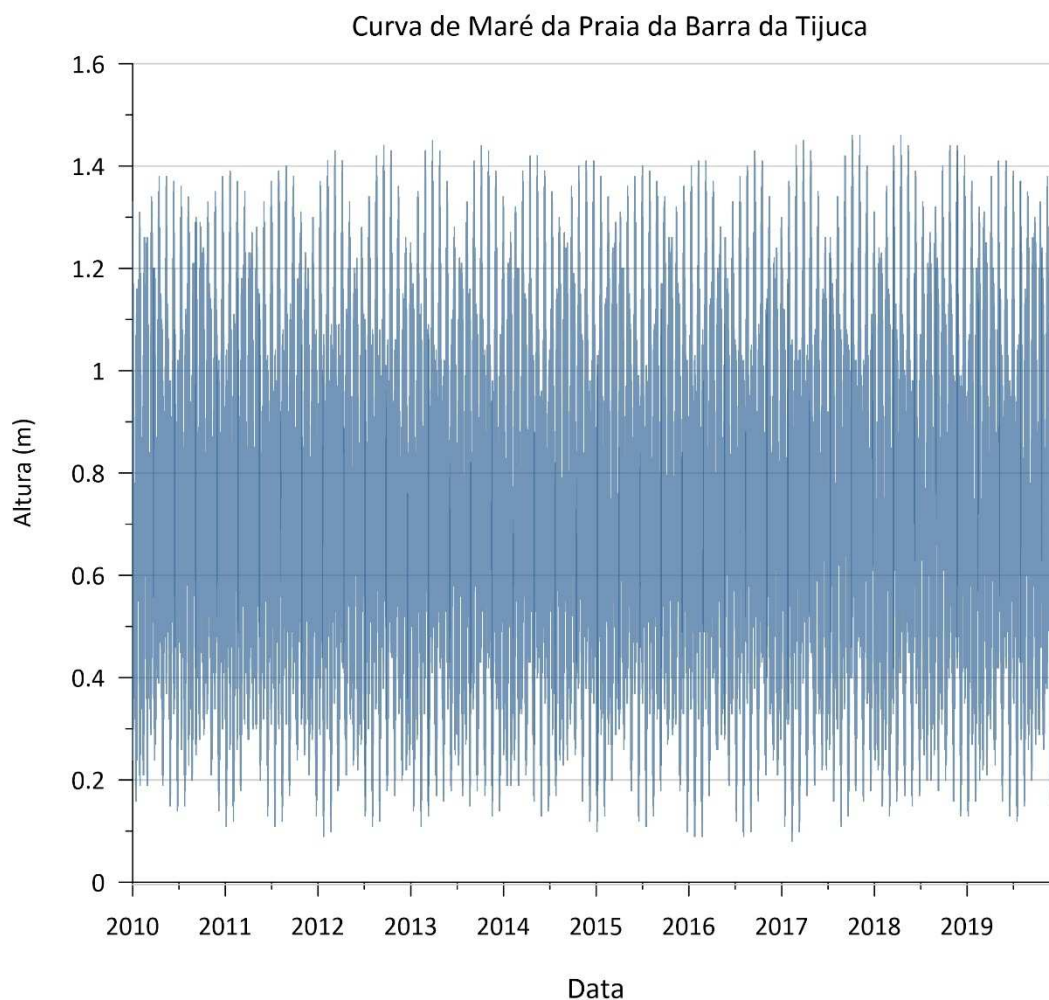


Fonte: A autora, 2020.

4.4 Maré

No período histórico do estudo (2010 – 2019) foi observado a altura de maré da praia da Barra da Tijuca oscilando entre 0,08 e 1,46 m (Gráfico 6), caracterizando como micromaré, pois sua altura máxima é inferior a 2 m.

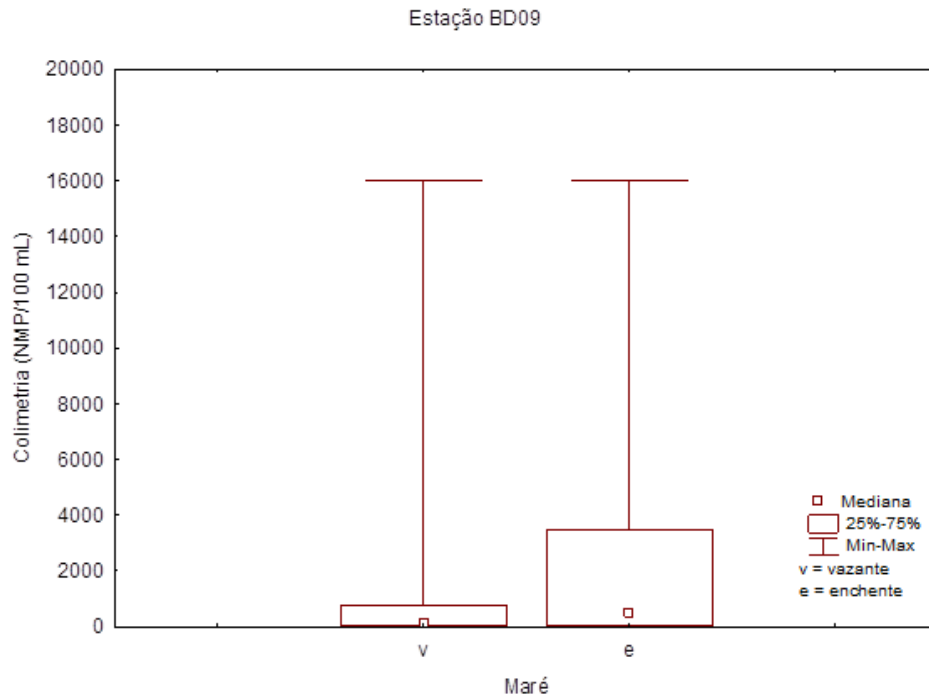
Gráfico 5 - Variação temporal da maré (m) da praia da Barra da Tijuca durante o período de 2010 a 2019



Fonte: A autora, 2022.

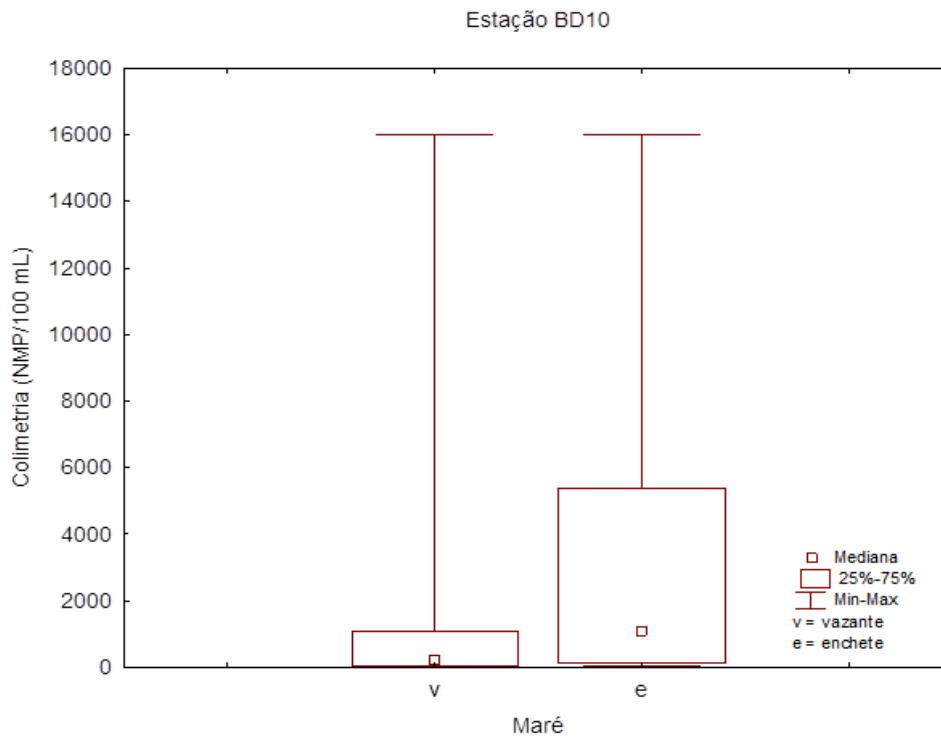
Nos Gráficos 6 e 7, denota-se que a concentração de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) é mais elevada durante as marés enchentes. De acordo com o teste de Mann-Whitney há diferença significativa no período da maré nesses dois pontos, indicando a contribuição das águas da lagoa na balneabilidade da praia ($p = 0,0000$).

