

Monitoramento Quali-Quantitativo para as Bacias da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara (RH-V)

RELATÓRIO CONSOLIDADO ANÁLISE INTEGRADA

Março 2025

Agente Financiador:



FUNDRHI inea instituto estadual
do ambiente

**AMBIENTE E
SUSTENTABILIDADE**



Executora:



Por:



**CENTRO DE BIOLOGIA EXPERIMENTAL
OCEANUS**

Para maiores informações, favor contatar:

Serviço de Atendimento ao Cliente

T. +55 21 3293-7000

projetos@oceanus.bio.br

LISTA DE TABELAS

Tabela V-1 – Estatísticas descritivas da temperatura do ar (°C) nas sub-bacias da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara ao longo de 35 campanhas de monitoramento.....	37
Tabela V-2 – Diferenças significativas na temperatura do ar (°C) entre estações do ano e períodos seco e chuvoso (Kruskal-Wallis, $p<0,05$) e análise post-hoc para sub-bacias com variação significativa (Dunn, $p<0,05$).....	39
Tabela V-3 – Estatísticas descritivas da pluviosidade (mm) nas sub-bacias da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara ao longo de 35 campanhas de monitoramento.....	40
Tabela V-4 – Diferenças significativas na pluviosidade (mm/dia) entre estações do ano e períodos seco e chuvoso (Kruskal-Wallis, $p<0,05$) e análise post-hoc para sub-bacias com variação significativa (Dunn, $p<0,05$).....	42
Tabela V-5 – Limites de detecção (LD), de quantificação (LQ) e valores de enquadramento dos parâmetros de acordo com a Resolução CONAMA 357/05.....	46
Tabela V-6 – Estatísticas descritivas da temperatura da água (°C) nas sub-bacias da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara ao longo de 35 campanhas de monitoramento.....	47
Tabela V-7 – Diferenças significativas na temperatura da água (°C) entre estações do ano e períodos seco e chuvoso (Kruskal-Wallis, $p<0,05$) e análise post-hoc para sub-bacias com variação significativa (Dunn, $p<0,05$).....	49
Tabela V-8 – Estatísticas descritivas dos valores de salinidade obtidos nas sub-bacias que compõem a Região Hidrográfica da Baía de Guanabara nas 35 campanhas de monitoramento.....	52
Tabela V-9 – Diferenças significativas na salinidade entre estações do ano e períodos seco e chuvoso (Kruskal-Wallis, $p<0,05$) e análise post-hoc para sub-bacias com variação significativa (Dunn, $p<0,05$).....	53
Tabela V-10 – Estatísticas descritivas dos valores de condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$) obtidos nas sub-bacias que compõem a Região Hidrográfica da Baía de Guanabara nas 35 campanhas de monitoramento.....	56
Tabela V-11 – Diferenças significativas na condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$) entre estações do ano e períodos seco e chuvoso (Kruskal-Wallis, $p<0,05$) e análise post-hoc para sub-bacias com variação significativa (Dunn, $p<0,05$).....	57
Tabela V-12 – Estatísticas descritivas dos valores de fósforo total (mg/L) obtidos nas sub-bacias que compõem a Região Hidrográfica da Baía de Guanabara nas 35 campanhas de monitoramento, bem como distribuição das amostras de acordo com as classes da Resolução CONAMA 357/05.....	62
Tabela V-13 – Diferenças significativas dos valores de fósforo total (mg/L) entre estações do ano e períodos seco e chuvoso (Kruskal-Wallis, $p<0,05$) e análise post-hoc para sub-bacias com variação significativa (Dunn, $p<0,05$).....	63
Tabela V-14 – Estatísticas descritivas dos valores de nitrato (mg/L) obtidos nas sub-bacias que compõem a Região Hidrográfica da Baía de Guanabara nas 35 campanhas de monitoramento.....	67
Tabela V-15 – Distribuição das amostras de nitrato de acordo com as classes da Resolução CONAMA 357/05.....	68

Tabela V-16 – Diferenças significativas dos valores de nitrato (mg/L) entre estações do ano e períodos seco e chuvoso (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$) e análise post-hoc para sub-bacias com variação significativa (Dunn, $p < 0,05$).	69
Tabela V-17 – Estatísticas descritivas dos valores de nitrogênio total (mg/L) obtidos nas sub-bacias que compõem a Região Hidrográfica da Baía de Guanabara nas 35 campanhas de monitoramento.	72
Tabela V-18 – Diferenças significativas dos valores de nitrogênio total (mg/L) entre estações do ano e períodos seco e chuvoso (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$) e análise post-hoc para sub-bacias com variação significativa (Dunn, $p < 0,05$).	73
Tabela V-19 – Estatísticas descritivas dos valores de oxigênio dissolvido (mg/L) obtidos nas sub-bacias que compõem a Região Hidrográfica da Baía de Guanabara nas 35 campanhas de monitoramento, bem como distribuição das amostras de acordo com as classes da Resolução CONAMA 357/05.	77
Tabela V-20 – Diferenças significativas dos valores de oxigênio dissolvido (mg/L) entre estações do ano e períodos seco e chuvoso (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$) e análise post-hoc para sub-bacias com variação significativa (Dunn, $p < 0,05$).	78
Tabela V-21 – Estatísticas descritivas dos valores de DBO (mg/L) obtidos nas sub-bacias que compõem a Região Hidrográfica da Baía de Guanabara nas 35 campanhas de monitoramento, bem como distribuição das amostras de acordo com as classes da Resolução CONAMA 357/05.	83
Tabela V-22 – Diferenças significativas dos valores de DBO (mg/L) entre estações do ano e períodos seco e chuvoso (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$) e análise post-hoc para sub-bacias com variação significativa (Dunn, $p < 0,05$).	84
Tabela V-23 – Estatísticas descritivas dos valores de pH obtidos nas sub-bacias que compõem a Região Hidrográfica da Baía de Guanabara nas 35 campanhas de monitoramento, bem como distribuição das amostras de acordo com as classes da Resolução CONAMA 357/05.	89
Tabela V-24 – Diferenças significativas dos valores de pH entre estações do ano e períodos seco e chuvoso (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$) e análise post-hoc para sub-bacias com variação significativa (Dunn, $p < 0,05$).	91
Tabela V-25 – Estatísticas descritivas dos valores de turbidez (UNT) obtidos nas sub-bacias que compõem a Região Hidrográfica da Baía de Guanabara nas 35 campanhas de monitoramento.	95
Tabela V-26 – Distribuição das amostras de turbidez (UNT) de acordo com as classes da Resolução CONAMA 357/05.	96
Tabela V-27 – Diferenças significativas dos valores de turbidez (UNT) entre estações do ano e períodos seco e chuvoso (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$) e análise post-hoc para sub-bacias com variação significativa (Dunn, $p < 0,05$).	97
Tabela V-28 – Estatísticas descritivas dos valores de STD (mg/L) obtidos nas sub-bacias que compõem a Região Hidrográfica da Baía de Guanabara nas 35 campanhas de monitoramento, bem como distribuição das amostras de acordo com as classes da Resolução CONAMA 357/05.	100
Tabela V-29 – Diferenças significativas dos valores de STD (mg/L) entre estações do ano e períodos seco e chuvoso (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$) e análise post-hoc para sub-bacias com variação significativa (Dunn, $p < 0,05$).	102

Tabela V-30 – Estatísticas descritivas dos valores de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) obtidos nas sub-bacias que compõem a Região Hidrográfica da Baía de Guanabara nas 35 campanhas de monitoramento.....	107
Tabela V-31 – Diferenças significativas dos valores de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) entre estações do ano e períodos seco e chuvoso (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$) e análise post-hoc para sub-bacias com variação significativa (Dunn, $p < 0,05$).	108
Tabela V-32 – Estatísticas descritivas dos valores do IQA obtidos nas sub-bacias que compõem a Região Hidrográfica da Baía de Guanabara nas 35 campanhas de monitoramento.	115
Tabela V-33 – Distribuição dos valores de IQA obtidos durante o monitoramento da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara entre as faixas de classificação.	116
Tabela V-34 – Diferenças significativas dos valores do IQA entre estações do ano e períodos seco e chuvoso (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$) e análise post-hoc para sub-bacias com variação significativa (Dunn, $p < 0,05$).	117
Tabela V-35 – Estatísticas descritivas dos valores de vazão (m^3/s) obtidos nas sub-bacias que compõem a Região Hidrográfica da Baía de Guanabara nas 35 campanhas de monitoramento.	125
Tabela V-36 – Diferenças significativas dos valores de vazão entre estações do ano e períodos seco e chuvoso (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$) e análise post-hoc para sub-bacias com variação significativa (Dunn, $p < 0,05$).	126
Tabela V-37 – Coeficientes de correlação de Spearman entre os valores de vazão e os diversos parâmetros analisados nas 35 campanhas de monitoramento ambiental das sub-bacias que compõem a Região Hidrográfica da Baía de Guanabara.	129
Tabela VI-1 – Coordenadas obtidas pela Análise de Componentes Principais nas três primeiras dimensões a partir dos resultados obtidos na sub-bacia da Lagoa Rodrigo de Freitas.	130
Tabela VI-2 – Coordenadas obtidas pela Análise de Componentes Principais nas três primeiras dimensões a partir dos resultados obtidos na sub-bacia Leste.....	133
Tabela VI-3 – Coordenadas obtidas pela Análise de Componentes Principais nas três primeiras dimensões a partir dos resultados obtidos na sub-bacia Oeste.	136
Tabela VI-4 – Coordenadas obtidas pela Análise de Componentes Principais nas três primeiras dimensões a partir dos resultados obtidos na sub-bacia do Sistema Lagunar de Jacarepaguá.	139
Tabela VI-5 – Coordenadas obtidas pela Análise de Componentes Principais nas três primeiras dimensões a partir dos resultados obtidos na sub-bacia do Sistema Lagunar de Maricá.	142
Tabela VI-6 – Coordenadas obtidas pela Análise de Componentes Principais nas três primeiras dimensões a partir dos resultados obtidos na sub-bacia do Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga.....	145

LISTA DE QUADROS

Quadro III-1. Coordenadas das estações amostrais da Sub-bacia do Sistema Lagunar de Maricá.....	19
Quadro III-2. Coordenadas das estações amostrais da Sub-bacia do Sistema Lagunar de Jacarepaguá.....	20
Quadro III-3. Coordenadas das estações amostrais da Bacia da Lagoa Rodrigo de Freitas.....	21
Quadro III-4. Coordenadas das estações amostrais da Sub-bacia do Sistema Lagunar Itaipu-Piratinga.....	24
Quadro III-5. Coordenadas das estações amostrais da Sub-bacia Leste.....	26
Quadro III-6. Coordenadas das estações amostrais da Sub-bacia Oeste.....	28
Quadro IV-1. Parâmetros e métodos analíticos para amostras da qualidade da água.....	31
Quadro IV-2. Número de pontos de amostragens conforme profundidade do trecho. Fonte: ANA (2012).....	33
Quadro V-1. Parâmetros de qualidade da água que compõem o IQA e seus respectivos pesos.....	112
Quadro V-2. Faixas de classificação do IQA.....	114
Quadro VIII-1. Equipe Técnica.....	151

LISTA DE FIGURAS

Figura II-1. Região Hidrográfica da Baía de Guanabara - RH-V com os municípios que a compõem, total ou parcialmente.	14
Figura II-2. Divisão do Comitê da Baía de Guanabara em seis subcomitês.	15
Figura III-1. Região Hidrográfica da Baía de Guanabara e a localização das estações de monitoramento.	17
Figura IV-1. Sonda multiparâmetros (A) e balde de inox utilizado para coleta (B).	30
Figura IV-2. Medição da vazão com o uso de molinete (A) e flutuador (B).	32
Figura IV-3. Representação esquemática de um diagrama de caixa (box-plot) e seus principais elementos.	35
Figura V-1. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de pluviosidade (mm/dia) entre estações do ano, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento. De forma a melhorar a visualização dos diagramas, os outliers foram removidos dos gráficos.	43
Figura V-2. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de pluviosidade (mm/dia) entre períodos seco e chuvoso, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento. De forma a melhorar a visualização dos diagramas, os outliers foram removidos dos gráficos.	44
Figura V-3. Acumulados de pluviosidade (mm) no período de realização das campanhas de monitoramento, por sub-bacia.	45
Figura V-4. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de temperatura da água (°C) entre estações do ano, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.	50
Figura V-5. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de temperatura da água (°C) entre períodos do ano, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.	51
Figura V-6. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de salinidade entre estações do ano, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.	54
Figura V-7. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de salinidade entre períodos do ano, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.	55
Figura V-8. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$) entre períodos do ano, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.	57
Figura V-9. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$) entre estações do ano, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.	58
Figura V-10. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de fósforo total (mg/L) entre estações do ano, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.	64

Figura V-11. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de fósforo total (mg/L) entre períodos seco e chuvoso, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.	65
Figura V-12. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de fósforo total (mg/L) entre pontos de amostragem nos períodos seco e chuvoso, referente às sub-bacias Oeste (A) e Leste (B).	66
Figura V-13. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de nitrato (mg/L) entre estações do ano, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.	70
Figura V-14. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de nitrato (mg/L) entre períodos seco e chuvoso, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.	71
Figura V-15. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de nitrogênio total (mg/L) entre estações do ano, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.	74
Figura V-16. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de nitrogênio total (mg/L) entre períodos seco e chuvoso, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.	75
Figura V-17. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de oxigênio dissolvido (mg/L) entre estações do ano, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.	79
Figura V-18. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de oxigênio dissolvido (mg/L) entre períodos seco e chuvoso, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.	80
Figura V-19. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de oxigênio dissolvido (mg/L) entre pontos de amostragem nos períodos seco e chuvoso, referente às sub-bacias Oeste (A) e Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga (B).	81
Figura V-20. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de DBO (mg/L) entre períodos seco e chuvoso, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.	85
Figura V-21. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de DBO (mg/L) entre períodos seco e chuvoso, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.	86
Figura V-22. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de DBO (mg/L) entre pontos de amostragem nos períodos seco e chuvoso, referente às sub-bacias Lagoa Rodrigo de Freitas (superior) e Oeste (inferior).	87
Figura V-23. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de pH entre estações do ano, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.	92
Figura V-24. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de pH entre períodos seco e chuvoso, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.	93
Figura V-25. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores pH entre pontos de amostragem nos períodos seco e chuvoso, referente às sub-bacias do Sistema Lagunar de Jacarepaguá (A) e Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga (B).	94

Figura V-26. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de turbidez (UNT) entre estações do ano, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento. Para uma melhor visualização dos diagramas, os outliers foram removidos.....	98
Figura V-27. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de turbidez (UNT) entre períodos seco e chuvoso, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento. Para uma melhor visualização dos diagramas, os outliers foram removidos.....	99
Figura V-28. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de STD (mg/L) entre estações do ano, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.....	103
Figura V-29. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de STD (mg/L) entre períodos seco e chuvoso, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.....	104
Figura V-30. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de STD (mg/L) entre pontos de amostragem nos períodos seco e chuvoso, referente às sub-bacias do Sistema Lagunar de Jacarepaguá (A) e do Sistema Lagunar de Maricá (B).....	105
Figura V-31. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) entre estações do ano, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.....	109
Figura V-32. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) entre períodos seco e chuvoso, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.....	110
Figura V-33. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) entre pontos de amostragem nos períodos seco e chuvoso, referente às sub-bacias Leste (A) e Oeste (B).....	111
Figura V-34. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores do IQA entre estações do ano, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.....	118
Figura V-35. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores do IQA entre períodos seco e chuvoso, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.....	119
Figura V-36. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de IQA entre pontos de amostragem nos períodos seco e chuvoso, referente às sub-bacias da Lagoa Rodrigo de Freitas (A) e Leste (B).....	120
Figura V-37. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de IQA entre pontos de amostragem nos períodos seco e chuvoso, referente às sub-bacias Oeste (A) e Sistema Lagunar de Jacarepaguá (B).....	122
Figura V-38. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de IQA entre pontos de amostragem nos períodos seco e chuvoso, referente às sub-bacias do Sistema Lagunar de Maricá (A) e Sistema Lagunar de Itaipu-Piratininga (B).....	123
Figura V-39. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores do vazão entre estações do ano, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento. De forma a melhorar a visualização dos diagramas, os outliers foram removidos dos gráficos.....	127

Figura V-40. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores do vazão períodos seco e chuvoso, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento. De forma a melhorar a visualização dos diagramas, os outliers foram removidos dos gráficos. 128

Figura VI-1. Distribuição espacial na Análise de Componentes Principais nas três primeiras dimensões a partir dos resultados obtidos na sub-bacia da Lagoa Rodrigo de Freitas. Superior: Componente Principal 1 versus Componente Principal 2; Inferior: Componente Principal 1 versus Componente Principal 3. 132

Figura VI-2. Distribuição espacial na Análise de Componentes Principais nas três primeiras dimensões a partir dos resultados obtidos na sub-bacia Leste. Superior: Componente Principal 1 versus Componente Principal 2; Inferior: Componente Principal 1 versus Componente Principal 3. 135

Figura VI-3. Distribuição espacial na Análise de Componentes Principais nas três primeiras dimensões a partir dos resultados obtidos na sub-bacia Oeste. Superior: Componente Principal 1 versus Componente Principal 2; Inferior: Componente Principal 1 versus Componente Principal 3. 138

Figura VI-4. Distribuição espacial na Análise de Componentes Principais nas três primeiras dimensões a partir dos resultados obtidos na sub-bacia do Sistema Lagunar de Jacarepaguá.. Superior: Componente Principal 1 versus Componente Principal 2; Inferior: Componente Principal 1 versus Componente Principal 3. 141

Figura VI-5. Distribuição espacial na Análise de Componentes Principais nas três primeiras dimensões a partir dos resultados obtidos na sub-bacia do Sistema Lagunar de Maricá. Superior: Componente Principal 1 versus Componente Principal 2; Inferior: Componente Principal 1 versus Componente Principal 3. 144

Figura VI-6. Distribuição espacial na Análise de Componentes Principais nas três primeiras dimensões a partir dos resultados obtidos na sub-bacia Sistema Lagunar de Itaipu-Piratininga. Superior: Componente Principal 1 versus Componente Principal 2; Inferior: Componente Principal 1 versus Componente Principal 3. 147

Índice Geral

I. INTRODUÇÃO	13
II. ÁREA DE ESTUDO	14
III. MALHA AMOSTRAL	16
III.1 Sub-bacia do Sistema Lagunar de Maricá	18
III.2 Sub-bacia do Sistema Lagunar de Jacarepaguá	19
III.3 Bacia da Lagoa Rodrigo de Freitas	20
III.4 Sub-bacia do Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	24
III.5 Sub-bacia Leste	25
III.6 Sub-bacia Oeste	27
IV. METODOLOGIA	29
IV.1 Qualidade da Água	30
IV.2 Medição de Vazão	31
IV.3 Tratamento de Dados e Análises Estatísticas	34
V. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
V.1 Dados Meteoceanográficos	37
V.1.1 Temperatura do Ar	37
V.1.2 Pluviosidade	39
V.2 Qualidade da Água	46
V.2.1 Parâmetros Físico-Químicos e Microbiológicos	46
V.2.1.1 Temperatura da Água	47
V.2.1.2 Salinidade e Condutividade	51
V.2.1.3 Nutrientes	59
V.2.1.3.1 Fósforo Total	60
V.2.1.3.2 Nitrato	67
V.2.1.3.3 Nitrogênio total	71
V.2.1.4 Oxigênio dissolvido (OD)	75
V.2.1.5 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	82
V.2.1.6 Potencial Hidrogeniônico (pH)	88
V.2.1.7 Turbidez	95
V.2.1.8 Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	99
V.2.1.9 Coliformes Termotolerantes	106
V.2.2 Índice de Qualidade das Águas (IQA)	112
V.3 Medições de Vazão e Correlação com demais Parâmetros	124
VI. ANÁLISE INTEGRADA	130
VI.1 Lagoa Rodrigo de Freitas	130
VI.2 Leste	133
VI.3 Oeste	136
VI.4 Sistema Lagunar de Jacarepaguá	139
VI.5 Sistema Lagunar de Maricá	142

VI.6 Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga.....	145
VII. CONCLUSÃO	148
VIII. EQUIPE TÉCNICA.....	151
REFERÊNCIAS	152

I. INTRODUÇÃO

A Bacia Hidrográfica da Baía de Guanabara, situada na segunda maior metrópole do Brasil, enfrenta desafios históricos associados à ocupação desordenada ao longo de sua história e às dificuldades persistentes na universalização dos serviços de saneamento básico, especialmente no que tange ao esgotamento sanitário. Essa realidade tem gerado impactos cumulativos na degradação da qualidade de seus corpos hídricos e no comprometimento da disponibilidade quantitativa de água, agravando vulnerabilidades socioambientais. Apesar da relevância crítica desses recursos, o monitoramento hidrológico na região ainda apresenta lacunas significativas, conforme destacado pelo Comitê de Bacia Hidrográfica da Baía de Guanabara (CBH-BG, 2020), o que limita a capacidade de gestão integrada e respostas efetivas aos problemas identificados.

Este relatório tem como objetivo apresentar os resultados de uma análise integrada de 35 campanhas de monitoramento quali-quantitativo realizadas na Região Hidrográfica da Baía de Guanabara. A iniciativa busca complementar as redes oficiais de monitoramento dos órgãos ambientais estaduais e municipais, fornecendo dados robustos para subsidiar a tomada de decisões estratégicas direcionadas à recuperação e preservação dos corpos hídricos. Além disso, os resultados servem como base para o planejamento de intervenções técnicas, o incentivo ao uso racional da água, a promoção de ações educativas e o fortalecimento de capacidades locais, visando à gestão sustentável dos recursos hídricos na região.

O monitoramento quali-quantitativo foi realizado entre os meses de outubro/2021 e outubro/2024, com exceção dos meses de abril e maio de 2024.

II. ÁREA DE ESTUDO

A área da Baía de Guanabara possui cerca de 380 km² e sua bacia hidrográfica tem, aproximadamente, 4.081 km², cobrindo parcial ou completamente 17 municípios (Figura II-1). Os municípios que a compõem totalmente são Niterói, São Gonçalo, Itaboraí, Tanguá, Guapimirim, Magé, Duque de Caxias, Belford Roxo, Mesquita, São João de Meriti e Nilópolis; e parcialmente são Maricá, Rio Bonito, Cachoeiras de Macacu, Petrópolis, Nova Iguaçu e Rio de Janeiro (INEA, 2022).

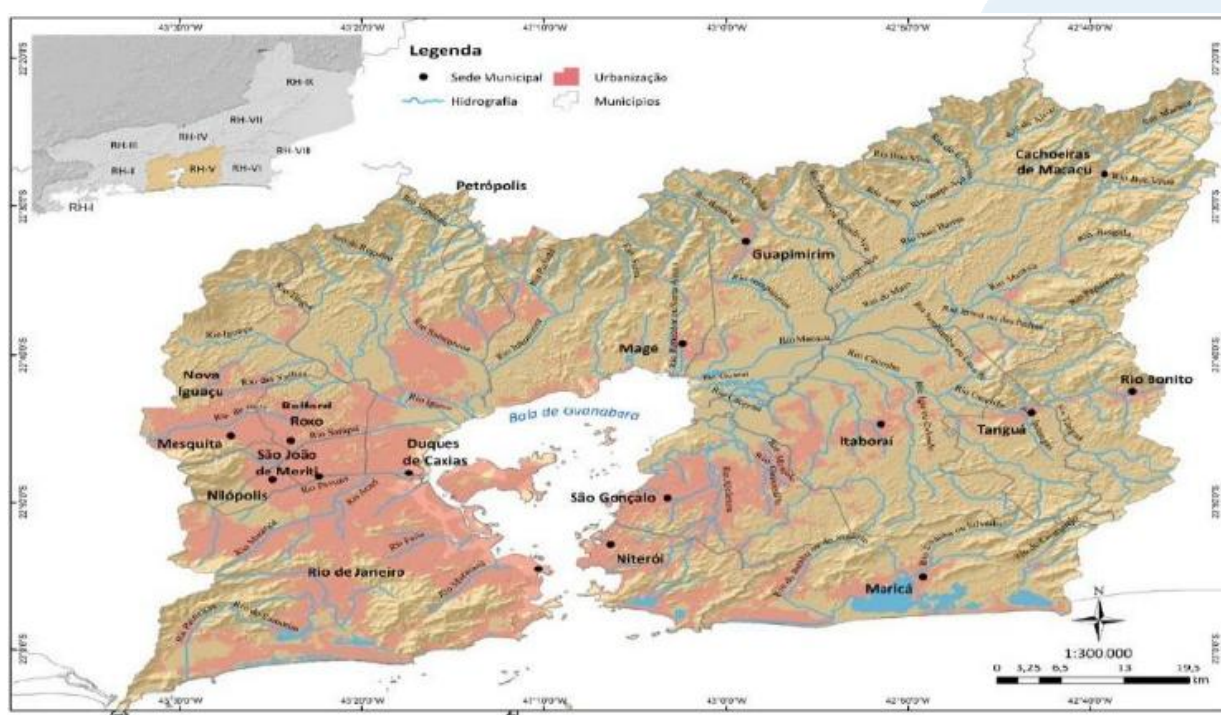


Figura II-1. Região Hidrográfica da Baía de Guanabara - RH-V com os municípios que a compõem, total ou parcialmente.

Ao longo de sua história, a Baía de Guanabara tem sido reconhecida como um ecossistema aquático crítico, recebendo diversos contaminantes despejados diretamente em suas águas. Esses poluentes somam-se aos provenientes de atividades industriais, ao lançamento de esgoto doméstico não tratado e ao descarte inadequado de resíduos sólidos, especialmente originados na porção noroeste de sua bacia hidrográfica (AGEVAP, 2021).

A Região Hidrográfica da Baía de Guanabara (RH-V) abrange a maior parte da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, segunda maior do país, com aproximadamente 12 milhões de habitantes. O crescimento acelerado de obras de infraestrutura e o avanço

de atividades ligadas ao setor de óleo e gás, incluindo a indústria naval, têm gerado impactos significativos na dinâmica ambiental e socioeconômica da região, pressionando ainda mais seus recursos naturais (CBH-BG, 2020).

Nos municípios da Baixada Fluminense, predomina a ausência de saneamento básico, com destaque para o despejo de esgotos em redes de drenagem, fossas sépticas ou diretamente em corpos hídricos. Rios como Sarapuí, Iguaçu e Botas recebem elevadas cargas de efluentes *in natura*, tornando-se vetores de poluição que comprometem a qualidade das águas da Baía de Guanabara (Britto; Quintslr, 2020).

Em consonância com a Lei Federal 9.433/1997, que estabelece os Comitês de Bacias como parte do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, o Governo do Estado do Rio de Janeiro criou, em 2005, o Comitê da Baía de Guanabara. A iniciativa ampliou a gestão para seis regiões hidrográficas, posteriormente organizadas em subcomitês: Sistema Lagunar de Jacarepaguá, Lagoa Rodrigo de Freitas, Lagunar Itaipu-Piratininga, Trecho Leste, Sistema Lagunar Maricá-Guarapina e Trecho Oeste (Figura II-2).



Figura II-2. Divisão do Comitê da Baía de Guanabara em seis subcomitês.

III. MALHA AMOSTRAL

As campanhas de monitoramento quali-quantitativo das Bacias da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara foram realizadas em 48 estações amostrais para o monitoramento quantitativo e em 93 estações para o qualitativo, distribuídas na área de estudo. Na Figura III-1, é possível visualizar as estações amostrais.

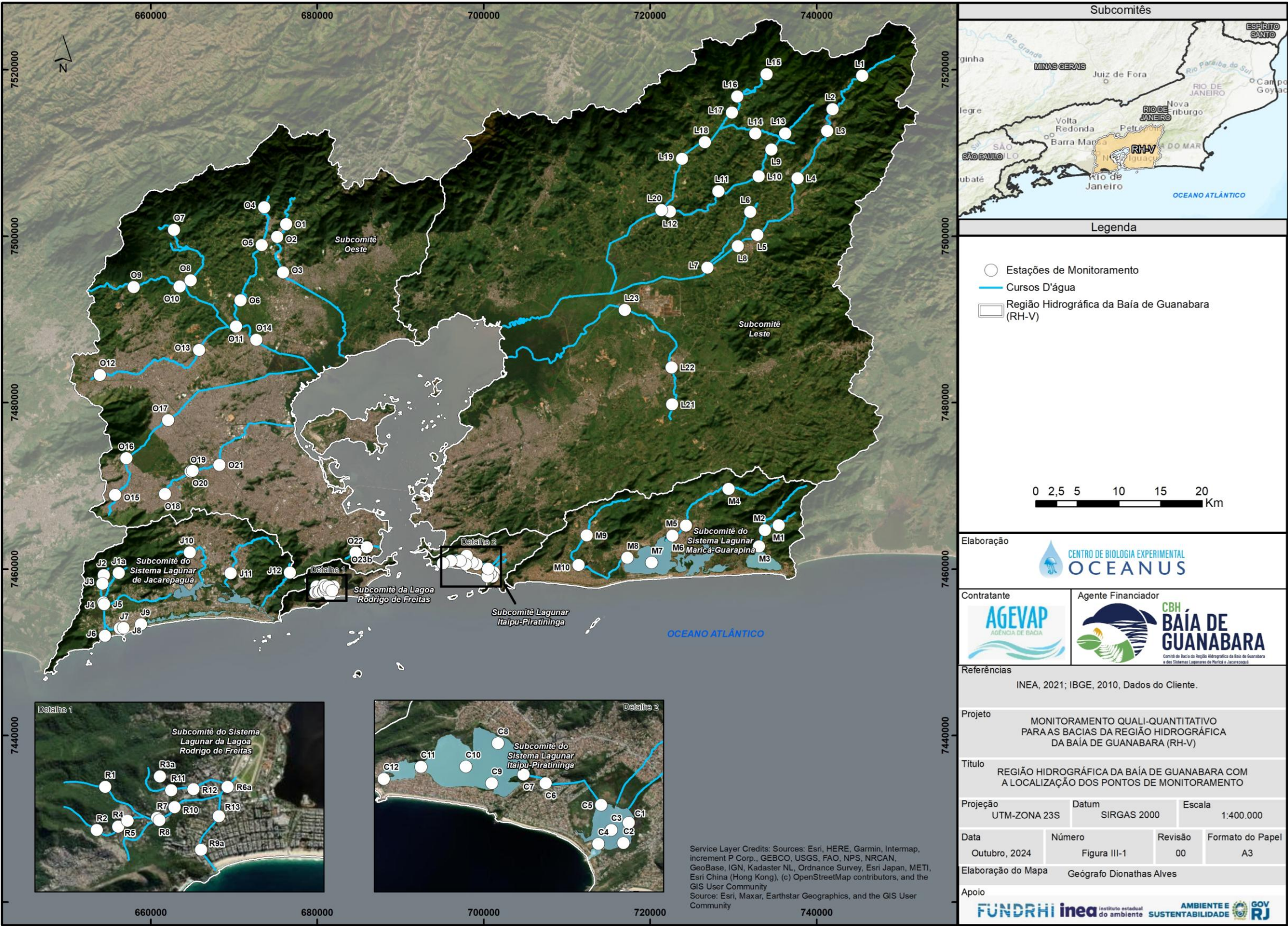


Figura III-1. Região Hidrográfica da Baía de Guanabara e a localização das estações de monitoramento.

III.1 Sub-bacia do Sistema Lagunar de Maricá

A Sub-bacia do Sistema Lagunar de Maricá é um ambiente costeiro que se limita ao Norte e a Oeste pela linha divisória entre os municípios de Niterói e Maricá. A Leste, é limitado pela Serra do Mato Grosso, seguindo pelas serras de Jacaré; ao Norte, pelos municípios de São Gonçalo, Tanguá e Itaboraí; a Oeste, pelo município de Niterói; e, o limite Sul é a linha costeira que segue de Ponta Negra até a Ponta do Elefante. É constituída por cinco lagoas de água salobra, compreendendo aproximadamente 34,87 km², sendo elas: Brava, de Maricá, da Barra, do Padre e de Guarapina. Esta sub-região hidrográfica abrange três bacias principais: a do Rio Vigário, a do Rio Ubatiba e a do Rio Caranguejo. Faz parte, parcialmente, desta sub-região hidrográfica, o município de Maricá (CBH-BG, 2020).

Cabe destacar que, de acordo com Guimarães *et al.* (2019), a Lagoa de Maricá tem sua renovação de águas feita principalmente pelos rios que deságuam na região, enquanto as Lagoas do Padre e Guarapina, pelo canal de Ponta Negra, ou seja, são dependentes do regime de maré. Já a Lagoa da Barra apresenta a menor taxa de renovação, não sofrendo muita influência das águas afluentes dos rios e nem do mar, visto que sua conexão com as lagoas do Padre e de Maricá é feita por estreitos canais.

No âmbito do monitoramento da Sub-bacia do Sistema Lagunar de Maricá, foram consideradas as estações indicadas no Quadro III-1 a seguir. Nas 33^a e 34^a campanhas, a estação M6 sofreu alteração de coordenadas, pois não foi possível realizar a medição de vazão em suas respectivas coordenadas originais, devido a presença de gigogas no Rio Ubatiba. Desta forma, o novo ponto amostral em questão foi nomeado como M6a e incluído no quadro abaixo.

Quadro III-1. Coordenadas das estações amostrais da Sub-bacia do Sistema Lagunar de Maricá.

Corpo Hídrico	Estação	Coordenadas UTM	
		Longitude	Latitude
Rio Padeco	M1	735413.04 m E	7465259.88 m S
Rio Caranguejo	M2	733760.00 m E	7464696.00 m S
Rio Doce	M3	733062.20 m E	7462732.97 m S
Rio Ubatiba	M4	729385.00 m E	7469639.00 m S
Rio Ubatiba	M5	724298.00 m E	7465246.00 m S
Rio Ubatiba	M6	722657.68 m E	7464039.60 m S
Rio Ubatiba	M6a	723543.00 m E	7464433.00 m S
Lagoa de Maricá	M7	720168.00 m E	7460791.00 m S
Canal de São Bento	M8	717235.00 m E	7461372.00 m S
Rio Vigário	M9	712358.00 m E	7464053.00 m S
Rio Vigário	M10	711375.00 m E	7460515.00 m S

III.2 Sub-bacia do Sistema Lagunar de Jacarepaguá

A Sub-bacia do Sistema Lagunar de Jacarepaguá é um ambiente costeiro formado por uma planície litorânea que segue do Canal da Visconde de Albuquerque até a Ponta de Grumari, na zona Oeste da cidade do Rio de Janeiro. A sub-região hidrográfica é limitada pelas encostas atlânticas do Maciço da Pedra Branca, a Oeste; pelo Maciço da Tijuca, a Leste; pelas Lagoas de Marapendi, Lagoinhas (ou Taxas), Jacarepaguá, Camorim e Tijuca, ao Sul; e pela Serra do Valqueire, ao Norte.

O conjunto lagunar de Jacarepaguá possui uma área de, aproximadamente, 13,24 km². A lagoa de Jacarepaguá é a mais interiorizada do conjunto e possui área de 4,07 km², enquanto a lagoa de Camorim, com área de 0,80 km², comporta-se como um canal de ligação entre as lagoas da Tijuca (Leste) e a de Jacarepaguá (Oeste). A lagoa da Tijuca é a maior deste conjunto, com 4,34 km², enquanto a Lagoinha das Taxas é a menor, com 0,70 km². A Região Lagunar de Jacarepaguá é formada pelos rios Guerenguê e Passarinhos (provenientes do Maciço da Pedra Branca), pelo Rio Grande (Maciços da Tijuca e Pedra Branca) e pelos rios das Pedras e Anil (Maciço da Tijuca). Toda a área

desta sub-região hidrográfica está inserida nos bairros de Jacarepaguá, Barra da Tijuca e Grumari, no Município do Rio de Janeiro (CBH-BG, 2020).

Na rede de monitoramento da Sub-bacia do Sistema Lagunar de Jacarepaguá, foram consideradas as estações indicadas no Quadro III-2 a seguir. A estação J1 foi alterada para J1a, pois o ponto de coleta foi realocado no final do mês de maio de 2022. Vale ressaltar que a coordenada da nova estação também foi adicionada no quadro a seguir.

Quadro III-2. Coordenadas das estações amostrais da Sub-bacia do Sistema Lagunar de Jacarepaguá.

Corpo Hídrico	Estação	Coordenadas UTM	
		Longitude	Latitude
Rio do Sacarrão	J1	655807.00 m E	7459348.00 m S
Rio do Sacarrão	J1a	656139.72 m E	7459542.96 m S
Rio Paineiras	J2	654343.00 m E	7459295.00 m S
Rio Vargem Grande	J3	654186.00 m E	7458259.00 m S
Canal de Sernambetiba	J4	654273.00 m E	7456003.00 m S
Canal do Portelo	J5	654381.00 m E	7455796.00 m S
Canal de Sernambetiba	J6	654464.00 m E	7451992.00 m S
Canal das Taxas	J7	656253.00 m E	7452913.00 m S
Lagoinha	J8	656708.00 m E	7452944.00 m S
Canal das Taxas	J9	658803.00 m E	7453371.00 m S
Rio do Engenho Novo	J10	664685.00 m E	7462014.00 m S
Rio do Anil	J11	669572.00 m E	7459503.00 m S
Rio Tijuca	J12	676885.00 m E	7459678.00 m S

III.3 Bacia da Lagoa Rodrigo de Freitas

A Bacia da Lagoa Rodrigo de Freitas compreende os bairros do Jardim Botânico, Humaitá, Horto, Gávea, Leblon, Ipanema e Lagoa, no município do Rio de Janeiro. A área da sub-região mede cerca de 32 km² e é composta pelo Rio Rainha (4,50 km), pelo Rio dos Macacos (5,50 km) e pelo Rio Cabeças (3,20 km), em grande parte canalizados, que contribuem para o aporte de água doce na Lagoa Rodrigo de Freitas, de água salobra,

cujo espelho d'água mede 3,80 km². A lagoa está ligada ao mar pelo canal do Jardim de Alah (CBH-BG, 2020) e pelo canal da Rua Visconde de Albuquerque, que se liga ao Rio Rainha. Os dois canais estão localizados no bairro do Leblon.

No âmbito do monitoramento da Bacia da Lagoa Rodrigo de Freitas, foram consideradas as estações indicadas no Quadro III-3 a seguir. As estações R3, R6 e R9 foram amostradas em outubro e novembro de 2021. Na 3ª campanha (dezembro de 2021), as estações R6 e R9 foram realocadas, se tornando R6a e R9a. O mesmo ocorreu para a estação R3 na 5ª campanha (fevereiro de 2022), sendo alterada para R3a. A estação R3a não foi amostrada na 35ª campanha. Ressalta-se que, como os dados da estação R3 (calha de drenagem da Rocinha) foram obtidos apenas nas quatro primeiras campanhas realizadas e são muito discrepantes dos demais dados da sub-bacia, eles não foram considerados para os cálculos estatísticos.

Quadro III-3. Coordenadas das estações amostrais da Bacia da Lagoa Rodrigo de Freitas.

Corpo Hídrico	Estação	Coordenadas UTM	
		Longitude	Latitude
Rio Rainha	R1	679920.89 m E	7457911.37 m S
Rio Rainha	R2	679779.69 m E	7457202.68 m S
Calha de Drenagem Rocinha	R3	680229.78 m E	7456921.59 m S
Rio Rainha	R3a	680817.44 m E	7458081.96 m S
Rio Rainha	R4	680133.47 m E	7457259.39 m S
Rio Rainha	R5	680283.71 m E	7457354.31 m S
Rio Rainha	R6	680652.49 m E	7457383.05 m S
Rio Rainha	R6a	681928.81 m E	7457910.60 m S
Rio Rainha	R7	680772.93 m E	7457401.38 m S
Rio Rainha	R8	680809.77 m E	7457365.49 m S
Rio Rainha	R9	680993.00 m E	7457477.61 m S
Rio Rainha	R9a	681491.93 m E	7456876.38 m S
Rio Rainha	R10	681055.28 m E	7457577.08 m S
Rio Rainha	R11	681004.11 m E	7457856.00 m S
Rio Rainha	R12	681367.00 m E	7457874.00 m S
Rio Rainha	R13	681783.00 m E	7457427.00 m S

Na Figura III-2, são apresentadas as fontes de contaminação e outras interferências no Rio Rainha, mapeadas no âmbito do Projeto Aguadeira (CBH-BG, 2019).

Com base no cruzamento dessas informações com os registros de campo, destaca-se a contribuição das Favelas da Rocinha e Vila Parque para a alteração da qualidade da água na região.



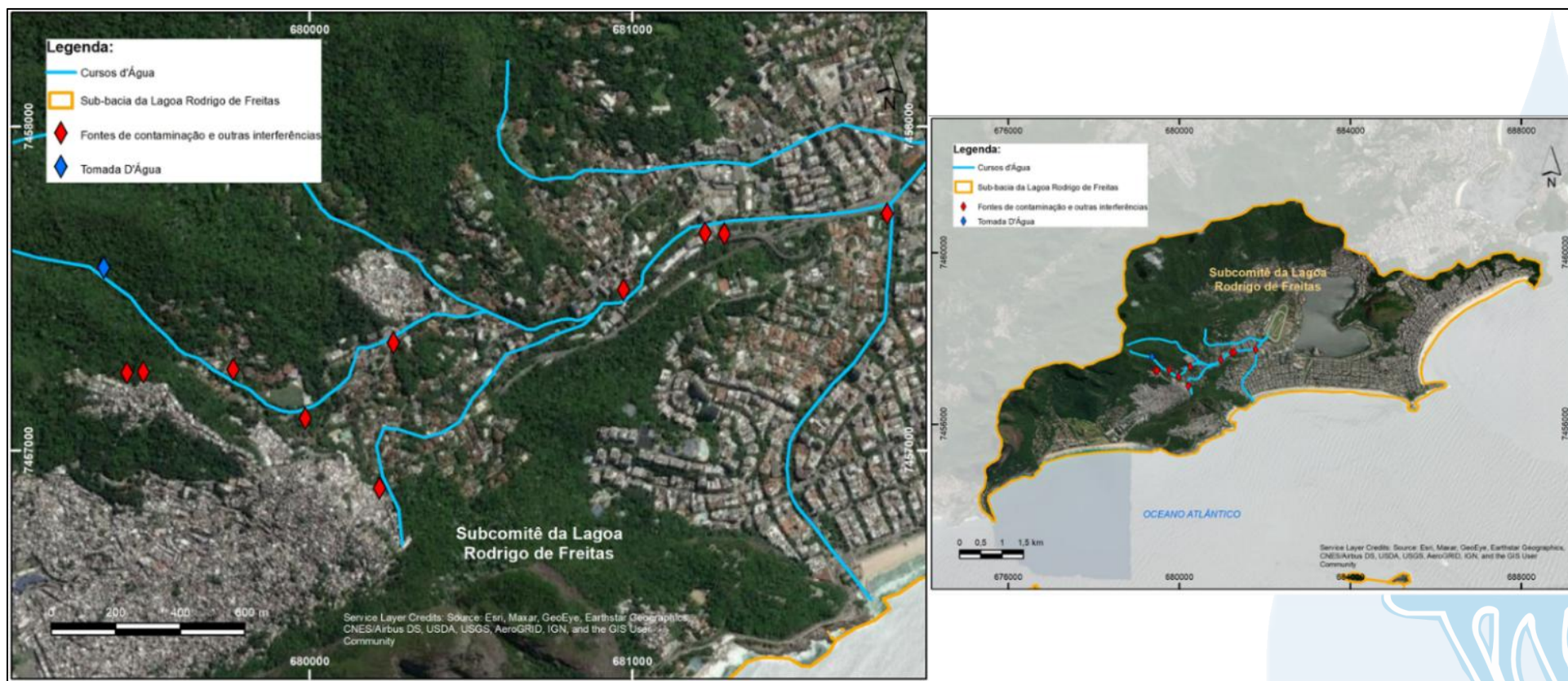


Figura III-2. Mapeamento de fontes de contaminação e outras interferências na Bacia do Rio Rainha.

III.4 Sub-bacia do Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga

A Sub-Bacia do Sistema Lagunar de Itaipu – Piratininga é um ambiente costeiro do município de Niterói, que se inicia na Ponta do Elefante, no limite do município de Maricá, até a vertente oceânica do Forte Imbuí. Esse sistema é constituído por duas lagoas de água salobra, interligadas pelo canal de Camboatá, cujos espelhos d'água somam 3,85 km², compreendendo as bacias hidrográficas da Região Oceânica de Niterói, com aproximadamente 35,4 km² de área (CBH-BG, 2020).

Dentre os cursos d'água que contribuem para a Lagoa de Piratininga estão o Córrego da Viração, o Valão do Cafubá, Rio Arrozal, Rio Jacaré, Canal de Santo Antônio, que totalizam uma área de drenagem de 14,6 km². No tocante à Lagoa de Itaipu, destacam-se como contribuintes o Rio João Mendes, Rio da Vala, Córrego dos Colibris (Parque Estadual Serra da Tiririca) e Valão de Itacoatiara, totalizando uma área de drenagem de 20,8 km². Na década de 70, foi aberto um canal permanente para o mar na Lagoa de Itaipu, o que tornou a renovação de suas águas prioritariamente controlada pelas marés, enquanto Piratininga depende da entrada de água doce (CBH-BG, *op. cit.*).

No Quadro III-4, é possível observar as estações e as coordenadas da Sub-bacia do Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga.

Quadro III-4. Coordenadas das estações amostrais da Sub-bacia do Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga.

Corpo Hídrico	Estação	Coordenadas UTM	
		Longitude	Latitude
Lagoa de Itaipu	C1	701191.00 m E	7459625.00 m S
Lagoa de Itaipu	C2	701056.00 m E	7459120.00 m S
Lagoa de Itaipu	C3	700755.00 m E	7459444.00 m S
Lagoa de Itaipu	C4	700432.00 m E	7459098.00 m S
Lagoa de Itaipu	C5	700506.44 m E	7460063.99 m S
Canal do Camboatá	C6	699127.11 m E	7460603.84 m S
Lagoa de Piratininga	C7	698581.00 m E	7460823.00 m S
Lagoa de Piratininga	C8	697937.00 m E	7461600.00 m S
Lagoa de Piratininga	C9	697783.00 m E	7460606.00 m S
Lagoa de Piratininga	C10	697142.00 m E	7461020.00 m S
Lagoa de Piratininga	C11	696026.00 m E	7461014.00 m S
Lagoa de Piratininga	C12	695101.00 m E	7460713.00 m S

III.5 Sub-bacia Leste

O Trecho Leste da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara é iniciado na vertente Guanabarina do Forte Imbuí, no município de Niterói, até a bacia do Suruí, compreendendo as bacias hidrográficas: Rios Mutondo e Imboçu, Rios Guaxindiba/Alcântara, Rio Caceribu, Rio Guapi/Macacu, Rio Roncador - também denominado Rio Santo Aleixo, Rio Iriri, Rio Suruí e, ainda, áreas drenantes a Nordeste, Leste e Sudeste, desde a bacia do Rio Suruí (inclusive), até a Sub-bacia do Sistema Lagunar de Itaipu-Piratininga (CBH-BG, 2020).

Fazem parte da malha amostral do setor Leste da RH-V as 23 estações apresentadas no Quadro III-5 a seguir. Cabe ressaltar que na 5ª campanha (fevereiro de 2022), a estação L3 foi coletada nas coordenadas 741255.60 m E e 7512664.73 m S, pois existiam fios de energia expostos no ponto original, o que impossibilitou a coleta. Na 16ª campanha (janeiro de 2023), a amostra da estação L7 foi coletada nas coordenadas 730623.71 m E e 7500456.95 m S, pois havia um enxame de marimbondos na estação original, impedindo o acesso à área de coleta.



Quadro III-5. Coordenadas das estações amostrais da Sub-bacia Leste.

Corpo Hídrico	Estação	Coordenadas UTM	
		Longitude	Latitude
Rio Macacu	L1	745452.11 m E	7519287.36 m S
Rio Macacu	L2	741899.00 m E	7515275.00 m S
Rio Macacu	L3	741034.00 m E	7512226.00 m S
Rio Macacu	L4	737685.00 m E	7506962.00 m S
Rio Macacu	L5	732857.00 m E	7500150.00 m S
Rio Cassiano	L6	731996.00 m E	7502944.00 m S
Rio Cassiano	L7	726857.31 m E	7496227.89 m S
Papucainha	L8	730512.00 m E	7498793.00 m S
Rio Rabelo	L9	734544.00 m E	7510420.00 m S
Rio Rabelo	L10	733025.00 m E	7507193.00 m S
Rio Rabelo	L11	728172.00 m E	7505421.00 m S
Rio Rabelo	L12	722368.00 m E	7502973.00 m S
Rio Itaperi	L13	736213.00 m E	7512362.00 m S
Rio Duas Barras	L14	732619.00 m E	7512361.00 m S
Rio Guapiaçu	L15	733968.00 m E	7519479.00 m S
Rio Guapiaçu	L16	730453.00 m E	7516809.00 m S
Rio Guapiaçu	L17	729790.00 m E	7514851.00 m S
Rio Guapiaçu	L18	726537.00 m E	7511303.00 m S
Rio Guapiaçu	L19	723796.00 m E	7509294.00 m S
Rio Guapiaçu	L20	721322.00 m E	7503133.00 m S
Afluente do Rio Caceribu	L21	722613.00 m E	7479792.00 m S
Afluente do Rio Caceribu	L22	722562.00 m E	7484253.00 m S
Afluente do Rio Caceribu	L23	716923.00 m E	7491149.00 m S

III.6 Sub-bacia Oeste

O Trecho Oeste da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara – RH-V compreende a bacia hidrográfica do Rio Saracuruna/Inhomirim (inclusive) e se estende até a Bacia do Rio Carioca (inclusive), compreendendo as bacias Saracuruna/Inhomirim, Rios Sarapuí/Iguaçu, Rios Acari/São João de Meriti, Rio Irajá, Rio Faria e Timbó, Rio Maracanã, até o Rio Carioca e, ainda, as áreas drenantes para a Baía de Guanabara a Noroeste, Oeste e Sudoeste, desde a foz do Rio Suruí (exclusive), até o Pão de Açúcar (CBH-BG, 2020).

Para o monitoramento mensal do setor Oeste, foram estabelecidas 23 estações amostrais, conforme Quadro III-6 a seguir.

A estação O1 sofreu alteração de coordenadas na 8ª campanha (maio de 2022), se tornando O1a, pois a ponte onde a coleta é realizada ficou inacessível devido à obra de instalação de dutos de gás no local. Nas demais campanhas, a amostragem ocorreu na coordenada original, retornando à nomenclatura original. A coordenada da estação O23 foi alterada na 10ª campanha (julho de 2022), sendo renomeada como O23a, pois o Rio Carioca foi desviado para o Interceptor Oceânico. Na 22ª campanha (julho de 2023), o cliente solicitou alteração da coordenada da estação O23a, por não estar representando a real condição do Rio Carioca, dessa forma, a estação foi realocada e renomeada como O23b. Na 33ª campanha, o ponto O21 sofreu alteração de coordenadas, sendo renomeado para O21a, pois não foi possível realizar a medição de vazão em suas respectivas coordenadas originais, devido a presença de sacos de areia no local, represando o fluxo de água no Rio Acari.

Quadro III-6. Coordenadas das estações amostrais da Sub-bacia Oeste.

Corpo Hídrico	Estação	Coordenadas UTM	
		Longitude	Latitude
Rio Saracuruna	O1	676271.00 m E	7501455.00 m S
Rio Saracuruna	O1a	676157.75 m E	7503039.00 m S
Rio Saracuruna	O2	675163.00 m E	7499934.00 m S
Rio Saracuruna	O3	675865.00 m E	7495655.00 m S
Rio Sapucaia	O4	673599.92 m E	7503474.98 m S
Rio Sapucaia	O5	673318.00 m E	7498958.00 m S
Rio Sapucaia	O6	670766.57 m E	7492295.47 m S
Rio Tinguá	O7	662786.02 m E	7500787.51 m S
Rio Tinguá	O8	664771.00 m E	7494726.00 m S
Rio Iguaçu	O9	657922.00 m E	7493913.00 m S
Rio Iguaçu	O10	663437.00 m E	7493968.00 m S
Rio Iguaçu	O11	670226.90 m E	7489138.28 m S
Rio Botas	O12	653863.00 m E	7483338.00 m S
Rio Botas	O13	665792.00 m E	7486335.00 m S
Rio Iguaçu	O14	672655.00 m E	7487577.00 m S
Rio Sarapuí	O15	655704.07 m E	7468915.96 m S
Rio Sarapuí	O16	657053.00 m E	7473320.00 m S
Rio Sarapuí	O17	662055.75 m E	7477906.13 m S
Rio Acari	O18	661706.00 m E	7469022.00 m S
Rio Acari	O19	664784.00 m E	7471732.00 m S
Rio Acari	O20	665000.00 m E	7471807.00 m S
Rio Acari	O21	668238.00 m E	7472514.00 m S
Rio Acari	O21a	667723.68 m E	7472414.17 m S
Rio Carioca	O22	684578.00 m E	7461977.00 m S
Rio Carioca	O23	687657.00 m E	7462418.00 m S
Rio Carioca	O23a	686180.00 m E	7462707.00 m S
Rio Carioca	O23b	685934.70 m E	7462626.18 m S

IV. METODOLOGIA

As coletas e análises das amostras foram realizadas pelo Centro de Biologia Experimental Oceanus, acreditado pela ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017 e INEA CCL Nº IN010534, de acordo com as normas nacionais e internacionais de monitoramento, obedecendo a critérios rígidos de confiabilidade, no qual todos os parâmetros analisados fazem parte do escopo e matriz do credenciamento. Todas as atividades foram realizadas em observância às Normas Regulamentadoras – NR 6 (Equipamento de Proteção Individual – EPI) e NR 17 (Ergonomia).

Os parâmetros para monitoramento da água das Sub-bacias da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara foram analisados por metodologias normalizadas pelo *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WEF, 2017) e os resultados obtidos foram comparados aos padrões estabelecidos na Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, que 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. Cabe destacar que os corpos hídricos avaliados ainda não possuem enquadramento ou classificação oficialmente definida pelo poder público. Desta forma, serão aplicadas as condições e padrões de qualidade para água doce estabelecidos nos Artigos 14 a 23 da referida legislação.

Para o Índice de Qualidade das Águas (IQA), foram elaborados mapas temáticos para ilustrar a situação de cada parâmetro acima do esperado, nos pontos em estudo, de acordo com a escala de classificação de cores utilizada pelo Instituto Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro (INEA). Para calcular o IQA foi utilizada uma adaptação do método do National Sanitation Foundation (NSF), desenvolvido para avaliar a qualidade da água bruta visando seu uso para o abastecimento público, após tratamento. Para os mapas foi utilizado o Datum SIRGAS 2000, na projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Zona 23 S.

IV.1 Qualidade da Água

As coletas de amostras de água foram realizadas com balde de inox, e os resultados dos parâmetros físico-químicos da água foram obtidos *in situ* com o auxílio de uma sonda multiparâmetros HANNA HI98194, previamente calibrada (Figura IV-1). Nas estações de coleta, foram avaliados os seguintes parâmetros *in situ*: condutividade, oxigênio dissolvido, pH, salinidade, turbidez, temperatura da água e do ar.



Figura IV-1. Sonda multiparâmetros (A) e balde de inox utilizado para coleta (B).

A fim de minimizar os riscos de contaminação das amostras, os equipamentos utilizados durante a amostragem foram desinfetados com álcool 70%. As amostras foram preservadas com os reagentes específicos, conforme recomendado pelo *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WEF, 2017), EPA SW 846 (*Environmental Protection Agency*) e o Guia de Coletas da Agência Nacional de Águas – ANA, CETESB (2011), e mantidas sob refrigeração de $< 5^{\circ}\text{C}$ até a entrega ao laboratório.

Finalizadas as coletas, as amostras foram enviadas ao laboratório para análise. Para o controle, identidade e integridade das amostras em todas as etapas do processo, foram utilizadas Cadeias de Custódia, enviadas após a realização de cada campanha. Os

parâmetros monitorados na água e seus respectivos métodos analíticos são apresentados no Quadro IV-1.

Quadro IV-1. Parâmetros e métodos analíticos para amostras da qualidade da água.

Parâmetro	Método
DBO	SMWW 5210 B
Fósforo Total	EPA 6020 B / 200.8
Nitrato	D09727_02_Insert_Environmental_TON Vanadium Chloride reduction – Part Thermo Fisher Scientific
Oxigênio Dissolvido	SMWW 4500 – O G
pH	SMWW 4500 – H B
Turbidez	SMWW 2130 B
Sólidos Totais Dissolvidos	SMWW 2540 C
Coliformes Termotolerantes	SMWW 9221 B e C
Temperatura da Água	SMWW 2550 B
Temperatura do Ar	RE nº 9 ANVISA do Ministério da Saúde de 16 de janeiro de 2003 - NORMA TÉCNICA 003: Determinação da Temperatura, Umidade e Velocidade do Ar em Ambientes Interiores
Nitrogênio Total	SMWW 4500-N
Condutividade Elétrica	SMWW 2510 B
Salinidade	SMWW 2520 B

IV.2 Medição de Vazão

Além da análise da qualidade da água, foi realizada a medição de vazão em alguns pontos para análises quali-quantitativas. A medição de vazão foi realizada em 48 estações amostrais através de medidas pontuais das velocidades do fluxo, com o uso de molinetes, em profundidades maiores que 15 cm, e flutuador, em profundidades inferiores a 15 cm (Figura IV-2). O modelo de molinete utilizado para a medição de vazão foi o *Flowatch* da marca JDC.



Figura IV-2. Medição da vazão com o uso de molinete (A) e flutuador (B).

Para a medição de vazão utilizando flutuador, foi utilizada a fórmula:

$$Q = v \cdot A$$

Onde:

Q: é a vazão em m³/s;

v: é a velocidade média em m/s, medida através do quociente entre a distância e o tempo percorrido pelo objeto;

A: é a área da seção em m², medida através do produto da largura do rio e da profundidade.

Para a vazão medida por molinete, foi utilizada a seguinte fórmula:

$$Q = \sum_{i=1}^N v_i \cdot A_i$$

Onde:

Q: é a vazão em m³/s;

v: é a velocidade média em m/s, calculada a partir do Quadro IV-2;

A: é a área da seção, em m², calculada a partir da fórmula abaixo.

$$A_i = p_i \cdot \left(\left(\frac{d_{i+1} - d_{i-1}}{2} \right) \right)$$

Onde:

p: é a profundidade, em metros;

d: é a distância da vertical até a margem;

i: indica a vertical que está sendo considerada.

O número de pontos de amostragem foi calculado conforme o Quadro IV-2 a seguir.

Quadro IV-2. Número de pontos de amostragens conforme profundidade do trecho. Fonte: ANA (2012).

Nº de Pontos	Posição na Vertical em Relação à Profundidade (p)	Cálculo da Velocidade Média (vm) na Vertical	Profundidade (m)
1	0,6 p	vm = v _{0,6}	0,15 – 0,80
2	0,2 e 0,8 p	vm = (v _{0,2} + v _{0,8}) / 2	0,80 – 1,20
3	0,2; 0,6 e 0,8 p	vm = (v _{0,2} + 2v _{0,6} + v _{0,8}) / 4	1,20 – 2,00
4	0,2; 0,4; 0,6 e 0,8 p	vm = (v _{0,2} + 2v _{0,4} + 2v _{0,6} + v _{0,8}) / 8	2,00 – 4,00
6	S; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 p e F	vm = [v _s + 2(v _{0,2} + v _{0,4} + v _{0,6} + v _{0,8}) + v _f] / 10	> 4,00

v_s = velocidade medida na superfície

v_f = velocidade medida no fundo do rio

IV.3 Tratamento de Dados e Análises Estatísticas

Para fins de avaliação da variação dos dados ao longo das campanhas, foi realizada uma estatística descritiva, contendo o valor máximo e mínimo, assim como o cálculo da média, do desvio padrão (DP) e do coeficiente de variação (CV, calculado a partir da razão entre o desvio padrão e a média) de cada parâmetro analisado. Para o cálculo da média e do desvio padrão, assim como para a inserção de dados nas representações gráficas que abrangem estes cálculos, valores abaixo do limite de detecção do método de análise ($< LD$) e valores abaixo do limite de quantificação ($< LQ$), foram substituídos pela metade dos respectivos limites ($LD/2$ e $LQ/2$). Quando o valor médio de uma campanha ou o total para um parâmetro apresentar valor inferior ao limite de quantificação ou detecção, o respectivo valor foi substituído por $<LD$ ou $<LQ$, tendo em vista a elevada incerteza desse valor. Além disso, para os resultados de coliformes termotolerantes, nos casos em que o resultado foi >160.000 NMP/100 mL, utilizou-se o valor de 160.000 NMP/100 mL nas análises estatísticas.

A fim de facilitar a visualização da estatística descritiva para cada parâmetro analisado em cada sub-bacia, foram elaboradas tabelas unificadas com os resultados de cada parâmetro, a fim de apresentar a consolidação dos resultados obtidos para cada uma delas nas 35 campanhas realizadas. No entanto, os dados se referem a cada sub-bacia e não a comparações estatísticas entre elas.

Diferentemente dos 35 relatórios mensais, nos quais se repetem todos os parâmetros em cada sub-bacia, com o objetivo de tornar este relatório consolidado mais preciso e claro, optou-se pela apresentação dos resultados por parâmetro.

Para a apresentação dos resultados de forma gráfica, foram utilizados, no presente relatório, gráficos do tipo diagrama de caixa ou box-plot. Este tipo de gráfico permite avaliar a variabilidade do conjunto de dados por meio de quartis, apresentando os seguintes elementos:

- O limite inferior (LI);
- O primeiro quartil (Q1);
- A mediana (Q2);
- O terceiro quartil (Q3);
- O limite superior (LS) e
- Valor(es) discrepante(s) (outliers), quando presentes.

A “caixa” do box-plot, delimitada pelo Q1 e Q3, compreende 50% dos valores observados, sendo a diferença entre o valor do Q3 e Q1 denominada distância interquartil (AIQ). Os limites inferior e superior foram identificados da seguinte forma:

$$LI = Q1 - c \cdot AIQ$$

$$LS = Q3 + c \cdot AIQ$$

Sendo utilizado neste relatório o valor de c de 1,5, valor usualmente utilizado (DAWSON, 2011). Os valores discrepantes (outliers) foram identificados quando seus respectivos valores excederam, para cima ou para baixo, o valor de LS ou LI, respectivamente. A utilização de um valor de c igual a 1,5 permite captar mais de 99% dos dados embaixo da curva normal para acima e para abaixo do limite superior e do limite inferior (Figura IV-3). Todos os diagramas foram gerados através do programa R 4.3.2 (R Core Team, 2023).

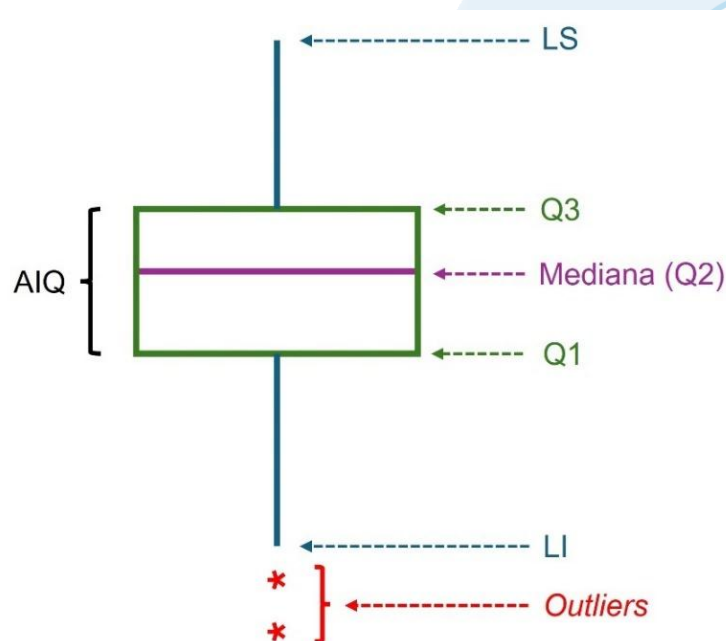


Figura IV-3. Representação esquemática de um diagrama de caixa (box-plot) e seus principais elementos.

Para a identificação de diferenças significativas entre as campanhas, foi realizada inicialmente a análise de normalidade e homoscedasticidade dos dados de cada parâmetro, utilizando-se os testes de Shapiro-Wilk e de Levene, respectivamente. Quando

estes dois critérios foram identificados, utilizou-se o teste paramétrico conhecido como análise de variância ou ANOVA, além do teste de *post-hoc* de Tukey quando identificada diferenças significativas entre grupos. Quando algum dos testes de normalidade ou homocedasticidade não indicavam a presença destes critérios, utilizou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis e o teste de *post-hoc* de Dunn. Neste relatório, foram considerados como significativos os resultados cujo valor de p obtido, referente ao erro do Tipo 1 ao se rejeitar H0 (igualdade entre grupos) for menor que 0,05. Todas as análises de variância foram realizadas através do programa R 4.3.2 (R Core Team, 2023). Os resultados de todas as análises estatísticas univariadas são apresentadas no Anexo I.

Para uma análise integrada entre os parâmetros, foi realizada a Análise de Componentes Principais (PCA/ACP). A PCA/ACP é um método de transformação linear ortogonal que produz um novo sistema de coordenadas a partir das dimensões que apresentam maiores variâncias nos dados, de forma que os eixos x, y e z são transformados em componentes (ou dimensões) 1, 2 e 3, sendo, em geral, produzido um número de componentes superior às 3 dimensões, com a maior variância no componente 1 e menores nos componentes seguintes, de forma decrescente. A partir desta técnica, é possível identificar a relação entre amostras e variáveis de forma espacial, porém em um número maior de dimensões, permitindo identificar um número maior de fatores explicativos para a distribuição dos dados ambientais (KASSAMBARA, 2017).

V. RESULTADOS E DISCUSSÃO

V.1 Dados Meteoceanográficos

V.1.1 Temperatura do Ar

A Tabela V-1 apresenta as estatísticas descritivas da temperatura do ar nas diferentes sub-bacias da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, com base em 35 campanhas de monitoramento. A média geral da temperatura foi de 27,56 °C, com variações entre 17 °C e 40 °C. Dentre as sub-bacias, o Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga apresentou a maior média de temperatura (29,09 °C) e também a maior amplitude (de 20,9 °C a 40,0 °C), além do maior desvio-padrão (4,09 °C) e coeficiente de variação (14%), indicando maior variabilidade térmica nessa região. Em contraste, o Sistema Lagunar de Jacarepaguá teve a menor variabilidade (CV = 10%) e temperaturas mais estáveis. As sub-bacias Leste, Oeste e Maricá exibiram médias próximas (entre 27,15 °C e 28,01 °C), com variações e dispersões relativamente semelhantes (DP em torno de 3 °C). A Lagoa Rodrigo de Freitas apresentou a menor média entre todas (26,36 °C), além de amplitude moderada e baixa variabilidade relativa (CV = 11%). Esses dados sugerem que fatores locais, como proximidade do mar, cobertura vegetal, urbanização e altitude, influenciam significativamente o regime térmico nas sub-bacias.

Tabela V-1 – Estatísticas descritivas da temperatura do ar (°C) nas sub-bacias da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara ao longo de 35 campanhas de monitoramento.

Sub-Bacia	Estatísticas Descritivas					
	n	Mín.	Máx.	Média	DP	CV
Lagoa Rodrigo de Freitas	454	18,00	35,00	26,36	2,92	11%
Leste	805	17,00	39,00	27,49	2,96	11%
Oeste	805	19,00	40,00	28,01	3,05	11%
Sistema Lagunar de Jacarepaguá	420	20,00	35,00	26,94	2,68	10%
Sistema Lagunar de Maricá	350	18,00	36,00	27,15	2,98	11%
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	420	20,90	40,00	29,09	4,09	14%
TOTAL	3254	17,00	40,00	27,56	3,21	12%

A Tabela V-2 mostra os resultados da análise de Kruskal-Wallis, que indicou diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) na temperatura do ar entre as

estações do ano e entre os períodos seco e chuvoso em todas as sub-bacias analisadas. Isso evidencia que a temperatura do ar nas regiões monitoradas varia de forma sistemática, conforme a sazonalidade e o regime hídrico. A análise *post-hoc* de Dunn detalha quais pares de estações diferem entre si. Em geral, o inverno apresentou diferenças significativas em relação às demais estações ($p < 0,05$), o que reforça a influência das baixas temperaturas dessa estação. A primavera e o verão, embora ambos mais quentes, também mostraram diferenças significativas em várias sub-bacias, como Oeste e Maricá, indicando padrões locais específicos de aquecimento. O outono frequentemente apresentou valores intermediários, com diferenças menos expressivas, mas ainda significativas em todas as comparações. No caso do Sistema Lagunar de Jacarepaguá, por exemplo, o verão não diferiu do outono ($p = 0,720$), sugerindo maior estabilidade térmica nesse período. Já a sub-bacia de Itaipu-Piratininga, com maiores amplitudes térmicas (como visto na Tabela V 2), demonstrou diferenças entre verão e outono.



Tabela V-2 – Diferenças significativas na temperatura do ar (°C) entre estações do ano e períodos seco e chuvoso (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$) e análise post-hoc para sub-bacias com variação significativa (Dunn, $p < 0,05$).

Sub-Bacia	Kruskal-Wallis (valor de p)			
	Estações	Períodos		
Lagoa Rodrigo de Freitas	<0,001	<0,001		
Leste	<0,001	<0,001		
Oeste	<0,001	<0,001		
Sistema Lagunar de Jacarepaguá	<0,001	<0,001		
Sistema Lagunar de Maricá	<0,001	<0,001		
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	<0,001	<0,001		
Sub-Bacia	Teste de Dunn (valor de p ajustado)			
	Estação	outono	primavera	verão
Lagoa Rodrigo de Freitas	inverno	<0,001	<0,001	<0,001
	outono		0,048	0,026
	primavera			<0,001
Leste	inverno	<0,001	<0,001	<0,001
	outono		0,001	0,001
	primavera			0,725
Oeste	inverno	<0,001	0,004	<0,001
	outono		<0,001	0,034
	primavera			<0,001
Sistema Lagunar de Jacarepaguá	inverno	<0,001	0,181	<0,001
	outono		<0,001	0,720
	primavera			0,000
Sistema Lagunar de Maricá	inverno	<0,001	<0,001	<0,001
	outono		<0,001	0,229
	primavera			<0,001
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	inverno	<0,001	<0,001	<0,001
	outono		0,011	0,130
	primavera			<0,001

V.1.2 Pluviosidade

A Tabela V-3 apresenta as estatísticas descritivas da pluviosidade (em mm/dia) registrada ao longo de 35 campanhas de monitoramento (sete dias que antecedem a coleta em cada campanha) em seis sub-bacias pertencentes à Região Hidrográfica da Baía de Guanabara. Os valores máximos variaram amplamente, com destaque para o

Sistema Lagunar de Maricá, que apresentou o maior valor pontual de precipitação (273,0 mm), seguido pelas sub-bacias Leste (177,6 mm) e Itaipu-Piratininga (141,2 mm).

Em relação à média de precipitação, as sub-bacias Leste (7,50 mm) e Maricá (6,66 mm) se destacam por concentrarem os maiores valores médios, enquanto Lagoa Rodrigo de Freitas e Oeste registraram as menores médias (3,07 mm e 3,03 mm, respectivamente), indicando uma distribuição espacial heterogênea das chuvas (Tabela V-4). A análise do desvio padrão (DP) e do coeficiente de variação (CV) reforça essa variabilidade. O Sistema Lagunar de Maricá apresentou o maior DP (24,21 mm), refletindo alta dispersão dos dados, enquanto a sub-bacia Oeste apresentou o menor DP (10,02 mm). Quando essa dispersão é normalizada em relação à média, o CV aponta que a variabilidade relativa foi mais acentuada em Itaipu-Piratininga (CV = 373%) e Maricá (CV = 364%), sugerindo padrões pluviométricos mais irregulares nessas áreas. O conjunto total das amostras ($n = 1958$) apresentou média de 4,65 mm com CV de 334%, reforçando a alta variabilidade geral da precipitação na região estudada.

Tabela V-3 – Estatísticas descritivas da pluviosidade (mm) nas sub-bacias da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara ao longo de 35 campanhas de monitoramento.

Sub-Bacia	Estatísticas Descritivas					
	n	Mín.	Máx.	Média	DP	CV
Lagoa Rodrigo de Freitas	294	0,00	129,40	3,07	10,75	350%
Leste	382	0,00	177,60	7,50	18,49	247%
Oeste	419	0,00	101,60	3,03	10,02	330%
Sistema Lagunar de Jacarepaguá	287	0,00	112,20	4,06	12,63	311%
Sistema Lagunar de Maricá	290	0,00	273,00	6,66	24,21	364%
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	286	0,00	141,20	3,37	12,58	373%
TOTAL	1958	0,00	273,00	4,65	15,54	334%

A Tabela V-4 apresenta os resultados dos testes de Kruskal-Wallis e Dunn, aplicados para investigar diferenças significativas na distribuição da pluviosidade entre as estações do ano e entre os períodos seco e chuvoso em cada sub-bacia. O teste de Kruskal-Wallis revelou que, entre as estações, houve diferenças estatisticamente significativas nas sub-bacias Leste ($p < 0,001$), Oeste ($p = 0,002$) e Itaipu-Piratininga ($p = 0,004$), enquanto entre os períodos seco e chuvoso, variações significativas foram observadas nas sub-bacias Oeste ($p < 0,001$), Itaipu-Piratininga ($p = 0,011$) e Jacarepaguá

($p = 0,013$). Esses resultados indicam que a sazonalidade climática influencia significativamente a dinâmica da precipitação em parte das sub-bacias estudadas.

A análise *post-hoc* de Dunn permitiu identificar as comparações entre estações responsáveis pelas diferenças significativas. Na sub-bacia Leste, os maiores contrastes foram observados entre o inverno e as demais estações ($p < 0,001$ para outono e verão; $p = 0,007$ para primavera), evidenciando um padrão de maior pluviosidade nos meses de inverno. Na sub-bacia Oeste, as diferenças mais marcantes também envolveram o inverno, com valores significativos frente à primavera ($p = 0,001$) e ao verão ($p < 0,001$), sugerindo um comportamento semelhante ao da sub-bacia Leste. Já em Itaipu-Piratininga, o inverno se destacou frente a todas as demais estações ($p = 0,004$ para outono, $p = 0,009$ para primavera e $p < 0,001$ para verão), indicando um regime claramente diferenciado de precipitação nesta estação.

De modo geral, os resultados apontam para uma distribuição pluviométrica sazonalmente variável em determinadas sub-bacias da Baía de Guanabara, com destaque para o papel do inverno como estação de maior contraste em relação às demais. A identificação dessas diferenças é essencial para o planejamento de ações preventivas e adaptativas, especialmente em contextos de gestão de recursos hídricos e riscos hidrometeorológicos. A distribuição dos valores de pluviosidade diária nos períodos de monitoramento, entre estações e períodos seco e chuvoso, é apresentada na Figura V-1 e Figura V-2.

Tabela V-4 – Diferenças significativas na pluviosidade (mm/dia) entre estações do ano e períodos seco e chuvoso (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$) e análise post-hoc para sub-bacias com variação significativa (Dunn, $p < 0,05$).

Sub-Bacia	Kruskal-Wallis (valor de <i>p</i>)			
	Estações	Períodos		
Lagoa Rodrigo de Freitas	0,125	0,118		
Leste	<0,001	0,118		
Oeste	0,002	<0,001		
Sistema Lagunar de Jacarepaguá	0,409	0,013		
Sistema Lagunar de Maricá	0,084	0,057		
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	0,004	0,011		
Sub-Bacia	Teste de Dunn (valor de <i>p</i> ajustado)			
	Estação	outono	primavera	verão
Leste	inverno	<0,001	0,007	<0,001
	outono		0,051	0,280
	primavera			0,009
Oeste	inverno	0,099	0,001	<0,001
	outono		0,078	0,040
	primavera			0,323
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	inverno	0,004	0,009	<0,001
	outono		0,275	0,335
	primavera			0,124

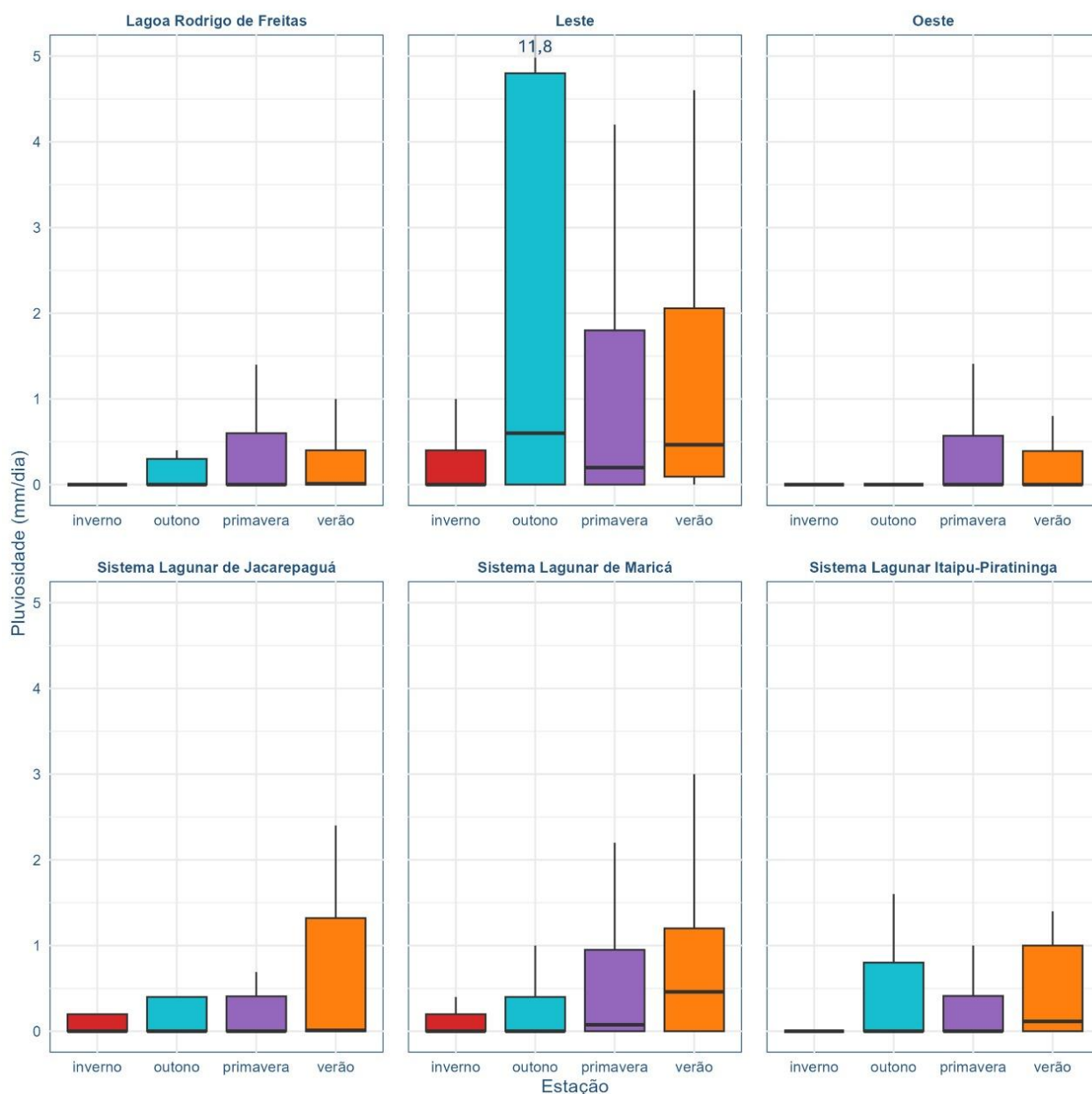


Figura V-1. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de pluviosidade (mm/dia) entre estações do ano, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento. De forma a melhorar a visualização dos diagramas, os outliers foram removidos dos gráficos.

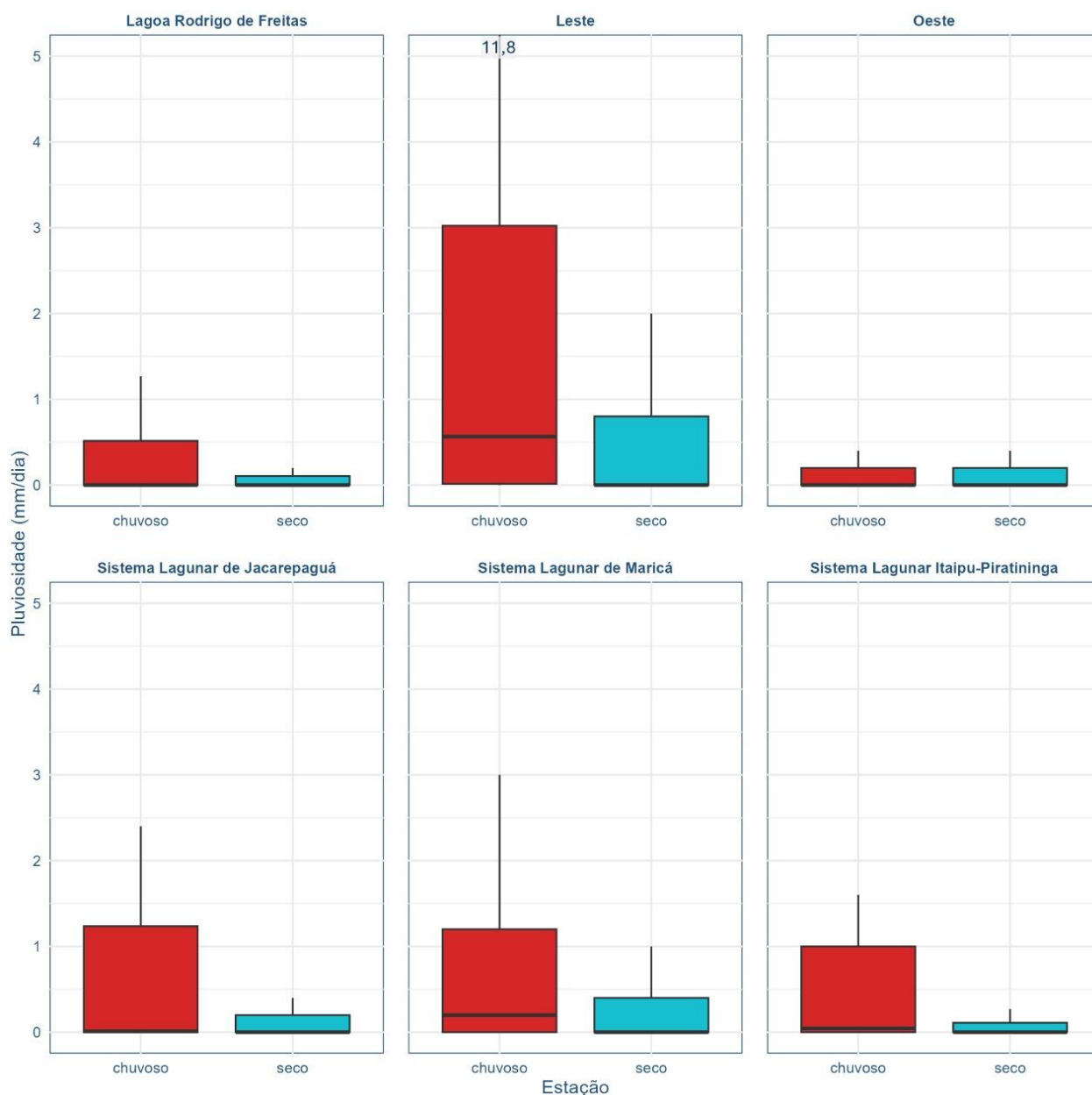


Figura V-2. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de pluviosidade (mm/dia) entre períodos seco e chuvoso, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento. De forma a melhorar a visualização dos diagramas, os outliers foram removidos dos gráficos.

A Figura V-3 apresenta os acumulados de pluviosidade (mm) registrados durante as 35 campanhas de monitoramento em diferentes sub-bacias da região metropolitana do Rio de Janeiro, revelando variações espaciais e temporais nos volumes de chuva.



Figura V-3. Acumulados de pluviosidade (mm) no período de realização das campanhas de monitoramento, por sub-bacia.

V.2 Qualidade da Água

V.2.1 Parâmetros Físico-Químicos e Microbiológicos

A Resolução CONAMA 357/2005 estabelece diretrizes para a classificação e o enquadramento dos corpos d'água no Brasil, considerando parâmetros essenciais para a qualidade ambiental e o uso sustentável dos recursos hídricos. A Tabela V-5 apresenta, além dos limites de detecção (LD) e de quantificação (LQ) de diversos parâmetros físico-químicos e biológicos, os respectivos valores de enquadramento para águas doces, salobras e salinas, conforme estabelecido na referida resolução. A definição dos valores de enquadramento varia conforme a classe do corpo d'água, refletindo diferentes padrões de qualidade exigidos para usos como abastecimento público, recreação, preservação da fauna aquática e outras finalidades.

Tabela V-5 – Limites de detecção (LD), de quantificação (LQ) e valores de enquadramento dos parâmetros de acordo com a Resolução CONAMA 357/05.