Gráfico 6 – Série temporal da colimetria (100 NMP/100mL) do ponto BD09 da praia da Barra da Tijuca no período de 2010 a 2019 na maré vazante (v) e enchente (e). Dados:



Fonte: A autora, 2022.

Gráfico 7 – Série temporal da colimetria (100 NMP/100mL) do ponto BD10 da praia da Barra da Tijuca no período de 2010 a 2019 na maré vazante (v) e enchente (e). Dados:



Fonte: A autora, 2022.

4.5 Análises estatísticas

4.5.1 Teste de normalidade

Com o propósito de avaliar a distribuição das amostras de colimetria das praias da Barra da Tijuca, foram realizados os testes de normalidade o Kolmogorov-Smirnov (K-S) e o Shapiro-Wilk (S-W), com o nível de significância de 0,05 (Tabelas 10 e 11).

Tabela 10 – Teste de normalidade K-S dos dados de colimetria das estações de monitoramento de balneabilidade do INEA durante o período de 2010 a 2019

Teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov		
BD03	K-S = 0,455	P < 0,001
BD05	K-S = 0,439	P < 0,001
BD07	K-S = 0,417	P < 0,001
BD09	K-S = 0,323	P < 0,001
BD10	K-S = 0,295	P < 0,001
JT00	K-S = 0,373	P < 0,001

Fonte: A autora, 2022.

Tabela 11 – Teste de normalidade S-W dos dados de colimetria das estações de monitoramento de balneabilidade do INEA durante o período de 2010 a 2019

Teste de normalidade Shapiro-Wilk		
BD03	S-W = 0,078	P < 0,001
BD05	S-W = 0,114	P < 0,001
BD07	S-W = 0,193	P < 0,001
BD09	S-W = 0,536	P < 0,001
BD10	S-W = 0,621	P < 0,001
JT00	S-W = 0,288	P < 0,001

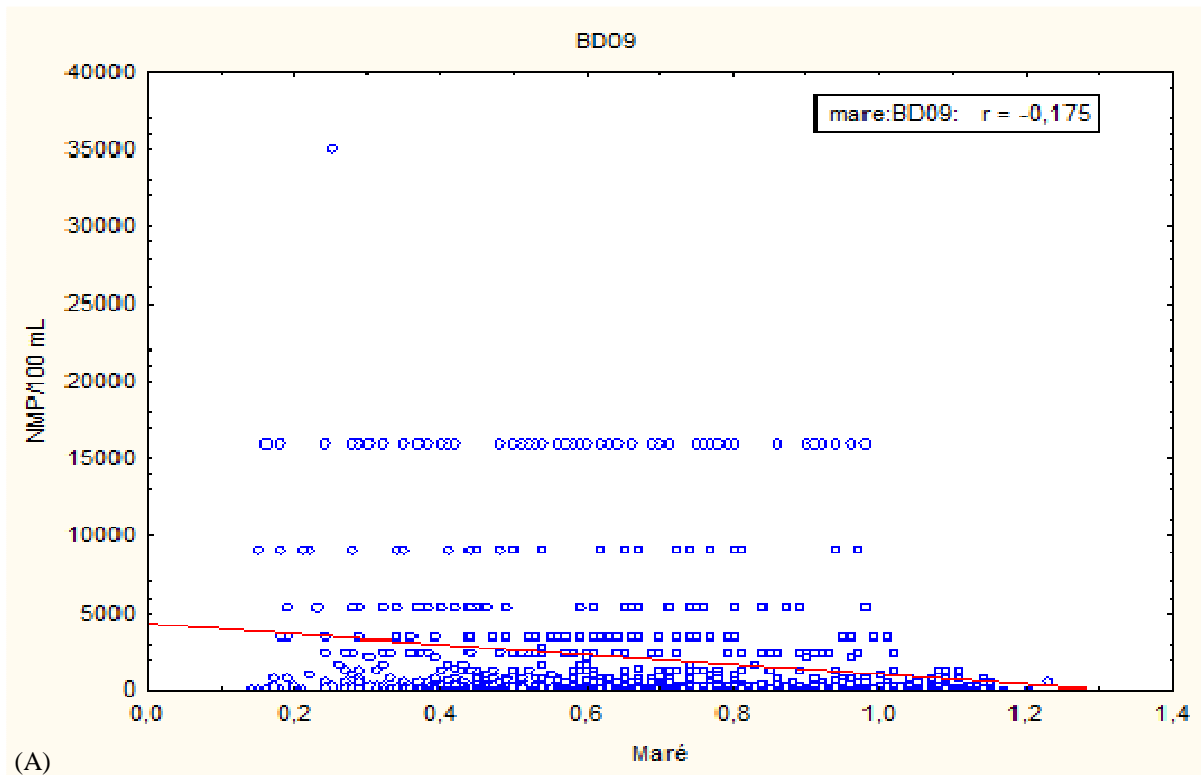
Fonte: A autora, 2022.