Parâmetro	Unidade	LD	LQ	Classes Res. CONAMA 357/2005									
				Águas Doces				Águas Salobras			Águas Salinas		
				1	2	3	4	1	2	3	1	2	3
Salinidade	-	0,003	0,01	0 a 0,5				0,5 a 30			acima de 30		
Condutividade	µS/cm	0,03	0,1										
Temp. da Água	°C	NA	1 a 70										
Temp. do Ar	°C	NA	0 a 50										
Fósforo Total	mg/L	0,003	0,01	0,025	0,05	0,075		0,124	0,186		0,062	0,093	
Nitrato	mg/L	0,015	0,05	10	10	10		0,4	0,7		0,4	0,7	
Nitrogênio Total	mg/L	0,06	0,1										
Oxigênio Dissolvido	mg/L	0,03	0,1	≥6	≥5	≥4	≥2	≥5	≥4	≥3	≥6	≥5	≥4
Dem. Bioq. de Oxigênio	mg/L	1	1	3	5	10							
Potencial Hidrogeniônico	-	NA	1 a 13	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6,5 a 8,5	6,5 a 8,5	5 a 9	6,5 a 8,5	6,5 a 8,5	6,5 a 8,5
Turbidez	UNT	NA	0,1	40	100	100		Virt. Aus.	Virt. Aus.	Virt. Aus.	Virt. Aus.	Virt. Aus.	Virt. Aus.
Sól. Totais Dissolvidos	mg/L	0,3	1	500	500	500							
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	NA	1,8	1000	1000	2500		1000	2500	4000	1000	2500	4000

V.2.1.1 Temperatura da Água

A temperatura é a propriedade física utilizada para caracterizar o estado térmico do sistema. Este parâmetro fornece informações indispensáveis à avaliação e interpretação de resultados da qualidade da água (Freitas, 2003; Libes, 2009). Variações de temperatura são parte do regime climático normal e corpos de água naturais apresentam variações sazonais e diurnas, bem como estratificação vertical (CETESB, 2009). A temperatura exerce influência marcante na velocidade das reações químicas, nas atividades metabólicas dos organismos e na solubilidade de substâncias (FUNASA, 2014).

A Tabela V-6 apresenta as estatísticas descritivas da temperatura da água (°C) em diferentes sub-bacias da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, monitoradas ao longo de 35 campanhas. A temperatura média da água variou entre 23,12°C (Lagoa Rodrigo de Freitas) e 26,62°C (Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga), sendo a média geral 24,51°C. O Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga apresentou a maior amplitude térmica, com temperaturas variando de 15,80°C a 39,70°C, enquanto a menor variação foi observada na Lagoa Rodrigo de Freitas, entre 17,90°C e 31,06°C. O desvio padrão (DP), que indica a dispersão dos dados, variou entre 2,24°C (Lagoa Rodrigo de Freitas) e 3,15°C (Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga). Já o coeficiente de variação (CV), que representa a relação entre o desvio padrão e a média, oscilou entre 10% e 13%, demonstrando uma variação relativamente homogênea entre as sub-bacias.

Tabela V-6 – Estatísticas descritivas da temperatura da água (°C) nas sub-bacias da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara ao longo de 35 campanhas de monitoramento.

Sub-Bacia	Estatísticas Descritivas					
	n	Mín.	Máx.	Média	DP	CV
Lagoa Rodrigo de Freitas	450	17,90	31,06	23,12	2,24	10%
Leste	805	14,84	34,32	23,75	2,98	13%
Oeste	805	18,00	32,19	25,08	3,02	12%
Sistema Lagunar de Jacarepaguá	420	17,44	32,20	23,76	2,90	12%
Sistema Lagunar de Maricá	350	18,00	33,00	25,13	3,00	12%
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	420	15,80	39,70	26,62	3,15	12%
TOTAL	3254	14,84	39,70	24,51	3,11	13%

A Tabela V-7 apresenta os resultados dos testes estatísticos Kruskal-Wallis e Dunn para a avaliação das diferenças significativas na temperatura da água (°C), entre estações

do ano e períodos seco e chuvoso, nas sub-bacias da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara. Os resultados do teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$) indicam diferenças estatisticamente significativas na temperatura da água entre as estações do ano e entre os períodos seco e chuvoso para todas as sub-bacias analisadas, evidenciadas pelos valores de $p < 0,05$ em todas as comparações.

Os resultados demonstram que a temperatura da água varia de forma significativa ao longo do ano, com exceção da comparação entre outono e verão, onde não se observou diferenças significativas nas seis sub-bacias. Essas variações podem estar associadas a mudanças sazonais nas condições climáticas, acompanhando a variação das temperaturas entre estações do ano, conforme apresentado na Figura V-4 e na Figura V-5.

Tabela V-7 – Diferenças significativas na temperatura da água (°C) entre estações do ano e períodos seco e chuvoso (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$) e análise post-hoc para sub-bacias com variação significativa (Dunn, $p < 0,05$).

Sub-Bacia		Kruskal-Wallis (valor de p)		
		Estações	Períodos	
Lagoa Rodrigo de Freitas		<0,001	<0,001	
Leste		<0,001	<0,001	
Oeste		<0,001	<0,001	
Sistema Lagunar de Jacarepaguá		<0,001	<0,001	
Sistema Lagunar de Maricá		<0,001	<0,001	
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga		<0,001	<0,001	
Sub-Bacia	Teste de Dunn (valor de p ajustado)			
	Estação	outono	primavera	verão
Lagoa Rodrigo de Freitas	inverno	<0,001	<0,001	<0,001
	outono		<0,001	0,671
	primavera			<0,001
Leste	inverno	<0,001	<0,001	<0,001
	outono		<0,001	0,087
	primavera			<0,001
Oeste	inverno	<0,001	<0,001	<0,001
	outono		<0,001	0,849
	primavera			<0,001
Sistema Lagunar de Jacarepaguá	inverno	<0,001	<0,001	<0,001
	outono		<0,001	0,265
	primavera			<0,001
Sistema Lagunar de Maricá	inverno	<0,001	<0,001	<0,001
	outono		<0,001	0,515
	primavera			<0,001
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	inverno	<0,001	<0,001	<0,001
	outono		<0,001	0,585
	primavera			<0,001

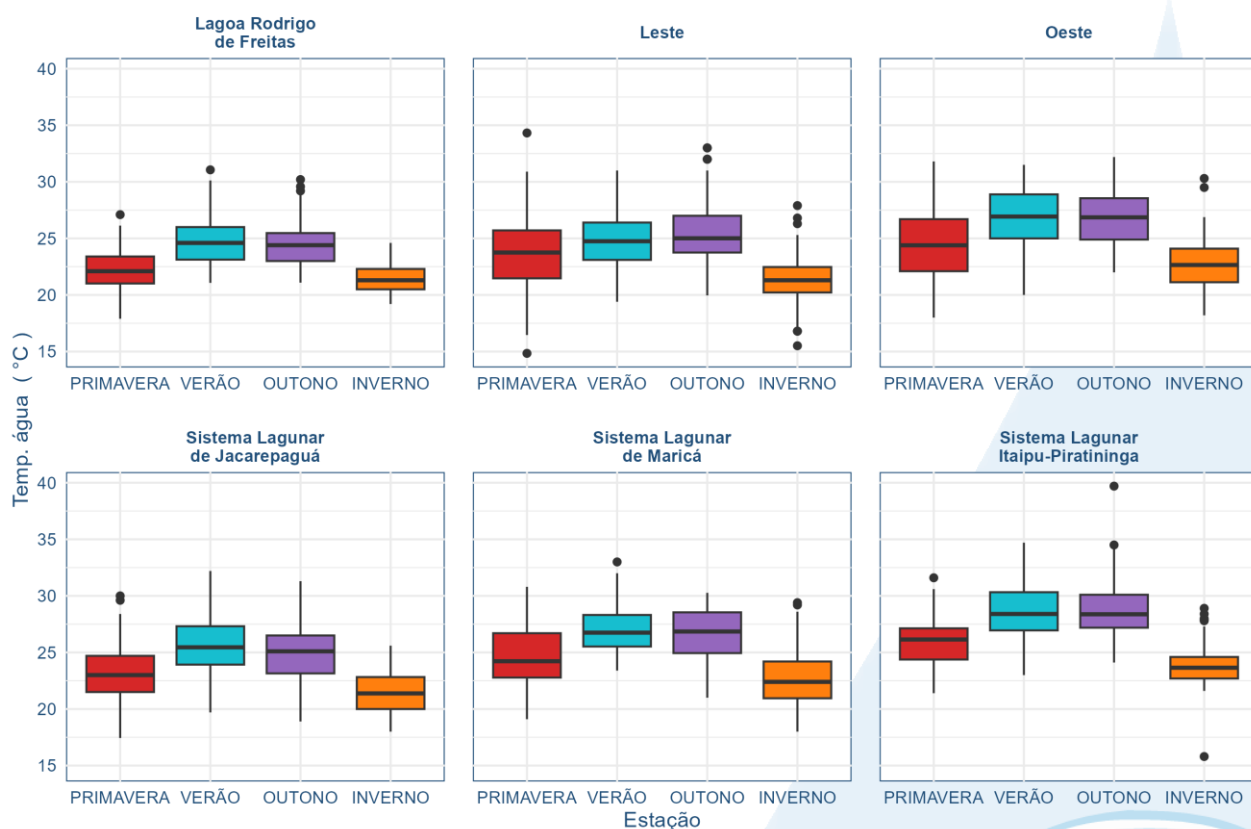


Figura V-4. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de temperatura da água (°C) entre estações do ano, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.

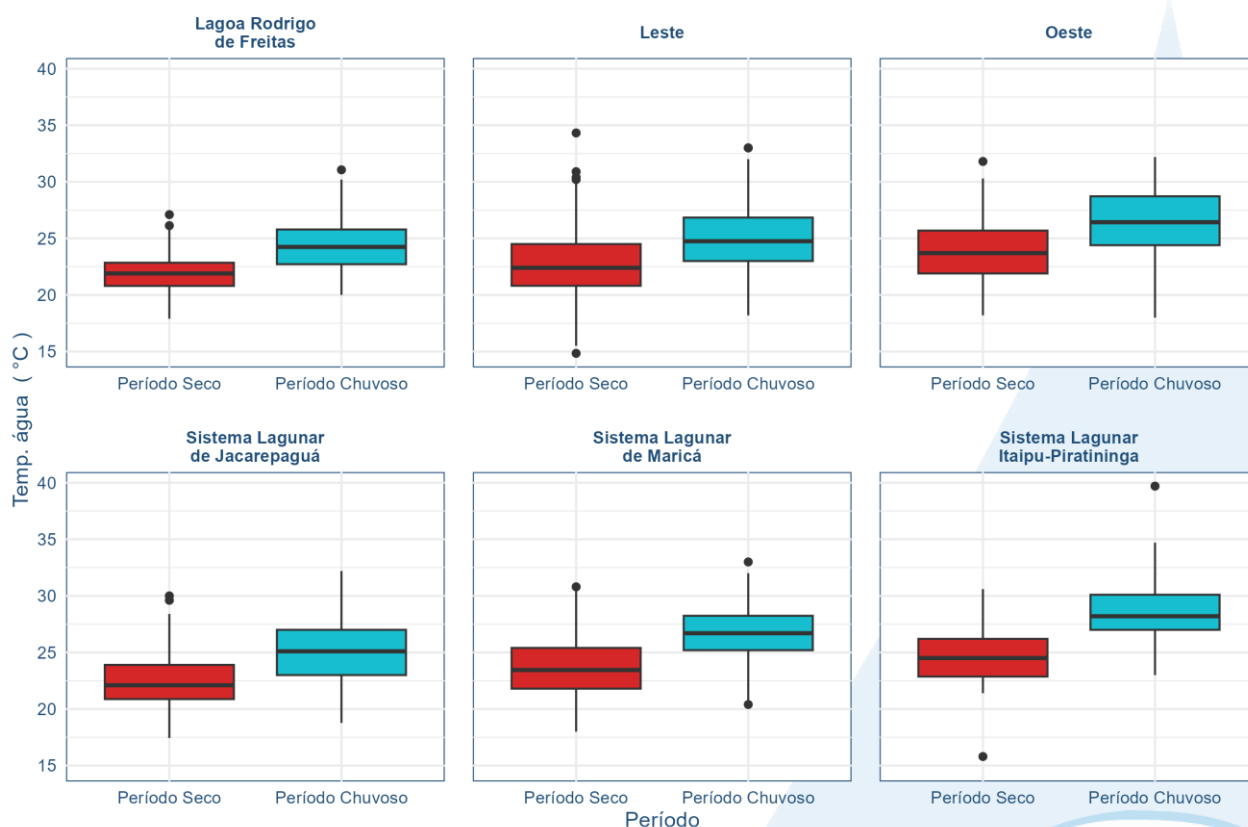


Figura V-5. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de temperatura da água (°C) entre períodos do ano, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.

V.2.1.2 Salinidade e Condutividade

A Tabela V-8 apresenta as estatísticas descritivas dos valores de salinidade registrados nas diferentes sub-bacias da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara ao longo de 35 campanhas de monitoramento. Os resultados indicam uma ampla variação da salinidade entre as sub-bacias, refletindo diferentes níveis de influência marinha e de aporte de água doce. Conforme apresentado no item IV.3, os cálculos para a estatística descritiva foram realizados com os resultados de cada sub-bacia, não sendo realizadas comparações estatísticas entre elas. Além disso, ressalta-se que não foi realizada uma avaliação específica da influência da maré nos pontos de amostragem em rios, canais e lagoas que sofrem essa influência, já que essa análise não faz parte do atual escopo deste trabalho.

Na Lagoa Rodrigo de Freitas foi registrada salinidade média de 0,38, com valores variando entre 0,01 e 35,90, e apresentou um coeficiente de variação (CV) extremamente

elevado (722%), indicando grande dispersão dos dados e oscilações significativas ao longo do período monitorado. A região Leste, por outro lado, apresentou a menor média de salinidade (0,04), com uma variação entre 0,00 e 1,78 e um CV de 246%, refletindo uma baixa influência marinha e um predomínio de água doce.

O Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga destacou-se por apresentar a maior salinidade média (20,87) e a menor variação relativa (CV = 29%), indicando a influência pelo mar. Já o Sistema Lagunar de Jacarepaguá e o Sistema Lagunar de Maricá apresentaram salinidades médias de 1,18 e 1,70, respectivamente, com coeficientes de variação elevados (274% e 178%), evidenciando flutuações significativas nos níveis de salinidade dessas lagoas.

Tabela V-8 – Estatísticas descritivas dos valores de salinidade obtidos nas sub-bacias que compõem a Região Hidrográfica da Baía de Guanabara nas 35 campanhas de monitoramento.

Estatísticas Descritivas - Salinidade						
Sub-Bacia	n	Mín.	Máx.	Média	DP	CV
Lagoa Rodrigo de Freitas	450	0,01	35,90	0,38	2,76	722%
Leste	805	ND	1,78	0,04	0,11	246%
Oeste	805	0,01	30,30	0,18	1,10	595%
Sistema Lagunar de Jacarepaguá	420	0,01	31,65	1,18	3,24	274%
Sistema Lagunar de Maricá	350	0,01	15,51	1,70	3,03	178%
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	420	4,93	35,28	20,87	6,08	29%
TOTAL	3254	ND	35,90	3,14	7,44	237%

A Tabela V-9 apresenta os resultados dos testes estatísticos Kruskal-Wallis e Dunn, avaliando as diferenças significativas na salinidade entre as estações do ano e os períodos seco e chuvoso. Os valores de p indicam que a salinidade variou significativamente entre as estações e entre os períodos para a Lagoa Rodrigo de Freitas, para a região Leste e para o Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga ($p < 0,05$), sugerindo uma forte influência sazonal nesses locais. Para as demais bacias, apesar de não apresentarem variações entre estações do ano, verificou-se diferenças significativas entre período seco e chuvoso, indicando uma diferenciação relacionada com os regimes hídricos.

A análise *post-hoc* de Dunn revelou que, na Lagoa Rodrigo de Freitas, as diferenças mais significativas ocorreram entre o inverno e o verão ($p < 0,0001$) e entre a primavera e o verão ($p < 0,0001$), indicando oscilações sazonais bem definidas. No Sistema Lagunar

Itaipu-Piratininga, a diferença mais relevante foi entre a primavera e o verão ($p = 0,027$) e entre o inverno e o verão ($p = 0,041$), demonstrando que a salinidade sofre alterações significativas em determinadas transições sazonais. A distribuição dos resultados por estações e períodos são apresentados na Figura V-6 e Figura V-7.

Tabela V-9 – Diferenças significativas na salinidade entre estações do ano e períodos seco e chuvoso (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$) e análise post-hoc para sub-bacias com variação significativa (Dunn, $p < 0,05$).

Sub-Bacia	Kruskal-Wallis (valor de p)			
	Estações	Períodos		
Lagoa Rodrigo de Freitas	<0,001	<0,001		
Leste	<0,001	<0,001		
Oeste	0,066	<0,001		
Sistema Lagunar de Jacarepaguá	0,059	0,002		
Sistema Lagunar de Maricá	0,108	0,002		
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	0,004	<0,001		
Sub-Bacia	Teste de Dunn (valor de p ajustado)			
	Estação	outono	primavera	verão
Lagoa Rodrigo de Freitas	inverno	0,007	0,673	<0,001
	outono		0,015	0,179
	primavera			<0,001
Leste	inverno	<0,001	0,006	<0,001
	outono		0,052	0,680
	primavera			0,013
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	inverno	0,085	0,386	0,041
	outono		0,310	0,300
	primavera			0,027

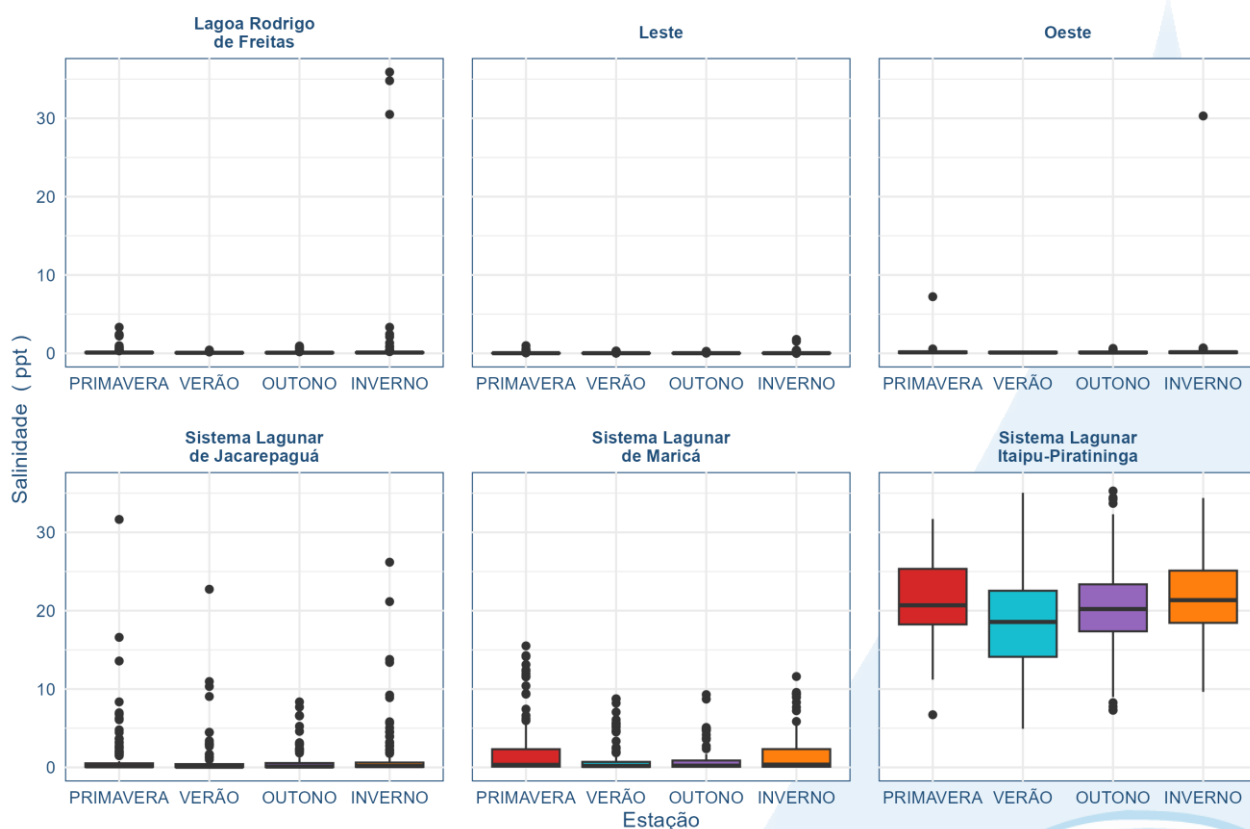


Figura V-6. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de salinidade entre estações do ano, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.

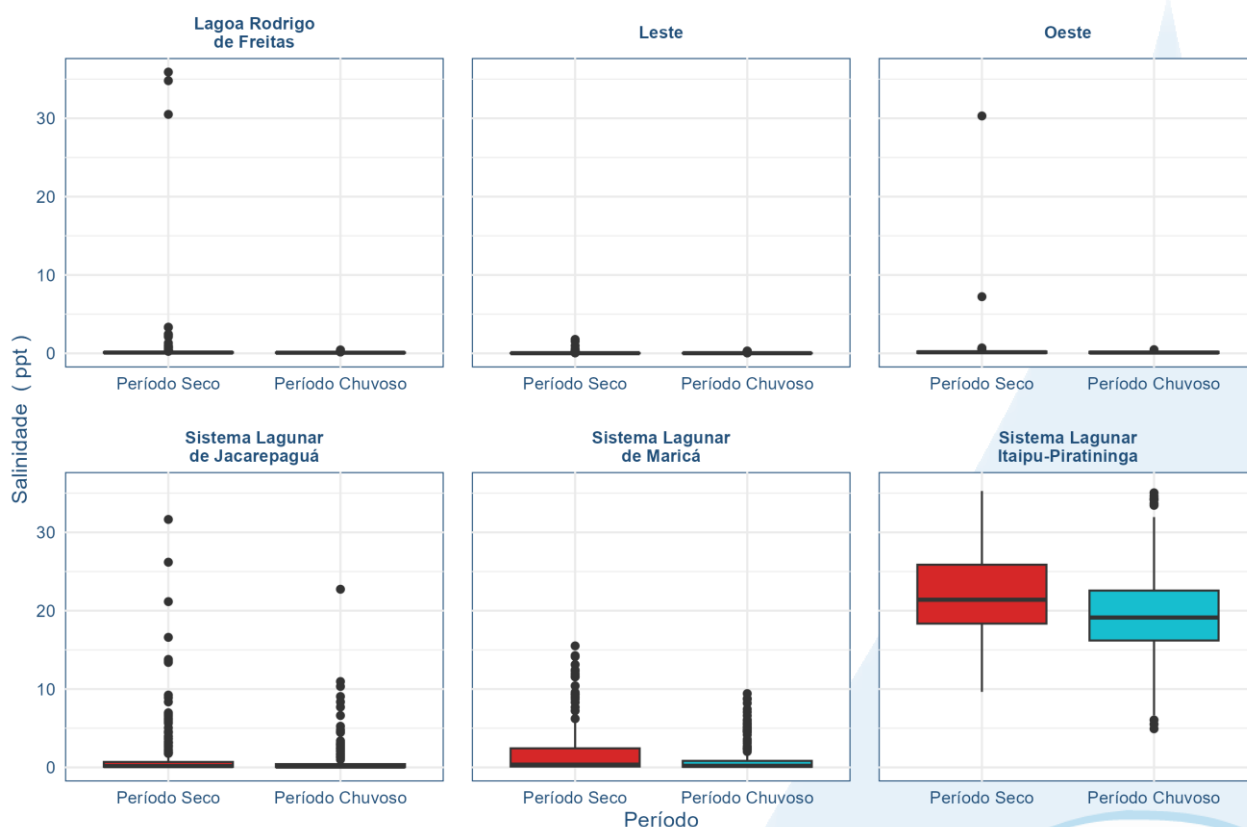


Figura V-7. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de salinidade entre períodos do ano, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.

De acordo com Coluna (2007), valores de condutividade inferiores a $50 \mu\text{S}/\text{cm}$ são um indicativo de que a região é formada por rochas resistentes ao intemperismo. Já o documento de Diretrizes e Procedimentos Padrão para Monitoramento Contínuo da Qualidade da Água (Wagner et al., 2006) estabelece, como referência para rios de água doce, a faixa de condutividade entre 0 e $1.000 \mu\text{S}/\text{cm}$, entre 2.000 e $44.000 \mu\text{S}/\text{cm}$ para águas salobras, e acima de $44.000 \mu\text{S}/\text{cm}$ para águas salinas.

Os valores de condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$) também apresentaram grande variabilidade entre as sub-bacias. A Lagoa Rodrigo de Freitas exibiu condutividade média de $587,30 \mu\text{S}/\text{cm}$, com um coeficiente de variação extremamente elevado (644%), sugerindo grande dispersão dos dados. A região Leste apresentou a menor condutividade média ($85,22 \mu\text{S}/\text{cm}$), com variações entre $1,90$ e $1.837 \mu\text{S}/\text{cm}$, e um CV de 164%, refletindo a predominância de águas mais doces (Tabela V-10).

O Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga destacou-se por apresentar a maior condutividade média ($32.919 \mu\text{S}/\text{cm}$), indicando forte influência marinha, com um CV

relativamente baixo (27%), sugerindo uma estabilidade maior desse parâmetro. Já o Sistema Lagunar de Jacarepaguá e o Sistema Lagunar de Maricá apresentaram médias de 2.036 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 2.980 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente, com coeficientes de variação elevados (251% e 171%), indicando oscilações significativas ao longo do período de monitoramento.

Tabela V-10 – Estatísticas descritivas dos valores de condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$) obtidos nas sub-bacias que compõem a Região Hidrográfica da Baía de Guanabara nas 35 campanhas de monitoramento.

Sub-Bacia	Estatísticas Descritivas - Condutividade					
	n	Mín.	Máx.	Média	DP	CV
Lagoa Rodrigo de Freitas	345	32,00	52.700	587,30	3.782	644%
Leste	805	1,90	1.837	85,22	139,36	164%
Oeste	805	8,00	51.600	365,36	1.864	510%
Sistema Lagunar de Jacarepaguá	420	21,00	48.450	2.036	5.108	251%
Sistema Lagunar de Maricá	350	42,00	25.598	2.980	5.083	171%
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	420	8.800	53.460	32.919	8.819	27%
TOTAL	3149	1,90	53.460	5.174	11.771	228%

A condutividade também apresentou diferenças significativas em diversas sub-bacias (Tabela V-11). Para a Lagoa Rodrigo de Freitas, região Leste e Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga, os testes indicaram variação estatisticamente significativa tanto entre as estações quanto entre os períodos seco e chuvoso ($p < 0,05$). A análise *post-hoc* de Dunn revelou que, na Lagoa Rodrigo de Freitas e região Leste, somente entre verão e outono e entre inverno e primavera não ocorreram diferenças significativas ($p < 0,05$), indicando variações em uma escala semestral, mais próximo do período seco/chuvoso. Os resultados de condutividade apresentaram comportamento similar ao da salinidade (Figura V-8 e Figura V-9), o que é esperado, tendo em vista que a quantidade de sais na água aumenta tanto a salinidade quanto a condutividade elétrica, sendo a salinidade calculada a partir do valor de condutividade.

Tabela V-11 – Diferenças significativas na condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$) entre estações do ano e períodos seco e chuvoso (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$) e análise post-hoc para sub-bacias com variação significativa (Dunn, $p < 0,05$).

Sub-Bacia	Kruskal-Wallis (valor de p)		
	Estações	Períodos	
Lagoa Rodrigo de Freitas	<0,01	<0,01	
Leste	<0,01	<0,01	
Oeste	0,05	<0,01	
Sistema Lagunar de Jacarepaguá	0,10	<0,01	
Sistema Lagunar de Maricá	0,17	<0,01	
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	0,01	<0,01	

Sub-Bacia	Teste de Dunn (valor de p ajustado)			
	Estação	outono	primavera	verão
Lagoa Rodrigo de Freitas	inverno	<0,01	0,52	<0,01
	outono		0,02	0,51
	primavera			<0,01
Leste	inverno	<0,01	0,33	<0,01
	outono		<0,01	0,63
	primavera			<0,01
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	inverno	0,23	0,76	0,02
	outono		0,27	0,30
	primavera			0,02

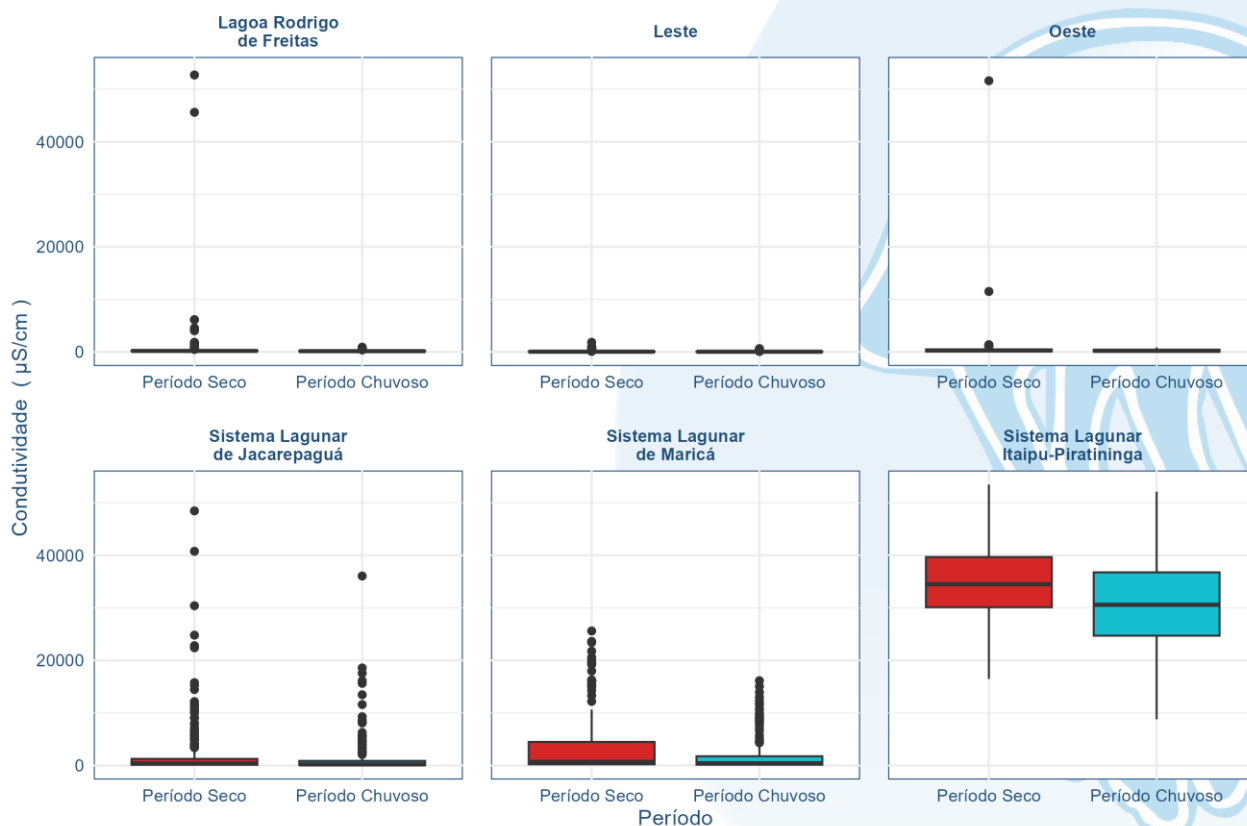


Figura V-8. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$) entre períodos do ano, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.

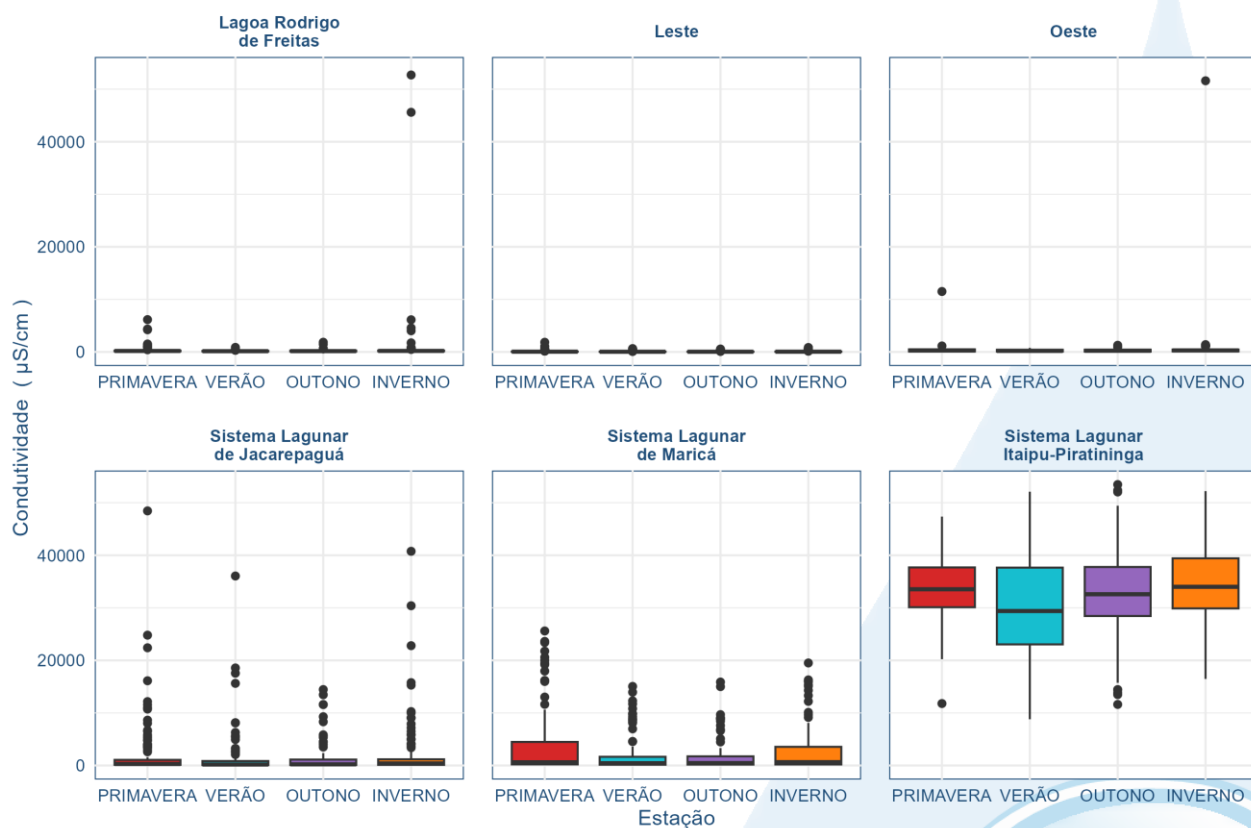


Figura V-9. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de condutividade (µS/cm) entre estações do ano, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.

V.2.1.3 Nutrientes

No tocante aos nutrientes, o nitrogênio (N) e o fósforo (P) são os principais compostos inorgânicos necessários ao crescimento e à reprodução dos organismos autótrofos. Nos ecossistemas aquáticos, o fósforo pode se apresentar nas águas sob três formas diferentes: a) fosfatos orgânicos, forma em que o fósforo compõe moléculas orgânicas, b) ortofosfatos, representados pelos radicais, que se combinam com cátions formando sais inorgânicos nas águas, e c) polifosfatos ou fosfatos condensados. Nos oceanos, esse é encontrado basicamente na forma química de fosfato (Libes, 2009).

A contribuição relativa das formas de N dependerá das condições de oxirredução do ambiente, que por sua vez, são controladas basicamente pelas concentrações de O_2 no meio (Libes, 2009). Em águas pobres em oxigênio, a principal forma de nitrogênio inorgânico são as formas amoniacais (NH_x), uma vez que nestas condições, os compostos nitrogenados orgânicos são convertidos a amônia, e as formas oxidadas de nitrogênio inorgânico (NO_x) são convertidas a N_2 ou N_2O , formas gasosas que são liberadas para a atmosfera (Bernhard, 2010; Guimarães; Mello, 2008).

Os esgotos sanitários constituem, em geral, a principal fonte de lançamento de nitrogênio orgânico nas águas, devido à presença de proteínas e nitrogênio amoniacal, pela hidrólise da ureia na água. Somado a isso, consideram-se os lançamentos provenientes das indústrias químicas, petroquímicas, siderúrgicas, farmacêuticas, conservas alimentícias, matadouros, frigoríficos e curtumes (CETESB, 2009). De acordo com Von Sperling (2014), concentrações elevadas de nitrogênio orgânico e amônia estão associadas a esgoto bruto e poluição recente em cursos d'água, enquanto o nitrato está associado à poluição remota.

O excesso de nutrientes nos ecossistemas aquáticos leva à eutrofização, e como consequência, o aumento da produtividade do fitoplâncton e o crescimento massivo de macrófitas (Esteves, 1998), sendo as concentrações de nitrogênio e fósforo fator limitante para o crescimento do fitoplâncton (Tundisi e Tundisi, 2008; Wetzel, 2001).

No âmbito deste monitoramento, estão sendo considerados os seguintes nutrientes: fósforo total, nitrato e nitrogênio total. O teor de nitrogênio total é a soma do nitrogênio amoniacal e orgânico, denominado de nitrogênio total Kjeldahl, acrescido das concentrações de nitrito e nitrato.

V.2.1.3.1 Fósforo Total

Os níveis de fósforo total variaram amplamente entre as sub-bacias, indicando diferentes graus de alteração ambiental. O Sistema Lagunar de Jacarepaguá apresentou a maior concentração máxima registrada (18,97 mg/L), com média de 0,70 mg/L e um CV de 200%, indicando variações expressivas na carga de fósforo ao longo do tempo. A sub-bacia Oeste apresentou a maior média (0,76 mg/L), sugerindo um ambiente potencialmente mais impactado (Tabela V-16). O Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga apresentou a menor média de fósforo total (0,24 mg/L) e o menor CV (66%), juntamente com a Lagoa Rodrigo de Freitas e a região Leste, que apresentaram médias mais baixas (0,21 mg/L e 0,12 mg/L, respectivamente), mas com elevados coeficientes de variação, indicando flutuações significativas. Lembrando que esses resultados de estatística descritiva são referentes a cada sub-bacia em si e não foi realizada uma comparação estatística entre elas.

Ressalta-se que, como a Resolução CONAMA 357/05 estabelece apenas um valor como padrão de qualidade para o fósforo total em águas salobras, sem distinção de ambientes lótico e lântico, os resultados obtidos na estação M7 foram tratados conjuntamente com os demais dados do Sistema Lagunar de Maricá. O mesmo critério foi adotado para o Sistema Lagunar de Itaipu-Piratininga, sendo considerados os padrões de qualidade estabelecidos para águas salobra e/ou salina. Além disso, o enquadramento/desenquadramento, foi avaliado individualmente para cada ponto, levando em conta a característica do ambiente local.

Os dados de enquadramento segundo a Resolução CONAMA 357/05 evidenciam que a maioria de todas as amostras analisadas (55,4%) não atendeu aos limites estabelecidos para as classes de qualidade da água. O percentual de amostras em desconformidade com a Resolução, considerando todas as classes, varia de 52% na Lagoa Rodrigo de Freitas até 71% na sub-bacia Oeste e no Sistema Lagunar de Jacarepaguá. A exceção se dá na região Leste, onde o percentual de amostras sem enquadramento foi menor (24%) e predomínio de amostras enquadradas na classe 1 (51%).

Em revisão histórica realizada por Silva e Molisani (2019) sobre o estado trófico das lagoas costeiras do Rio de Janeiro, foi considerada uma compilação de dados entre os

anos de 1979 e 2015 do parâmetro colorofila *a* (não contemplada no atual escopo) e fósforo na coluna d'água das principais lagoas costeiras fluminenses. Considerando apenas as lagoas monitoradas no presente estudo, o melhor resultado foi verificado na Lagoa Rodrigo de Freitas, com uma tendência de redução nos índices de estado trófico no período, provavelmente devido a um aumento da área coberta pelo saneamento básico e ligação permanente com o mar. Os Sistemas Lagunares de Jacarepaguá e de Itaipu-Piratininga, que recebem importante carga de esgoto sem tratamento, apresentaram piora no estado trófico, com certa estabilização nos últimos 5 anos, com destaque para as lagoas Tijuca, Camorim e Jacarepaguá. Em relação ao Sistema Lagunar de Maricá, foi observado agravamento do seu estado trófico.



Tabela V-12 – Estatísticas descritivas dos valores de fósforo total (mg/L) obtidos nas sub-bacias que compõem a Região Hidrográfica da Baía de Guanabara nas 35 campanhas de monitoramento, bem como distribuição das amostras de acordo com as classes da Resolução CONAMA 357/05.

Estatísticas Descritivas						
Sub-Bacia	n	Mín.	Máx.	Média	DP	CV
Lagoa Rodrigo de Freitas	450	<0,01	9,58	0,21	0,69	328%
Leste	805	<0,01	7,74	0,12	0,47	405%
Oeste	805	<0,01	8,65	0,76	0,82	108%
Sistema Lagunar de Jacarepaguá	420	<0,01	18,97	0,70	1,41	200%
Sistema Lagunar de Maricá	350	<0,01	5,56	0,64	0,92	144%
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	420	<0,01	1,80	0,24	0,16	66%
TOTAL	3254	<0,01	18,97	0,44	0,87	195%

CONAMA 357/2005						
Sub-Bacia	Águas	classe 1	classe 2	classe 3	classe 4	Desenq.
Lagoa Rodrigo de Freitas	Doces	106	68	30		225
	Salobras	3	5			10
	Salinas	0	2			1
	TOTAL	109 (24%)	75 (17%)	30 (7%)		236 (52%)
Leste	Doces	406	145	56		194
	Salobras	2	0			2
	TOTAL	408 (51%)	145 (18%)	56 (7%)		196 (24%)
Oeste	Doces	106	89	36		563
	Salobras	0	0			10
	Salinas	0	1			0
	TOTAL	106 (13%)	90 (11%)	36 (4%)		573 (71%)
Sistema Lagunar de Jacarepaguá	Doces	33	52	24		205
	Salobras	3	8			94
	TOTAL	36 (9%)	60 (14%)	24 (6%)		299 (71%)
Sistema Lagunar de Maricá	Doces	25	19	15		173
	Salobras	38	9			71
	TOTAL	63 (18%)	28 (8%)	15 (4%)		244 (70%)
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	Salobras	44	97			238
	Salinas	10	30			1
	TOTAL	54 (13%)	127 (30%)			239 (57%)
TOTAL GERAL		776 (24%)	525 (16%)	161 (5%)		1787 (55%)

Os testes estatísticos para fósforo total indicaram que houve diferenças sazonais significativas na região Leste, Oeste e Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga ($p < 0,05$). A análise *post-hoc* de Dunn revelou que, na região Leste, a diferenciação ocorreu entre o inverno e o outono e verão. Na região Oeste, não foram identificadas diferenças significativas entre inverno e primavera e entre verão e outono, enquanto para o Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga o outono não apresentou diferenças significativas ($p < 0,05$) em relação a inverno e verão (Tabela V-13). A Figura V-10 e a Figura V-11 apresentam a distribuição das concentrações de fósforo total entre estações e períodos, para cada sub-bacia.