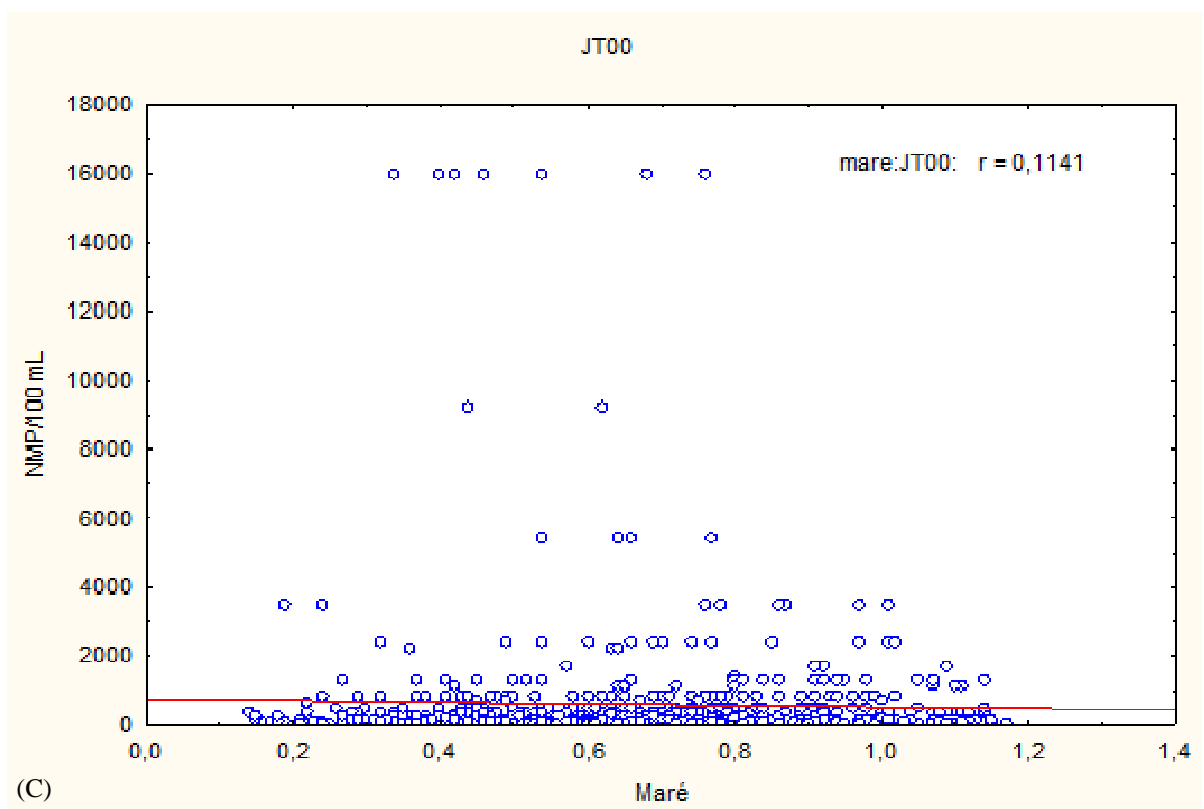
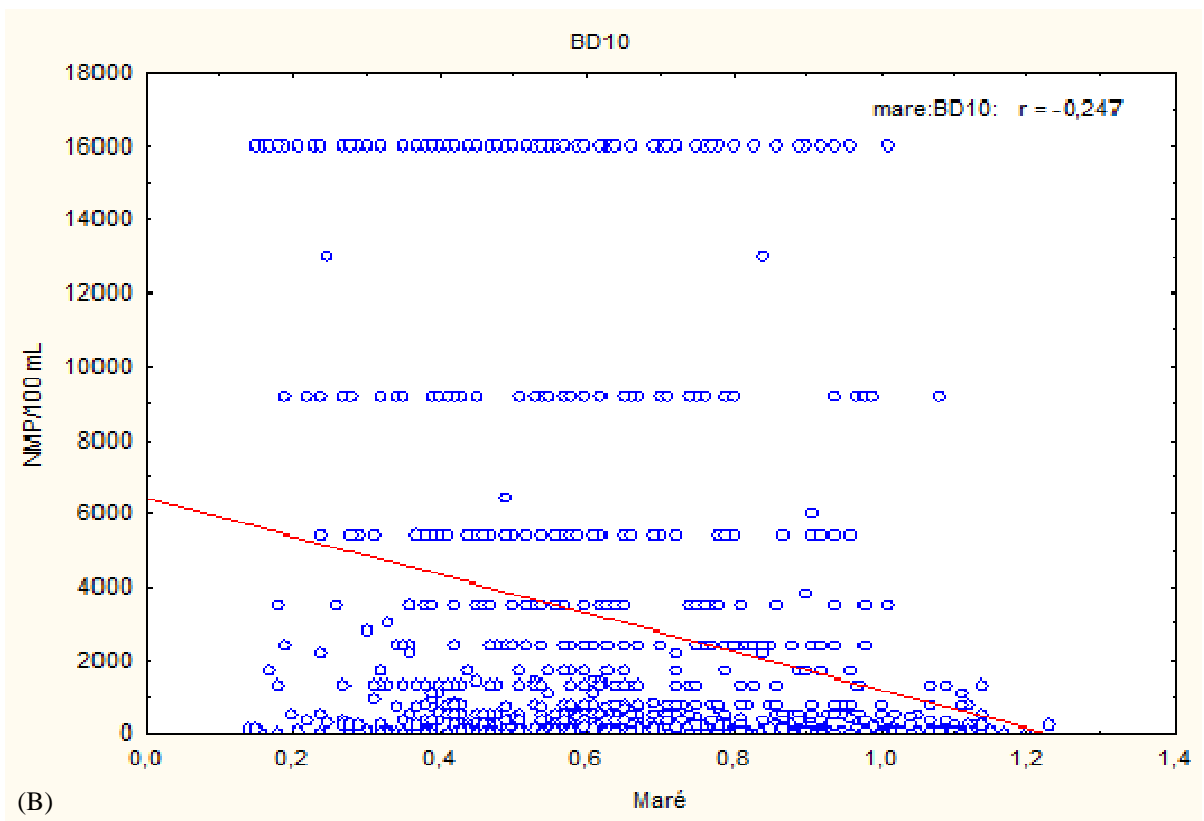
Os testes indicaram que os dados variam significativamente do padrão esperado, ou seja, nenhum ponto segue uma distribuição normal ($p < 0,05$).

4.5.2 Teste de correlação de Spearman

Foi realizado o teste de correlação de Spearman (Gráfico 9) entre a altura da maré na hora da coleta de colimetria e as concentrações de coliformes termotolerantes dos pontos de monitoramento de balneabilidade BD03, BD05, BD07, BD09, BD10 e JT00. Houve correlação significativa entre essas variáveis somente nos pontos BD09 ($r = -0,175$), BD10 ($r = -0,247$) e JT00 ($r = 0,114$). Não houve correlação significativa nos demais pontos.

Gráfico 8 - Correlação da série temporal entre as variáveis altura de maré, em m e colimetria, em NMP/100mL, dos pontos de monitoramento BD09, BD10 e JT00 do INEA na praia da Barra da Tijuca





Legenda: (A) ponto BD09, (B) ponto BD10 e (C) ponto JT00.

Fonte: A autora, 2020.

Embora haja correlação, seja significativo, o valor de r é baixo e não há uma clara evidência devido ao alto valor do número das amostras.

A tabela 12 apresenta a correlação entre as variáveis coliformes termotolerantes e precipitação acumulada nas 24, 48 e 72h antecedentes à coleta das amostras. As tabelas com os índices de correlação encontra-se no apêndice.

Tabela 12 – Correlação de Spearman entre os coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) e a precipitação (mm) acumulada nas 24hs, 48hs e 72hs anteriores a data da coleta

	24hs	48hs	72hs
BD05			x
BD07			x
BD09		x	
BD10			x
JT00	x	x	

Fonte: A autora, 2023.

Os resultados denotam que diante da incidência de chuvas na bacia de contribuição, a qualidade da água das praias da Barra da Tijuca tende a ser afetada, pois apresentou maiores coeficientes de correlação significativa com o período chuvoso. O ponto BD05 apresentou maior coeficiente de correlação ($r = 0,308$) no período chuvoso com a estação pluviométrica Grotta Funda, seguido dos pontos BD10 ($r = 0,303$) no período chuvoso com a estação Barrinha e JT00 ($r = 0,254$) no período seco com a estação Grajaú/Jacarepaguá. O ponto BD03 não houve correlação, por isso não foi mostrado no estudo.

5 DISCUSSÕES

O sistema lagunar de Jacarepaguá é formado pelas lagoas da Tijuca, de Jacarepaguá, Marapendi e de Camorim. A bacia hidrográfica deste sistema é composta por vários rios que descem as vertentes dessas montanhas (maciço da Tijuca e da Pedra Branca) e deságuam nas lagoas, que por sua vez se ligam ao mar através do canal da Joatinga, permitindo a troca de água com o mar.

A colimetria dos pontos BD09, BD10 e JT00 é influenciada pela maré, que teve correlação significativa ($r = -0,175$), ($r = -0,247$) e ($r = 0,114$), respectivamente aos pontos; pela ação do vento e diretamente pela precipitação que também teve correlação significativa ($H = 135,085$). O regime de micromaré concentra os efluentes provindos do complexo lagunar de Jacarepaguá que reflete um aumento colimétrico nos pontos BD10 e BD09.

A qualidade da água das praias da Barra da Tijuca nos pontos de coleta JT00, BD09 e BD10 é fortemente influenciada pela descarga de efluentes provindos do complexo lagunar de Jacarepaguá, através da desembocadura do canal da Joatinga, que permite a troca de água com o mar, conforme pode-se observar na Figura 6, resultando em alto valor colimétrico.

Figura 6 – Conexão da lagoa da Tijuca com a praia da Barra da Tijuca através do canal da Joatinga e sua proximidade com os pontos de monitoramento de balneabilidade BD09, BD10 e JT00 do INEA



Fonte: A autora, 2020.

Santos (2017) relatou que neste canal apresenta uma maré progressiva, resultando no aumento de velocidade em momentos de maré vazante. Souza (2016) notou que o canal da Joatinga possui um alto fluxo de água salina: na maré de sizígia, o canal é mais controlado pela ação da maré do que pelos eventos na bacia hidrográfica. Na maré de quadratura, é mais suscetível aos fatores externos, como a sazonalidade e fatores meteorológicos. A descarga nas lagoas e no canal, e o escoamento superficial ocasionam as altas concentrações de nutrientes, que possuem dinâmica influenciada pelas condições meteorológicas gerando NH_4^+ , NO_2^- , e NO_3^- , e remoção de PO_4^{3-} .