Tabela V-13 – Diferenças significativas dos valores de fósforo total (mg/L) entre estações do ano e períodos seco e chuvoso (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$) e análise *post-hoc* para sub-bacias com variação significativa (Dunn, $p < 0,05$).

Sub-Bacia	Kruskal-Wallis (valor de p)			
	Estações	Períodos		
Lagoa Rodrigo de Freitas	0,95	0,82		
Leste	<0,01	<0,01		
Oeste	<0,01	<0,01		
Sistema Lagunar de Jacarepaguá	0,46	0,23		
Sistema Lagunar de Maricá	0,88	0,60		
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	<0,01	<0,01		
Sub-Bacia	Teste de Dunn (valor de p ajustado)			
	Estação	outono	primavera	verão
Leste	inverno	<0,01	0,10	<0,01
	outono		0,24	0,79
	primavera			0,27
Oeste	inverno	<0,01	0,87	0,01
	outono		<0,01	0,70
	primavera			0,01
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	inverno	0,11	0,03	<0,01
	outono		<0,01	0,10
	primavera			<0,01

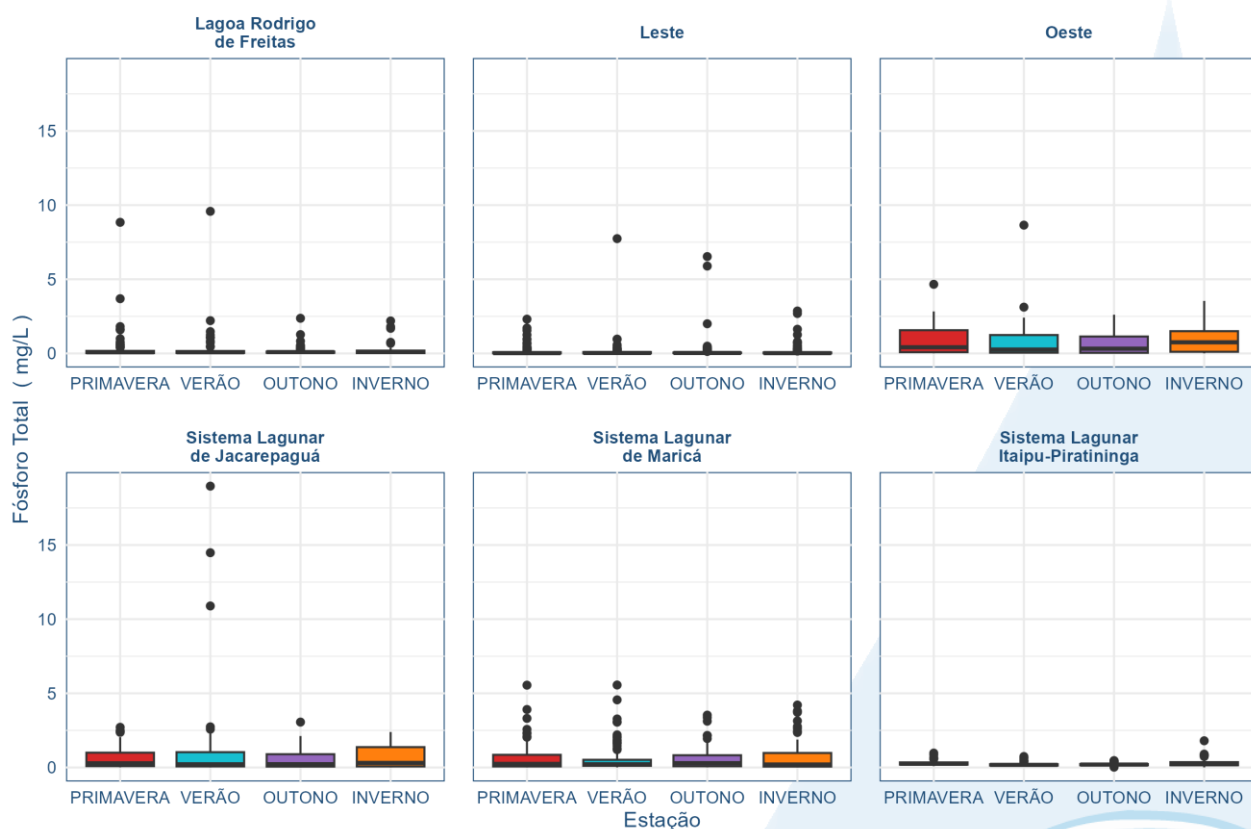


Figura V-10. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de fósforo total (mg/L) entre estações do ano, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.

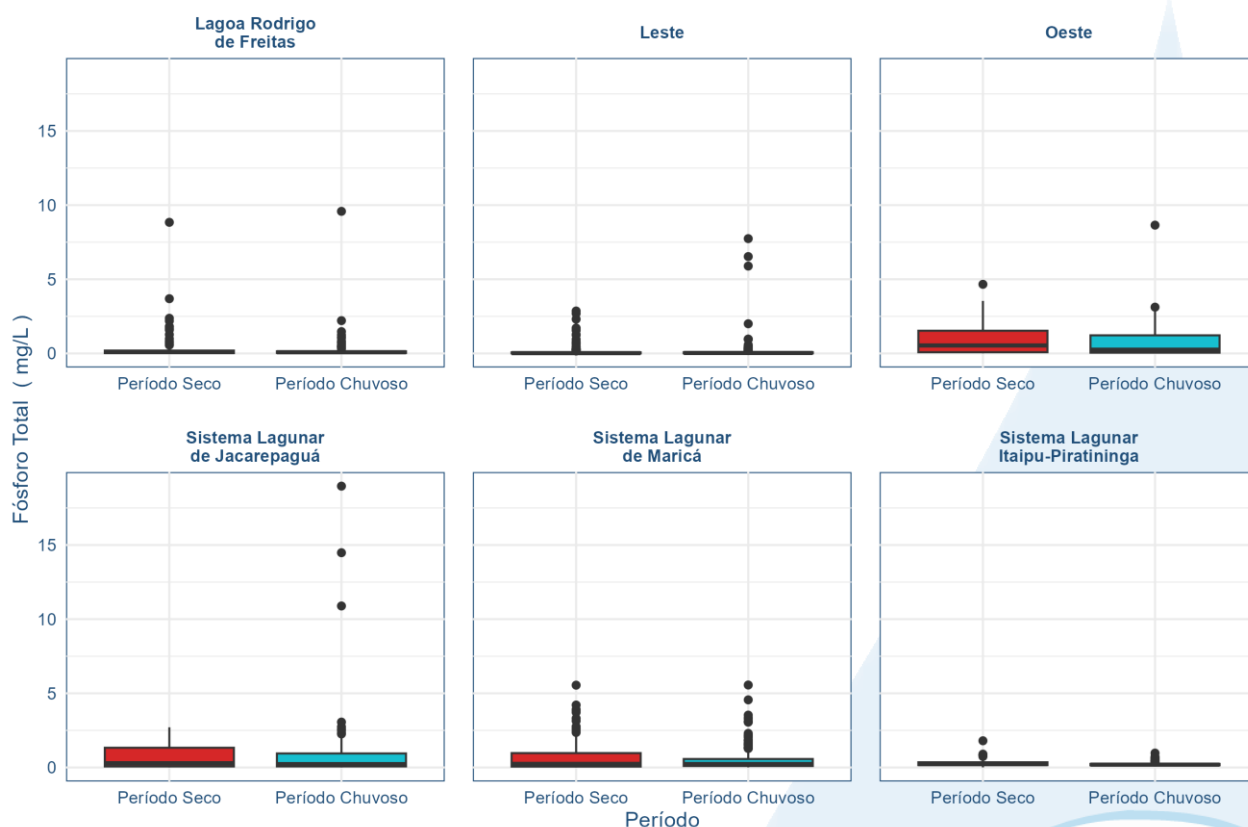


Figura V-11. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de fósforo total (mg/L) entre períodos seco e chuvoso, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.

Entre os pontos amostrados na sub-bacia Oeste, observa-se que os maiores valores de fósforo total foram verificados em concentrações predominantemente superiores a 0,25 mg/L (limite para águas doces classe 1, segundo a Resolução CONAMA 357/05), sendo verificadas nos rios Iguaçu, Botas, Acari e Carioca, ao passo que, para a sub-bacia Leste, apenas o afluente do rio Careribu apresentou concentrações nestes níveis, conforme observa-se na Figura V-12.

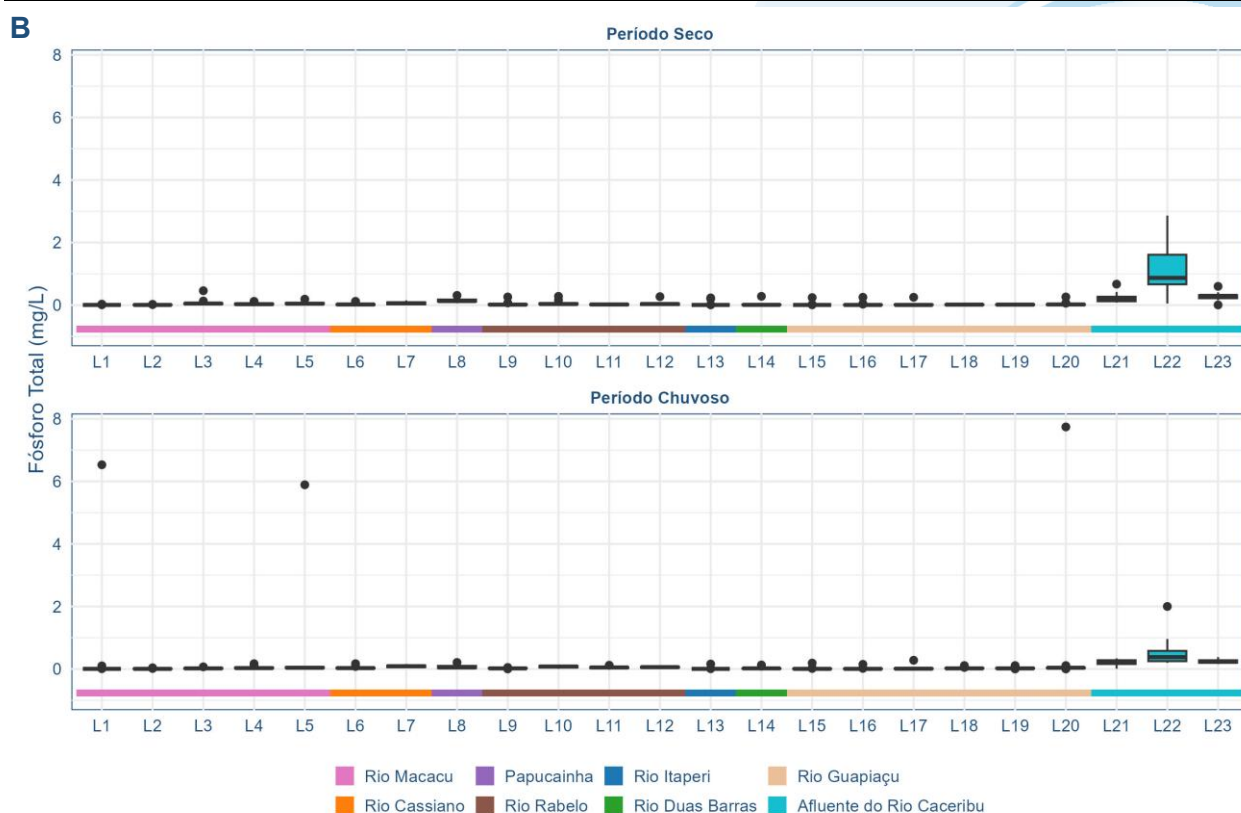
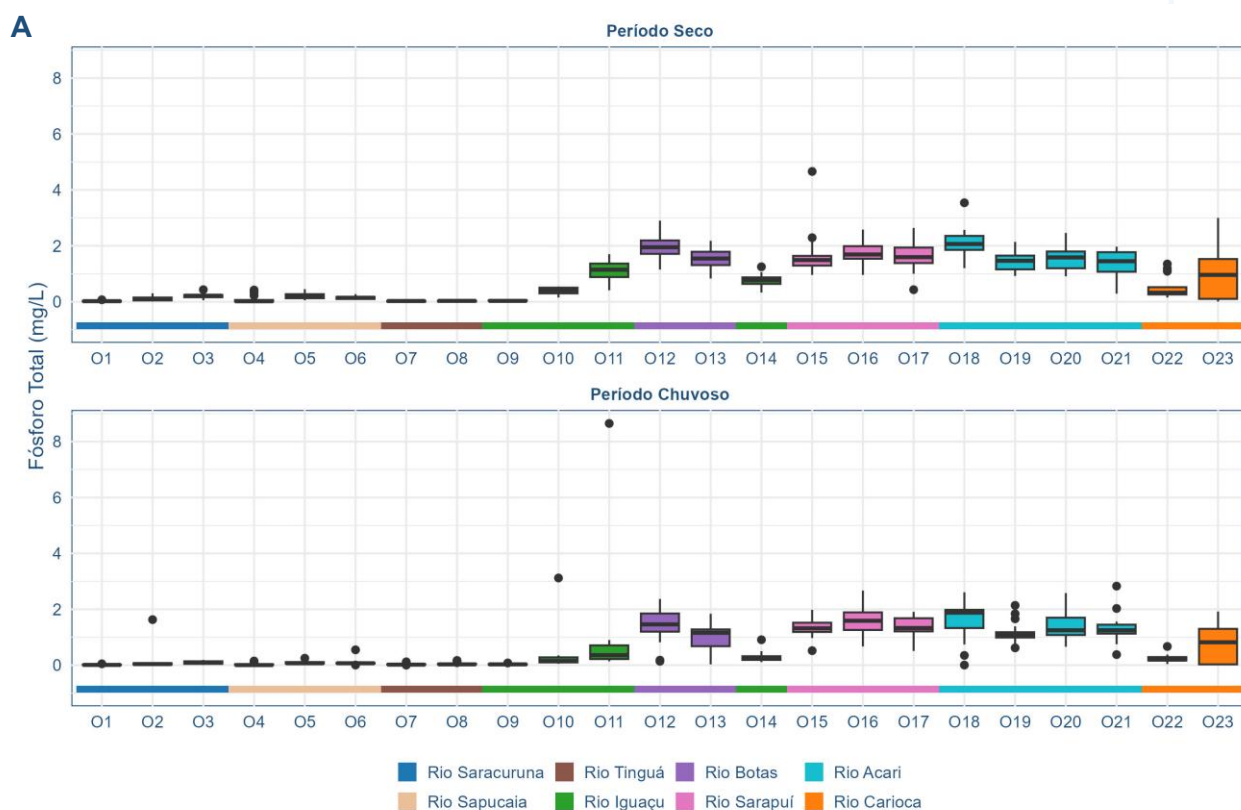


Figura V-12. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de fósforo total (mg/L) entre pontos de amostragem nos períodos seco e chuvoso, referente às sub-bacias Oeste (A) e Leste (B).

V.2.1.3.2 Nitrato

Os valores de nitrato demonstraram grande variabilidade entre as sub-bacias, com a região Oeste apresentando a maior concentração máxima registrada (15,34 mg/L) e um coeficiente de variação elevado (146%), sugerindo flutuações acentuadas na sua dinâmica. A Lagoa Rodrigo de Freitas apresentou a maior média de nitrato (1,25 mg/L), enquanto o Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga registrou a menor (0,23 mg/L), com um CV de 109% (Tabela V-14). A classificação segundo a Resolução CONAMA 357/05 mostrou que a maioria das amostras se enquadrou nas classes 1 e 2, com poucas amostras em desconformidade. A sub-bacias Leste e Oeste apresentaram 100% das amostras dentro dos limites de referência, enquanto Itaipu-Piratininga teve uma maior proporção de amostras fora dos padrões (Tabela V-15).

Tabela V-14 – Estatísticas descritivas dos valores de nitrato (mg/L) obtidos nas sub-bacias que compõem a Região Hidrográfica da Baía de Guanabara nas 35 campanhas de monitoramento.

Sub-Bacia	Estatísticas Descritivas					
	n	Mín.	Máx.	Média	DP	CV
Lagoa Rodrigo de Freitas	450	ND	5,62	1,25	0,83	66%
Leste	805	ND	3,04	0,35	0,32	93%
Oeste	805	ND	15,34	0,68	0,99	146%
Sistema Lagunar de Jacarepaguá	420	ND	4,34	0,46	0,44	96%
Sistema Lagunar de Maricá	350	ND	3,74	0,36	0,41	115%
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	420	ND	2,31	0,23	0,25	109%
TOTAL	3254	ND	15,34	0,56	0,72	129%

Tabela V-15 – Distribuição das amostras de nitrato de acordo com as classes da Resolução CONAMA 357/05.

Sub-Bacia	Águas	CONAMA 357/2005				Desenq.
		classe 1	classe 2	classe 3	classe 4	
Lagoa Rodrigo de Freitas	Doces	429				0
	Salobras	0	7			13
	Salinas	0	0			3
	TOTAL	429 (95%)	7 (2%)			14 (3%)
Leste	Doces	801				0
	Salobras	4	0			0
	TOTAL	805 (100%)	0 (0%)			0 (0%)
Oeste	Doces	793				1
	Salobras	8	1			1
	Salinas	0	1			0
	TOTAL	801 (100%)	2 (0%)			2 (0%)
Sistema Lagunar de Jacarepaguá	Doces	314				0
	Salobras	88	9			8
	TOTAL	402 (96%)	9 (2%)			8 (2%)
Sistema Lagunar de Maricá	Doces	232				0
	Salobras	101	11			6
	TOTAL	333 (95%)	11 (3%)			6 (2%)
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	Salobras	320	38			21
	Salinas	10	30			1
	TOTAL	330 (79%)	68 (16%)			22 (5%)
TOTAL GERAL		3102 (95%)	97 (3%)			52 (2%)

Para o nitrato, os testes indicaram diferenças estatisticamente significativas (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$) entre estações do ano para a Lagoa Rodrigo de Freitas, Leste e Sistema Lagunar de Jacarepaguá, ao passo que, para os períodos seco e chuvoso, diferenças significativas ocorreram nas sub-bacias Oeste e Sistema Lagunar de Itaipu-Piratininga, não sendo verificadas diferenças entre estações e períodos para o Sistema Lagunar de Maricá. Nos testes *post-hoc* (Dunn, $p < 0,05$) verificou-se diferenças pontuais em cada sub-bacia, sendo verificada entre primavera e verão na Lagoa Rodrigo de Freitas, entre outono e primavera na sub-bacia Leste e entre inverno e primavera no Sistema Lagunar de Jacarepaguá (Tabela V-16). A distribuição das concentrações de nitrato entre estações e períodos para cada sub-bacia é apresentada na Figura V-13 e na Figura V-14.

Tabela V-16 – Diferenças significativas dos valores de nitrato (mg/L) entre estações do ano e períodos seco e chuvoso (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$) e análise post-hoc para sub-bacias com variação significativa (Dunn, $p < 0,05$).

Sub-Bacia	Kruskal-Wallis (valor de p)			
	Estações	Períodos		
Lagoa Rodrigo de Freitas	0,023	0,077		
Leste	0,020	0,619		
Oeste	0,827	0,040		
Sistema Lagunar de Jacarepaguá	0,018	0,160		
Sistema Lagunar de Maricá	0,183	0,849		
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	0,053	0,002		
Sub-Bacia	Teste de Dunn (valor de p ajustado)			
	Estação	outono	primavera	verão
Lagoa Rodrigo de Freitas	inverno	0,471	0,248	0,273
	outono		0,674	0,074
	primavera			0,022
Leste	inverno	0,551	0,059	0,279
	outono		0,032	0,134
	primavera			0,393
Sistema Lagunar de Jacarepaguá	inverno	0,672	0,022	0,170
	outono		0,069	0,352
	primavera			0,308

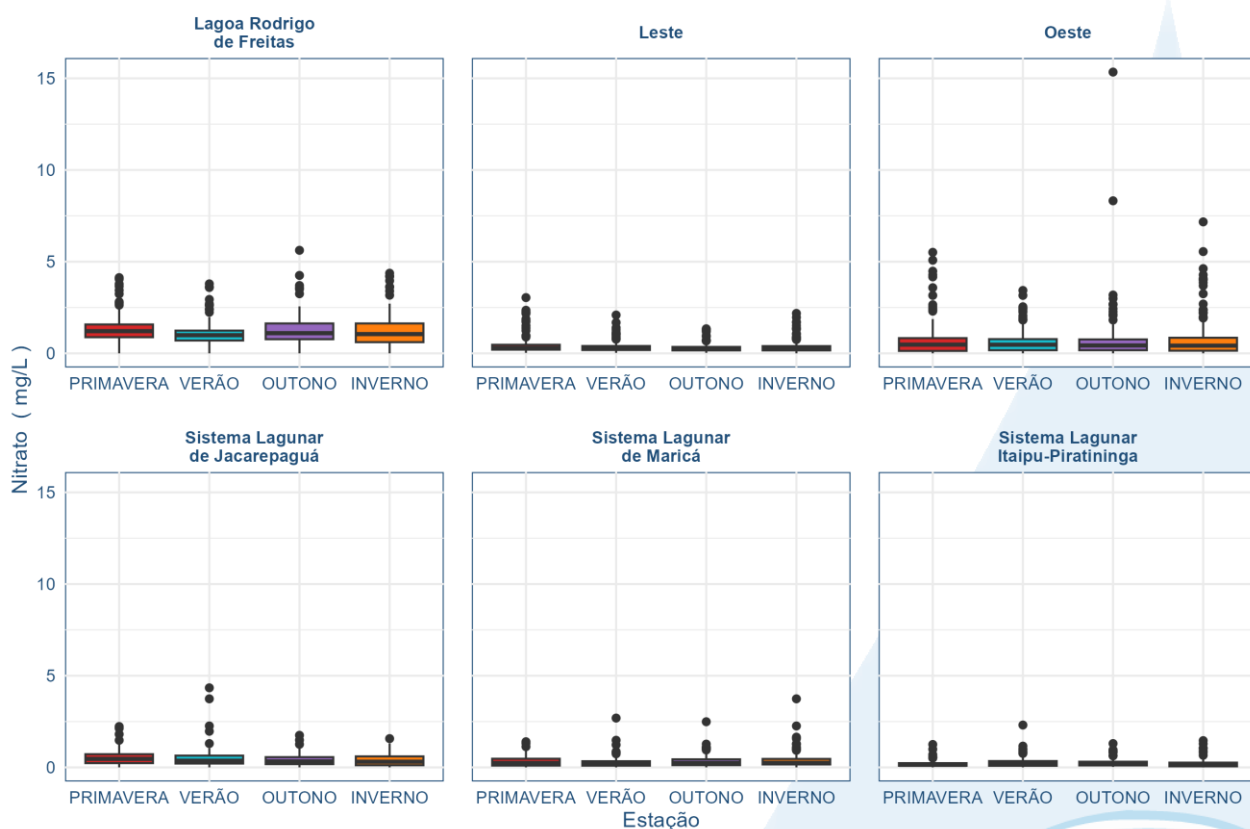


Figura V-13. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de nitrato (mg/L) entre estações do ano, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.

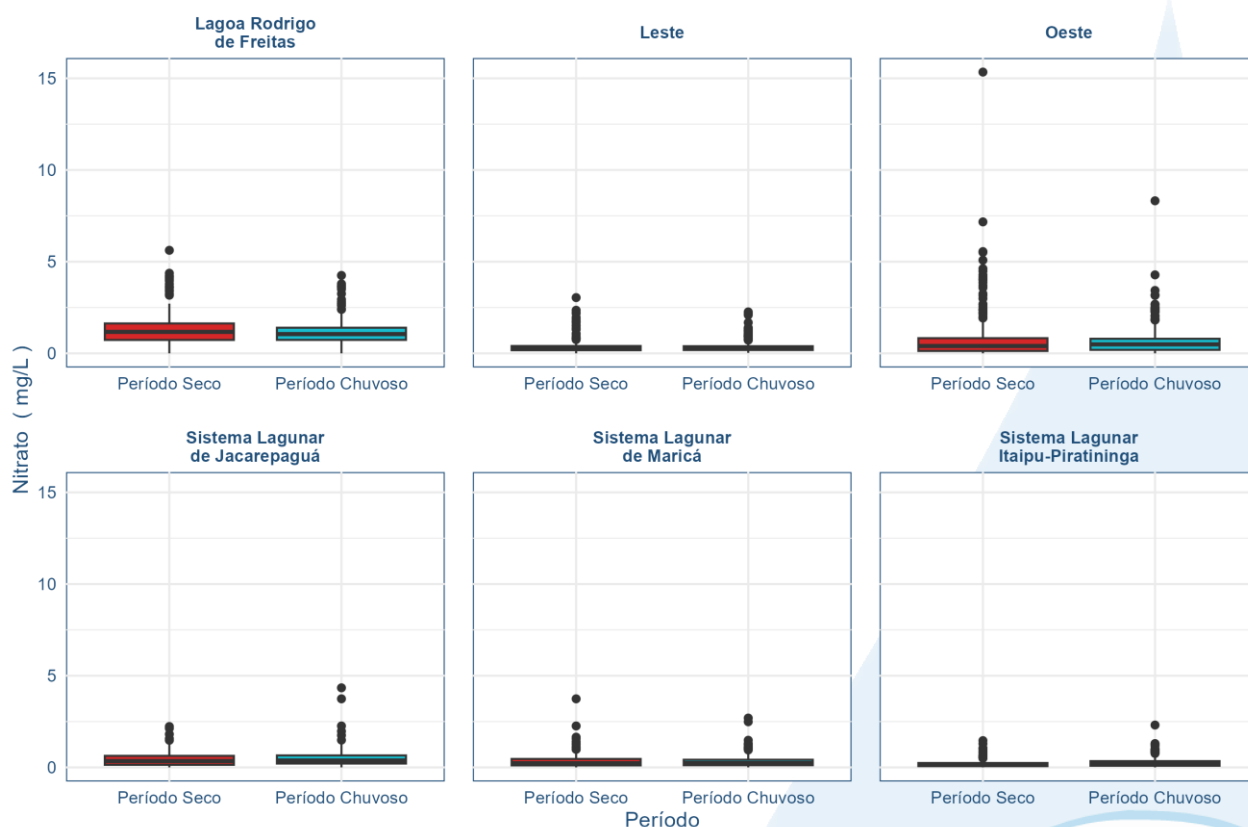


Figura V-14. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de nitrato (mg/L) entre períodos seco e chuvoso, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.

V.2.1.3.3 Nitrogênio total

A Tabela V-17 apresenta as estatísticas descritivas dos valores de nitrogênio total (mg/L) obtidos nas diferentes sub-bacias que compõem a Região Hidrográfica da Baía de Guanabara ao longo de 35 campanhas de monitoramento. A sub-bacia Leste apresentou o menor valor médio (1,37 mg/L) e CV alto (188%), o que sugere forte heterogeneidade nos dados. A sub-bacia Oeste exibiu os valores mais elevados, com a maior concentração de 532,0 mg/L e média de 10,74 mg/L, associada a um CV de 199%, denotando também uma distribuição altamente irregular. O Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga, por outro lado, apresentou os menores valores de dispersão, com um coeficiente de variação de 76% e média de 3,06 mg/L.

Tabela V-17 – Estatísticas descritivas dos valores de nitrogênio total (mg/L) obtidos nas sub-bacias que compõem a Região Hidrográfica da Baía de Guanabara nas 35 campanhas de monitoramento.

Sub-Bacia	Estatísticas Descritivas					
	n	Mín.	Máx.	Média	DP	CV
Lagoa Rodrigo de Freitas	450	0,50	38,50	3,19	2,77	87%
Leste	805	<0,10	28,30	1,37	2,57	188%
Oeste	805	0,30	532,0	10,74	21,32	199%
Sistema Lagunar de Jacarepaguá	420	<0,10	42,40	7,19	8,61	120%
Sistema Lagunar de Maricá	350	0,05	88,70	5,95	9,06	152%
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	420	0,07	23,90	3,06	2,33	76%
TOTAL	3249	0,05	149,90	5,24	7,87	150%

Os resultados das análises estatística indicam que a Lagoa Rodrigo de Freitas, a sub-bacia Leste e a sub-bacia Oeste apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre as estações do ano (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$), enquanto a Lagoa Rodrigo de Freitas e a sub-bacia Oeste também mostraram diferenças significativas entre os períodos seco e chuvoso, indicando a influência de fatores sazonais e hidrológicos na dinâmica do nitrogênio total nessas regiões.

A análise *post-hoc* de Dunn ($p < 0,05$) revelou que, na Lagoa Rodrigo de Freitas e sub-bacia Oeste, as diferenças mais pronunciadas ocorreram entre o inverno e o verão. Já na sub-bacia Leste, a diferença mais significativa foi entre o outono e o verão (Tabela V-18). A Figura V-15 e a Figura V-16 apresentam a distribuição das concentrações de nitrogênio total entre estações do ano e períodos seco e chuvoso, para cada sub-bacia estudada.

Tabela V-18 – Diferenças significativas dos valores de nitrogênio total (mg/L) entre estações do ano e períodos seco e chuvoso (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$) e análise post-hoc para sub-bacias com variação significativa (Dunn, $p < 0,05$).

Sub-Bacia	Kruskal-Wallis (valor de <i>p</i>)			
	Estações	Períodos		
Lagoa Rodrigo de Freitas	0,003	<0,001		
Leste	0,023	0,892		
Oeste	0,048	<0,001		
Sistema Lagunar de Jacarepaguá	0,152	0,126		
Sistema Lagunar de Maricá	0,408	0,411		
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	0,935	0,826		
Sub-Bacia	Teste de Dunn (valor de <i>p</i> ajustado)			
	Estação	outono	primavera	verão
Lagoa Rodrigo de Freitas	inverno	0,123	0,086	<0,001
	outono		0,752	0,180
	primavera			0,111
Leste	inverno	0,273	0,939	0,161
	outono		0,195	0,012
	primavera			0,160
Oeste	inverno	0,203	0,362	0,042
	outono		0,524	0,488
	primavera			0,221

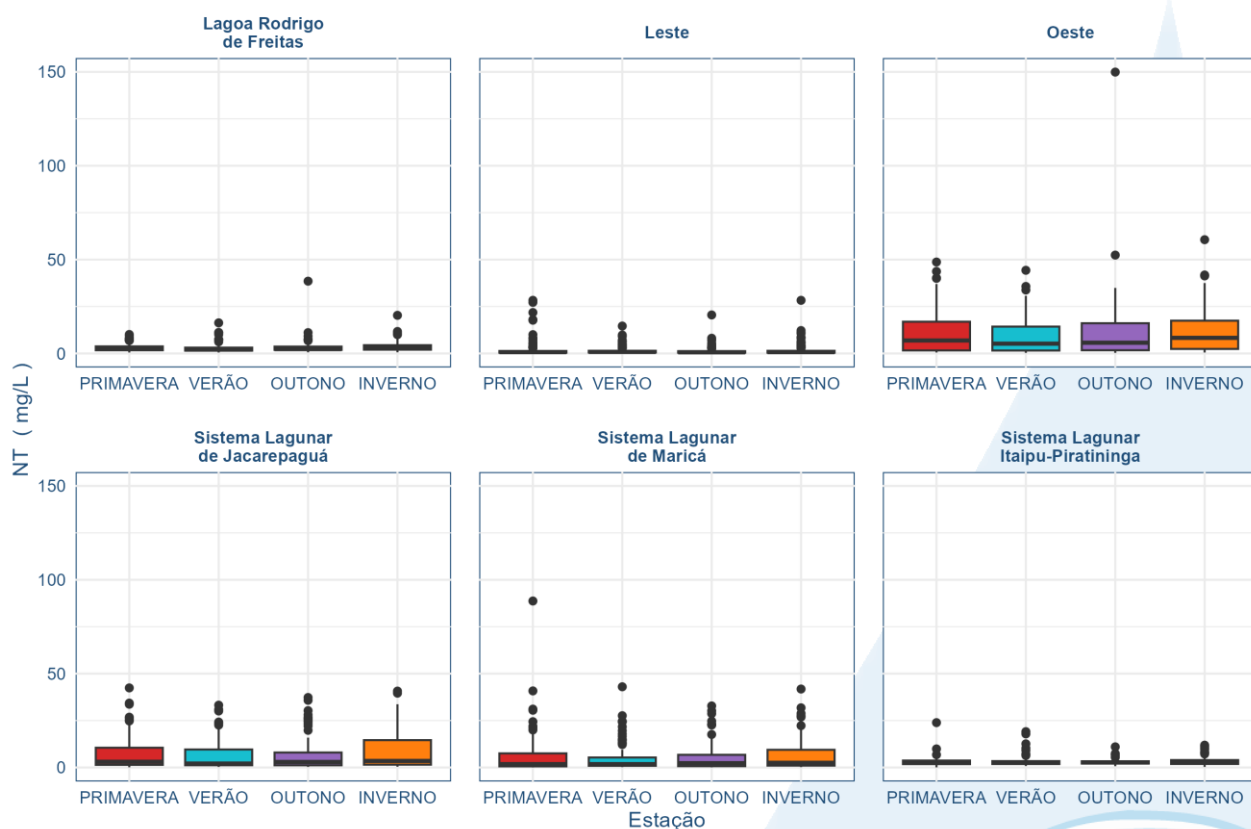


Figura V-15. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de nitrogênio total (mg/L) entre estações do ano, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.

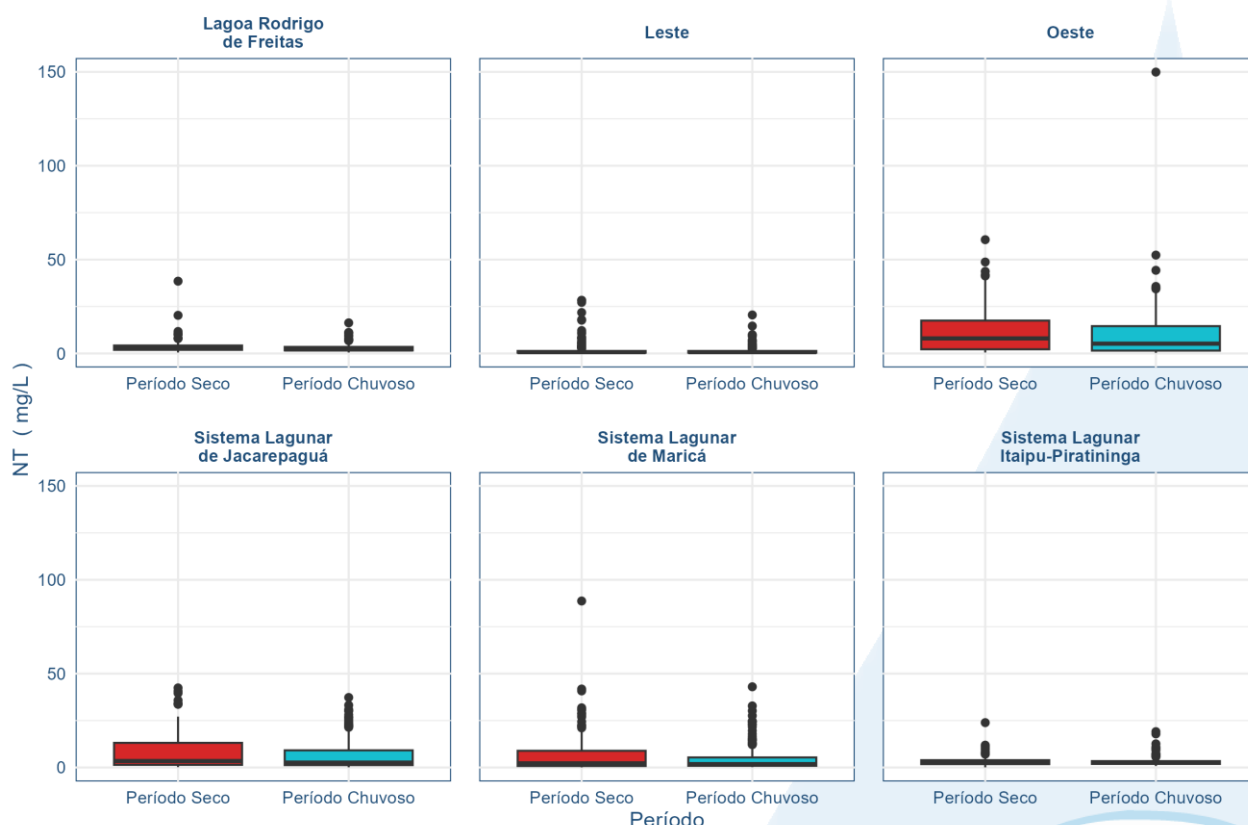


Figura V-16. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de nitrogênio total (mg/L) entre períodos seco e chuvoso, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.

V.2.1.4 Oxigênio dissolvido (OD)

Dentre os gases dissolvidos na água, o oxigênio é um dos mais importantes na dinâmica e caracterização dos ecossistemas aquáticos. A solubilidade do oxigênio na água depende de dois fatores principais: temperatura e pressão. Assim, com a elevação da temperatura e diminuição da pressão, ocorre redução da solubilidade do oxigênio na água (Esteves, 1998).

A Tabela V-19 apresenta as estatísticas descritivas dos valores de oxigênio dissolvido (mg/L) obtidos nas diferentes sub-bacias da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara ao longo de 35 campanhas de monitoramento, bem como a distribuição das amostras de acordo com as classes da Resolução CONAMA 357/05. Os resultados indicam que a concentração média de oxigênio dissolvido variou entre as sub-bacias, com destaque para a sub-bacia Oeste, que apresentou os menores valores médios (3,63 mg/L) e a maior variabilidade (CV = 42%). O maior valor foi observado no Sistema Lagunar

Itaipu-Piratininga (10,47 mg/L), já a sub-bacia Leste registrou a concentração média mais elevada (5,44 mg/L). A classificação conforme a Resolução CONAMA 357/05 revelou que a maior parte das amostras se enquadrou nas classes 1 e 2, com destaque para o Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga, onde 41% das amostras foram classificadas como classe 1. Por outro lado, a sub-bacia Oeste apresentou a maior quantidade de amostras nas classes 3 e 4, além do maior número de amostras em desconformidade com a legislação ambiental (18%). O Sistema Lagunar de Jacarepaguá apresentou o mesmo percentual de desenquadramento. Esses resultados evidenciam a variabilidade da qualidade ambiental entre e intra sub-bacias que compõem a Região Hidrográfica da Baía de Guanabara.



Tabela V-19 – Estatísticas descritivas dos valores de oxigênio dissolvido (mg/L) obtidos nas sub-bacias que compõem a Região Hidrográfica da Baía de Guanabara nas 35 campanhas de monitoramento, bem como distribuição das amostras de acordo com as classes da Resolução CONAMA 357/05.

Estatísticas Descritivas						
Sub-Bacia	n	Mín.	Máx.	Média	DP	CV
Lagoa Rodrigo de Freitas	425	1,56	8,70	5,10	1,41	28%
Leste	759	1,35	9,00	5,44	1,30	24%
Oeste	759	ND	9,33	3,63	1,54	42%
Sistema Lagunar de Jacarepaguá	396	<0,1	9,40	4,32	1,82	42%
Sistema Lagunar de Maricá	330	0,98	7,70	4,45	1,30	29%
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	396	2,51	10,47	4,92	1,07	22%
TOTAL	3065	ND	10,47	4,63	1,58	34%

CONAMA 357/2005						
Sub-Bacia	Águas	classe 1	classe 2	classe 3	classe 4	Desenq.
Lagoa Rodrigo de Freitas	Doces	127	91	100	90	2
	Salobras	5	2	4		1
	Salinas	1	1	1		0
	TOTAL	133 (31%)	94 (22%)	105 (25%)	90 (21%)	3 (1%)
Leste	Doces	280	228	148	93	7
	Salobras	2	0	0		1
	TOTAL	282 (37%)	228 (30%)	148 (19%)	93 (12%)	8 (1%)
Oeste	Doces	40	109	170	302	128
	Salobras	0	1	1		7
	Salinas	0	0	1		0
	TOTAL	40 (5%)	110 (14%)	172 (23%)	302 (40%)	135 (18%)
Sistema Lagunar de Jacarepaguá	Doces	80	67	56	67	29
	Salobras	12	17	26		42
	TOTAL	92 (23%)	84 (21%)	82 (21%)	67 (17%)	71 (18%)
Sistema Lagunar de Maricá	Doces	35	40	71	68	7
	Salobras	27	42	21		19
	TOTAL	62 (19%)	82 (25%)	92 (28%)	68 (21%)	26 (8%)
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	Salobras	151	144	53		9
	Salinas	11	7	14		7
	TOTAL	162 (41%)	151 (38%)	67 (17%)		16 (4%)
TOTAL GERAL		771 (25%)	749 (24%)	667 (22%)	621 (20%)	261 (9%)

A Tabela V-20 apresenta os resultados das análises estatísticas univariadas. Os resultados dos testes de Kruskal-Wallis mostram que as sub-bacias da Lagoa Rodrigo de Freitas, Leste, Oeste e Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga apresentaram diferenças significativas entre as estações do ano ($p < 0,05$). Em relação aos períodos seco e

chuvoso, apenas as sub-bacias Leste e Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga apresentaram variação significativa ($p < 0,05$), indicando que as condições hidrológicas influenciam a disponibilidade de oxigênio dissolvido nesses locais.

A análise *post-hoc* de Dunn revelou que, na Lagoa Rodrigo de Freitas, as diferenças ocorreram entre o inverno e as demais estações ($p < 0,05$). Na sub-bacia Leste, apenas a comparação entre primavera e verão não apresentou diferença significativa ($p = 0,458$), padrão oposto ao verificado na sub-bacia Leste ($p < 0,05$). No Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga, as diferenças ocorreram entre o verão e as demais estações do ano ($p < 0,05$). A Figura V-17 e a Figura V-18 apresentam a distribuição das concentrações de OD entre estações e períodos, para cada sub-bacia.

Tabela V-20 – Diferenças significativas dos valores de oxigênio dissolvido (mg/L) entre estações do ano e períodos seco e chuvoso (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$) e análise *post-hoc* para sub-bacias com variação significativa (Dunn, $p < 0,05$).

Sub-Bacia	Kruskal-Wallis (valor de p)			
	Estações	Períodos		
Lagoa Rodrigo de Freitas	<0,001	0,054		
Leste	<0,001	0,012		
Oeste	0,013	0,845		
Sistema Lagunar de Jacarepaguá	0,124	0,265		
Sistema Lagunar de Maricá	0,855	0,153		
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	<0,001	<0,001		
Sub-Bacia	Teste de Dunn (valor de p ajustado)			
	Estação	outono	primavera	verão
Lagoa Rodrigo de Freitas	inverno	0,008	0,001	0,001
	outono		0,648	0,783
	primavera			0,991
Leste	inverno	<0,001	0,002	0,012
	outono		0,005	0,001
	primavera			0,458
Oeste	inverno	0,732	0,096	0,306
	outono		0,086	0,478
	primavera			0,008
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	inverno	0,265	0,226	<0,001
	outono		0,875	0,005
	primavera			0,004

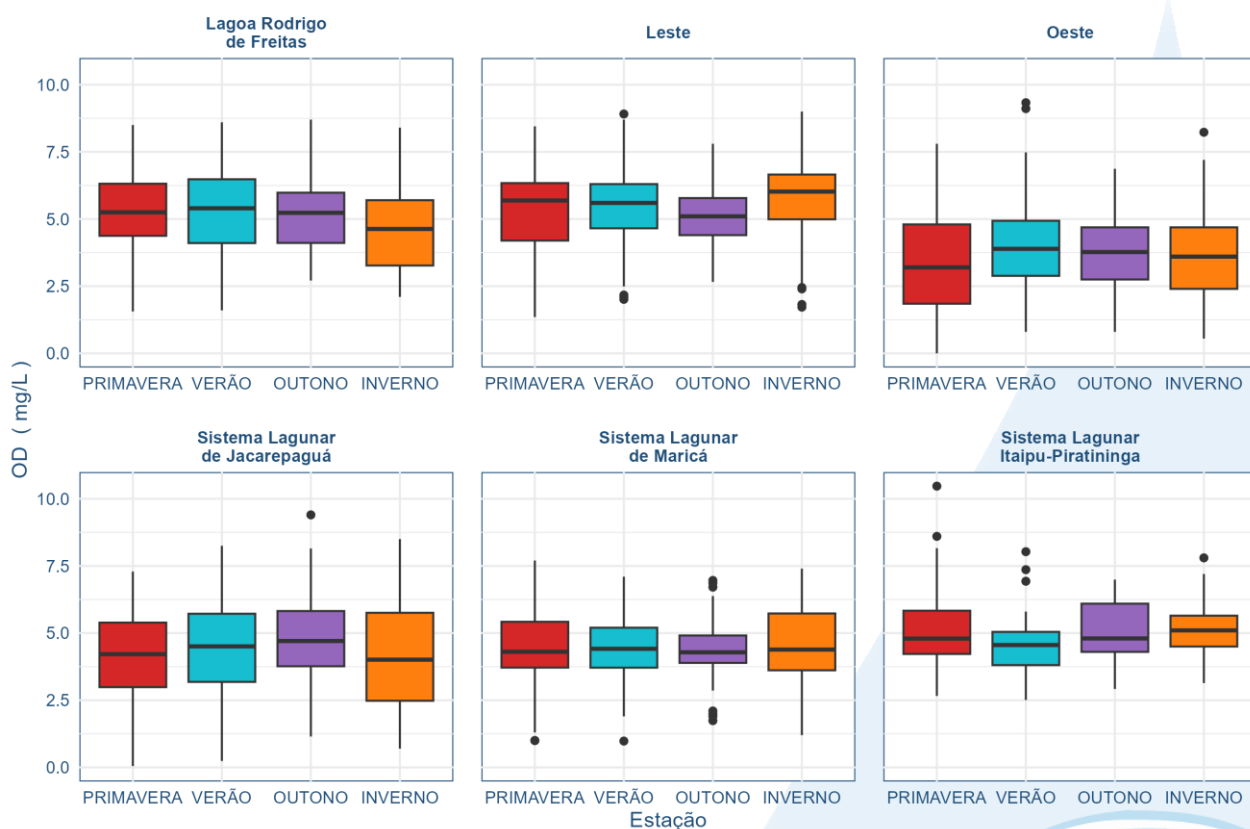


Figura V-17. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de oxigênio dissolvido (mg/L) entre estações do ano, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.

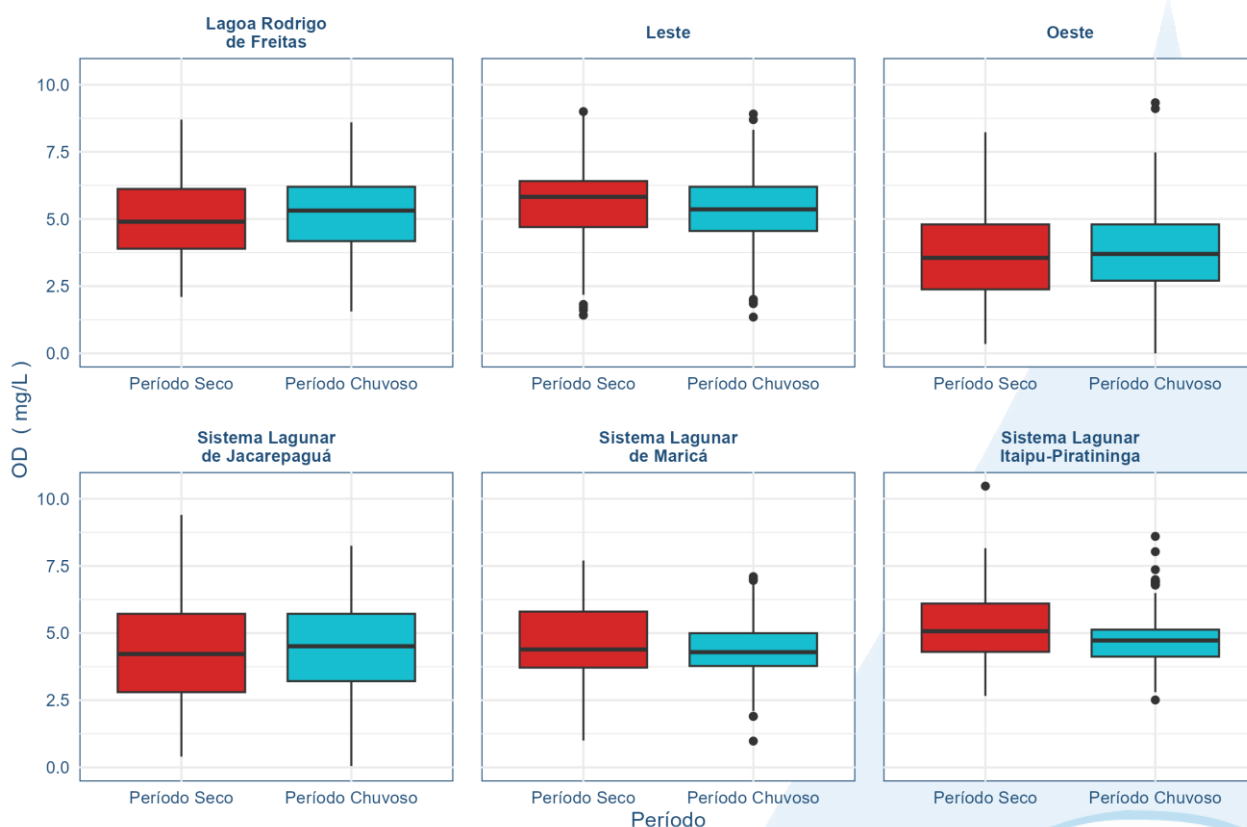


Figura V-18. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de oxigênio dissolvido (mg/L) entre períodos seco e chuvoso, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.

Entre os pontos amostrados na sub-bacia Oeste, observa-se que os maiores valores de OD, em concentrações próximas a 5 mg/L (limite inferior para águas doces classe 2, segundo a Resolução CONAMA 357/05, foram verificados em pontos dos rios Saracununa, Sapucaia, Tinguá, Iguaçu e Carioca, principalmente em pontos mais próximos das nascentes dos respectivos rios. Para o Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga, as medianas dos pontos de amostragem mantiveram-se próximas de 5 mg/L, principalmente no período seco, com exceção do ponto representativo do Canal do Camboatá, que apresentou a menor mediana, conforme observa-se na Figura V-19.

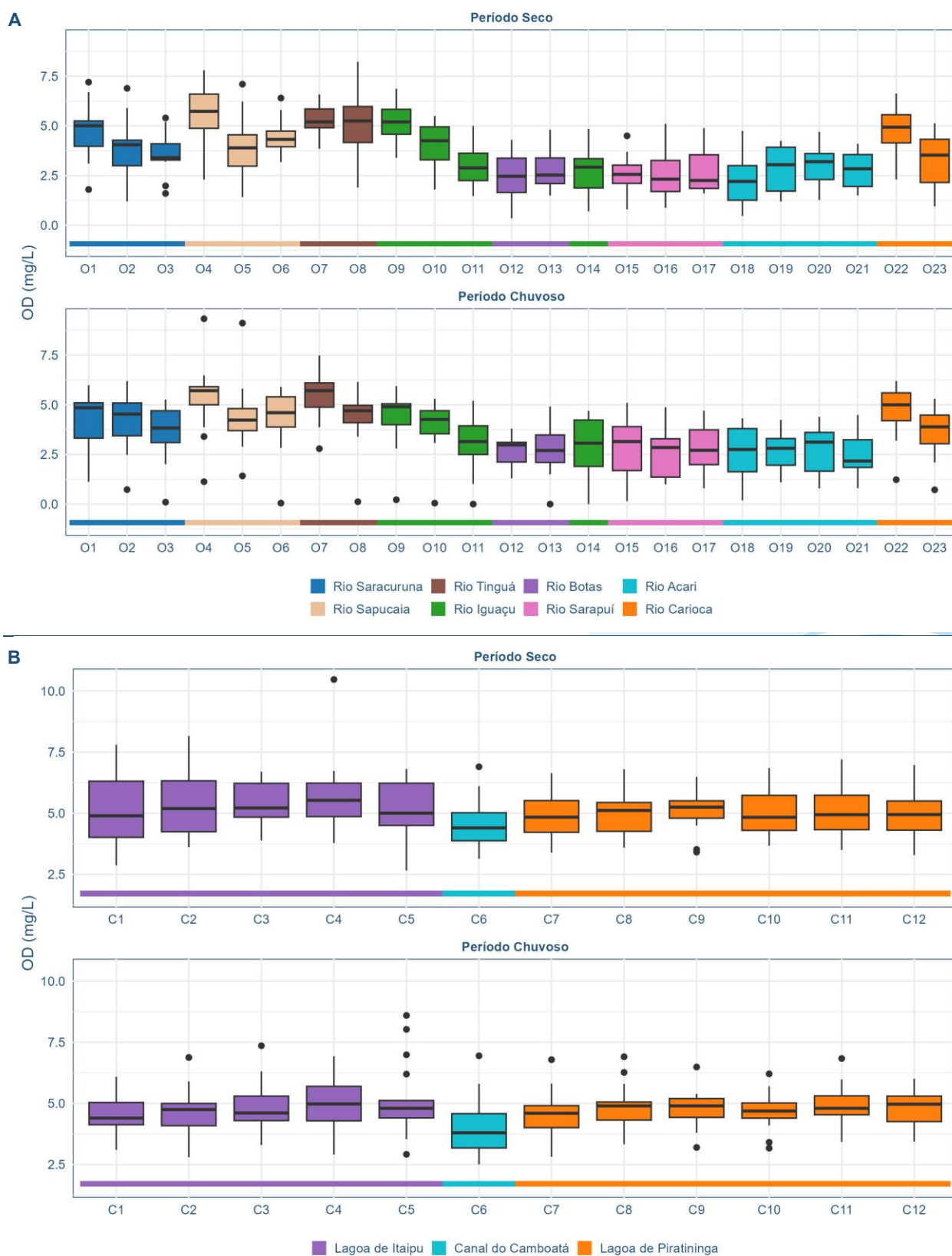


Figura V-19. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de oxigênio dissolvido (mg/L) entre pontos de amostragem nos períodos seco e chuvoso, referente às sub-bacias Oeste (A) e Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga (B).

V.2.1.5 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) representa a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica presente na água através da decomposição microbiana aeróbia. A diminuição dos valores de oxigênio dissolvido, devido à presença de microrganismos (bactérias heterotróficas e zooplâncton) em grande número, pode provocar mortandade de peixes e eliminação de outros organismos aquáticos (ANA, 2021). A presença de um alto teor de matéria orgânica pode induzir o completo esgotamento do oxigênio na água, provocando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquáticas, interferindo, assim, no equilíbrio da vida aquática, além de produzir sabores e odores desagradáveis. Valores altos de DBO num corpo d'água são geralmente causados pelo lançamento de cargas orgânicas, principalmente de esgotos domésticos (CETESB, 2009).

A Tabela V-21 apresenta as estatísticas descritivas dos valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) obtidos nas diferentes sub-bacias da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara ao longo de 35 campanhas de monitoramento, bem como a distribuição das amostras conforme as classes da Resolução CONAMA 357/05.

Os valores médios de DBO variaram significativamente entre as sub-bacias, com a sub-bacia Oeste apresentando a maior média (24,97 mg/L) e a sub-bacia Oeste, a maior variabilidade (CV = 102%), indicando uma grande dispersão dos dados e possíveis fontes de poluição orgânica. O Sistema Lagunar de Jacarepaguá e o Sistema Lagunar de Maricá também apresentaram valores médios elevados (14,88 mg/L e 12,98 mg/L, respectivamente). Já o Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga apresentou o menor coeficiente de variação (46%), sugerindo menor oscilação nos valores de DBO nesta região.

A distribuição de acordo com a Resolução CONAMA 357/05 revela que mais de 1.000 amostras não se enquadraram nos limites estabelecidos, especialmente na sub-bacia Oeste, onde 512 amostras não foram incluídas nas classes da legislação ambiental. As sub-bacias do Sistema Lagunar de Jacarepaguá e de Maricá também apresentaram, proporcionalmente, grandes parcelas de amostras em desconformidade.

Tabela V-21 – Estatísticas descritivas dos valores de DBO (mg/L) obtidos nas sub-bacias que compõem a Região Hidrográfica da Baía de Guanabara nas 35 campanhas de monitoramento, bem como distribuição das amostras de acordo com as classes da Resolução CONAMA 357/05.

Estatísticas Descritivas						
Sub-Bacia	n	Mín.	Máx.	Média	DP	CV
Lagoa Rodrigo de Freitas	450	1,0	23	7,83	3,75	48%
Leste	805	<1	38,0	7,63	4,61	60%
Oeste	805	1,0	126	24,97	25,37	102%
Sistema Lagunar de Jacarepaguá	420	<1	91,0	14,88	14,41	97%
Sistema Lagunar de Maricá	350	<1	64,0	12,98	8,21	63%
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	420	2,0	29,0	8,14	3,77	46%
TOTAL	3250	<1	126	13,53	15,87	117%

CONAMA 357/2005						
Águas	Sub-Bacia	classe 1	classe 2	classe 3	classe 4	Desenq.
Doces	Lagoa Rodrigo de Freitas	51	94	203		81
	Leste	122	181	350		148
	Oeste	27	62	193		512
	Sistema Lagunar de Jacarepaguá	30	48	106		130
	Sistema Lagunar de Maricá	6	14	81		131
	TOTAL	236	399	933		1002

A Tabela V-22 apresenta os resultados do teste de Kruskal-Wallis para verificar a existência de diferenças estatisticamente significativas nos valores de DBO entre as estações do ano e os períodos seco e chuvoso nas diferentes sub-bacias.

Os resultados indicam que as sub-bacias da Lagoa Rodrigo de Freitas, Leste e Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre as estações do ano ($p < 0,05$), sugerindo que a variação sazonal afeta a demanda bioquímica de oxigênio nessas áreas. No entanto, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os períodos seco e chuvoso em nenhuma das sub-bacias.

A análise *post-hoc* de Dunn revelou que, na Lagoa Rodrigo de Freitas, as maiores diferenças ocorreram entre o outono e as demais estações ($p < 0,05$). Na sub-bacia Leste, apenas as comparações entre inverno e primavera e entre verão e outono não foram significativas. Já no Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga, as diferenças sazonais foram menos expressivas, com uma variação significativa, entre outono e primavera ($p = 0,036$). Esse padrão sugere que fatores como temperatura e variabilidade das chuvas podem influenciar a demanda bioquímica de oxigênio em algumas sub-bacias de forma

diferenciada. A distribuição das concentrações de DBO entre estações e períodos seco e chuvoso são encontradas na Figura V-20 e Figura V-21.

Tabela V-22 – Diferenças significativas dos valores de DBO (mg/L) entre estações do ano e períodos seco e chuvoso (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$) e análise post-hoc para sub-bacias com variação significativa (Dunn, $p < 0,05$).

Sub-Bacia	Kruskal-Wallis (valor de p)			
	Estações	Períodos		
Lagoa Rodrigo de Freitas	0,001	0,392		
Leste	<0,001	0,669		
Oeste	0,395	0,766		
Sistema Lagunar de Jacarepaguá	0,403	0,980		
Sistema Lagunar de Maricá	0,085	0,897		
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	0,029	0,117		
Sub-Bacia	Teste de Dunn (valor de p ajustado)			
	Estação	outono	primavera	verão
Lagoa Rodrigo de Freitas	inverno	0,038	0,217	0,260
	outono		0,001	0,001
	primavera			0,846
Leste	inverno	<0,001	0,911	0,049
	outono		<0,001	0,086
	primavera			0,042
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	inverno	0,051	0,845	0,277
	outono		0,036	0,254
	primavera			0,278

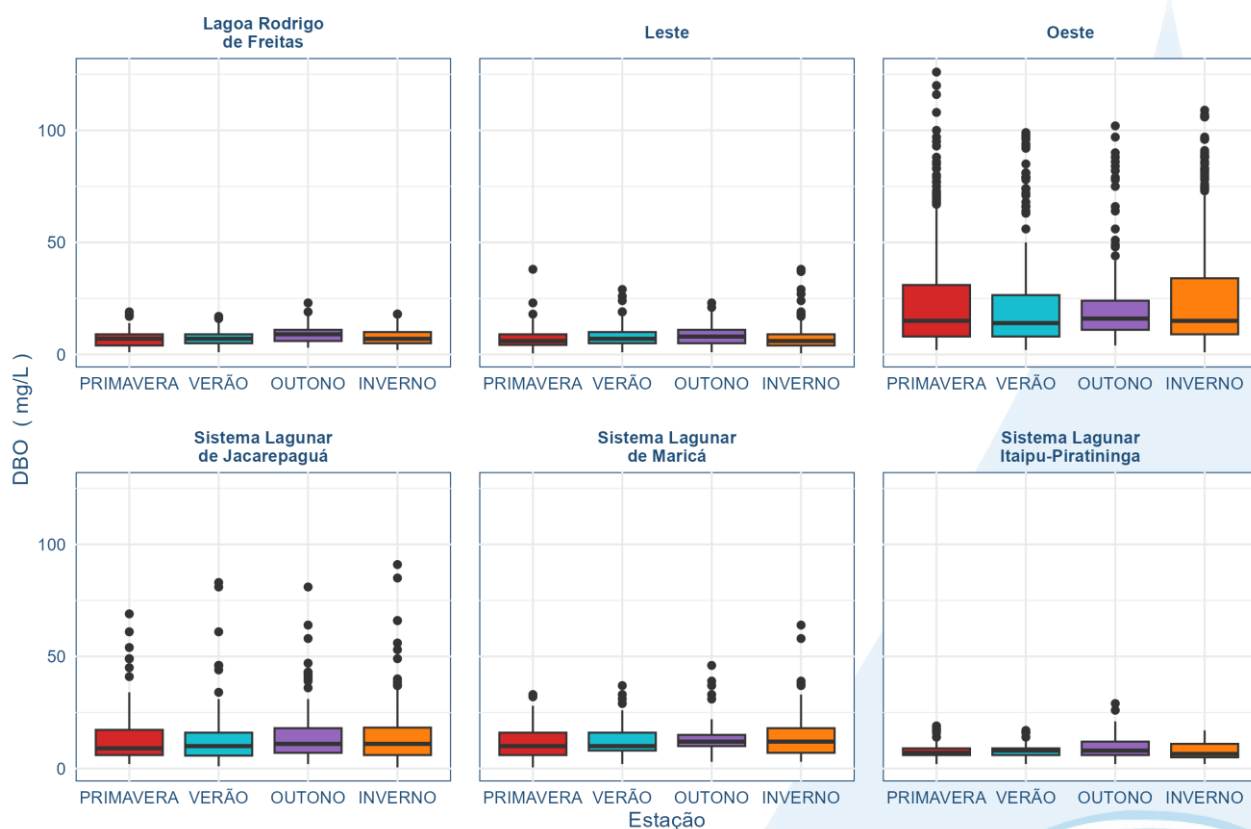


Figura V-20. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de DBO (mg/L) entre períodos seco e chuvoso, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.

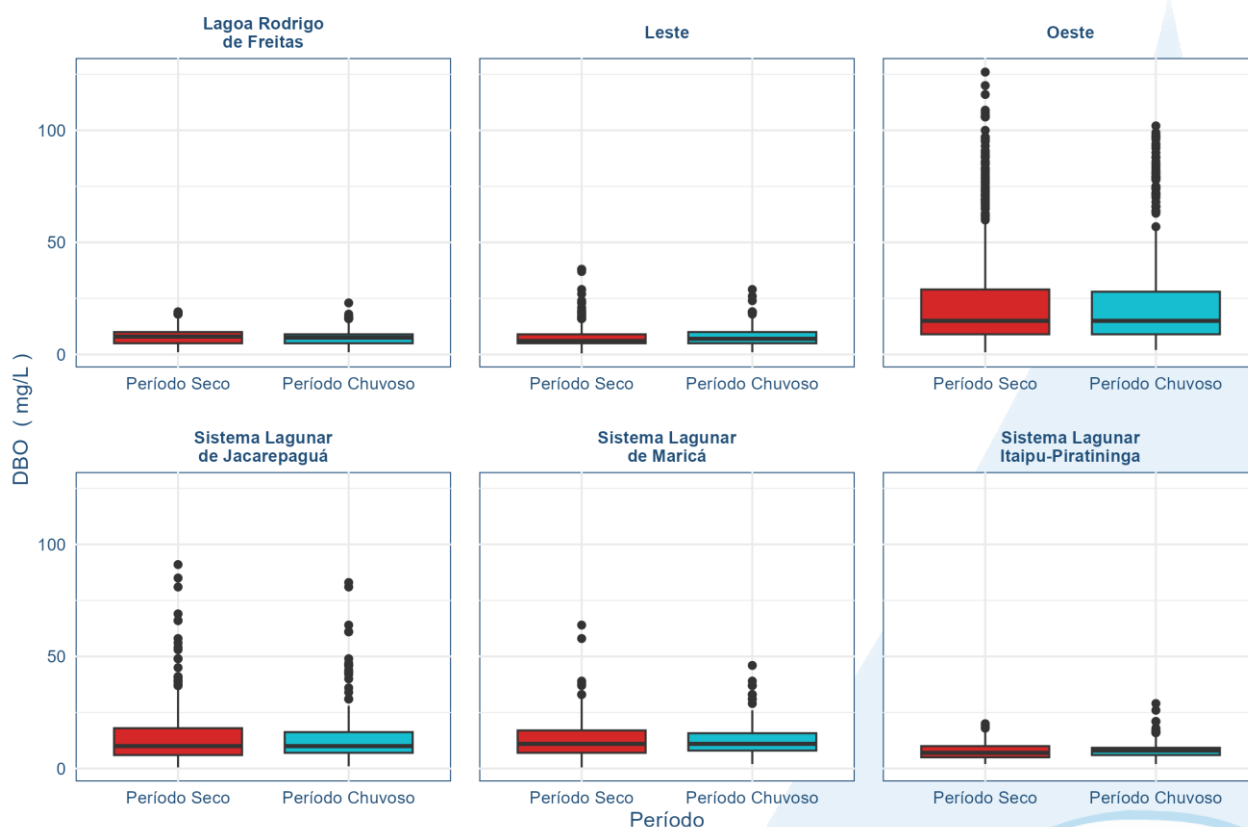


Figura V-21. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de DBO (mg/L) entre períodos seco e chuvoso, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.

A Figura V-22 apresenta a distribuição dos valores de DBO em diferentes pontos de amostragem nas sub-bacias da Lagoa Rodrigo de Freitas e Oeste, nos períodos seco e chuvoso. Observa-se que, na sub-bacia da Lagoa Rodrigo de Freitas, os níveis de DBO mantiveram-se baixos e relativamente estáveis em quase todos os pontos, com exceção do ponto R2 durante o período chuvoso, onde há um pico expressivo superior a 100 mg/L. Já na sub-bacia Oeste, verifica-se maior variabilidade espacial e temporal dos valores de DBO. No período seco, há uma tendência de aumento gradual dos níveis de DBO a partir do ponto O11, com destaque para os pontos O18 a O21 (Rio Acari), que apresentam elevadas medianas e ampla dispersão dos dados. No período chuvoso, há uma pequena redução geral dos valores, no entanto, alguns pontos ainda mantêm concentrações elevadas, sugerindo que, mesmo com a diluição, a carga poluente se mantém expressiva.



Figura V-22. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de DBO (mg/L) entre pontos de amostragem nos períodos seco e chuvoso, referente às sub-bacias Lagoa Rodrigo de Freitas (superior) e Oeste (inferior).

V.2.1.6 *Potencial Hidrogeniônico (pH)*

O pH refere-se ao potencial hidrogeniônico e indica a acidez, neutralidade ou alcalinidade da solução aquosa. Como o pH afeta o metabolismo de várias espécies aquáticas (CETESB, 2009), a Resolução CONAMA nº 357/05 estabelece como limites a faixa entre 5 e 9 para a proteção da vida aquática.

A Tabela V-23 apresenta as estatísticas descritivas dos valores de pH obtidos nas diferentes sub-bacias da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara ao longo de 35 campanhas de monitoramento e apresenta a distribuição das amostras conforme as classes da Resolução CONAMA 357/05.

Os valores médios de pH variaram entre as sub-bacias, com destaque para o Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga, que apresentou o maior valor médio (8,30). A sub-bacia Leste apresentou a maior amplitude, variando entre 3,16 e 9,16, indicando episódios de acidificação e alcalinização.

A classificação segundo a Resolução CONAMA 357/05 revelou que a maioria das amostras (95%) atendeu aos critérios estabelecidos, enquanto 5% foram classificadas como em desacordo com os padrões de referência. A sub-bacia Leste apresentou o maior número absoluto de amostras fora dos padrões (66), seguida da sub-bacia Oeste (28). No Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga, 11% das amostras estiveram em desconformidade, reforçando a necessidade de um monitoramento mais rigoroso nessas regiões.

Os resultados sugerem que a qualidade da água nas bacias da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, no que se refere ao pH, apresenta uma distribuição relativamente estável, mas com exceções pontuais que podem indicar influências antrópicas ou naturais, como a ocorrência de intrusões salinas.

Tabela V-23 – Estatísticas descritivas dos valores de pH obtidos nas sub-bacias que compõem a Região Hidrográfica da Baía de Guanabara nas 35 campanhas de monitoramento, bem como distribuição das amostras de acordo com as classes da Resolução CONAMA 357/05.

Estatísticas Descritivas						
Sub-Bacia	n	Mín.	Máx.	Média	DP	CV
Lagoa Rodrigo de Freitas	450	6,12	8,60	7,12	0,43	6%
Leste	805	3,16	9,16	6,76	0,58	9%
Oeste	805	4,95	8,70	6,92	0,51	7%
Sistema Lagunar de Jacarepaguá	420	4,40	9,37	7,21	0,53	7%
Sistema Lagunar de Maricá	350	5,71	8,50	7,15	0,50	7%
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	420	5,50	9,67	8,30	0,56	7%
TOTAL	3250	3,16	9,67	7,15	0,71	10%

CONAMA 357/2005						
Sub-Bacia	Águas	classe 1	classe 2	classe 3	classe 4	Desenq.
Lagoa Rodrigo de Freitas	Doces	430				0
	Salobras	21		0		0
	Salinas	3				0
	TOTAL	454 (100%)		0 (0%)		0 (0%)
Leste	Doces	735				66
	Salobras	4		0		0
	TOTAL	739 (92%)		0 (0%)		66 (8%)
Oeste	Doces	766				28
	Salobras	10		0		0
	Salinas	1				0
	TOTAL	777 (97%)		0 (0%)		28 (3%)
Sistema Lagunar de Jacarepaguá	Doces	312				2
	Salobras	96		7		2
	TOTAL	408 (97%)		7 (2%)		4 (1%)
Sistema Lagunar de Maricá	Doces	226				6
	Salobras	111		6		1
	TOTAL	337 (96%)		6 (2%)		7 (2%)
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	Salobras	256		97		26
	Salinas	21				20
	TOTAL	277 (66%)		97 (23%)		46 (11%)
TOTAL GERAL		2992 (92%)		110 (3%)		151 (5%)

A Tabela V-24 apresenta os resultados do teste de Kruskal-Wallis para os valores de pH entre as estações do ano e os períodos seco e chuvoso nas diferentes sub-bacias.

Os resultados das análises estatísticas indicam que todas as sub-bacias apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre as estações do ano ($p < 0,05$). Já em relação aos períodos seco e chuvoso, apenas a sub-bacia Oeste não apresentou diferenças significativas.

A análise *post-hoc* de Dunn revelou características distintas para cada sub-bacia: a Lagoa Rodrigo de Freitas apresentou diferenças significativas entre o inverno e as demais estações do ano ($p < 0,001$), padrão similar ao da sub-bacia Leste, onde se acrescenta a ocorrência de diferenças significativas ($p = 0,005$) entre outono e primavera. Na sub-bacia Oeste, diferenças foram observadas entre o inverno e outono em comparação com a primavera ($p < 0,05$), ao passo que, no Sistema Lagunar de Jacarepaguá a variação significativa ocorreu do inverno e outono em comparação com o verão ($p < 0,05$). O Sistema Lagunar de Maricá apresentou diferenças significativas entre o inverno e a primavera com o verão ($p < 0,05$). No Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga, apenas a comparação entre outono e primavera apresentou resultados significativamente diferentes ($p = 0,014$). Por fim, os resultados indicam uma elevada variabilidade dos valores de pH ao longo do ano, acompanhando as particularidades de cada sub-bacia. A distribuição dos valores entre períodos e estações é apresentado na Figura V-23 e na Figura V-24.

Tabela V-24 – Diferenças significativas dos valores de pH entre estações do ano e períodos seco e chuvoso (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$) e análise post-hoc para sub-bacias com variação significativa (Dunn, $p < 0,05$).

Sub-Bacia		Kruskal-Wallis (valor de p)		
		Estações	Períodos	
Lagoa Rodrigo de Freitas		<0,001	0,007	
Leste		<0,001	<0,001	
Oeste		0,015	0,568	
Sistema Lagunar de Jacarepaguá		<0,001	0,010	
Sistema Lagunar de Maricá		0,003	<0,001	
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga		0,010	0,001	
Sub-Bacia		Teste de Dunn (valor de p ajustado)		
		Estação	outono	primavera
Lagoa Rodrigo de Freitas	inverno	<0,001	<0,001	<0,001
	outono		0,111	0,364
	primavera			0,428
Leste	inverno	<0,001	<0,001	<0,001
	outono		0,005	0,155
	primavera			0,135
Oeste	inverno	0,994	0,048	0,098
	outono		0,041	0,100
	primavera			0,631
Sistema Lagunar de Jacarepaguá	inverno	0,714	0,090	0,001
	outono		0,202	0,004
	primavera			0,075
Sistema Lagunar de Maricá	inverno	0,082	0,974	0,007
	outono		0,091	0,424
	primavera			0,009
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	inverno	0,400	0,054	0,233
	outono		0,014	0,065
	primavera			0,453

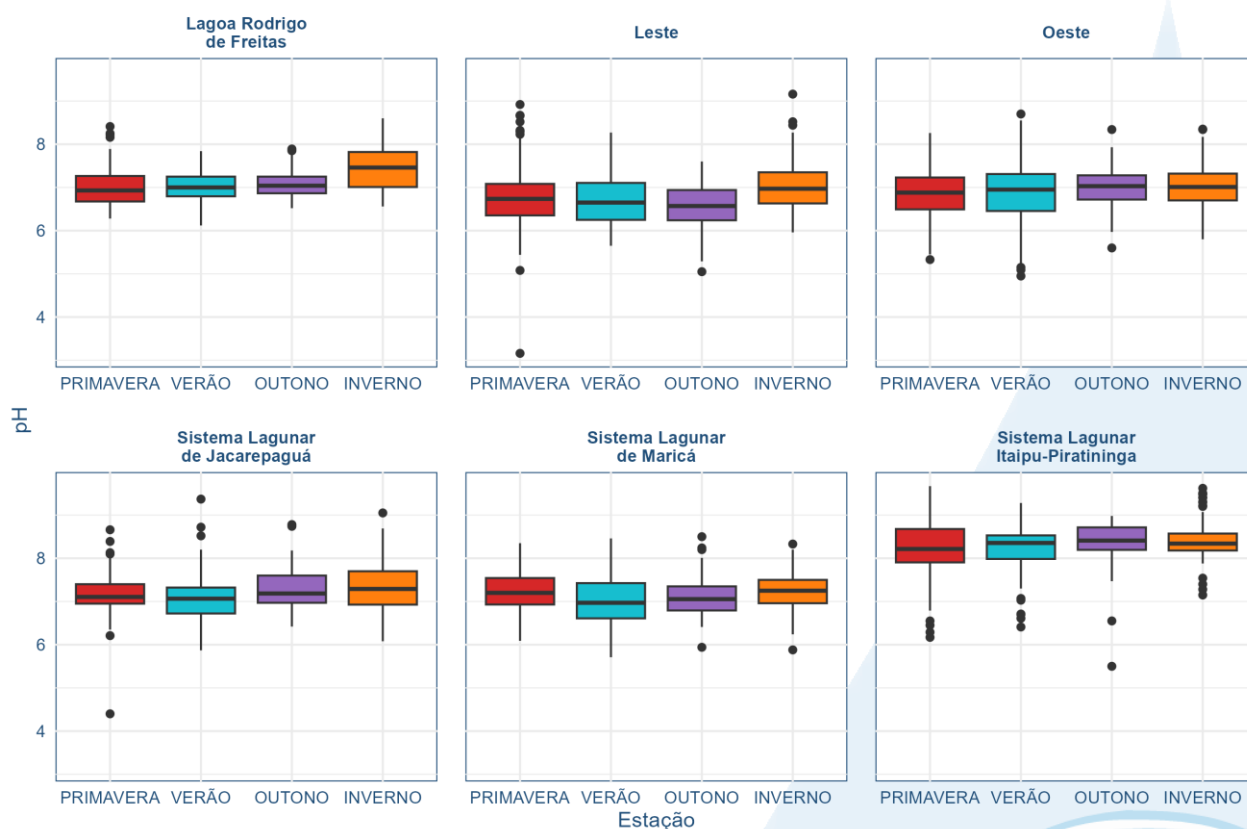


Figura V-23. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de pH entre estações do ano, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.

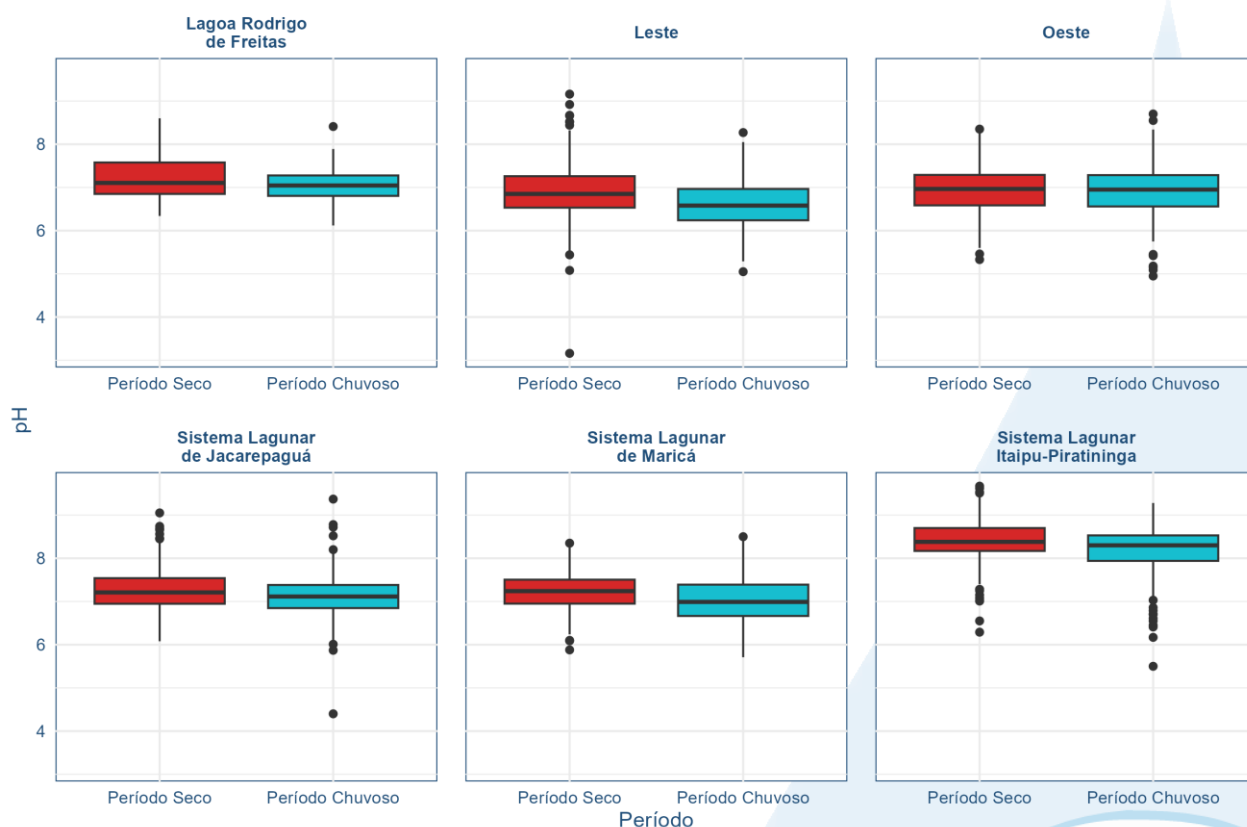


Figura V-24. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de pH entre períodos seco e chuvoso, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.

A Figura V-25 apresenta a distribuição dos valores de pH em diferentes pontos de amostragem nas sub-bacias do Sistema Lagunar de Jacarepaguá e Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga, comparando os períodos seco e chuvoso. No Sistema Lagunar de Jacarepaguá, os valores de pH mantiveram-se predominantemente na faixa neutra a levemente alcalina (entre 6 e 8), com pouca variação entre os pontos ao longo dos dois períodos. Já no Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga, observa-se um padrão mais bem definido: os pontos C1 a C5 (Lagoa de Itaipu) mantêm valores levemente alcalinos e estáveis, enquanto o ponto C6 (Canal do Camboatá) apresenta maior variabilidade e tendência à acidificação, especialmente no período chuvoso, o que pode indicar aportes de águas residuais ou influência de matéria orgânica em decomposição. Já os pontos C7 a C12 (Lagoa da Piratininga) mantêm valores mais alcalinos e consistentes. Os dados destas duas sub-bacias, e da região hidrográfica como um todo, indicam boa estabilidade do parâmetro pH nas duas sub-bacias, com variações pontuais que merecem atenção por possíveis relações com cargas orgânicas, uso do solo ou processos locais de autodepuração.

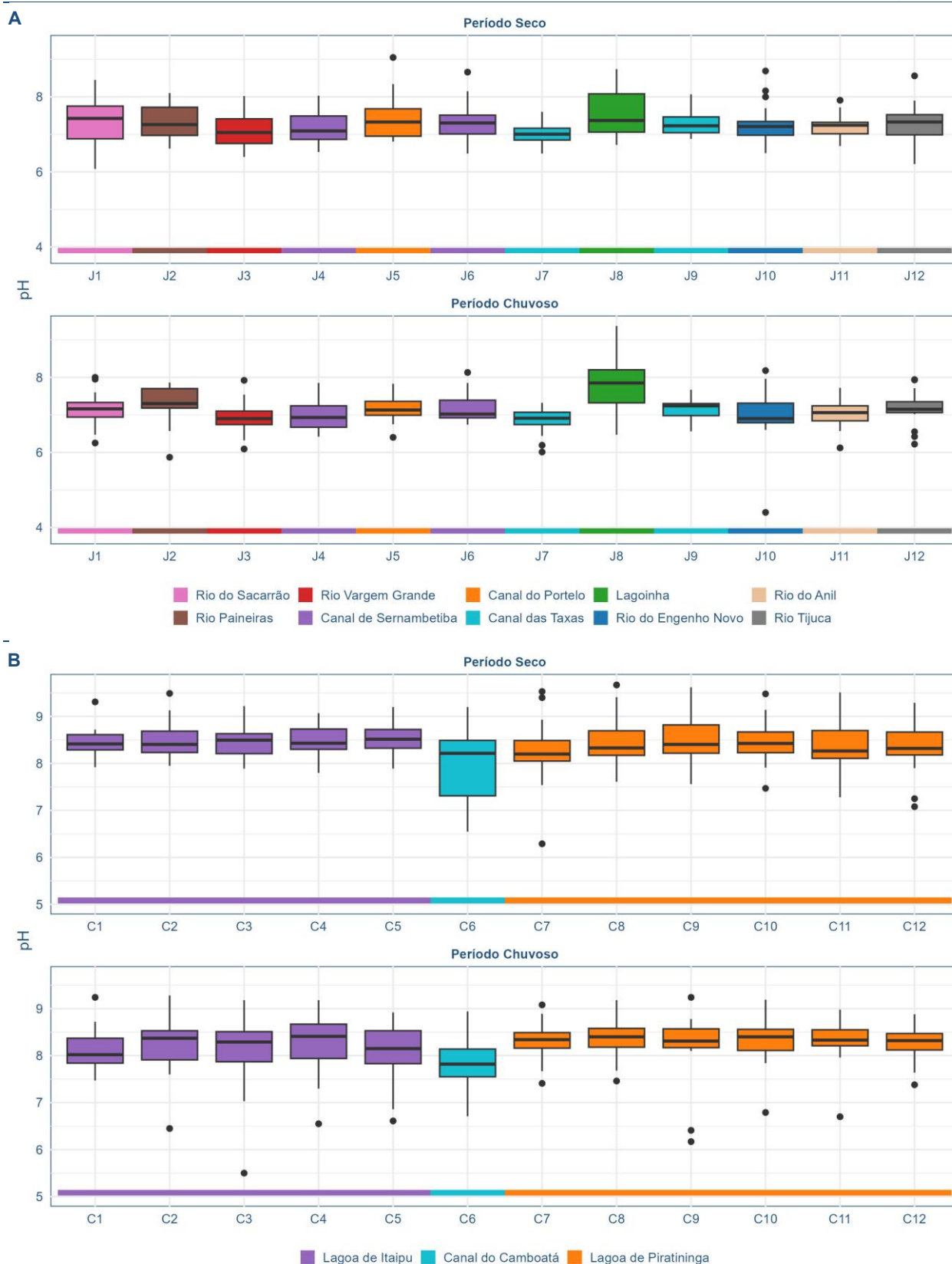


Figura V-25. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores pH entre pontos de amostragem nos períodos seco e chuvoso, referente às sub-bacias do Sistema Lagunar de Jacarepaguá (A) e Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga (B).

V.2.1.7 Turbidez

A turbidez é uma propriedade ótica da água, que representa a atenuação da luz ao atravessar uma determinada amostra de água (CETESB, 2011). A atenuação ocorre pela absorção e espalhamento da luz causada pelos sólidos em suspensão como silte, areia, argila, algas e detritos. A principal fonte de turbidez é a erosão dos solos, intensificada na época das chuvas, quando as águas pluviais transportam uma quantidade significativa de material sólido para os corpos hídricos. A turbidez é apresentada em Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT).