O vento predominante de leste para oeste na Barra da Tijuca contribui para dispersão colimétrica do ponto BD10 para o ponto BD09; que apresentaram maior colimetria devido sua proximidade ao canal. Masterplan (2013) e Santos (2014) também observaram esse aumento colimétrico nestes pontos; o canal da Joatinga desempenha um papel importante na comunicação entre as lagoas da Tijuca e Marapendi e o mar, que são áreas fortemente influenciadas pela ação da maré, carreando material particulado por todo o sistema. A cada ciclo de maré, flui uma grande quantidade de água pelo canal da Joatinga, chegando à praia adjacente, alterando a sua balneabilidade.

A água da chuva se acumula por um curto período na bacia hidrográfica de Jacarepaguá, devido ao terreno íngreme das colinas que limita a bacia e as pequenas planícies ao redor das lagoas, tendo um rápido deflúvio. A passagem das enchentes por pequenos rios afluentes da planície é de curta duração, antes de a água ser despejada no mar, as lagoas atuam como reservatórios de prevenção de enchentes (SANTOS, 2017).

Davino (2013) fez o rastreamento de fontes de contaminação fecal na praia da Jatiúca (Maceió), que resultou em correlação significativa entre as médias geométricas de coliformes termotolerantes e a amplitude de maré, observando alta colimetria em maré alta, indicando a contaminação das águas subterrâneas por esgoto alcançando a região da praia.

Contudo na análise da balneabilidade da ilha de Santa Catarina feita por Burigo (2020) constatou que o vento e a maré afetam a qualidade das águas das praias do oeste, na maré baixa e com ventos de menor intensidade foi observado maior aporte colimétrico. Nas marés altas e com os ventos de maior intensidade movendo para fora da baía, a colimetria foi menor.

Foi observado que mesmo com o volume pluviométrico baixo ou ausente, a colimetria de alguns pontos permaneceu alta, podendo ser o reflexo da drenagem das lagoas para a praia através do canal da Joatinga. No estudo de Santos (2017) constatou que as correntes litorâneas advindas de leste, há um aumento da velocidade dentro do canal da Joatinga, pois o

direcionamento do guia-correntes para leste permite a entrada destas águas no complexo lagunar de Jacarepaguá. Quando estas correntes estão de oeste para leste observa uma menor velocidade de entrada de água dentro do canal.

O quebra-mar aumenta as ondas de sudeste, resultando no aumento da intensidade das correntes na entrada do canal da Joatinga (MASTERPLAN, 2013). As ondas de maré e o vento, forçantes hidrodinâmicas, fazem com que este canal possua uma boa taxa de renovação (PINTO et al, 2019).

Masteplan (2015) também observou a má qualidade da água das lagoas e identificou que devido ao crescimento urbano, sem um saneamento básico adequado proporcional resultou na deterioração das lagoas e dos rios, resultando no aumento colimétrico na praia.

Chalegre-Touceira et al. (2018) e Feitosa (2017) relataram que os efluentes provindos do emissário da Barra não causam alteração na qualidade da água da praia da Barra da Tijuca; também observaram que o aumento colimétrico do quebra-mar (ponto BD10) e da praia da Joatinga (JT00) é decorrente da conexão com sistema de rios, canais, e redes de drenagem poluídas, principalmente o canal da Joatinga, que vertem na costa, conectados ao complexo lagunar de Jacarepaguá; que comporta esgoto não tratado produzido na bacia da Baixada de Jacarepaguá. E a precipitação contribui para o aumento do escoamento urbano. Que foi mostrado na análise de correlação de Spearman que o ponto de monitoramento de balneabilidade JT00 teve correlação significativa ($r = 0,254$) com a pluviosidade, na estação pluviométrica Grajaú/Jacarepaguá sendo o ponto que sofre variação em função da precipitação e de maré enchente.

O objetivo da técnica rain threshold level (nível de limiar de chuva) é identificar um nível limiar de chuva na qual os níveis colimétricos provavelmente excederão ao padrão de qualidade da água. Isso é alcançado na relação estatística entre eventos pluviométricos e o indicador microbiológico (EPA, 2010). Neste estudo a técnica não foi eficaz porque o aumento da colimetria nas praias é proveniente da contaminação por efluentes no sistema lagunar de Jacarepaguá que descarga nas praias. A técnica só seria eficaz se o aumento da colimetria fosse devido a carga difusa proveniente da precipitação.

Vale ressaltar, que até 2010 as praias da Barra da Tijuca eram monitoradas duas vezes na semana e o INEA adotava apenas o indicador microbiológico coliformes termotolerantes. Em 2011, por questões de alteração de orçamento e o avanço nas metodologias de análise, adotou-se também o *enterococos* como indicador microbiológico. No final do ano de 2016, por problemas com alteração de orçamento, voltou a usar somente os coliformes termotolerantes como indicador microbiológico. O CONAMA recomenda para a análise das

águas salgadas utilizar preferencialmente o *enterococos* como indicador microbiológico, mas o coliforme tolerante também pode ser aceito.

Os valores dos indicadores microbiológicos em outros países são mais restritivos em relação ao da classificação feita pelo CONAMA no Brasil, conforme observado na Tabela 13.

Tabela 13 – Comparação dos parâmetros dos indicadores bacteriológicos ent. (enterococos), E. coli (Escherichia coli), col. ter. (coliformes termotolerantes) de balneabilidade em águas marinhas

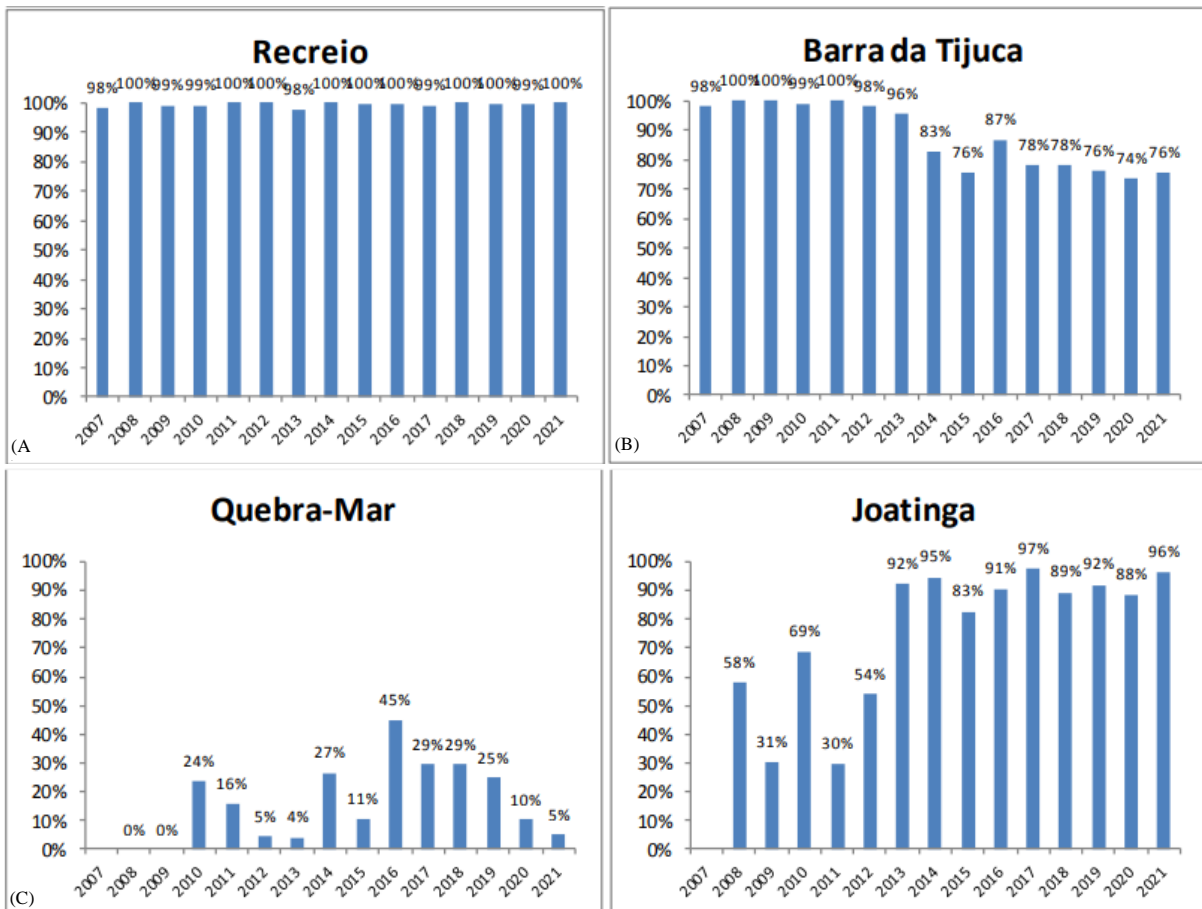
País/Org	Indicador	Formato e valores de referência	Referências
Brasil CONAMA	Col. Term. (NMP/100 mL)	Excelente \leq 250/100 mL Muito Boa \leq 500/100 mL Satisfatória \leq 1000/100 mL Imprópria $>$ 2500/100 MI	Res. CONAMA nº 274/2000
	Ent. (NMP/100 mL)	Excelente \leq 25/100 mL Muito Boa \leq 50/100 mL Satisfatória \leq 100/100 mL Imprópria $>$ 400/100 mL	
U.S. EPA	Ent. (UFC/100 mL)	Concentração média geométrica: 35/100 mL Concentração máxima de amostra única: 104/100 mL	EPA, 2002
WHO	Ent. (UFC/100 mL)	Percentil 95/100 mL: A: \leq 40/100 mL B: 41-200/100 mL C: 201-500/100 mL D: $>$ 500/100 mL	WHO, 2003
Austrália	Ent. (UFC/100 mL)	Percentil 95/100 mL: A: \leq 40/100 mL B: 41-200/100 mL C: 201-500/100 mL D: $>$ 500/100 mL	NHMRC, 2008
União Europeia	Ent. (UFC/100 mL)	Percentil 95/100 mL: Excelente: 100/100 mL Bom: 200/100 mL	EEA, 2006
	E. coli (UFC/100 mL)	Percentil 90/100 mL: Suficiente: 185/100 mL Percentil 95/100 mL: Excelente: 250/100 mL Bom 500/100 mL Percentil 90/100 mL: Suficiente: 500/100 mL	
Health Canada	Ent. (UFC/100 mL)	Concentração média geométrica \leq 35 / 100 mL Concentração máxima de amostra única: \leq 70/100mL	Health Canada (2013)
	E. coli (UFC/100 mL)	Concentração média geométrica \leq 200/100 mL Concentração máxima de amostra única \leq 400/mL	