A Tabela V-25 apresenta as estatísticas descritivas dos valores de turbidez (UNT) obtidos nas diferentes sub-bacias da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara ao longo de 35 campanhas de monitoramento, e a Tabela V-26, a distribuição das amostras conforme as classes da Resolução CONAMA 357/05.

Os valores médios de turbidez variaram amplamente entre as sub-bacias, com destaque para o Sistema Lagunar de Maricá, que apresentou a maior média (32,43 UNT) e alta variabilidade (CV = 169%). A Lagoa Rodrigo de Freitas apresentou o menor valor médio (8,10 UNT) e, ao mesmo tempo, a maior variabilidade (CV = 270%). A classificação segundo a Resolução CONAMA 357/05 revelou que a maior parte das amostras atendeu aos padrões estabelecidos, com 97,7% das amostras classificadas nas classes 1 e 2.

Tabela V-25 – Estatísticas descritivas dos valores de turbidez (UNT) obtidos nas sub-bacias que compõem a Região Hidrográfica da Baía de Guanabara nas 35 campanhas de monitoramento.

Sub-Bacia	Estatísticas Descritivas					
	n	Mín.	Máx.	Média	DP	CV
Lagoa Rodrigo de Freitas	450	ND	405,00	8,10	21,90	270%
Leste	805	ND	769,00	17,85	46,82	262%
Oeste	805	<0,1	276,00	20,83	26,19	126%
Sistema Lagunar de Jacarepaguá	420	ND	451,30	15,11	30,06	199%
Sistema Lagunar de Maricá	350	ND	722,00	32,43	54,83	169%
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	420	0,10	67,90	17,34	11,29	65%
TOTAL	3250	ND	769,00	18,39	35,68	194%

Tabela V-26 – Distribuição das amostras de turbidez (UNT) de acordo com as classes da Resolução CONAMA 357/05.

CONAMA 357/2005						
Águas	Sub-Bacia	classe 1	classe 2	classe 3	classe 4	Desenq.
Doces	Lagoa Rodrigo de Freitas	418	9			2
	Leste	733	44			24
	Oeste	703	77			14
	Sistema Lagunar de Jacarepaguá	287	26			1
	Sistema Lagunar de Maricá	170	45			17
TOTAL		2311 (89,9%)	201 (7,8%)			58 (2,2%)

A Tabela V-27 apresenta os resultados do teste de Kruskal-Wallis para verificar a existência de diferenças estatisticamente significativas nos valores de turbidez entre as estações do ano e os períodos seco e chuvoso nas diferentes sub-bacias.

Os resultados indicam que as sub-bacias Leste, Oeste e Sistema Lagunar de Jacarepaguá apresentaram diferenças estatisticamente significativas tanto entre as estações do ano quanto entre os períodos seco e chuvoso ($p < 0,05$). Já a Lagoa Rodrigo de Freitas, o Sistema Lagunar de Maricá e o Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga apresentaram diferenças significativas apenas entre os períodos seco e chuvoso ($p < 0,05$).

A análise *post-hoc* de Dunn revelou que, na sub-bacia Leste, todas as comparações entre o inverno e as demais estações foram estatisticamente significativas ($p < 0,001$), com o mesmo ocorrendo para o verão, indicando forte variação sazonal na turbidez. Na sub-bacia Oeste, diferenças foram identificadas para o verão em relação ao inverno e outono ($p < 0,05$). No Sistema Lagunar de Jacarepaguá, diferenças relevantes também foram observadas para o inverno em comparação com primavera e verão ($p < 0,05$). Esses resultados sugerem que a turbidez na região da Baía de Guanabara é influenciada por fatores climáticos e hidrodinâmicos, sendo fortemente impactada pela precipitação e pelo transporte de sedimentos. A distribuição dos valores de turbidez entre estações e períodos seco e chuvoso são apresentadas na Figura V-26 e na Figura V-27.

Tabela V-27 – Diferenças significativas dos valores de turbidez (UNT) entre estações do ano e períodos seco e chuvoso (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$) e análise post-hoc para sub-bacias com variação significativa (Dunn, $p < 0,05$).

Sub-Bacia		Kruskal-Wallis (valor de p)			
		Estações	Períodos		
Lagoa Rodrigo de Freitas		0,104	<0,01		
Leste		<0,01	<0,01		
Oeste		0,002	<0,01		
Sistema Lagunar de Jacarepaguá		0,001	<0,01		
Sistema Lagunar de Maricá		0,419	<0,01		
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga		0,766	0,013		
Sub-Bacia		Teste de Dunn (valor de p ajustado)			
		Estação	outono	primavera	verão
Leste		inverno	<0,001	<0,001	<0,001
		outono		0,803	<0,001
		primavera			<0,001
Oeste		inverno	0,879	0,052	0,006
		outono		0,082	0,010
		primavera			0,29609
Sistema Lagunar de Jacarepaguá		inverno	0,294	0,003	0,004
		outono		0,084	0,086
		primavera			0,862

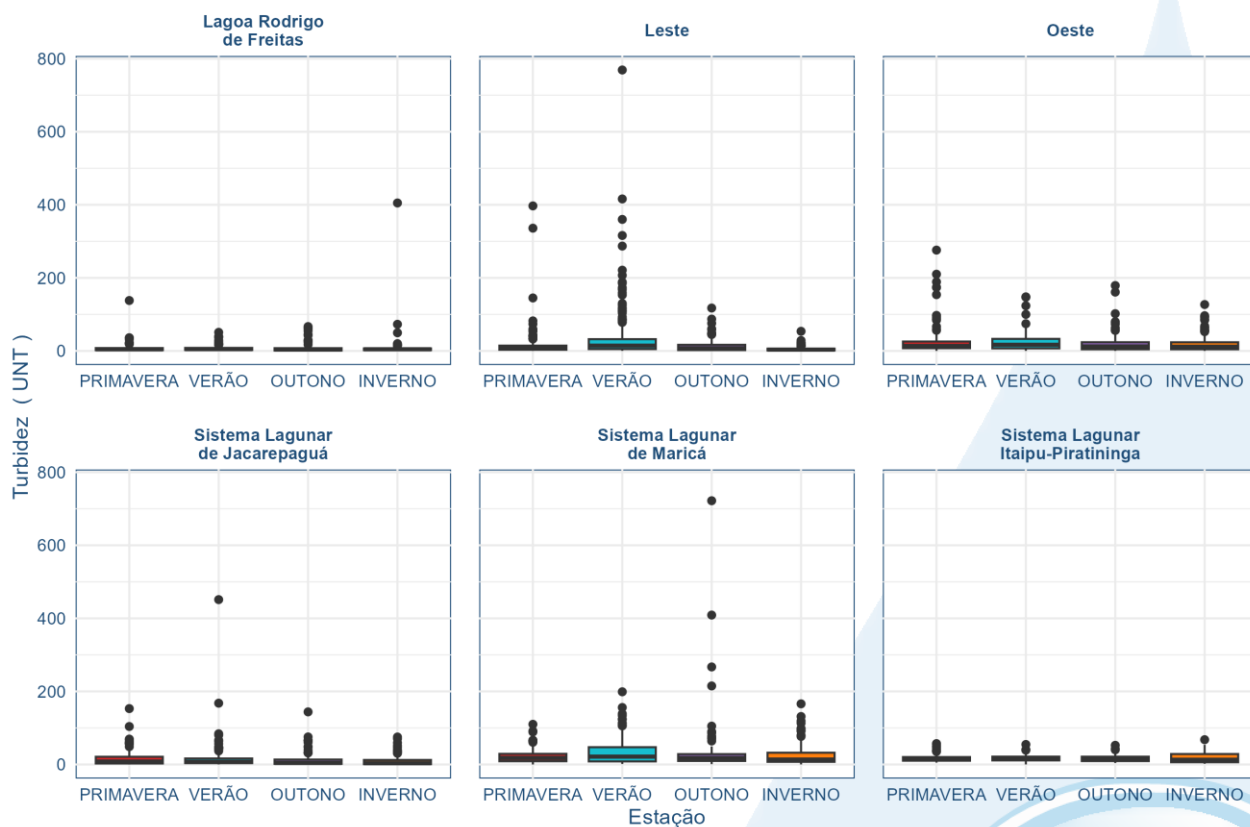


Figura V-26. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de turbidez (UNT) entre estações do ano, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento. Para uma melhor visualização dos diagramas, os outliers foram removidos.

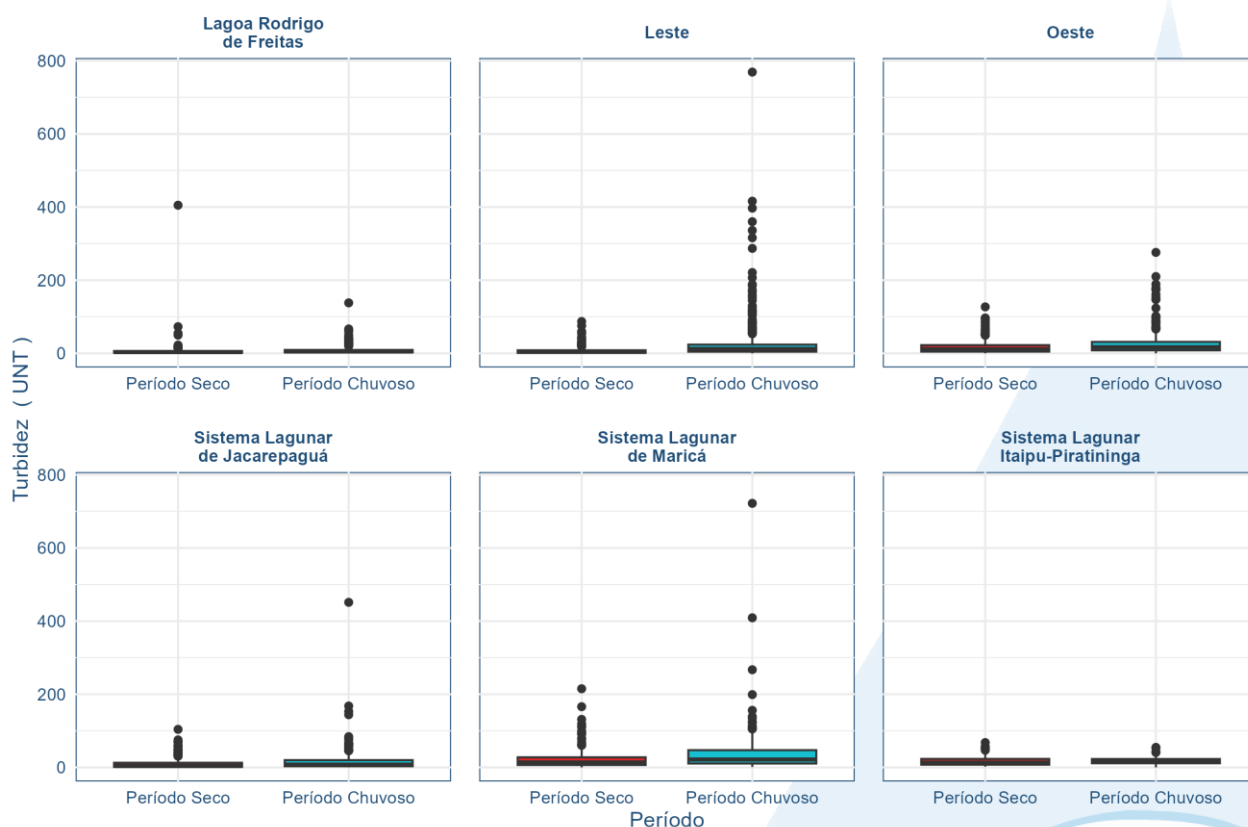


Figura V-27. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de turbidez (UNT) entre períodos seco e chuvoso, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento. Para uma melhor visualização dos diagramas, os outliers foram removidos.

V.2.1.8 Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

O parâmetro sólidos totais dissolvidos (STD) inclui solutos como sódio, cálcio, magnésio, bicarbonato e cloreto que permanecem como um resíduo sólido após a evaporação da água da amostra. Suas principais fontes para o ambiente são o intemperismo natural, mineração, resíduos industriais, esgoto e agricultura, e elevados níveis deste parâmetro tornam a água menos adequada para fins como consumo e irrigação. Em estudos de poluição das águas naturais, principalmente os voltados à caracterização de esgotos sanitários e de efluentes industriais, as determinações dos níveis de concentração das diversas frações de sólidos resultam em um quadro geral da distribuição das partículas com relação ao tamanho (sólidos em suspensão e dissolvidos) e com relação à natureza (fixos ou minerais e voláteis ou orgânicos) (CETESB, 2009).

A Tabela V-28 apresenta as estatísticas descritivas dos valores de sólidos totais dissolvidos (STD) obtidos nas diferentes sub-bacias da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara ao longo de 35 campanhas de monitoramento, bem como a distribuição das amostras conforme as classes da Resolução CONAMA 357/05.

Os valores médios de STD apresentaram grande variação entre as sub-bacias, com destaque para o Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga, que apresentou o maior valor médio (22.836 mg/L) e um desvio-padrão elevado (7.212 mg/L), indicando uma concentração elevada de sólidos dissolvidos, possivelmente devido à influência marinha. A Lagoa Rodrigo de Freitas apresentou a maior variabilidade relativa (CV = 630%), sugerindo uma grande oscilação nos níveis de sólidos dissolvidos ao longo do tempo, provavelmente relacionada com intrusões salinas.

A classificação segundo a Resolução CONAMA 357/05 revelou que a grande maioria das amostras de águas doces atendem aos padrões estabelecidos, com 98,7% das amostras dentro da classe 1. No entanto, um pequeno número de amostras foi classificado como em desconformidade, especialmente no Sistema Lagunar de Jacarepaguá (9), Lagoa Rodrigo de Freitas (6) e Sistema Lagunar de Maricá (14), o que indica impactos localizados que podem comprometer a qualidade da água.

Tabela V-28 – Estatísticas descritivas dos valores de STD (mg/L) obtidos nas sub-bacias que compõem a Região Hidrográfica da Baía de Guanabara nas 35 campanhas de monitoramento, bem como distribuição das amostras de acordo com as classes da Resolução CONAMA 357/05.

		Estatísticas Descritivas				
Sub-Bacia	n	Mín.	Máx.	Média	DP	CV
Lagoa Rodrigo de Freitas	450	16,00	32.234	390,79	2.490	637%
Leste	805	0,50	631	55,30	78,40	142%
Oeste	805	0,50	20.898	204,13	764	374%
Sistema Lagunar de Jacarepaguá	420	10,00	32.739	1.108	3.011	272%
Sistema Lagunar de Maricá	350	20,00	17.919	1.822	3.316	182%
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	420	6175	46.112	22.836	7.212	32%
TOTAL	3250	0,50	46.112	3.409	8.149	239%

		CONAMA 357/2005				
Águas	Sub-Bacia	classe 1	classe 2	classe 3	classe 4	Desenq.
Doces	Lagoa Rodrigo de Freitas	423				6
	Leste	800				1
	Oeste	791				3
	Sistema Lagunar de Jacarepaguá	305				9
	Sistema Lagunar de Maricá	218				14
	TOTAL	2537				33

A Tabela V-29 demonstra que os valores de STD variaram significativamente entre estações do ano e entre os períodos seco e chuvoso em quase todas as sub-bacias, com exceção de Maricá, onde não houve diferença estatística relevante. O teste de Kruskal-Wallis indicou diferenças altamente significativas ($p < 0,05$) nas sub-bacias da Lagoa Rodrigo de Freitas e Leste e no Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga ($p < 0,001$).

O teste *post-hoc* de Dunn detalha que, nessas sub-bacias, os valores de STD no verão diferem significativamente dos demais períodos, especialmente do inverno, sugerindo que a elevação das temperaturas, associada ao aumento da evaporação e possível concentração de íons e/ou poluentes, influencia diretamente nas concentrações de sólidos dissolvidos. Em Itaipu-Piratininga, observam-se diferenças expressivas entre todas as estações, o que reforça o caráter dinâmico da salinidade neste sistema lagunar. Esses resultados indicam que a variabilidade dos sólidos dissolvidos é fortemente controlada por fatores sazonais, regimes hidrológicos e características geomorfológicas locais, ressaltando a importância de estratégias de monitoramento contínuo e gestão adaptativa que considerem a complexidade e especificidade de cada sub-bacia da região. A distribuição dos valores de STD entre estações e períodos seco e chuvoso são apresentadas na Figura V-28 e na Figura V-29.

Tabela V-29 – Diferenças significativas dos valores de STD (mg/L) entre estações do ano e períodos seco e chuvoso (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$) e análise post-hoc para sub-bacias com variação significativa (Dunn, $p < 0,05$).

Sub-Bacia	Kruskal-Wallis (valor de p)			
	Estações	Períodos		
Lagoa Rodrigo de Freitas	<0,001	<0,001		
Leste	<0,001	<0,001		
Oeste	0,003	0,007		
Sistema Lagunar de Jacarepaguá	0,092	0,019		
Sistema Lagunar de Maricá	0,659	0,116		
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	<0,001	<0,001		
Sub-Bacia	Teste de Dunn (valor de p ajustado)			
	Estação	outono	primavera	verão
Lagoa Rodrigo de Freitas	inverno	0,078	0,007	<0,001
	outono		0,471	0,148
	primavera			0,360
Leste	inverno	0,045	0,176	<0,001
	outono		0,327	0,059
	primavera			0,003
Oeste	inverno	0,577	0,016	0,008
	outono		0,093	0,044
	primavera			0,610
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	inverno	<0,001	0,160	<0,001
	outono		<0,001	0,161
	primavera			<0,001

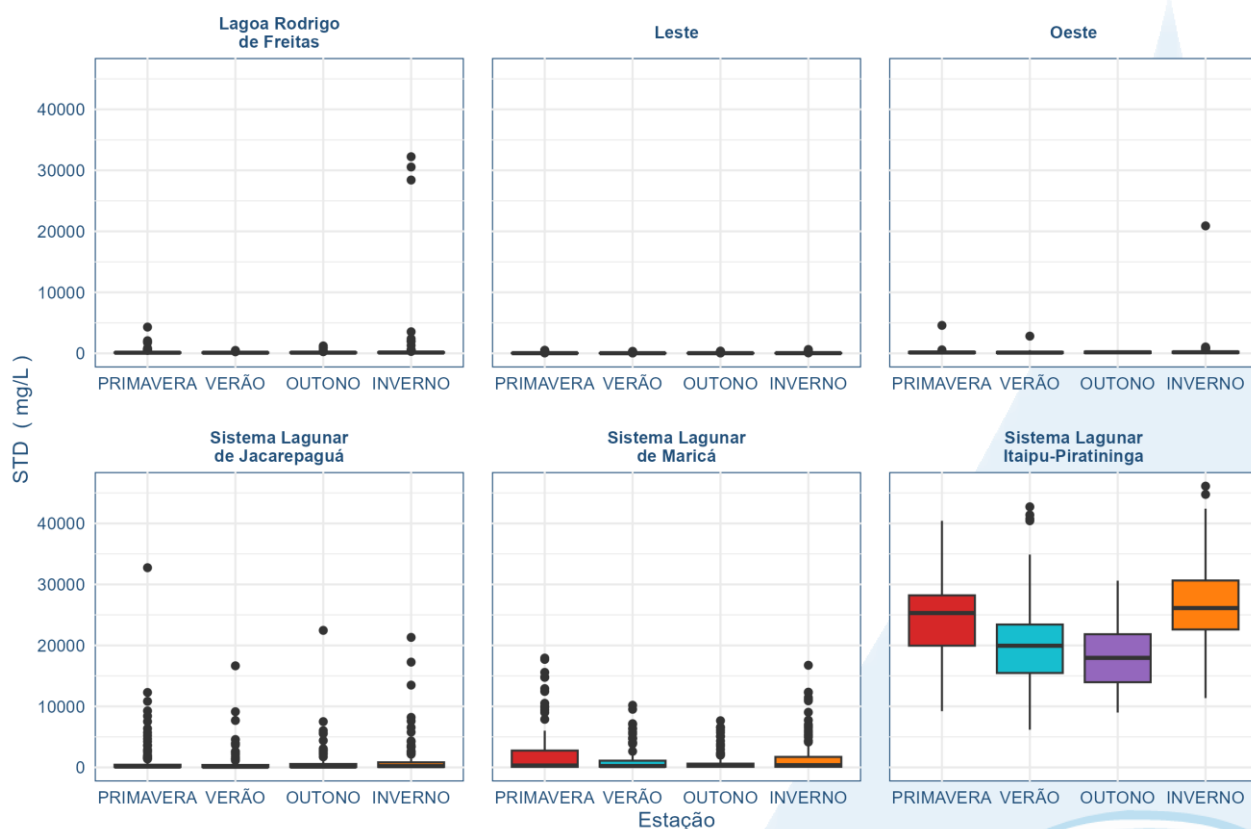


Figura V-28. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de STD (mg/L) entre estações do ano, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.

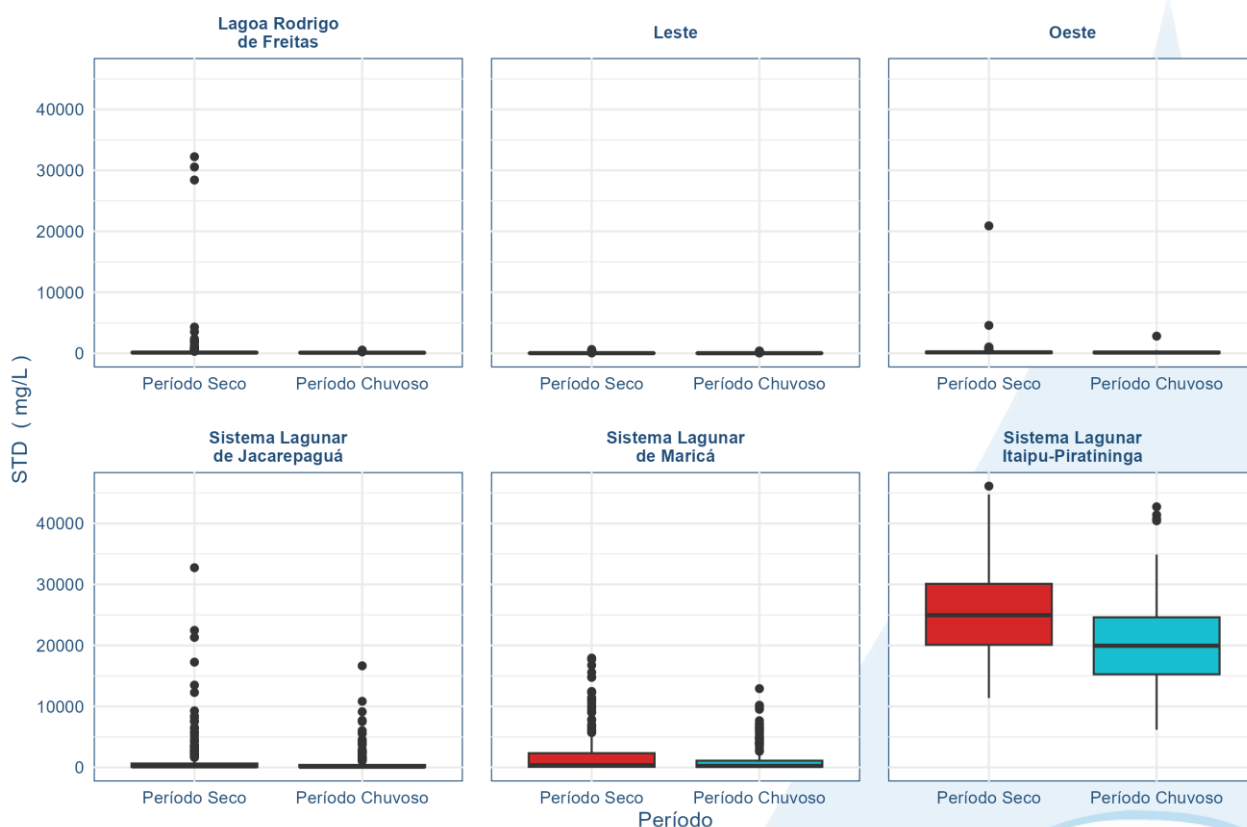


Figura V-29. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de STD (mg/L) entre períodos seco e chuvoso, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.

A Figura V-30 apresenta a distribuição dos valores de STD em diferentes pontos de amostragem nas sub-bacias do Sistema Lagunar de Jacarepaguá (A) e do Sistema Lagunar de Maricá (B), nos períodos seco e chuvoso. Na sub-bacia de Jacarepaguá, observa-se uma forte variação espacial e temporal nos valores de STD, com destaque para o ponto J6 (Canal de Sernambetiba) durante o período seco, que atinge concentração superior a 30.000 mg/L, refletindo elevada carga de sais dissolvidos, possivelmente relacionada à intrusão salina. Mesmo no período chuvoso, esse ponto ainda apresenta valores elevados, embora com menor magnitude. Outros pontos, como J8 (Canal das Taxas) e J9 (Rio do Engenho Novo), também mostram elevações significativas. Já na sub-bacia de Maricá, os pontos M3 (Rio Doce), M7 (Lagoa de Maricá) e M8 (Canal de São Bento) apresentaram os maiores valores de STD no período seco, chegando a ultrapassar 10.000 mg/L, com queda expressiva no período chuvoso, sugerindo efeito de diluição.

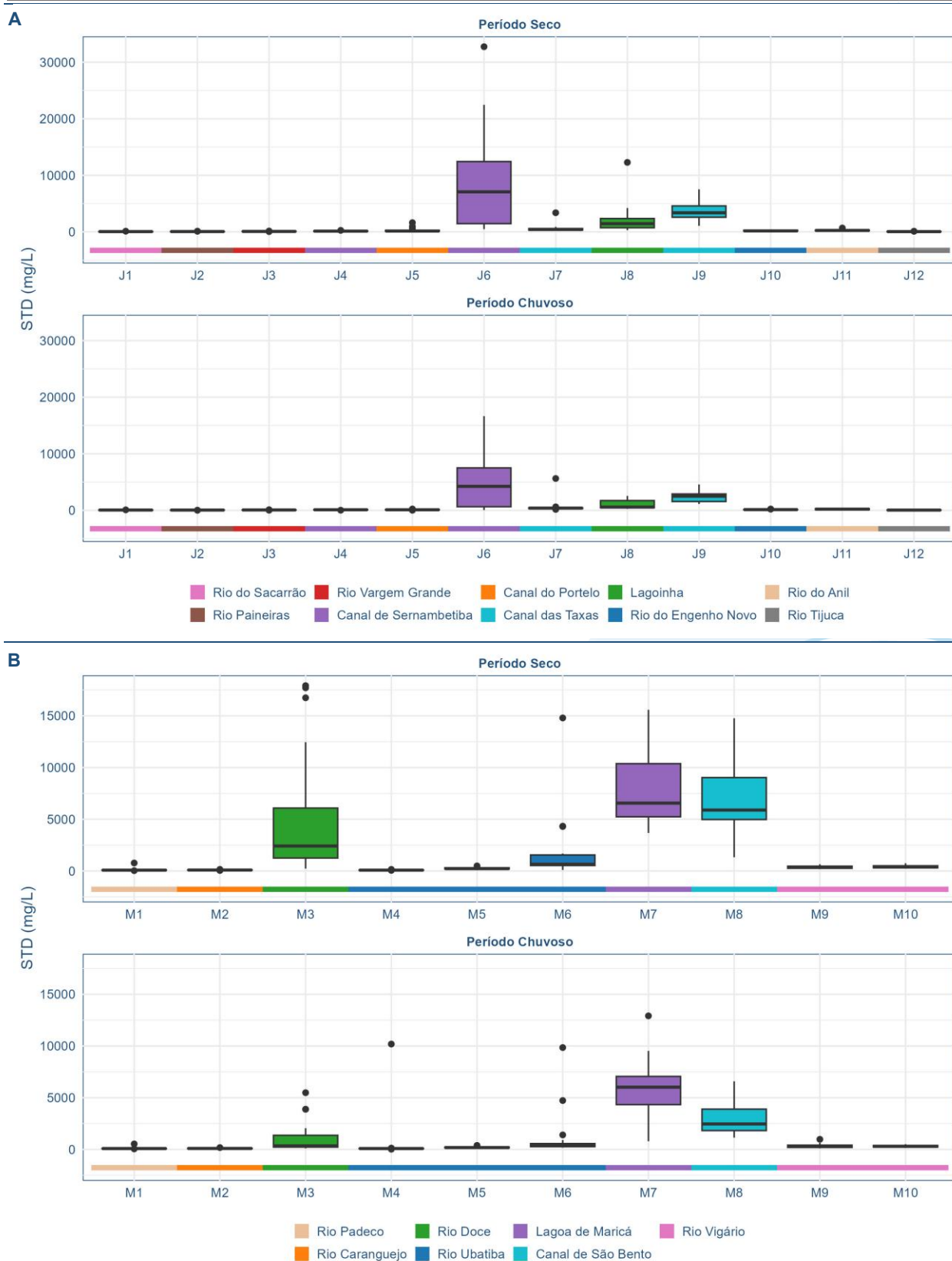


Figura V-30. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de STD (mg/L) entre pontos de amostragem nos períodos seco e chuvoso, referente às sub-bacias do Sistema Lagunar de Jacarepaguá (A) e do Sistema Lagunar de Maricá (B).

V.2.1.9 Coliformes Termotolerantes

Além da análise de parâmetros físico-químicos, foi contemplada no monitoramento da Sub-bacia do Sistema Lagunar de Maricá a avaliação de coliformes termotolerantes. A análise de parâmetros microbiológicos tem sido usada como medida de proteção à saúde humana em águas consideradas impactadas pela poluição fecal (Jung *et al.*, 2014). As fontes de organismos patogênicos e não patogênicos em águas recreacionais podem ser provenientes da presença de esgoto não tratado, lixo, águas de drenagem, urina e fezes de animais (McBride *et al.*, 2013).

As bactérias do grupo dos coliformes são consideradas os principais indicadores de contaminação fecal e a sua determinação tem importância para avaliação da possibilidade de existência de microrganismos patogênicos, responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica, tais como febre tifoide, febre paratifoide, desintéria bacilar e cólera (CETESB, 2009).

A Tabela V-30 apresenta as estatísticas descritivas dos valores de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) obtidos nas diferentes sub-bacias da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara ao longo de 35 campanhas de monitoramento, bem como a distribuição das amostras conforme as classes da Resolução CONAMA 357/05.

Ressalta-se que, conforme a adoção do critério específico para coliformes apresentado no item IV.3, os resultados de estatística descritiva, como a média, desvio padrão e o coeficiente de variação, estão subestimados, uma vez que foi utilizado o valor de 160.000 NMP/ 100 mL sempre que os resultados indicavam concentrações maiores que 160.000 NMP/ 100 mL, devido à limitação de detecção de valor preciso quando a concentração ultrapassa esse limite.

Os valores médios de coliformes termotolerantes apresentaram grande variação entre as sub-bacias, com a sub-bacia Oeste registrando a maior média (108.773 NMP/100 mL), indicando uma elevada contaminação microbiológica. O Sistema Lagunar de Jacarepaguá também apresentou média elevada (91.826 NMP/100 mL), refletindo um grau significativo de poluição por esgotos. No entanto, devido à limitação relatada acima é possível considerar que a poluição por esgotos foi mais acentuada em todas as sub-bacias monitoradas.

A classificação segundo a Resolução CONAMA 357/05 revelou que a maioria das amostras foi classificada como fora dos padrões de qualidade (59%), com destaque para

a sub-bacia Oeste, onde 86% das amostras estiveram em desconformidade. Outras sub-bacias com elevada proporção de amostras em desacordo com a norma incluem o Sistema Lagunar de Jacarepaguá (82%) e a Lagoa Rodrigo de Freitas (70%). As sub-bacias com menor percentual de amostras fora dos padrões foram o Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga (24%) e a sub-bacia Leste (33%), indicando menor carga de contaminação microbiológica relativa, em comparação às demais.

Tabela V-30 – Estatísticas descritivas dos valores de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) obtidos nas sub-bacias que compõem a Região Hidrográfica da Baía de Guanabara nas 35 campanhas de monitoramento.

Estatísticas Descritivas						
Sub-Bacia	n	Mín.	Máx.	Média	DP	CV
Lagoa Rodrigo de Freitas	450	<1,8	>160.000	64.543	71.332	111%
Leste	805	<1,8	>160.000	24.630	52.440	213%
Oeste	805	5,00	>160.000	108.773	70.459	65%
Sistema Lagunar de Jacarepaguá	420	<1,8	>160.000	91.826	74.399	81%
Sistema Lagunar de Maricá	350	<1,8	>160.000	61.608	73.051	119%
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	420	1,00	>160.000	16.479	43.773	266%
TOTAL	3250	<1,8	>160.000	62.611	73.606	118%

CONAMA 357/2005						
Sub-Bacia	Águas	classe 1	classe 2	classe 3	classe 4	Desenq.
Lagoa Rodrigo de Freitas	Doces	17	58	60		294
	Salobras	0	1	0		17
	Salinas	1	0	0		2
	TOTAL	18 (4%)	59 (13%)	60 (13%)		313 (70%)
Leste	Doces	125	238	171		267
	Salobras	2	0	0		2
	TOTAL	127 (16%)	238 (30%)	171 (21%)		269 (33%)
Oeste	Doces	18	36	55		685
	Salobras	0	0	0		10
	Salinas	0	0	1		0
	TOTAL	18 (2%)	36 (4%)	56 (7%)		695 (86%)
Sistema Lagunar de Jacarepaguá	Doces	18	17	26		253
	Salobras	4	9	2		90
	TOTAL	22 (5%)	26 (6%)	28 (7%)		343 (82%)
Sistema Lagunar de Maricá	Doces	11	42	33		146
	Salobras	48	11	0		59
	TOTAL	59 (17%)	53 (15%)	33 (9%)		205 (59%)

Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	Salobras	228	52	7	92
	Salinas	24	5	3	9
	TOTAL	252 (60%)	57 (14%)	10 (2%)	101 (24%)
TOTAL GERAL		496 (15%)	469 (14%)	358 (11%)	1926 (59%)

A Tabela V-31 apresenta os resultados do teste de Kruskal-Wallis para verificar a existência de diferenças estatisticamente significativas nos valores de coliformes termotolerantes entre as estações do ano e os períodos seco e chuvoso nas diferentes sub-bacias.

Os resultados indicam que as sub-bacias Leste, Oeste e Sistema Lagunar de Jacarepaguá apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os períodos seco e chuvoso ($p < 0,05$), sugerindo que ciclos hidrológicos anuais influenciam a contaminação microbiológica nessas regiões. No entanto, apenas a sub-bacia Leste apresentou diferenças significativas entre as estações do ano ($p < 0,05$), indicando variações sazonais na carga de coliformes termotolerantes.

A análise *post-hoc* de Dunn revelou que, na sub-bacia Leste, as diferenças ocorreram para o verão em comparação com o inverno e com a primavera ($p < 0,05$), sugerindo um aumento da contaminação microbiológica durante o verão. Esse padrão pode estar associado a uma combinação de maior aporte de esgotos não tratados, aumento da temperatura, e variações na taxa de diluição da água devido à pluviosidade sazonal. A distribuição dos valores de coliformes termotolerantes entre estações e períodos seco e chuvoso são apresentadas na Figura V-31 e na Figura V-32.

Tabela V-31 – Diferenças significativas dos valores de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) entre estações do ano e períodos seco e chuvoso (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$) e análise *post-hoc* para sub-bacias com variação significativa (Dunn, $p < 0,05$).

Sub-Bacia	Kruskal-Wallis (valor de p)			
	Estações	Períodos		
Lagoa Rodrigo de Freitas	0,486	0,368		
Leste	0,014	0,005		
Oeste	0,103	0,015		
Sistema Lagunar de Jacarepaguá	0,448	0,034		
Sistema Lagunar de Maricá	0,197	0,291		
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	0,062	0,850		
Sub-Bacia	Teste de Dunn (valor de p ajustado)			
	Estação	outono	primavera	verão

	inverno	0,559	0,943	0,017
Leste	outono	0,624	0,128	
	primavera		0,022	

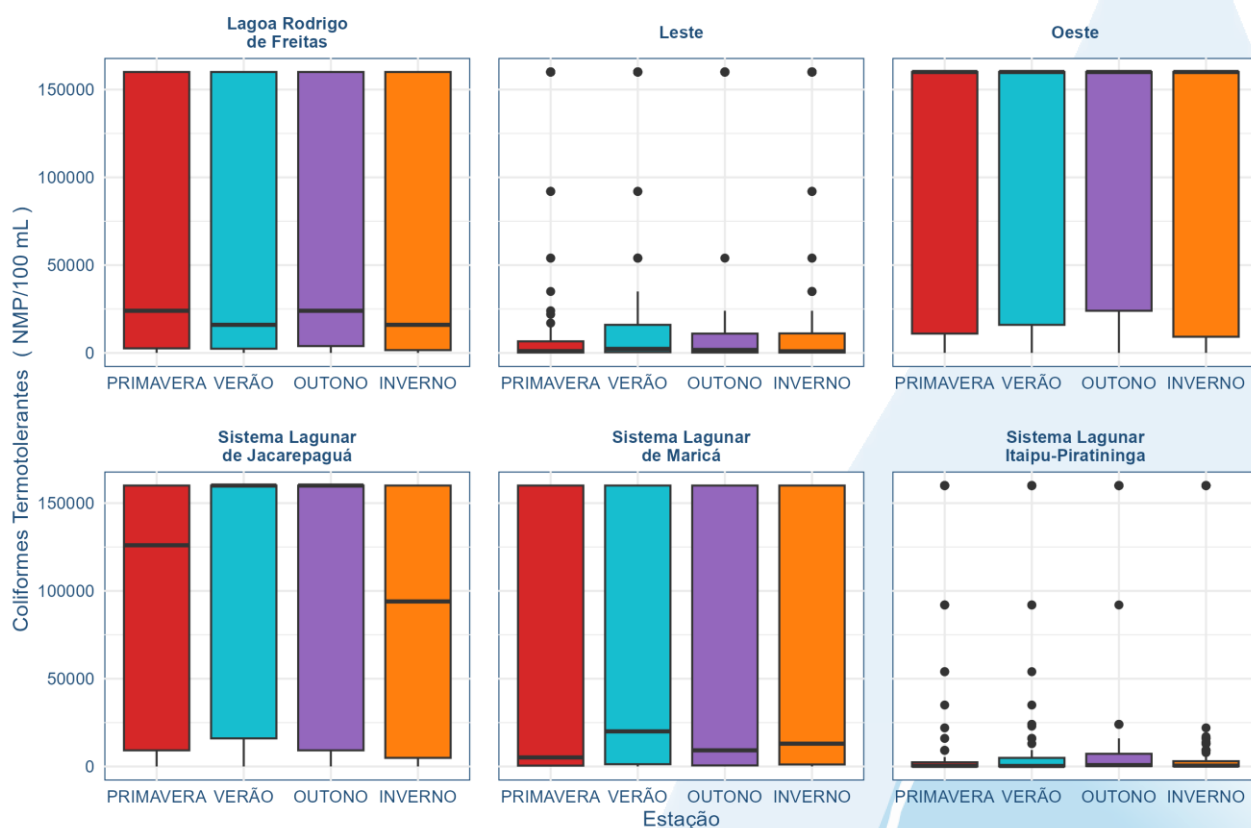


Figura V-31. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) entre estações do ano, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.

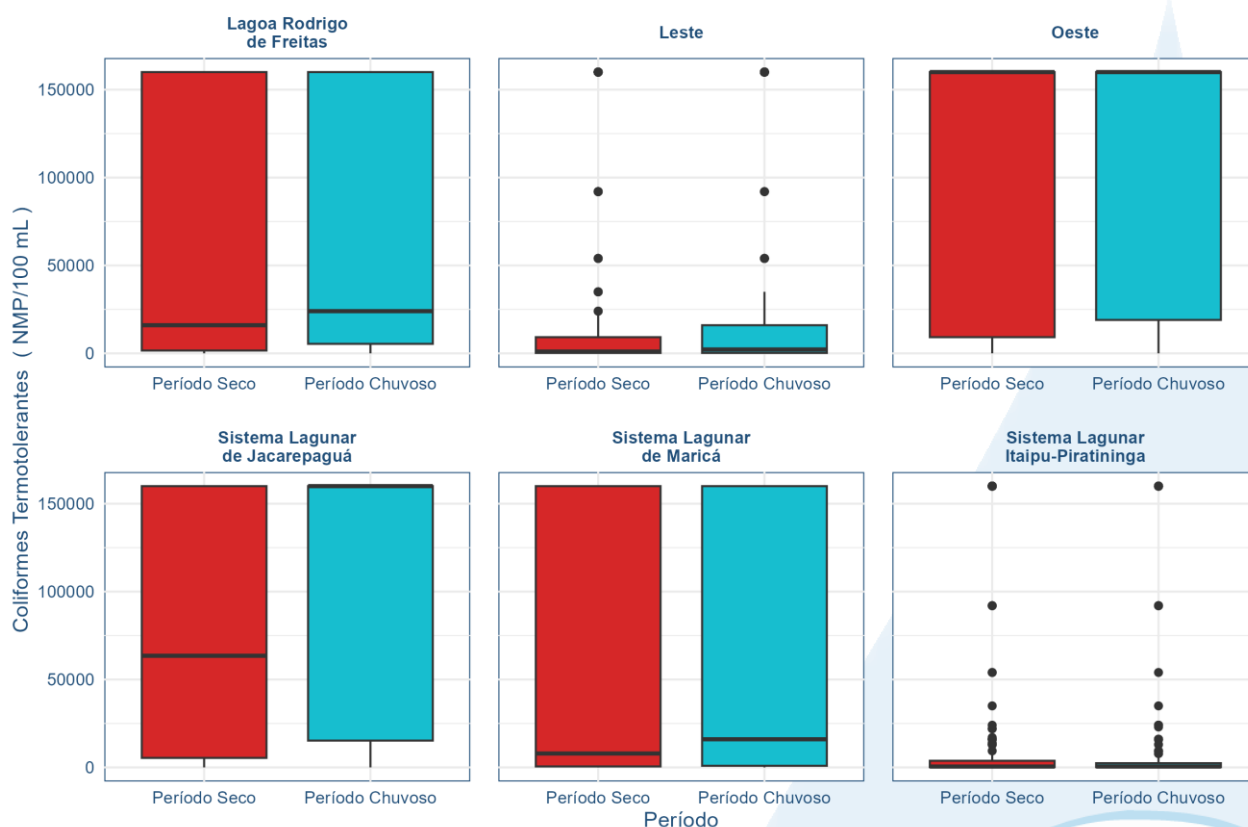


Figura V-32. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) entre períodos seco e chuvoso, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.