Fonte: adaptado pela autora, 2020.

O gráfico 9 mostra o boletim de classificação anual das praias divulgado pelo INEA (INEA, 2022). É possível observar que a praia do Recreio (BD03) possui a melhor qualidade de água, por esse motivo que os pontos BD00, BD02 e BD03 não foram mais explorados neste estudo. No Gráfico 9, a letra (B), a praia da Barra da Tijuca compreende os pontos BD05, BD07 e BD09, sua classificação é obtida através do percentual da densidade de col. termotolerantes; a partir de 2014 a praia vem apresentando uma piora na qualidade da água, em 2020 ficou 26% do tempo como imprópria.

Os pontos BD10 e JT00 também pertencem à Barra da Tijuca, mas são analisados separadamente pelo INEA. A estação de monitoramento no quebra-mar (BD10) possui a pior balneabilidade ficando mais de 50% do tempo como imprópria, nos anos de 2008 a 2021. Houve uma melhoria na balneabilidade da praia da Joatinga (JT00) a partir de 2013, conseguindo permanecer mais de 80% do tempo como própria nos anos de 2013 a 2021.

Gráfico 9 – Percentual de boletins próprios para recreação de contato primário nas estações de monitoramento do INEA entre os anos de 2007 a 2021. Gráfico elaborado pelo INEA



Legenda: (A) percentual de boletins próprios das praias do Recreio (BD00, BD02, BD03), (B) percentual de boletins próprios das praias da Barra da Tijuca (BD05, BD07, BD09), (C) percentual de boletins próprios da praia do Quebra-Mar (BD10) e (D) percentual de boletins próprios da praia da Joatinga (JT00).

Fonte: INEA, 2022.

Existem vários relatos históricos de contaminação no complexo lagunar de Jacarepaguá, por lançamento de esgoto sem tratamento, contribuindo para o aumento colimétrico das praias da Barra da Tijuca, consoante com as figuras 7 a 14 que trazem imagens da pluma de dispersão do canal da Joatinga na praia da Barra da Tijuca.

Figura 7 – Evento ocorrido em 22 de junho de 2015, presença de esgoto na praia da Barra da Tijuca e Ilhas Tijucas, proveniente do canal da Joatinga. Análise colimétrica do dia foi de 2400 col. term. (NMP/100mL) no ponto BD10



Legenda (A), (B) e (C) extensa contaminação por esgoto na praia da Barra da Tijuca.
Fonte: UOL, 2015.

Figura 8 – Evento ocorrido em 5 de agosto 2020, mancha escura apareceu na praia da Barra da Tijuca devido a variação das marés. Análise colimétrica do dia foi de 3500 col. term. (NMP/100mL) no ponto BD10



Fonte: R7, 2020.

Figura 9 – Evento ocorrido em 26 de outubro 2020 na praia dos Amores (Quebra-mar), após análise da água da praia da Barra da Tijuca constatou presença de esgoto, cianobactérias em maré baixa de sizígia. Análise colimétrica do dia foi de 3500 col. term. (NMP/100mL) no ponto BD10



Fonte: Portal Tratamento de água, 2020.

Figura 10 – Evento ocorrido em 5 de novembro de 2020, despejo irregular de esgoto direto nas lagoas da Barra da Tijuca por um condomínio local. Análise colimétrica do dia foi de 20 col. term. (NMP/100mL) no ponto BD10



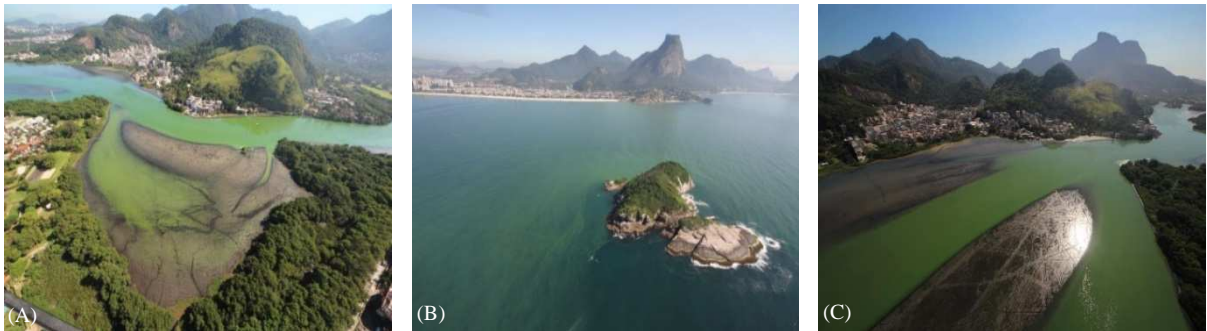
Fonte: Band News Fm Rio, 2020.

Figura 11 - Evento ocorrido no dia 6 de dezembro de 2020, contaminação de esgoto e floração de cianobactérias no complexo lagunar da baixada de Jacarepaguá. Análise colimétrica do dia 07 dez. foi de 780 col. term. (NMP/100mL) no ponto BD10



Fonte: CNN Brasil, 2020.

Figura 12 – Evento ocorrido em 16 de janeiro de 2021 floração de cianobactérias na altura do quebra-mar e Pepê, devido ao lançamento de esgoto nas lagoas de Jacarepaguá Análise colimétrica do dia 18 de jan. foi de 18 col. term. (NMP/100mL) no ponto BD10



Legenda: (A), (B) e (C) extensa contaminação por esgoto e floração de cianobactérias na praia da Barra da Tijuca.

Fonte: Lu Lacerda, 2021.

Figura 13 - Evento ocorrido no 25 de julho de 2021, gigogas no complexo lagunar devido lançamento de esgoto. Análise colimétrica do dia 22 de julho foi de 16000 col. term. (NMP/100mL) no ponto BD10 e no dia 26 de julho 170 col term (NMP/100mL)



Fonte: BAND UOL, 2021.