A Figura V-33 apresenta a distribuição dos valores de Coliformes Termotolerantes nas sub-bacias Leste (A) e Oeste (B), evidenciando fortes indícios de contaminação fecal em diversos trechos. Na sub-bacia Leste, destacam-se os pontos L8 e L22 (Papuacinha e Afluente do Rio Caceribu), que atingem concentrações superiores a 160.000 NMP/100 mL em ambos os períodos, sugerindo lançamento contínuo de esgoto doméstico não tratado nestes corpos hídricos. A maioria dos demais pontos apresenta níveis predominantemente inferiores a 2.500 NMP/100 mL. Já na sub-bacia Oeste, valores superiores a 160.000 NMP/100 mL mostram-se predominantes na maioria dos pontos. Os pontos O1 e O3 (Rio Saracuruna), O6 (Rio Sapucaia) e O8 e O9 (Rio Tinguá) mantiveram concentrações inferiores a 2.500 NMP/100 mL no período seco, no entanto, com concentrações chegando a >160.000 NMP/100 mL no período chuvoso. Esta variação entre sub-bacias reflete diferenças relacionadas ao adensamento populacional, mais concentrado na sub-bacia Oeste, refletindo no maior lançamento de efluentes urbanos, em um contexto de baixo grau de tratamento de esgotos.

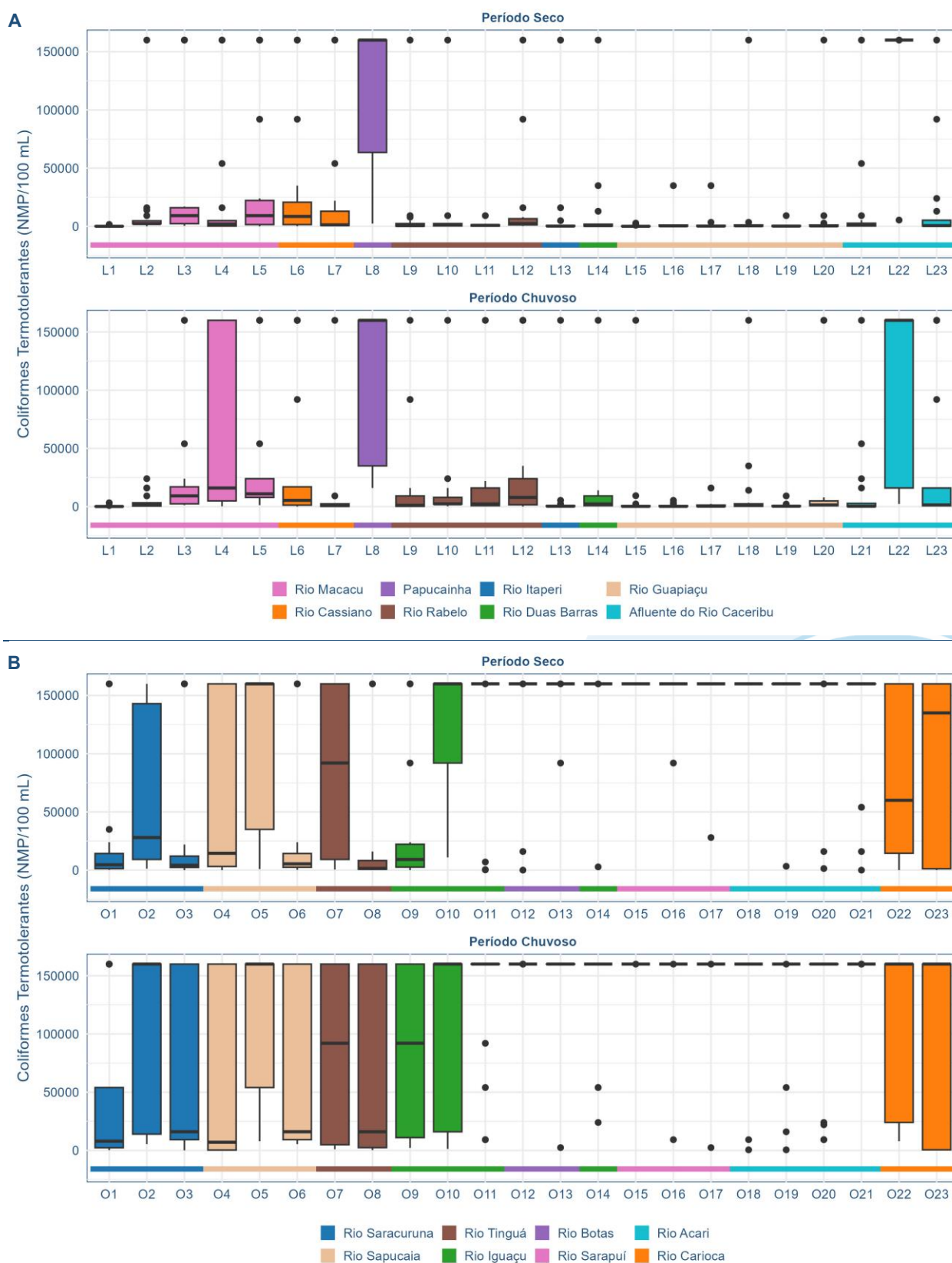


Figura V-33. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) entre pontos de amostragem nos períodos seco e chuvoso, referente às sub-bacias Leste (A) e Oeste (B).

V.2.2 Índice de Qualidade das Águas (IQA)

O Índice de Qualidade das Águas (IQA) foi desenvolvido em 1970, nos Estados Unidos, pela *National Sanitation Foundation* (NSF), com o objetivo de avaliar a qualidade da água bruta destinada ao abastecimento público, após tratamento. No Brasil, sua aplicação teve início em 1975, por meio da CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo), sendo posteriormente adotado por diversos outros estados. Atualmente, o IQA é o principal indicador utilizado no país para monitorar a qualidade das águas superficiais. O índice é calculado a partir de nove parâmetros, em sua maioria relacionados à poluição por esgotos domésticos, refletindo o grau de contaminação da água. Esses parâmetros, listados no Quadro V-1, recebem pesos específicos (w), atribuídos conforme sua relevância na determinação da qualidade global da água.

Quadro V-1. Parâmetros de qualidade da água que compõem o IQA e seus respectivos pesos.

Parâmetro de Qualidade da Água	Peso (w)
Oxigênio dissolvido (OD)	0,17
Coliformes termotolerantes	0,15
Potencial hidrogeniônico - pH	0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	0,10
Temperatura da água	0,10
Nitrogênio total	0,10
Fósforo total	0,10
Turbidez	0,08
Sólidos Totais Dissolvidos	0,08

Além de seu peso (w), cada parâmetro possui um valor de qualidade (q), obtido do respectivo gráfico de qualidade, em função de sua concentração ou medida, conforme Figura V.2.2-1.

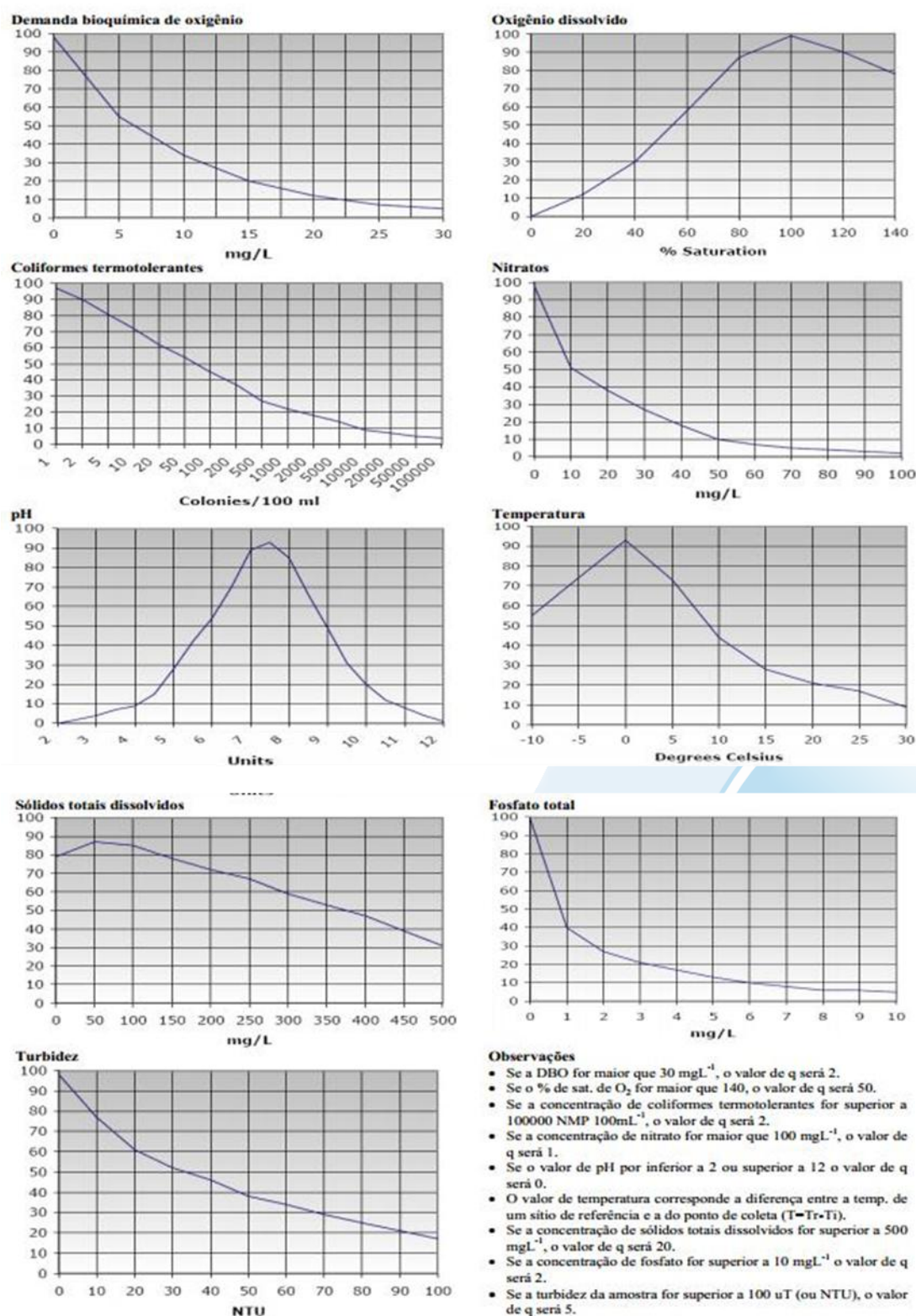


Figura V.2.2-1. Curvas de avaliação de qualidade dos parâmetros que compõem o IQA.
Fonte: ANA (2021).

Para cada variável, foi traçada uma curva de qualidade, a qual correlaciona sua concentração a uma nota (q_i), pontuada de zero a 100.

O cálculo do IQA é feito por meio do produtório ponderado dos nove parâmetros, segundo a seguinte fórmula:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

Sendo:

IQA = Índice de Qualidade de Água, um valor entre 0 e 100;

q_i = qualidade do i -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva curva média de variação de qualidade (resultado da análise);

w_i = peso correspondente ao i -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade.

O Quadro V-2 abaixo, apresenta os níveis de qualidade de água a partir dos resultados obtidos pelo cálculo do IQA classificados em faixas.

Quadro V-2. Faixas de classificação do IQA.

Categoria de Resultados	IQA	Significado
Excelente	$100 \geq IQA \geq 90$	Águas apropriadas para tratamento convencional visando o abastecimento público.
Boa	$90 > IQA \geq 70$	
Média	$70 > IQA \geq 50$	
Ruim	$50 > IQA \geq 25$	Águas impróprias para tratamento convencional visando o abastecimento público, sendo necessários tratamentos mais avançados.
Muito Ruim	$25 > IQA \geq 0$	

Cabe destacar que, embora a avaliação da qualidade da água pelo índice de IQA seja amplamente utilizada, esse indicador apresenta limitações, já que sua análise não contempla alguns parâmetros importantes para o abastecimento público, tais como substâncias tóxicas (ex: metais pesados, pesticidas, compostos orgânicos), protozoários patogênicos e substâncias que interferem nas propriedades organolépticas da água.

A Tabela V-32 resume os valores do Índice de Qualidade da Água (IQA) medidos em seis sub-bacias da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara ao longo de 35 campanhas de monitoramento. A sub-bacia Leste apresentou a melhor média de IQA

(59,50), enquanto a Oeste registrou a pior (36,74) e maior variabilidade (CV = 40%), indicando condições mais críticas e instáveis. Já o Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga apresentou a menor variabilidade (CV = 18%), refletindo maior estabilidade. A média geral (48,26) aponta uma condição predominantemente regular a ruim, evidenciando a necessidade de ações integradas para a melhoria da qualidade da água na região.

Tabela V-32 – Estatísticas descritivas dos valores do IQA obtidos nas sub-bacias que compõem a Região Hidrográfica da Baía de Guanabara nas 35 campanhas de monitoramento.

Estatísticas Descritivas						
Sub-Bacia	n	Mín.	Máx.	Média	DP	CV
Lagoa Rodrigo de Freitas	454	27,29	90,79	52,03	11,04	21%
Leste	805	17,32	88,57	59,50	12,13	20%
Oeste	805	14,17	76,61	36,74	14,80	40%
Sistema Lagunar de Jacarepaguá	420	14,75	90,71	42,39	16,22	38%
Sistema Lagunar de Maricá	350	14,88	80,20	47,41	15,55	33%
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	420	21,83	74,33	50,65	9,03	18%
TOTAL	3250	14,17	90,79	48,26	15,84	33%

A análise da Tabela V-33 revela um quadro preocupante da qualidade das águas na Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, com predominância de índices classificados como "Ruim" (42,3%) e "Médio" (39,4%), além de 10,2% das amostras enquadradas como "Muito Ruim". Apenas 8% dos registros apresentaram qualidade "Boa" e somente duas amostras (0,1%) foram considerados "Excelentes", o que evidencia a degradação generalizada dos corpos hídricos da região. As sub-bacias mais impactadas são aquelas localizadas em áreas densamente urbanizadas, como a Sub-bacia Oeste e o Sistema Lagunar de Jacarepaguá, onde a ausência de tratamento de esgoto e o crescimento urbano desordenado contribuem significativamente para a poluição hídrica. Em contrapartida, a Sub-bacia Leste apresenta os melhores indicadores, com maior percentual de pontos nas faixas "Média" e "Boa", reflexo da presença de mananciais menos impactados e de áreas com maior cobertura vegetal. O panorama geral reforça a importância da ampliação da infraestrutura de saneamento, da recuperação ambiental e do ordenamento territorial para reverter o atual cenário de comprometimento da qualidade da água da RH-V.

Tabela V-33 – Distribuição dos valores de IQA obtidos durante o monitoramento da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara entre as faixas de classificação.

Sub-Bacia	Corpo-Hídrico	Muito Ruim	Ruim	Médio	Bom	Excelente
Lagoa Rodrigo de Freitas	Rio Rainha		219	203	27	1
	TOTAL		219 (48,6%)	203 (45,1%)	27 (6%)	1 (0,2%)
Leste	Afluente do Rio Caceribu	5	63	36	1	
	Papucainha		31	4		
	Rio Cassiano		21	48	1	
	Rio Das Barras		1	29	5	
	Rio Guapiáçu		11	122	77	
	Rio Itaperi		1	21	13	
	Rio Macacu		25	105	45	
	Rio Rabelo		18	104	18	
	TOTAL	5 (0,6%)	171 (21,2%)	469 (58,3%)	160 (19,9%)	
Oeste	Rio Acari	77	63			
	Rio Botas	46	24			
	Rio Carioca	9	42	15	4	
	Rio Iguaçu	27	87	25	1	
	Rio Sapucaia	2	55	42	6	
	Rio Saracuruna	2	64	39		
	Rio Sarapuí	69	36			
	Rio Tinguá	1	26	41	2	
	TOTAL	233 (28,9%)	397 (49,3%)	162 (20,1%)	13 (1,6%)	
Sistema Lagunar de Jacarepaguá	Canal das Taxas	31	39			
	Canal de Sernambetiba		57	12	1	
	Canal do Portelo	1	29	5		
	Lagoinha	6	28	1		
	Rio do Anil	22	13			
	Rio do Engenho Novo	6	28	1		
	Rio do Sacarrão		2	23	9	1
	Rio Paineiras		5	26	4	
	Rio Tijuca		5	20	10	
	Rio Vargem Grande		21	12	2	
	TOTAL	66 (15,7%)	227 (54,0%)	100 (23,8%)	26 (6,2%)	1 (0,2%)
Sistema Lagunar de Maricá	Canal de São Bento		30	5		
	Lagoa de Maricá		1	27	7	
	Rio Caranguejo		9	21	5	
	Rio Doce		11	23	1	
	Rio Padeco		5	20	10	
	Rio Ubatiba	6	62	32	5	
	Rio Vigário	18	52			
	TOTAL	24 (6,9%)	170 (48,6%)	128 (36,6%)	28 (8,0%)	
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	Canal do Camboatá	1	28	6		
	Lagoa de Itaipu		55	117	3	
	Lagoa de Piratininga		109	98	3	
	TOTAL	1 (0,2%)	192 (45,7%)	221 (52,6%)	6 (1,4%)	
TOTAL BACIA		329 (10,2%)	1376 (42,3%)	1283 (39,4%)	260 (8,0%)	2 (0,06%)

A Tabela V-34 apresenta os resultados da análise estatística não paramétrica de Kruskal-Wallis, seguida de teste *post-hoc* de Dunn. De maneira geral, apenas as sub-bacias Leste e Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga apresentaram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$), tanto entre as estações do ano quanto entre os períodos hidrológicos, sugerindo que nesses locais a qualidade da água sofre influência direta das variações climáticas e pluviométricas. A análise *post-hoc* detalha que, na sub-bacia Leste, as maiores diferenças ocorreram do inverno em relação ao verão e ao outono ($p < 0,05$), com indícios de degradação da qualidade da água nos meses mais quentes e chuvosos, possivelmente devido ao aumento do escoamento superficial e uma eventual sobrecarga nos sistemas de esgotamento. Já no sistema Itaipu-Piratininga, a diferença também ocorreu entre inverno e verão ($p = 0,022$), indicando padrão semelhante. Nas demais sub-bacias — como Jacarepaguá, Oeste e Lagoa Rodrigo de Freitas — não foram identificadas variações significativas, o que pode refletir uma condição cronicamente comprometida da qualidade da água, pouco sensível às oscilações sazonais. Esses resultados evidenciam que, além das fontes de poluição constantes, fatores climáticos também desempenham papel importante em determinadas áreas, o que reforça a necessidade de estratégias de gestão adaptadas às dinâmicas hidrológicas locais. A distribuição dos valores de IQA entre estações e períodos é apresentada na Figura V-34 e na Figura V-35.

Tabela V-34 – Diferenças significativas dos valores do IQA entre estações do ano e períodos seco e chuvoso (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$) e análise *post-hoc* para sub-bacias com variação significativa (Dunn, $p < 0,05$).

Sub-Bacia	Kruskal-Wallis (valor de p)			
	Estações	Períodos		
Lagoa Rodrigo de Freitas	0,340	0,521		
Leste	0,001	<0,001		
Oeste	0,224	0,818		
Sistema Lagunar de Jacarepaguá	0,924	0,979		
Sistema Lagunar de Maricá	0,151	0,803		
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	0,037	0,019		
Sub-Bacia	Teste de Dunn (valor de p ajustado)			
	Estação	outono	primavera	verão
Leste	inverno	0,027	0,065	0,001
	outono		0,495	0,349
	primavera			0,088
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	inverno	0,274	0,228	0,022
	outono		0,919	0,261
	primavera			0,364

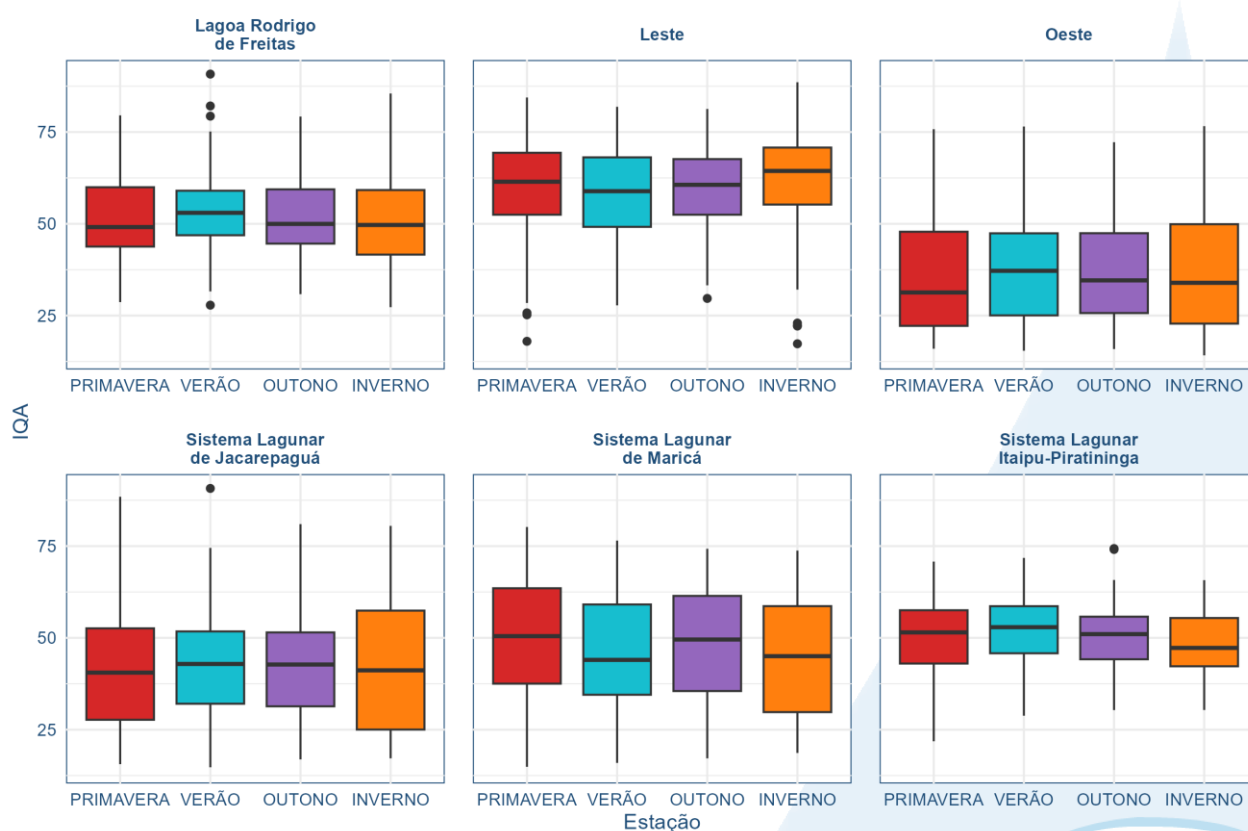


Figura V-34. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores do IQA entre estações do ano, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.

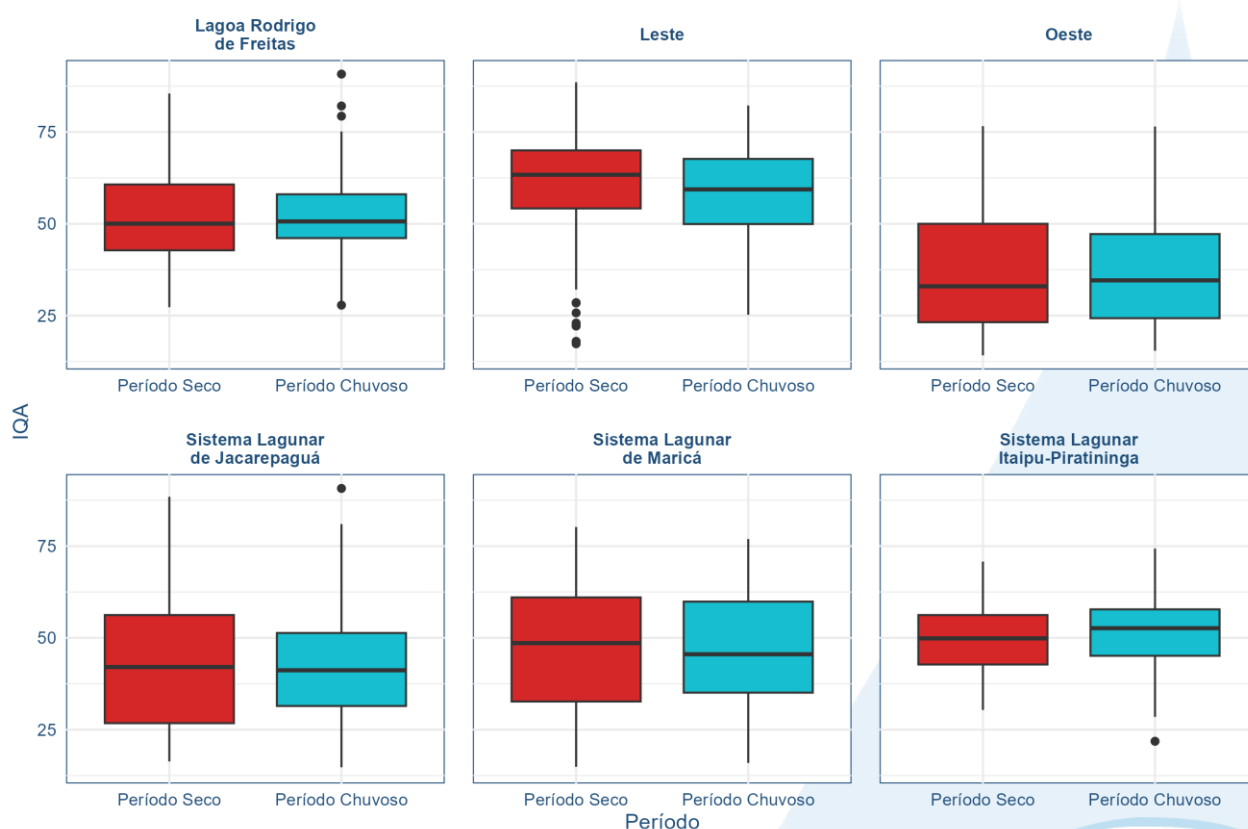


Figura V-35. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores do IQA entre períodos seco e chuvoso, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento.

A Figura V-36 mostra os valores de IQA das sub-bacias da Lagoa Rodrigo de Freitas e Leste. Na sub-bacia Lagoa Rodrigo de Freitas (A), os valores de IQA situam-se majoritariamente entre 50 e 75 nos dois períodos, com destaque para os pontos R6 (período seco) e R12 (seco e chuvoso), que apresentaram valores muito baixos, indicando severa degradação. Em geral, os demais pontos do Rio Rainha mantêm IQA variando de regular a bom, com tendência de redução no período chuvoso. Na sub-bacia Leste (B), a maioria dos pontos apresentou IQA entre 50 e 75 também, com os melhores desempenhos observados nos pontos L15 a L23, sobretudo no período seco. Em contraste, os pontos L08 e L22 se destacam negativamente, principalmente durante o período chuvoso, com valores abaixo de 40, indicando condições ruins de qualidade da água. As variações observadas refletem a influência de diferentes fontes de poluição, como esgoto doméstico, drenagem urbana e aporte difuso durante as chuvas.

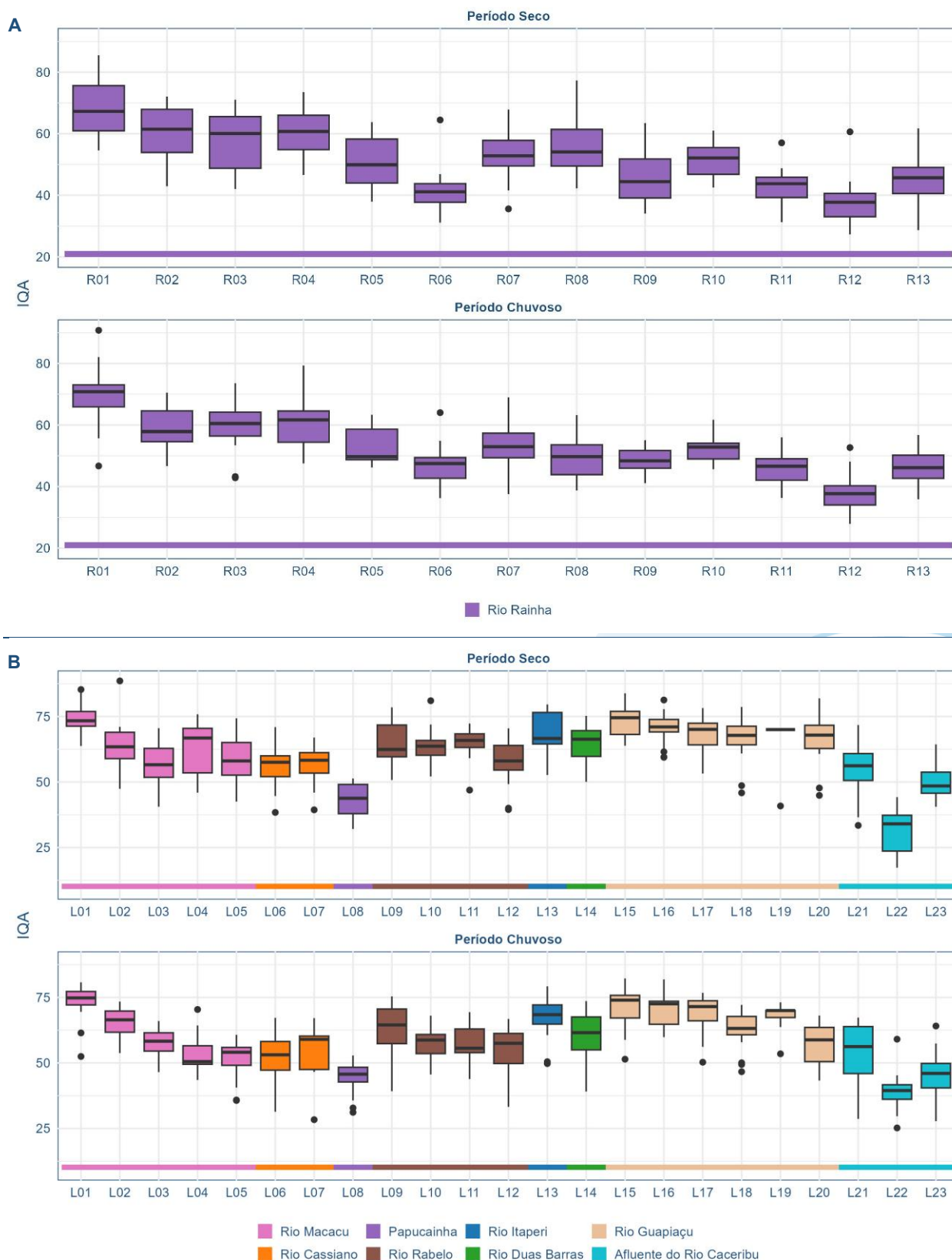


Figura V-36. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de IQA entre pontos de amostragem nos períodos seco e chuvoso, referente às sub-bacias da Lagoa Rodrigo de Freitas (A) e Leste (B).

Na sub-bacia Oeste, observa-se ampla variação do IQA entre os pontos e entre os períodos. Em geral, os pontos O01 a O09 apresentam valores mais elevados de IQA. A partir do ponto O10, há uma queda acentuada nos valores, com IQA frequentemente abaixo de 40 — especialmente nos pontos O12 a O21, indicando condições ruins de qualidade da água. O ponto O23, no entanto, se destaca positivamente, com valores significativamente mais altos. A persistência de IQAs baixos em parcela importante da bacia sugere forte influência de cargas orgânicas e esgotos não tratados. Na sub-bacia do Sistema Lagunar de Jacarepaguá (B), há menor dispersão, mas com tendências semelhantes. Os pontos J01, J02, J03 e J12 apresentam IQA predominantemente no nível médio, com os demais posicionados principalmente no nível ruim, sem diferenciação clara entre períodos (Figura V-37).

Na sub-bacia do Sistema Lagunar de Maricá, os pontos M01, M02, M03, M04 e M07 apresentam IQA predominantemente no nível médio, enquanto os demais pontos mantiveram-se predominante no nível ruim, tanto no período seco quanto no chuvoso. Já na sub-bacia do Sistema Lagunar de Itaipu-Piratininga, o IQA se apresenta de forma relativamente variável entre os dois períodos. No período seco, os pontos C1, C2, C3, C4 e C12 mantiveram suas medianas no nível Médio, com as demais posicionadas na classe Ruim. No caso do período chuvoso, observa-se que um número maior de pontos são classificados pela mediana como Médio (C1, C2, C3, C4, C7, C8 e C12). O aumento de pontos classificados como Médio no período chuvoso pode estar relacionado com uma maior capacidade de diluição dos efluentes pelos corpos hídricos nesse período, em decorrência das chuvas (Figura V-38).

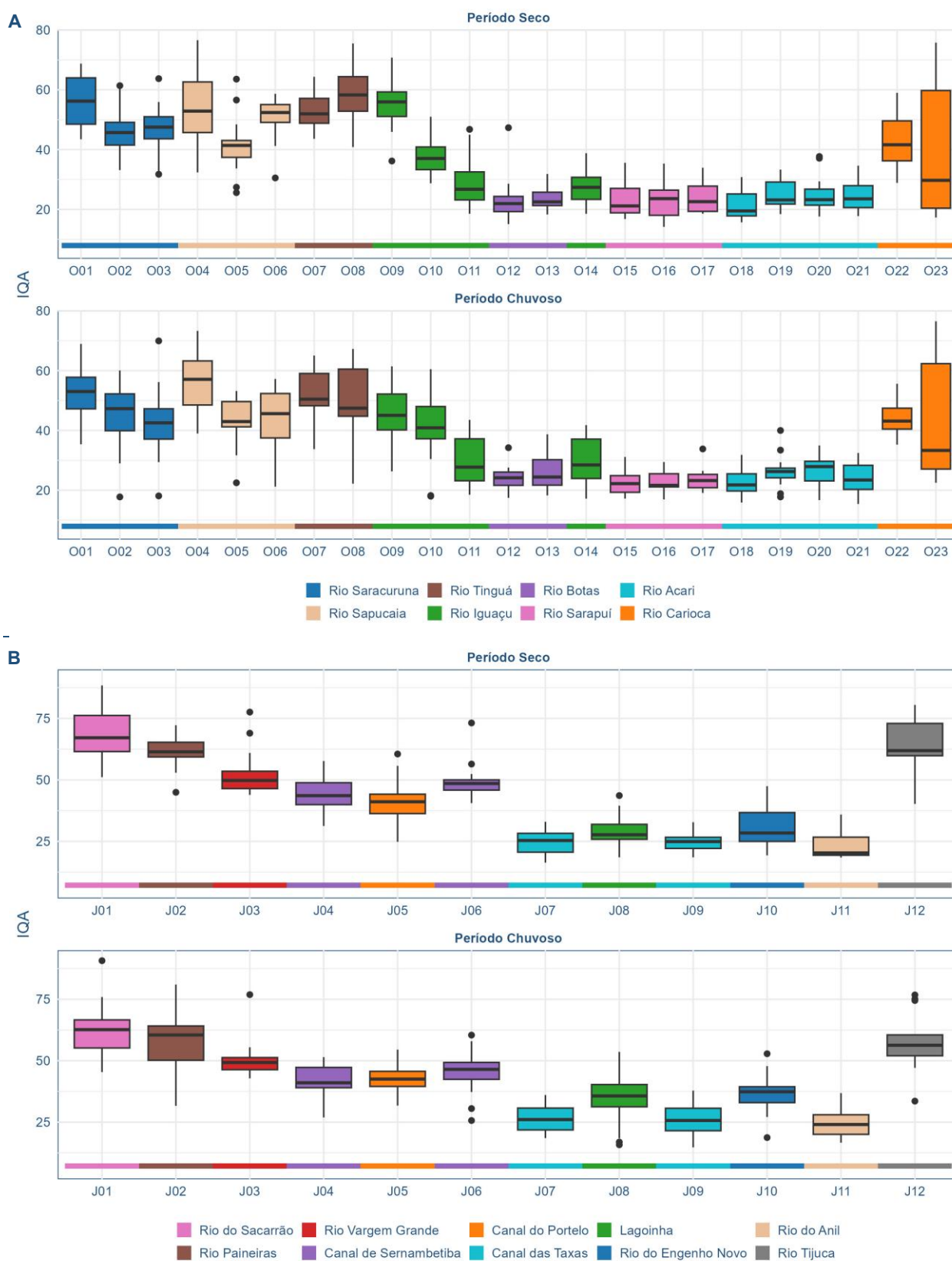


Figura V-37. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de IQA entre pontos de amostragem nos períodos seco e chuvoso, referente às sub-bacias Oeste (A) e Sistema Lagunar de Jacarepaguá (B).



Figura V-38. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores de IQA entre pontos de amostragem nos períodos seco e chuvoso, referente às sub-bacias do Sistema Lagunar de Maricá (A) e Sistema Lagunar de Itaipu-Piratininga (B).

V.3 Medições de Vazão e Correlação com demais Parâmetros

A medição de vazão foi realizada em 48 pontos distribuídos pela Bacia da Baía de Guanabara. Nas estações L1, L7, M1, M3, M6, O21, O22, R7, R10 e R12, utilizou-se o método do flutuador, devido às profundidades inferiores a 15 cm. Já nas estações J4, J6, J9, L1 a L5, L8, L10, L12 a L16, L18 a L20, L22, L23, M4, O1, O3, O4, O6 a O15, O17, O18, O20, R6 e R13, empregou-se o molinete, apropriado para profundidades superiores a 15 cm. Na Sub-bacia do Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga, não foi realizada a medição de vazão.

Destaca-se que, em virtude da alteração das coordenadas do ponto O23 para O23a (a partir de julho de 2022) e, posteriormente, para O23b (em julho de 2023), a medição de vazão tornou-se inviável nesta estação amostral. A partir da campanha de abril de 2023, a medição em J7 também se mostrou impraticável devido à instalação de grades e caçambas de lixo na ponte, obstruindo o acesso ao ponto.

Durante a 32ª campanha, não foi possível realizar a medição de vazão nas localizações originais das estações M6 e O21. A estação M6 foi realocada para um ponto a montante, em função da presença excessiva de gigogas, sendo renomeada para M6a. Já a estação O21 teve sua medição inviabilizada por sacos de areia que represavam o fluxo de água no Rio Acari, sendo também renomeada para O21a.

A Tabela V-35 apresenta as estatísticas descritivas dos valores de vazão (m^3/s) registrados nas sub-bacias da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara ao longo de 35 campanhas de monitoramento. Observa-se uma ampla variação dos valores de vazão entre as sub-bacias, com destaque para os altos coeficientes de variação (CV), que indicam grande heterogeneidade nos dados. A sub-bacia Leste apresentou a maior vazão média ($4,172 \text{ m}^3/\text{s}$), seguida pela Oeste ($3,085 \text{ m}^3/\text{s}$), sendo também aquelas com os maiores valores máximos absolutos ($62,06 \text{ m}^3/\text{s}$ e $103,4 \text{ m}^3/\text{s}$, respectivamente), o que sugere maior contribuição hídrica e potencial influência de áreas com maior captação de escoamento superficial. Por outro lado, sub-bacias como Lagoa Rodrigo de Freitas ($0,559 \text{ m}^3/\text{s}$), Jacarepaguá ($0,885 \text{ m}^3/\text{s}$) e Maricá ($1,754 \text{ m}^3/\text{s}$) apresentaram médias mais baixas, com destaque para Maricá, que apresentou um valor máximo elevado ($45,84 \text{ m}^3/\text{s}$), mas também um CV extremamente alto (274%), o que evidencia episódios pontuais de alta vazão em meio a um padrão predominantemente baixo. A Lagoa Rodrigo de Freitas, com o menor valor médio e um dos maiores coeficientes de variação (255%), reforça o caráter irregular de sua dinâmica hidrológica, possivelmente influenciada por

controle antrópico ou eventos de cheia específicos. O coeficiente de variação elevado em todas as sub-bacias analisadas — variando de 142% a 274% — evidencia um comportamento hidrológico altamente variável na região, influenciado por fatores como sazonalidade, regime de chuvas, cobertura do solo e intervenções antrópicas.

Tabela V-35 – Estatísticas descritivas dos valores de vazão (m^3/s) obtidos nas sub-bacias que compõem a Região Hidrográfica da Baía de Guanabara nas 35 campanhas de monitoramento.

Sub-Bacia	Estatísticas Descritivas					
	n	Mín.	Máx.	Média	DP	CV
Lagoa Rodrigo de Freitas	228	<0,01	13,23	0,559	1,425	255%
Leste	629	<0,01	62,06	4,172	7,596	182%
Oeste	639	<0,01	103,4	3,085	6,874	223%
Sistema Lagunar de Jacarepaguá	123	0,025	9,085	0,885	1,257	142%
Sistema Lagunar de Maricá	139	<0,01	45,84	1,754	4,799	274%
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	-	-	-	-	-	-
TOTAL	1758	<0,01	103,4	2,887	6,454	224%

A análise dos testes de Kruskal-Wallis e Dunn indicou variações significativas nos valores de vazão entre estações do ano e entre os períodos seco e chuvoso em algumas sub-bacias da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara (Tabela V-36). As sub-bacias Leste e Oeste apresentaram diferenças estatisticamente significativas, tanto entre as estações quanto entre os períodos sazonais ($p < 0,001$), evidenciando uma forte influência do regime de chuvas sobre a dinâmica hidrológica local. A Lagoa Rodrigo de Freitas apresentou variação significativa apenas entre as estações do ano ($p = 0,003$), com destaque para a diferença entre inverno e primavera ($p = 0,001$), sugerindo que a sazonalidade hidrológica nessa sub-bacia pode estar mais relacionada a fatores climáticos específicos. Em contraste, as sub-bacias do Sistema Lagunar de Jacarepaguá e de Maricá não apresentaram variações estatisticamente significativas, indicando uma maior estabilidade nos fluxos hídricos ao longo do ano. O teste de Dunn reforçou o inverno como estação de menor vazão nas sub-bacias Leste e Oeste, com diferenças marcantes em relação às demais estações, especialmente o verão ($p < 0,05$). Esses resultados demonstram que a resposta hidrológica às variações sazonais é heterogênea na região, refletindo a diversidade de características geomorfológicas, padrões de precipitação e até

de usos do solo e entre as sub-bacias. A distribuição dos resultados de cada sub-bacia entre estações e períodos é apresentada na Figura V-39 e na Figura V-40.

Tabela V-36 – Diferenças significativas dos valores de vazão entre estações do ano e períodos seco e chuvoso (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$) e análise post-hoc para sub-bacias com variação significativa (Dunn, $p < 0,05$).