Figura 14 – Evento ocorrido no 25 de julho de 2021, gigogas invadem praia na Barra da Tijuca Análise colimétrica do dia 22 de julho foi de 16000 col. term. (NMP/100mL) no ponto BD10 e no dia 26 de julho 170 col. term. (NMP/100mL) no ponto BD10



Fonte: BAND UOL, 2022

Além da impropriedade da balneabilidade a contaminação por esgoto contribui para afloração das gigogas, que são plantas aquáticas, flutuantes, que formam um tapete na superfície da água reduzindo os níveis de oxigenação, afetando as vidas marinhas; suas raízes filtram a matéria orgânica. São naturais do sistema lagunar de Jacarepaguá que devido a presença de esgotos, ocorre sua proliferação, indicando a poluição das águas. Sua presença indica o aumento da poluição na região (BAND UOL, 2022).

CONCLUSÕES

Os resultados denotam que diante da incidência de pluviosidade na bacia de contribuição, bacia de Jacarepaguá, a qualidade da água das praias da Barra da Tijuca tende a ser afetada, pois apresentou maiores coeficientes de correlação com o período chuvoso.

As análises estatísticas apresentaram diferenças significativas entre a pluviosidade e a colimetria, correlação significativa entre as variáveis altura de maré e colimetria. Diante da incidência de chuvas na bacia de drenagem de Jacarepaguá a balneabilidade das praias do quebra mar e da Joatinga são influenciadas diretamente.

Foi observado altas densidades de coliformes termotolerantes nos pontos BD09, BD10 e JT00 na maré de enchente.

Inferimos que a impropriedade de balneabilidade das praias da Barra da Tijuca nos locais de análise colimétrica são decorrentes da proximidade com a desembocadura do canal da Joatinga que drena efluentes do sistema lagunar de Jacarepaguá.

A praia do Recreio destaca-se por melhor condição ambiental devido não sofrer ação antrópica e por estar mais distante do canal da Joatinga, visto aqui como a principal fonte de poluentes para as águas das praias da Barra da Tijuca.

REFERÊNCIAS

BAND NEWS FM RIO. Condomínios da Barra entram na mira do INEA por poluição de lagoas. 2020. Disponível em: <<https://bandnewsfmrio.com.br/editoriais-detalhes/condominios-da-barra-entram-na-mira-do-inea-p/>>. Acesso em: 10 abr. 2021.

BAND UOL. Imagens aéreas flagram poluição nas lagoas de Jacarepaguá, no Rio. 2021. Disponível em: <<https://www.band.uol.com.br/noticias/imagens-aereas-flagram-poluicao-nas-lagoas-de-jacarepagua-no-rio-16361773>>. Acesso em: 10 abr. 2021.

BAND UOL. Gigogas invadem praia na Barra da Tijuca. 2022. Disponível em: <<https://www.band.uol.com.br/rio-de-janeiro/noticias/gigogas-invadem-praia-na-barra-da-tijuca-16506967>>. Acesso em: 30 ago. 2022.

BERG, C. H.; GUERCIO, M. J.; ULBRICHT, V. R. Indicadores de balneabilidade: A situação brasileira e as recomendações da World Health Organization. *International Journal of Knowledge Engineering and Management*, Florianópolis, v. 2, n. 3, p. 83 - 101, 2013.

BURIGO, M. C. Análise da balneabilidade na região sul da ilha de Santa Catarina: influência das variáveis meteorológicas. 2020. 127f. Dissertação (Mestrado em Clima e Ambiente) - Mestrado em Clima e Ambiente, Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.

CHALEGRE-TOUCEIRA, M. C. et al. Water Quality Evolution of Rio de Janeiro City Beaches. *The Electronic Journal of Chemistry journal*, Mato Grosso do Sul, v. 10, n. 4, p. 286-298, June, 2018.

CNN BRASIL. RJ: mancha de poluição está a 4km da praia da Barra da Tijuca. 2020. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/rj-mancha-de-poluicao-esta-a-4km-da-praia-da-barra-da-tijuca/>>. Acesso em: 10 abr. 2021.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESP). Relatório de qualidade das praias no estado de São Paulo 2017. São Paulo, 2018. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/praias/wp-content/uploads/sites/31/2018/06/Relat%C3%B3rio-de-Qualidade-das-Paraias-Litor%C3%A2neas-do-Estado-de-S%C3%A3o-Paulo-2017.pdf>>. Acesso em: 26 jan. 2020.

Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 274, de 29 de novembro de 2000. *Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras*, Brasília, DF.

Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. *Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências*, Brasília, DF.

DAVINO, A. M. C. *Rastreamento das fontes de contaminação fecal na praia da Jatiúca, Maceió – Al*. 2013. 86F. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2013.

Department for Environment, food and rural (DEFRA). *The bathing water regulations 2013*. United Kingdom, 2013. Disponível em: <<http://www.legislation.gov.uk/ukxi/2013/1675/made>>. Acesso em: 6 jan. 2020.

Environmental Protection Agency (EPA). *Assessment of the extra-enteric behavior of fecal indicator organisms in ambient waters*. Washington, 2010. Disponível em: <<https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-11/documents/assessment-fecal-indicator-ambient-waters.pdf>>. Acesso em: 26 jan. 2020.

Environmental Protection Agency (EPA). *National beach guidance and required performance criteria for grants*. Washington, 2014. Disponível em: <<https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-12/documents/national-beach-guidance-2014-report.pdf>>. Acesso em: 26 jan. 2020.

Environmental Protection Agency (EPA). *Predictive tools for beach notification volume I: review and technical protocol*. 2010. Disponível em: <<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P1009IZT.PDF?Dockey=P1009IZT.PDF>>. Acesso em: 19 dez. 2019.

European Environment Agency (EEA). *Directive 2006/7/EC Of The European Parliament And Of The Council*. 2006. Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/oj/direct-access.html>>. Acesso em: 29 jan. 2020.

FEITOSA, R. C. Emissários submarinos de esgotos como alternativa à minimização de riscos à saúde humana e ambiental. *Ciência & Saúde Coletiva*, Rio de Janeiro, v. 22, n. 6, p. 2037 - 2048, 2017.

Fundação Nacional de Saúde (FUNASA). *Manual de saneamento*. Brasília, 2019. Disponível em: <<http://www.funasa.gov.br/biblioteca-eletronica/publicacoes/engenharia-de-saude-publica>>. Acesso em: 20 jan. 2020.

Health Canada. *Guidelines for Canadian Recreational Water Quality*. 3th ed. Ottawa, 2012. (Catalogue No H129-15/2012E). Disponível em: <<http://www.healthcanada.gc.ca/>>. Acesso em: 20 out. 2019.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Panorama da cidade do Rio de Janeiro*. Brasília, 2018. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/rio-de-janeiro/panorama>>. Acesso em: 8 jan. 2020.

Instituto Estadual do Ambiente (INEA). Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/>>. Acesso em: 10 out. 2019

Lu Lacerda. Meio ambiente, por Mario Moscatelli: “O Rio poderia ser chamado, internacionalmente, de ‘Bostolândia’”. 2021. Disponível em: <<https://lulacerda.ig.com.br/meio-ambiente-por-mario-moscatelli-o-rio-poderia-ser-chamado-internacionalmente-de-bostolandia/>>. Acesso em: 10 abr. 2021.

MASTERPLAN. Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) das obras de prolongamento do molhe existente na entrada do Canal da Joatinga e as melhorias da circulação hídrica do Complexo Lagunar de Jacarepaguá: Caracterização do empreendimento. Rio de Janeiro, 2015.

38 p. Disponível em:

<http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwew/mtew/~edisp/inea0110414.pdf>. Acesso em: 28 set. 2020.

MASTERPLAN. Relatório ambiental simplificado das obras de recuperação ambiental do complexo Lagunar de Jacarepaguá: Diagnóstico Ambiental da Área de Influência. Rio de Janeiro, 2013. 450 p. Disponível em:

<http://eadterrazul.org.br/pdf/Documentos/RAS%20DRAGAGEM/3.%20DIAGNOSTICO%20AMBIENTAL.pdf>. Acesso em: 28 set. 2020.

MEDEIROS, J. R. *Influência das águas da Bacia hidrográfica Pirangi na balneabilidade das praias de Pirangi, nos municípios de Nísia Floresta e Parnamirim - Rio Grande do Norte, Brasil*. 2009. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

National Health and medical Research Council (NHMRC). Guidelines for managing risks in recreational water. Australian Government, 2008. Disponível em:

<<https://www.waterquality.gov.au/>>. Acesso em: 29 jan. 2020.

PELEJA, J. R. P. *Estudo das condições de balneabilidade das praias de Alter do Chão*. Santarém: UFOP, Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas Curso de Gestão Ambiental, 2015. 56 p. Relatório Técnico Científico.

PIMENTEL, L. et al. Caracterização do regime de vento em superfície na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, RJ, v. 19, n. 2, p. 121-132, 2014.

PINTO, L. et al. Estimativa do Tempo de Renovação da Água do Complexo Lagunar da Baixada de Jacarepaguá Através de Modelagem Numérica. *Instituto de Geociências - UFRJ*, Rio de Janeiro, RJ, v. 42, n. 3, p. 289-298, 2019.

PORTAL TRATAMENTO DE ÁGUA. Análise da qualidade da água na Lagoa da Tijuca, no Canal da Joatinga e no Quebra-Mar da Barra atestou a grande presença de toxinas que oferecem riscos aos banhistas, 2020. Disponível em:

<<https://tratamentodeagua.com.br/analise-em-agua-barra-da-tijuca/>>. Acesso em: 10 abr. 2021.

R7. Mancha negra aparece na praia da Barra da Tijuca . 2020. Disponível em:

<<https://noticias.r7.com/rio-de-janeiro/mancha-negra-aparece-na-praia-da-barra-da-tijuca-05082020>> Acesso em: 10 abr. 2021.

RIO DE JANEIRO (RJ). Secretaria Especial de Turismo. Características Geográficas. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br/web/riotur/caracteristicas-geograficas>>. Acesso em: 24 jan. 2020.

RIO DE JANEIRO (RJ). Secretaria Municipal de Saneamento e Recursos Hídricos. Plano Municipal de Saneamento Básico da Cidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em:

<http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/4282910/4152311/PMSB_DRENAGEMEMANEJO_DEAGUASPLUVIAIS.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2020.

SANTOS, M. R. *Evolução temporal da eutrofização no complexo lagunar de Jacarepaguá*. 2014. 126f. Monografia (Bacharel em Engenharia Ambiental) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

SANTOS, A. L. F. *Efeitos de obras hidráulicas na renovação das águas do sistema lagunar de Jacarepaguá e na balneabilidade das praias adjacentes ao canal da Joatinga*. 2017. 157f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

SOUZA, H. A. S. *Variáveis biogeoquímicas controladas pela maré em um estuário urbano: contraste entre condições de sizígia e quadratura*. 2016. 189f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

TAVARES, T. M.; CARDOSO, D. D. P.; BRITO, W. M. E. D. Vírus entéricos veiculados por água: aspectos microbiológicos e de controle de qualidade da água. *Revista de patologia tropical*, v. 34, n. 2, p. 85-104, maio 2005.

UOL. Atletas vão competir no Rio em águas com vírus causadores de doenças, diz Associated Press, 2015. Disponível em: <<https://www.uol.com.br/esporte/ultimas-noticias/reuters/2015/07/30/atletas-vaio-competir-no-rio-em-aguas-com-virus-causadores-de-doencas-diz-associated-press.htm?cpVersion=instant-article>>. Acesso em: 10 abr. 2021.

World Health Organization (WHO). *Guidelines for safe recreational environments volume 1: coastal and fresh Waters*. Geneva, 2003. Disponível em: <<https://extranet.who.int/iris/restricted/handle/10665/70226>>. Acesso em: 14 dez. 2019.

World Health Organization (WHO). *Water recreation and disease - plausibility of associated infections: acute effects, sequelae and mortality*. Londres, 2005. Disponível em: <https://www.who.int/water_sanitation_health/bathing/recreadis.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2019.

APÊNDICE – Correlação de Spearman

As tabelas 14 a 21 apresentam a correlação entre as variáveis coliformes termotolerantes e precipitação das estações de monitoramento pluviométrico da bacia de Jacarepaguá durante 24, 48 e 72h antecedentes à coleta das amostras, nos períodos seco (maio a novembro) e chuvoso (dezembro a abril).

Tabela 14 – Correlação de Spearman entre os dados de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) e a precipitação (mm) da estação pluviométrica do Alto da Boa Vista, durante o período de 2010 a 2019, os valores em vermelho mostram correlação significativa a $p < 0,05$

	Coeficiente de Correlação de Spearman (r) Coliformes Termotolerantes 2010 – 2019					
	24hs		48hs		72hs	
	r	P	r	P	r	P
Barra da Tijuca (BD05)						
Período Seco	-0,00423	0,943	0,000845	0,987	-0,0243	0,633
Período Chuvoso	0,196	0,0140	0,141	0,0485	0,134	0,0448
Barra da Tijuca (BD07)						
Período Seco	0,0213	0,721	0,0943	0,0795	0,0585	0,249
Período Chuvoso	0,199	0,0124	0,111	0,119	0,105	0,116
Barra da Tijuca (BD09)						
Período Seco	0,0799	0,179	0,129	0,0159	0,111	0,0286
Período Chuvoso	0,141	0,0785	0,141	0,0476	0,172	0,00991
Barra da Tijuca (BD10)						
Período Seco	0,164	0,00568	0,199	0,000202	0,169	0,000860
Período Chuvoso	0,214	0,00708	0,224	0,00158	0,222	0,000800
Joatinga (JT00)						
Período Seco	0,0799	0,290	0,0221	0,743	-0,0170	0,788
Período Chuvoso	0,0353	0,703	-0,0396	0,625	-0,0129	0,865

Fonte: A autora, 2020.

Tabela 15 – Correlação de Spearman entre os dados de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) e a precipitação (mm) da estação pluviométrica da Barrinha, durante o período de 2010 a 2019, os valores em vermelho mostram correlação significativa a $p < 0,05$

	Coeficiente de Correlação de Spearman (r) Coliformes Termotolerantes 2010 - 2019					
	24hs		48hs		72hs	
	r	P	r	P	r	P
Barra da Tijuca (BD05)						
Período Seco	0,0503	0,397	0,0723	0,183	0,0767	0,136
Período Chuvoso	0,150	0,0643	0,123	0,0904	0,139	0,0351
Barra da Tijuca (BD07)						
Período Seco	0,0522	0,379	0,150	0,00557	0,138	0,00696
Período Chuvoso	0,190	0,0189	0,123	0,0887	0,115	0,0830
Barra da Tijuca (BD09)						
Período Seco	0,0966	0,103	0,115	0,0337	0,144	0,00495
Período Chuvoso	0,177	0,0290	0,105	0,148	0,159	0,0161
Barra da Tijuca (BD10)						
Período Seco	0,135	0,0221	0,140	0,00952	0,162	0,00160
Período Chuvoso	0,262	0,00113	0,243	0,000709	0,303	0,00000323
Joatinga (JT00)						
Período Seco	0,161	0,0364	0,130	0,0610	0,110	0,0901
Período Chuvoso	0,0875	0,352	0,00665	0,936	-0,0114	0,878

Fonte: A autora, 2020.

Tabela 16 – Correlação de Spearman entre os dados de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) e a precipitação (mm) da estação pluviométrica da Cidade de Deus, durante o período de 2010 a 2019, os valores em vermelho mostram correlação significativa a $p < 0,05$

Coefficiente de Correlação de Pearson (r) Coliformes Termotolerantes 2010 - 2019						
	24hs		48hs		72hs	
	r	P	r	P	r	P
Barra da Tijuca (BD05)						
Período Seco	-0,0613	0,503	-0,0996	0,166	-0,133	0,0342
Período Chuvoso	0,180	0,0793	0,0740	0,388	0,206	0,00453
Barra da Tijuca (BD07)						
Período Seco	-0,175	0,0555	-0,0900	0,211	-0,0775	0,218
Período Chuvoso	0,188	0,253	0,0821	0,338	0,191	0,00860
Barra da Tijuca (BD09)						
Período Seco	-0,0631	0,491	-0,110	0,127	-0,0641	0,309
Período Chuvoso	-0,0684	0,507	0,0219	0,799	0,0302	0,680
Barra da Tijuca (BD10)						
Período Seco	0,0117	0,899	-0,00463	0,949	-0,0186	0,767
Período Chuvoso	0,128	0,212	0,166	0,0511	0,241	0,000906
Joatinga (JT00)						
Período Seco	0,107	0,414	0,109	0,252	0,0509	0,529
Período Chuvoso	0,194	0,121	0,165	0,0982	0,140	0,0965

Fonte: A autora, 2020.

Tabela 17 – Correlação de Spearman entre os dados de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) e a precipitação (mm) da estação pluviométrica Grajaú/ Jacarepaguá, durante o período de 2010 a 2019, os valores em vermelho mostram correlação significativa a $p < 0,05$

Coefficiente de Correlação de Pearson (r) Coliformes Termotolerantes 2010 - 2019						
	24hs		48hs		72hs	
	r	P	r	P	r	P
Barra da Tijuca (BD05)						
Período Seco	-0,0123	0,890	-0,113	0,108	-0,0325	0,599
Período Chuvoso	0,128	0,226	0,126	0,143	0,210	0,00434
Barra da Tijuca (BD07)						
Período Seco	-0,216	0,0143	-0,161	0,0213	-0,0840	0,173
Período Chuvoso	0,0000910	0,999	0,107	0,214	0,158	0,0324
Barra da Tijuca (BD09)						
Período Seco	-0,192	0,0298	-0,189	0,00675	-0,0605	0,327
Período Chuvoso	-0,117	0,267	0,0147	0,865	0,00618	0,934
Barra da Tijuca (BD10)						
Período Seco	-0,0995	0,263	-0,110	0,118	-0,00862	0,889
Período Chuvoso	0,0314	0,767	0,0752	0,382	0,123	0,0958
Joatinga (JT00)						
Período Seco	0,254	0,0415	0,106	0,249	0,0616	0,440
Período Chuvoso	-0,0545	0,668	0,00508	0,959	-0,0482	0,569

Fonte: A autora, 2020.

Tabela 18 – Correlação de Spearman entre os dados de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) e a precipitação (mm) da estação pluviométrica da Grota Funda, durante o período de 2010 a 2019, os valores em vermelho mostram correlação significativa a $p < 0,05$

Coefficiente de Correlação de Pearson (r) Coliformes Termotolerantes 2010 - 2019						
	24hs		48hs		72hs	
	r	P	r	P	r	P
Barra da Tijuca (BD05)						
Período Seco	-0,0921	0,277	-0,0700	0,249	0,00412	0,946
Período Chuvoso	0,205	0,0460	0,220	0,00642	0,308	0,00000972
Barra da Tijuca (BD07)						
Período Seco	-0,184	0,0292	-0,107	0,0789	-0,0123	0,840
Período Chuvoso	0,0295	0,776	0,133	0,101	0,248	0,000410
Barra da Tijuca (BD09)						
Período Seco	-0,155	0,0665	-0,123	0,0418	-0,0115	0,850
Período Chuvoso	0,0431	0,678	0,162	0,0460	0,146	0,0393
Barra da Tijuca (BD10)						
Período Seco	-0,0584	0,491	-0,0307	0,613	0,00816	0,893
Período Chuvoso	0,198	0,0546	0,280	0,000476	0,292	0,0000287
Joatinga (JT00)						
Período Seco	0,161	0,175	0,158	0,0797	0,125	0,109
Período Chuvoso	0,135	0,298	0,237	0,0120	0,112	0,167

Fonte: A autora, 2020.

Tabela 19 – Correlação de Spearman entre os dados de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) e a precipitação (mm) da estação pluviométrica do Recreio, durante o período de 2010 a 2019, os valores em vermelho mostram correlação significativa a $p < 0,05$

Coefficiente de Correlação de Pearson (r) Coliformes Termotolerantes 2010 - 2019						
	24hs		48hs		72hs	
	r	P	r	P	r	P
Barra da Tijuca (BD05)						
Período Seco	0,0700	0,439	-0,0377	0,592	-0,0270	0,664
Período Chuvoso	0,0883	0,405	0,104	0,214	0,201	0,00490
Barra da Tijuca (BD07)						
Período Seco	-0,0610	0,500	-0,0515	0,464	-0,00988	0,873
Período Chuvoso	0,0291	0,784	0,0687	0,413	0,123	0,0857
Barra da Tijuca (BD09)						
Período Seco	-0,0611	0,499	-0,130	0,0640	-0,0417	0,501
Período Chuvoso	0,0188	0,859	0,108	0,198	0,120	0,0957
Barra da Tijuca (BD10)						
Período Seco	-0,0341	0,707	-0,106	0,133	-0,0344	0,579
Período Chuvoso	0,105	0,321	0,211	0,0112	0,277	0,0000948
Joatinga (JT00)						
Período Seco	0,178	0,158	0,109	0,239	0,130	0,103
Período Chuvoso	0,172	0,200	0,186	0,0607	0,141	0,0891

Fonte: A autora, 2020.

Tabela 20 – Correlação de Spearman entre os dados de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) e a precipitação (mm) da estação pluviométrica do Rio Centro, durante o período de 2010 a 2019, os valores em vermelho mostram correlação significativa a $p < 0,05$

Coefficiente de Correlação de Pearson (r) Coliformes Termotolerantes 2010 - 2019						
	24hs		48hs		72hs	
	r	P	r	P	r	P
Barra da Tijuca (BD05)						
Período Seco	-0,0316	0,720	-0,0317	0,646	-0,0104	0,866
Período Chuvoso	0,151	0,139	0,130	0,118	0,208	0,00396
Barra da Tijuca (BD07)						
Período Seco	-0,0767	0,384	-0,0289	0,675	0,0173	0,780
Período Chuvoso	0,00412	0,968	0,0966	0,244	0,161	0,0270
Barra da Tijuca (BD09)						
Período Seco	-0,0472	0,592	-0,0945	0,169	0,00872	0,888
Período Chuvoso	-0,0787	0,443	0,0910	0,273	0,114	0,116
Barra da Tijuca (BD10)						
Período Seco	0,00149	0,987	-0,0516	0,453	0,0159	0,797
Período Chuvoso	0,0953	0,352	0,189	0,0220	0,246	0,000649
Joatinga (JT00)						
Período Seco	0,134	0,286	0,175	0,0524	0,171	0,0303
Período Chuvoso	-0,0865	0,495	0,105	0,279	0,0920	0,271

Fonte: A autora, 2020.

Tabela 21 – Correlação de Spearman entre os dados de os coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) e a precipitação (mm) da estação pluviométrica do Tanque, durante o período de 2010 a 2019, os valores em vermelho mostram correlação significativa a $p < 0,05$

Coefficiente de Correlação de Pearson (r) Coliformes Termotolerantes 2010 - 2019						
	24hs		48hs		72hs	
	r	P	r	P	r	P
Barra da Tijuca (BD05)						
Período Seco	0,113	0,217	0,0152	0,830	0,00924	0,884
Período Chuvoso	0,143	0,169	0,128	0,121	0,205	0,00402
Barra da Tijuca (BD07)						
Período Seco	-0,0288	0,754	0,00976	0,891	-0,0331	0,602
Período Chuvoso	-0,0507	0,627	0,119	0,147	0,212	0,00293
Barra da Tijuca (BD09)						
Período Seco	0,0222	0,810	-0,0473	0,504	-0,0181	0,776
Período Chuvoso	-0,135	0,193	-0,00557	0,946	-0,0239	0,739
Barra da Tijuca (BD10)						
Período Seco	0,00410	0,964	-0,00290	0,967	-0,00138	0,983
Período Chuvoso	0,0825	0,428	0,194	0,0177	0,166	0,0202
Joatinga (JT00)						
Período Seco	0,148	0,241	0,156	0,0921	0,0846	0,298
Período Chuvoso	0,142	0,266	0,236	0,0137	0,126	0,127

Fonte: A autora.