Sub-Bacia	Kruskal-Wallis (valor de p)			
	Estações	Períodos		
Lagoa Rodrigo de Freitas	0,003	0,844		
Leste	<0,001	<0,001		
Oeste	<0,001	<0,001		
Sistema Lagunar de Jacarepaguá	0,296	0,113		
Sistema Lagunar de Maricá	0,694	0,392		
Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga	-	-		
Sub-Bacia	Teste de Dunn (valor de p ajustado)			
	Estação	outono	primavera	verão
Lagoa Rodrigo de Freitas	inverno	0,160	0,001	0,230
	outono		0,221	0,901
	primavera			0,150
Leste	inverno	<0,001	0,005	<0,001
	outono		0,004	0,062
	primavera			<0,001
Oeste	inverno	0,030	0,017	<0,001
	outono		0,781	0,047
	primavera			0,021

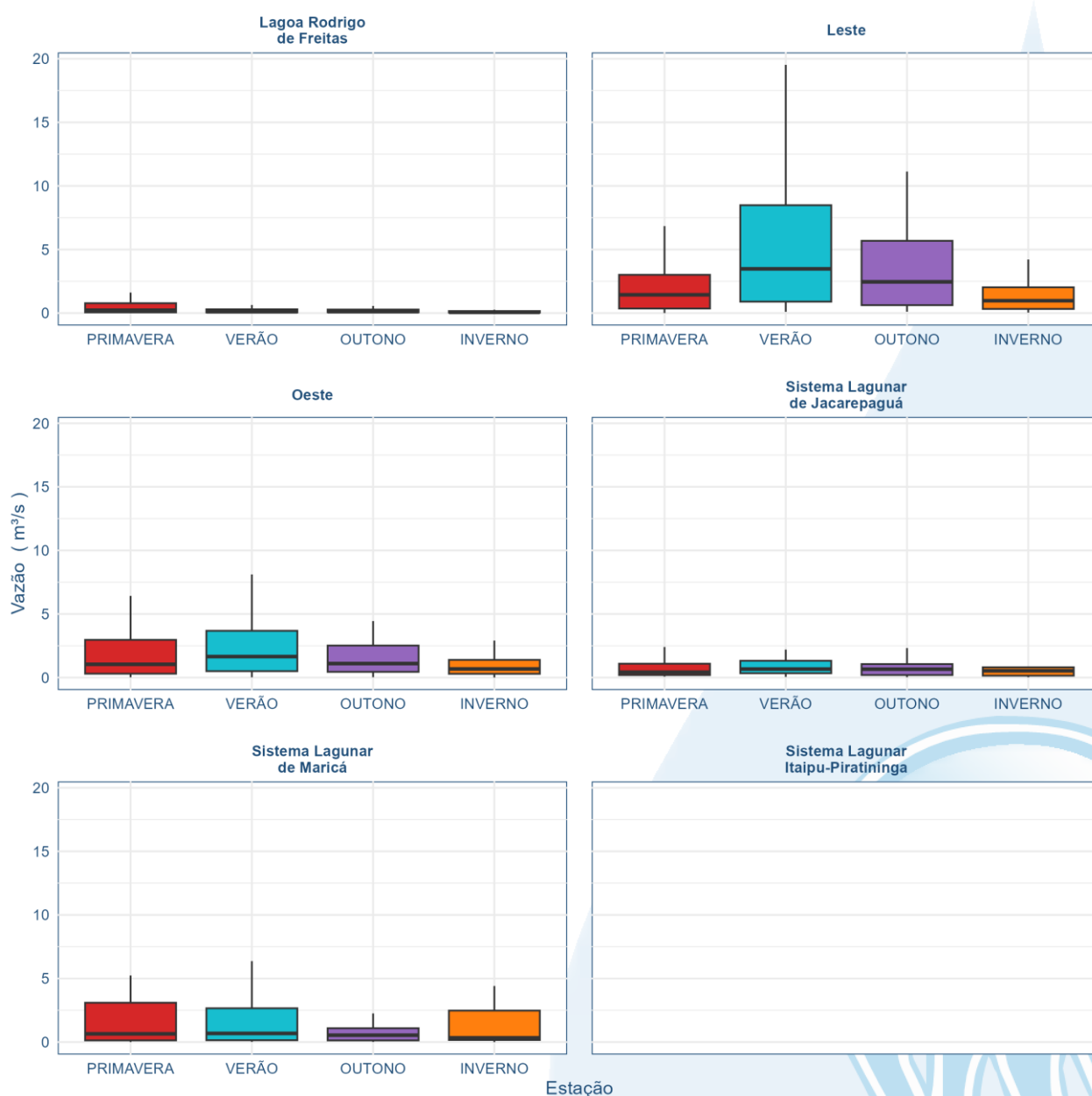


Figura V-39. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores do vazão entre estações do ano, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento. De forma a melhorar a visualização dos diagramas, os outliers foram removidos dos gráficos.

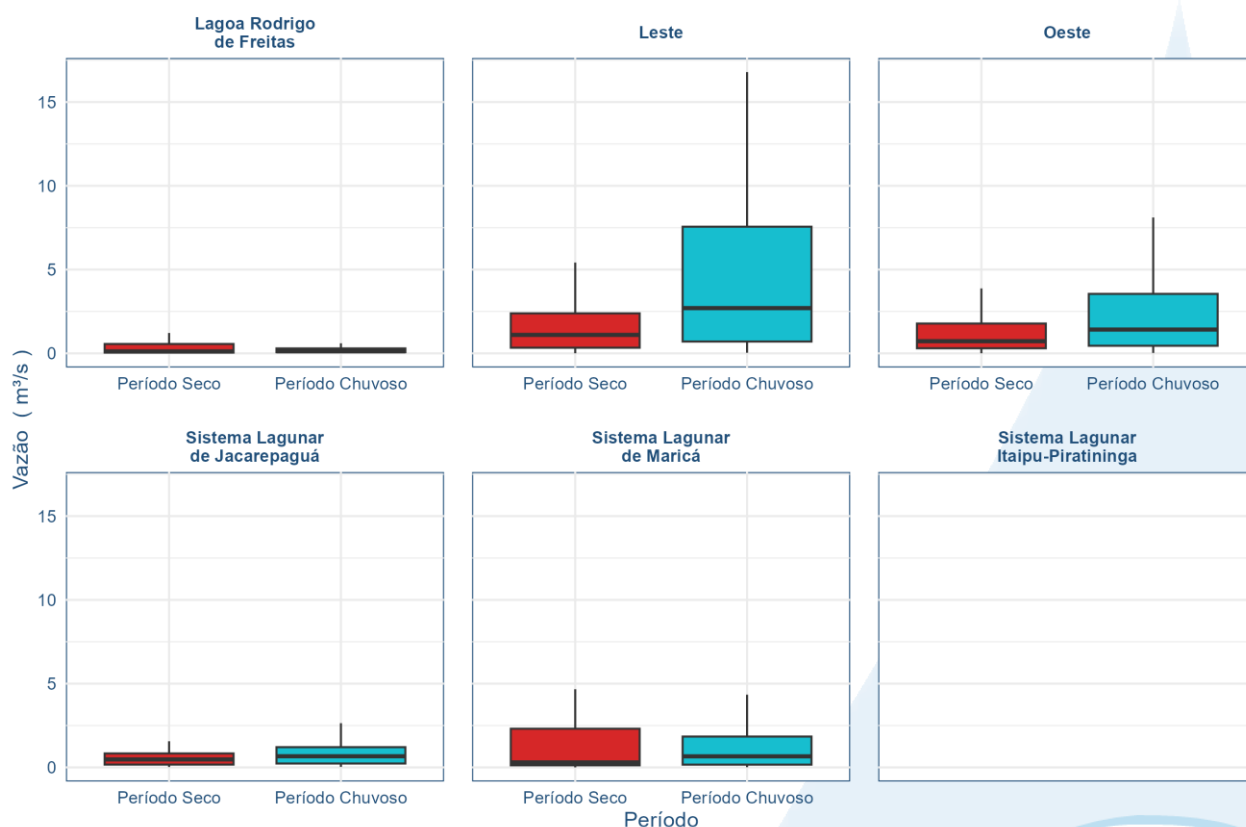


Figura V-40. Diagramas de caixa (box-plot) da distribuição dos valores do vazão períodos seco e chuvoso, em cada sub-bacia da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, ao longo de 35 campanhas de monitoramento. De forma a melhorar a visualização dos diagramas, os outliers foram removidos dos gráficos.

A análise dos coeficientes de correlação de Spearman entre a vazão e os parâmetros de qualidade da água nas sub-bacias da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara revela padrões distintos conforme o regime hídrico (chuvoso ou seco) e as características das bacias (Tabela V-37). De modo geral, observou-se uma correlação positiva entre a vazão e a turbidez em algumas sub-bacias, especialmente durante o período chuvoso, o que sugere maior carreamento de sedimentos e matéria particulada devido ao escoamento superficial. Parâmetros relacionados à salinidade, como condutividade, STD e salinidade propriamente dita, apresentaram correlações moderadas e positivas com a vazão nas sub-bacias lagunares de Jacarepaguá e Maricá, indicando intrusão salina e a influência do ambiente marinho sobre esses sistemas. Por outro lado, o pH demonstrou correlação negativa moderada em algumas áreas, sugerindo que o aumento da vazão pode estar relacionado à acidificação das águas, possivelmente por influência de águas pluviais ou escoamento com carga orgânica. O oxigênio dissolvido, os nutrientes e os coliformes apresentaram correlações mais variáveis e, em geral, fracas,

refletindo a complexidade dos processos que envolvem a diluição, transporte de poluentes e tempo de residência da água.

Tabela V-37 – Coeficientes de correlação de Spearman entre os valores de vazão e os diversos parâmetros analisados nas 35 campanhas de monitoramento ambiental das sub-bacias que compõem a Região Hidrográfica da Baía de Guanabara.

Sub-Bacia	Lagoa Rodrigo de Freitas		Leste		Oeste		Sistema Lag. de Jacarepaguá		Sistema Lag. de Maricá	
	Chuv.	Seco	Chuv.	Seco	Chuv.	Seco	Chuv.	Seco	Chuv.	Seco
Turbidez	0,425*	-0,050	0,077	-0,076	0,304*	0,256	-0,139	-0,157	0,479*	0,485*
Temp. água	-0,031	0,086	-0,230	-0,001	-0,196	0,058	-0,114	0,042	-0,076	-0,079
STD	-0,155	0,113	-0,227	-0,164	-0,221	0,059	0,421*	0,631**	0,368*	0,596**
Condutividade	-0,158	-0,086	-0,250	-0,234	-0,272	0,113	0,511**	0,619**	0,347*	0,644**
Salinidade	-0,072	0,056	-0,305*	-0,240	-0,276	0,111	0,521**	0,613**	0,372*	0,648**
pH	-0,156	0,038	-0,122	-0,102	-0,567**	-0,287	0,193	0,075	-0,526**	-0,311*
OD	0,069	0,108	0,024	0,004	-0,114	-0,161	0,029	-0,071	-0,045	-0,410*
NT	-0,071	-0,292	-0,013	-0,120	-0,270	0,009	-0,326*	-0,165	0,429*	0,220
Nitrato	-0,062	-0,166	0,311*	0,165	0,116	-0,125	0,134	-0,103	0,439*	0,243
Fósforo Total	-0,002	-0,064	-0,122	-0,081	-0,171	0,052	-0,367*	-0,308*	0,169	-0,329*
DBO	0,115	-0,014	-0,083	-0,196	-0,050	0,140	-0,265	-0,129	0,105	0,035
Colif. Termotolerantes	-0,092	-0,200	-0,014	-0,138	-0,072	0,050	-0,355*	-0,379*	-0,063	0,116
IQA	0,000	0,142	0,018	0,174	0,006	-0,112	0,193	0,167	-0,235	-0,374*

Legenda: *correlação fraca.

**correlação moderada.

VI. ANÁLISE INTEGRADA

VI.1 Lagoa Rodrigo de Freitas

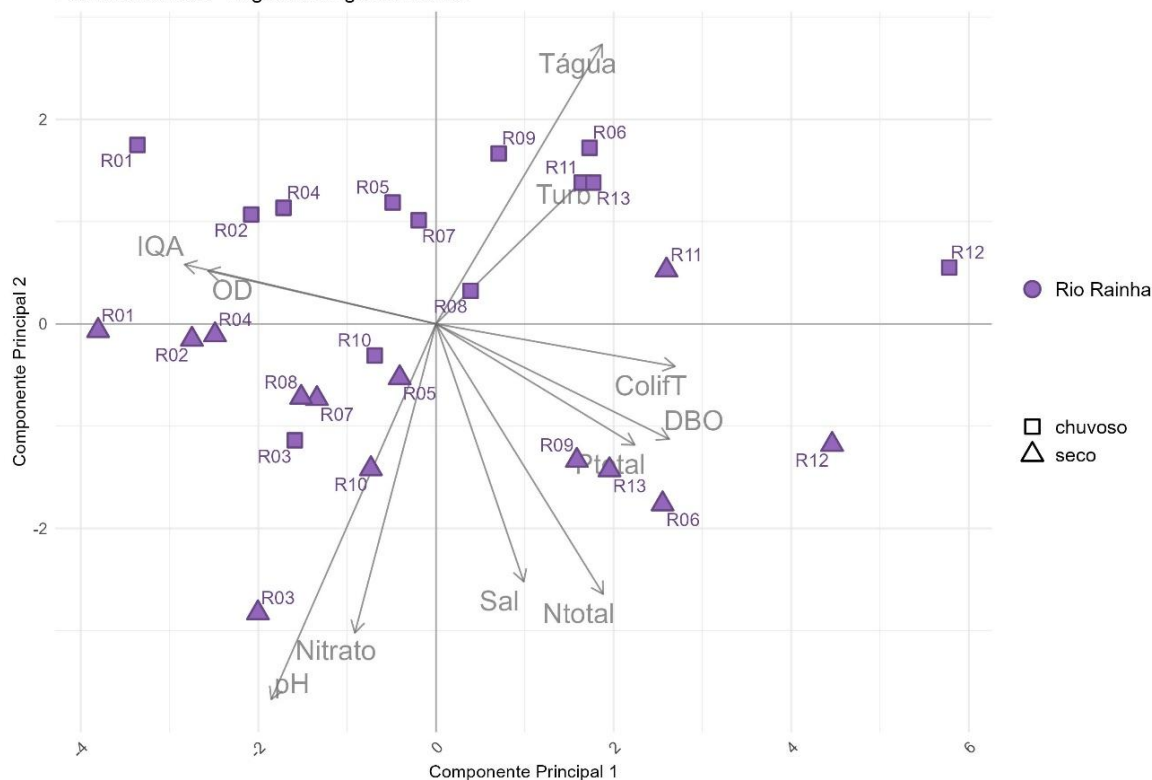
A Tabela VI-1 apresenta as coordenadas das variáveis ambientais nas três primeiras componentes principais (PC1, PC2 e PC3), que explicam, somados, 78,8% da variância total dos dados (respectivamente, 51,4%, 14,3% e 13,1%). A PC1, que concentra mais da metade da variância, está fortemente correlacionada positivamente com variáveis indicadoras de poluição orgânica e nutrientes (como fósforo total e DBO), além dos coliformes termotolerantes, e negativamente com o Índice de Qualidade da Água (IQA) e o oxigênio dissolvido (OD). Isso sugere que a PC1 representa um gradiente de qualidade da água, onde valores mais altos indicam maior degradação. A PC2 mostra maior influência de temperatura e pH e também de nitrogênio total e nitrato, possivelmente refletindo variações físico-químicas associadas à sazonalidade ou fontes específicas de contaminação. A PC3, embora com menor poder explicativo, destaca a salinidade (0,571) como o principal fator, sugerindo a influência de intrusão salina ou conexão com corpos hídricos costeiros.

Tabela VI-1 – Coordenadas obtidas pela Análise de Componentes Principais nas três primeiras dimensões a partir dos resultados obtidos na sub-bacia da Lagoa Rodrigo de Freitas.

Variável	Código PCA	PC1 (51,4%)	PC2 (14,3%)	PC3 (13,1%)
Coliformes Termotolerantes	ColifT	0,385	-0,059	0,128
Dem. Bioquímica de Oxigênio	DBO	0,375	0,161	0,142
Fósforo Total	Ptotal	0,320	0,169	-0,012
Índice de Qual. Das Águas	IQA	-0,404	0,083	-0,040
Nitrogênio total	Ntotal	0,269	-0,378	-0,442
Nitrato	Nitrato	-0,130	-0,432	-0,534
Oxigênio Dissolvido	OD	-0,367	0,074	0,014
Salinidade	Sal	0,141	-0,360	0,571
Temperatura da água	Tágua	0,267	0,391	-0,120
Turbidez	Turb	0,245	0,207	-0,369
Potencial Hidrogeniônico	pH	0,249	-0,525	0,071

O ponto amostral R01 apresentou uma combinação de menores valores de coliformes termotolerantes, DBO e de fósforo total, além de maiores concentrações de oxigênio dissolvido, conforme indicado pela interpretação da PC1 (Figura VI-1). O ponto R12 apresentou padrão inverso, indicando uma degradação da qualidade ambiental ao longo do curso do Rio Rainha, já que o ponto R01 está localizado em uma área mais alta, antes do adensamento populacional, enquanto o R12 está localizado no final do curso d'água, próximo ao deságue na Lagoa Rodrigo de Freitas. A PC2 diferencia os pontos pela sazonalidade, demonstrando a influência da salinidade e variações químicas relacionadas com os períodos seco e chuvoso. O PC3 está relacionado com a influência salina, diferenciando os pontos R06, R09 e R13 dos demais. Esses pontos também apresentaram as menores concentrações de nitrato e nitrogênio total.

PCA combinada - Lagoa Rodrigo de Freitas



PCA combinada - Lagoa Rodrigo de Freitas

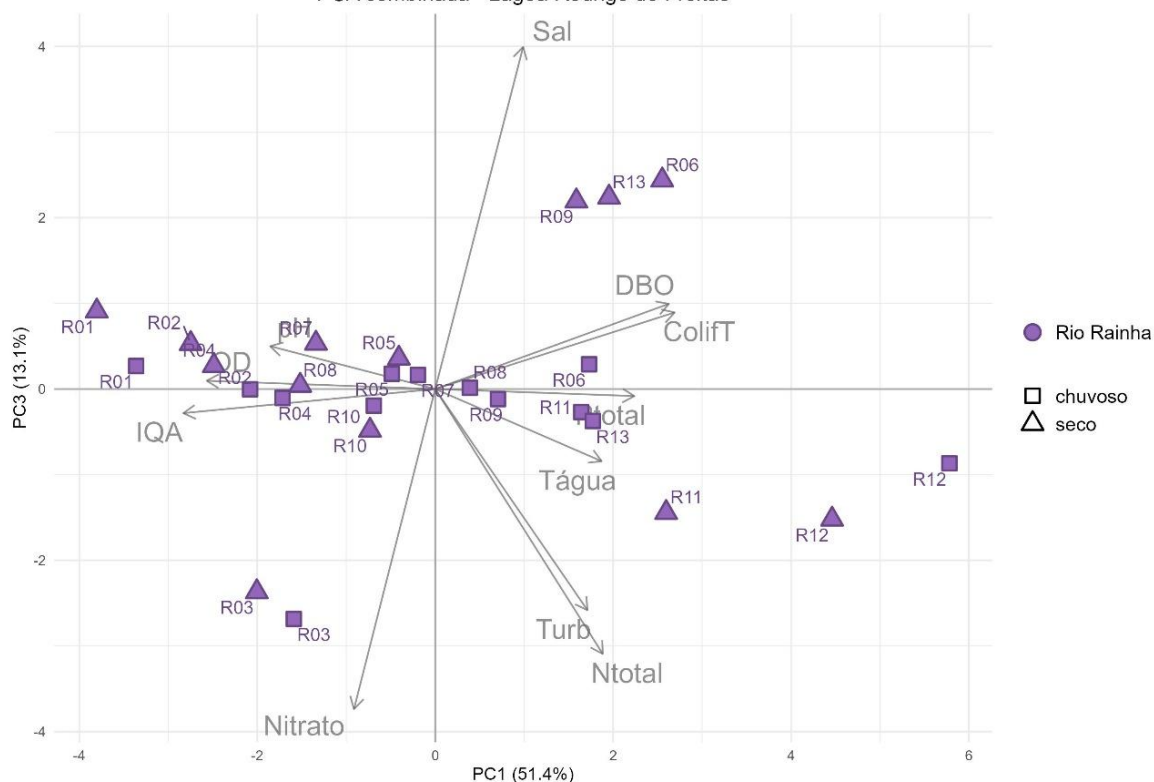


Figura VI-1. Distribuição espacial na Análise de Componentes Principais nas três primeiras dimensões a partir dos resultados obtidos na sub-bacia da Lagoa Rodrigo de Freitas. Superior: Componente Principal 1 versus Componente Principal 2; Inferior: Componente Principal 1 versus Componente Principal 3.

VI.2 Leste

A Tabela VI-2 apresenta as cargas fatoriais das variáveis ambientais nas três primeiras componentes principais (PC1, PC2 e PC3), que juntas explicam 85% da variância total dos dados (56% pela PC1, 20% pela PC2 e 9% pela PC3). A PC1 reflete fortemente uma associação com variáveis relacionadas à poluição orgânica e nutrientes — como DBO (0,378), nitrogênio total (0,336), coliformes termotolerantes (0,320) e fósforo total (0,306) —, sendo portanto interpretada como um gradiente de carga poluidora. O IQA (-0,381) e OD (-0,359) têm correlação negativa com essa componente, indicando que maiores cargas poluidoras estão associadas a pior qualidade da água e menor concentração de oxigênio dissolvido. A PC2 mostra pesos relevantes para pH (0,546), salinidade (0,386) e nitrogênio total (0,311), refletindo um gradiente de variabilidade físico-química da água, possivelmente ligado à influência marinha ou salobra. Já a PC3 é fortemente marcada negativamente por nitrato (-0,918), sugerindo um eixo específico para caracterizar contaminações mais pontuais por formas inorgânicas de nitrogênio.

Tabela VI-2 – Coordenadas obtidas pela Análise de Componentes Principais nas três primeiras dimensões a partir dos resultados obtidos na sub-bacia Leste.

Variável	Código PCA	PC1 (56%)	PC2 (20%)	PC3 (9%)
Coliformes Termotolerantes	ColifT	0,320	0,169	0,297
Dem. Bioquímica de Oxigênio	DBO	0,378	0,054	0,044
Fósforo Total	Ptotal	0,306	0,295	0,033
Índice de Qual. Das Águas	IQA	-0,381	0,034	-0,088
Nitrogênio total	Ntotal	0,336	0,311	-0,085
Nitrato	Nitrato	0,149	-0,106	-0,918
Oxigênio Dissolvido	OD	-0,359	0,177	0,104
Salinidade	Sal	0,284	0,386	-0,070
Temperatura da água	Tágua	0,293	-0,370	0,161
Turbidez	Turb	0,256	-0,397	0,028
Potencial Hidrogeniônico	pH	-0,141	0,546	-0,093

A Figura VI-2 apresenta as projeções das amostras (por ponto e período) nas componentes principais, permitindo avaliar a distribuição espacial e sazonal da qualidade da água. Em PC1, observa-se que as amostras do Afluente do Rio Caceribu e Papucainha apresentam escores positivos acentuados, indicando baixa qualidade da água e elevada carga poluidora. Por outro lado, os corpos hídricos como Rio Guapiaçu, Rio Macacu e Rio Itaperi apresentam escores mais próximos de zero, destacando-se por melhores condições ambientais ou menor influência antrópica. Em PC2, que capta variações físico-químicas, há maior dispersão sazonal — por exemplo, o Rio Cassiano no período chuvoso mostra escores bastante negativos, sugerindo alteração brusca nas características físico-químicas da água. Na PC3, observa-se grande variabilidade individual, com destaque para o Afluente do Rio Caceribu (ponto 23) que, em ambos os períodos, apresenta valores extremos negativos, refletindo forte influência do nitrato — o que pode indicar uma contaminação pontual ou fonte específica de nitrogênio inorgânico. Esses padrões revelam a complexidade espacial e sazonal da qualidade da água na sub-bacia da Leste.



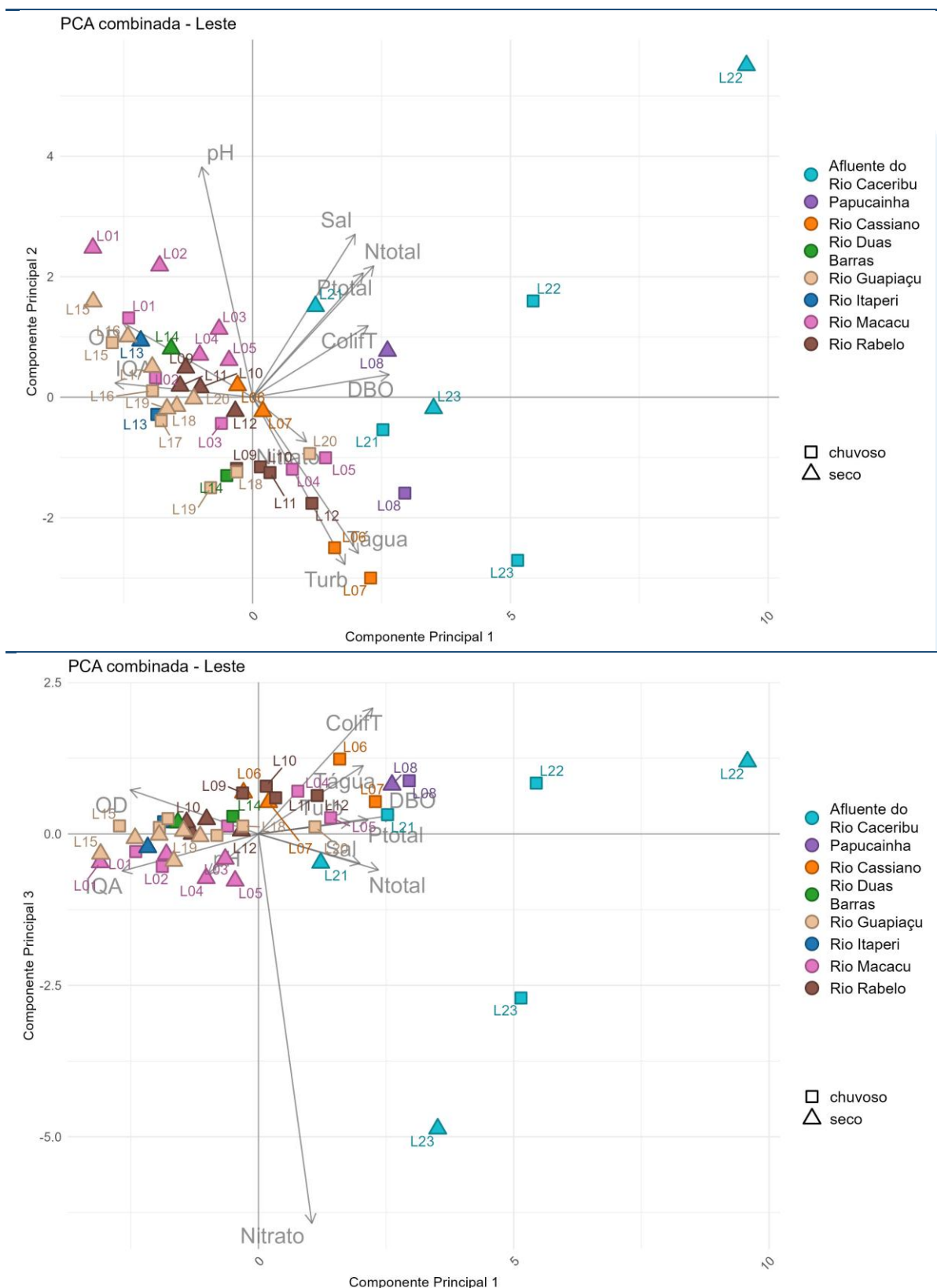


Figura VI-2. Distribuição espacial na Análise de Componentes Principais nas três primeiras dimensões a partir dos resultados obtidos na sub-bacia Leste. Superior: Componente Principal 1 versus Componente Principal 2; Inferior: Componente Principal 1 versus Componente Principal 3.

VI.3 Oeste

A Tabela VI-3 apresenta as coordenadas das variáveis ambientais nas três primeiras componentes principais (PC1, PC2 e PC3), que explicam, em conjunto, 81,8% da variância total dos dados na sub-bacia Oeste (respectivamente, 61%, 12% e 8%). A PC1 é dominada por altas cargas positivas de DBO (0,365), fósforo total (0,366), nitrogênio total (0,330) e coliformes termotolerantes (0,341), enquanto o Índice de Qualidade da Água (IQA) (-0,374) e o oxigênio dissolvido (-0,363) possuem cargas negativas. Isso sugere que a PC1 representa um gradiente de poluição orgânica e degradação, sendo que valores mais negativos indicam melhor qualidade da água. A PC2 está fortemente associada ao nitrato (0,509), pH (0,496) e salinidade (0,411), o que pode indicar influências de fontes pontuais ou variações físico-químicas, enquanto a PC3 está relacionada à salinidade (0,803) e turbidez (0,462), representando variações específicas dessas condições nos corpos hídricos.

Tabela VI-3 – Coordenadas obtidas pela Análise de Componentes Principais nas três primeiras dimensões a partir dos resultados obtidos na sub-bacia Oeste.

Variável	Código PCA	PC1 (61%)	PC2 (12%)	PC3 (8%)
Coliformes Termotolerantes	ColifT	0,341	-0,050	-0,118
Dem. Bioquímica de Oxigênio	DBO	0,365	-0,003	-0,176
Fósforo Total	Ptotal	0,366	0,143	-0,117
Índice de Qual. Das Águas	IQA	-0,374	0,015	0,090
Nitrogênio total	Ntotal	0,330	0,220	-0,188
Nitrato	Nitrato	-0,151	0,509	0,004
Oxigênio Dissolvido	OD	-0,363	0,091	-0,018
Salinidade	Sal	0,120	0,411	0,803
Temperatura da água	Tágua	0,286	-0,230	0,184
Turbidez	Turb	0,229	-0,440	0,462
Potencial Hidrogeniônico	pH	0,254	0,496	-0,070

A distribuição dos pontos de amostragem nas componentes principais revela padrões espaciais e sazonais importantes (Figura VI-3). Na PC1, há uma clara separação entre os pontos dos rios mais impactados (valores positivos), como os rios Sarapuí, Acari e Botas, associados a maior carga poluidora, e os rios como Saracuruna, Sapucaia, Tinguá e Iguaçu (valores negativos), indicando menor impacto. Notavelmente, os valores de PC1 são mais negativos no período chuvoso para quase todos os pontos, sugerindo alguma diluição da carga poluidora com as chuvas. A PC2 destaca os pontos do Rio Carioca, especialmente no período seco, com valores altos (até 3,6), indicando forte influência de características físico-químicas específicas ou aporte pontual de contaminantes. A PC3, com menor explicação da variância, revela comportamentos mais localizados, como os altos valores positivos em pontos como O08 e O10 (Rio Tinguá e Iguaçu, chuvoso), sugerindo maior turbidez e salinidade pontuais nessas condições. Em conjunto, as componentes apontam para uma sub-bacia com gradientes claros de poluição, efeitos sazonais perceptíveis e particularidades locais que devem ser consideradas em ações de gestão ambiental.



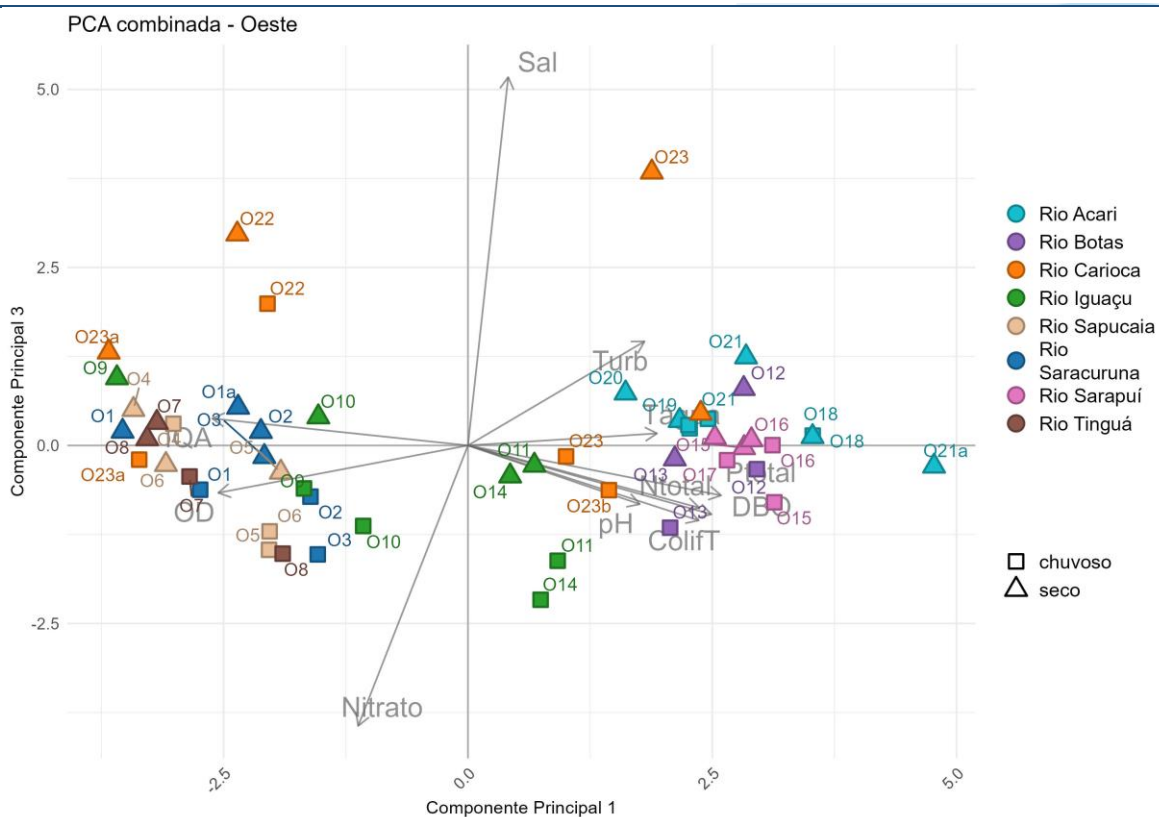
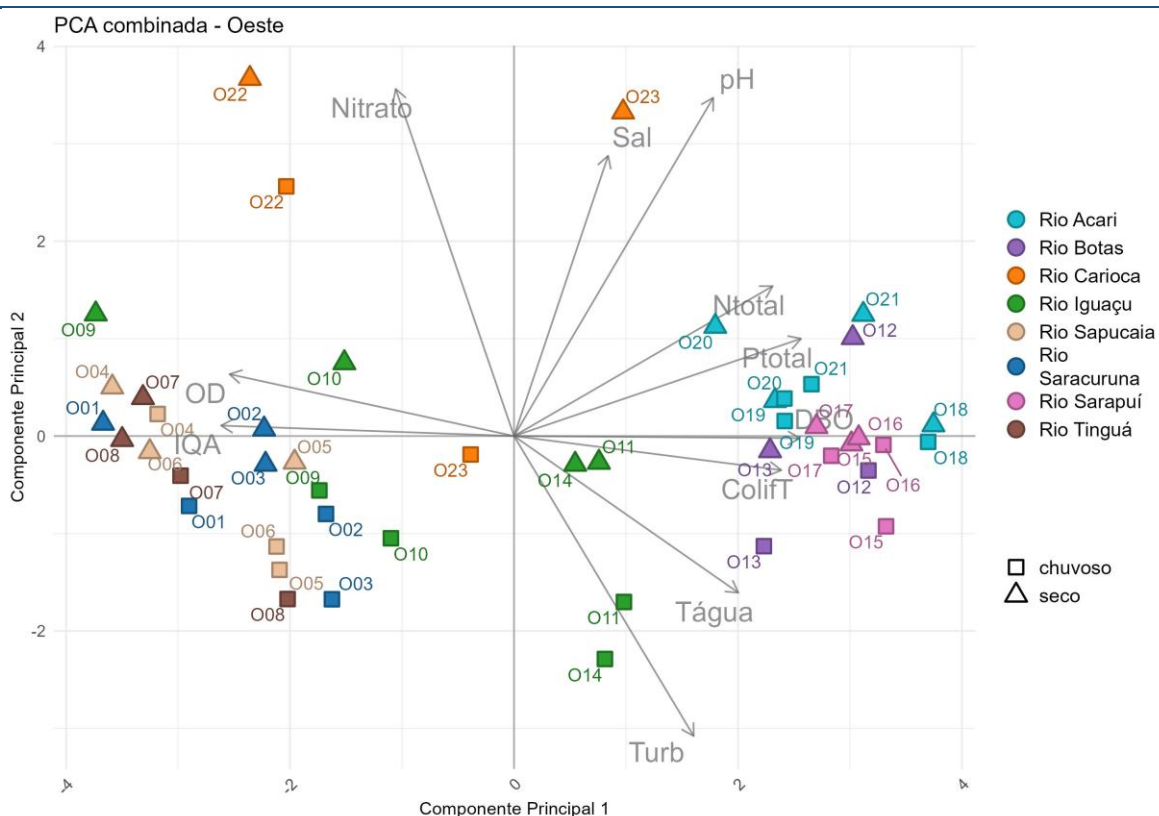


Figura VI-3. Distribuição espacial na Análise de Componentes Principais nas três primeiras dimensões a partir dos resultados obtidos na sub-bacia Oeste. Superior: Componente Principal 1 versus Componente Principal 2; Inferior: Componente Principal 1 versus Componente Principal 3.

VI.4 Sistema Lagunar de Jacarepaguá

A Tabela VI-4 apresenta os autovetores ou coordenadas principais das variáveis ambientais, indicando sua contribuição para as três primeiras componentes principais (PCs) da análise, que explicam, ao todo 82,9% da variância total dos dados (respectivamente, 60%, 15% e 8%). O primeiro componente (PC1), responsável pela maior parcela da variabilidade (60%), está fortemente associado a variáveis relacionadas à poluição orgânica e nutrientes, como fósforo total (0,369), nitrogênio total (0,366), DBO (0,323), coliformes termotolerantes (0,316) e turbidez (0,308). O IQA (-0,371) e o oxigênio dissolvido (-0,366) têm cargas negativas, refletindo a relação inversa entre qualidade da água e poluentes. Assim, o PC1 pode ser interpretado como um gradiente de poluição orgânica e eutrofização. O segundo componente (PC2), com 15% da variância, diferencia principalmente parâmetros físico-químicos como pH (0,616) e salinidade (0,524), enquanto o terceiro componente (PC3), com 8%, é dominado negativamente pela salinidade (-0,762), sugerindo um eixo ligado à influência marinha ou à salinização.

Tabela VI-4 – Coordenadas obtidas pela Análise de Componentes Principais nas três primeiras dimensões a partir dos resultados obtidos na sub-bacia do Sistema Lagunar de Jacarepaguá.

Variável	Código PCA	PC1 (60%)	PC2 (15%)	PC3 (8%)
Coliformes Termotolerantes	ColifT	0,316	-0,396	-0,067
Dem. Bioquímica de Oxigênio	DBO	0,323	-0,150	0,117
Fósforo Total	Ptotal	0,369	0,025	0,165
Índice de Qual. Das Águas	IQA	-0,371	0,078	0,113
Nitrogênio total	Ntotal	0,366	0,049	0,113
Nitrato	Nitrato	-0,259	-0,345	-0,161
Oxigênio Dissolvido	OD	-0,366	-0,012	0,203
Salinidade	Sal	0,049	0,524	-0,762
Temperatura da água	Tágua	0,297	0,035	-0,168
Turbidez	Turb	0,308	0,193	0,171
Potencial Hidrogeniônico	pH	-0,020	0,616	0,474

A Figura VI-4 mostra os escores dos pontos de amostragem em cada um dos três componentes principais, nos períodos chuvoso e seco. Os valores negativos de PC1, concentrados principalmente nos pontos J01 a J06, indicam áreas menos impactadas por poluição orgânica e nutrientes, com destaque para os períodos secos de J01, J02 e J12, sugerindo melhora na qualidade da água na estiagem. Já os pontos com valores positivos de PC1, como J07 a J11, especialmente no Canal das Taxas (J07, J09) e Rio do Anil (J11), refletem menor qualidade da água nesse eixo. Em relação ao PC2, Lagoinha (J08) destaca-se com altos valores em ambos os períodos, sugerindo uma influência diferenciada de salinidade e pH. Por fim, os valores negativos de PC3 no ponto J06 indicam importante influência da salinidade no Canal de Sernambetiba durante o período chuvoso, reforçando a hipótese de intrusão salina nesses trechos.



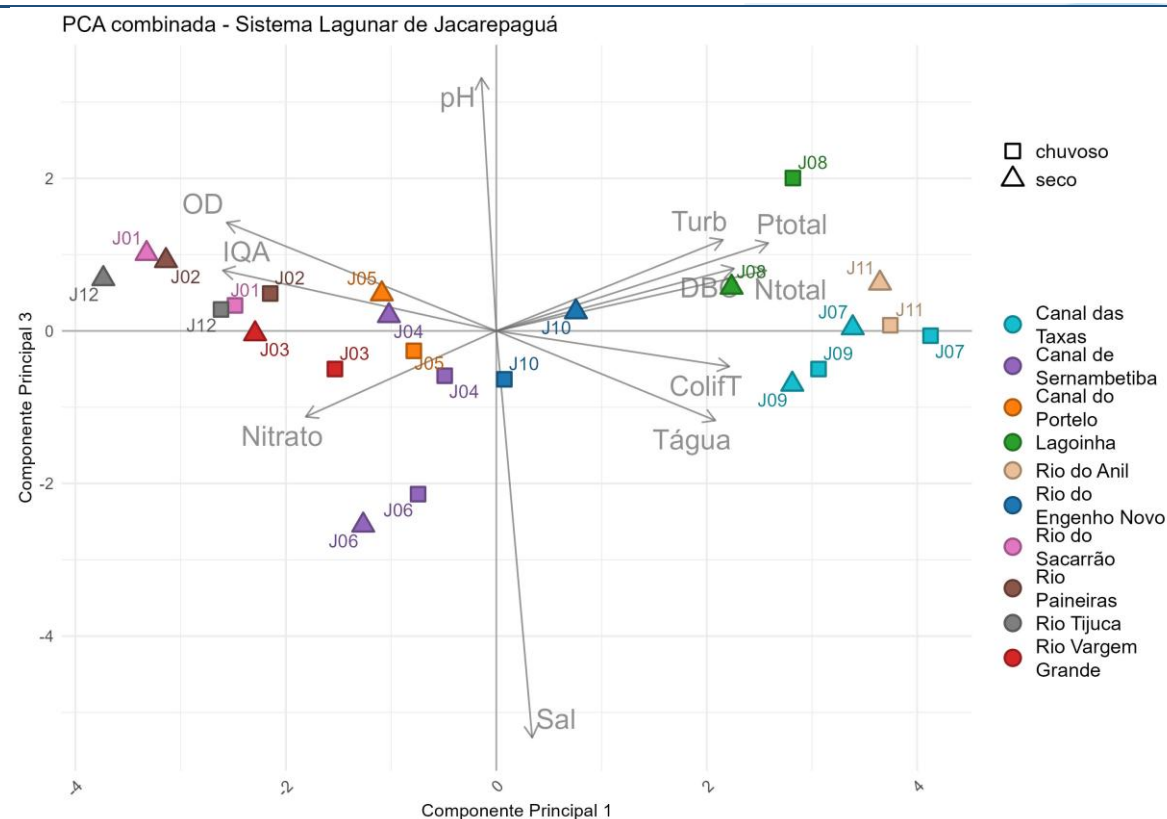
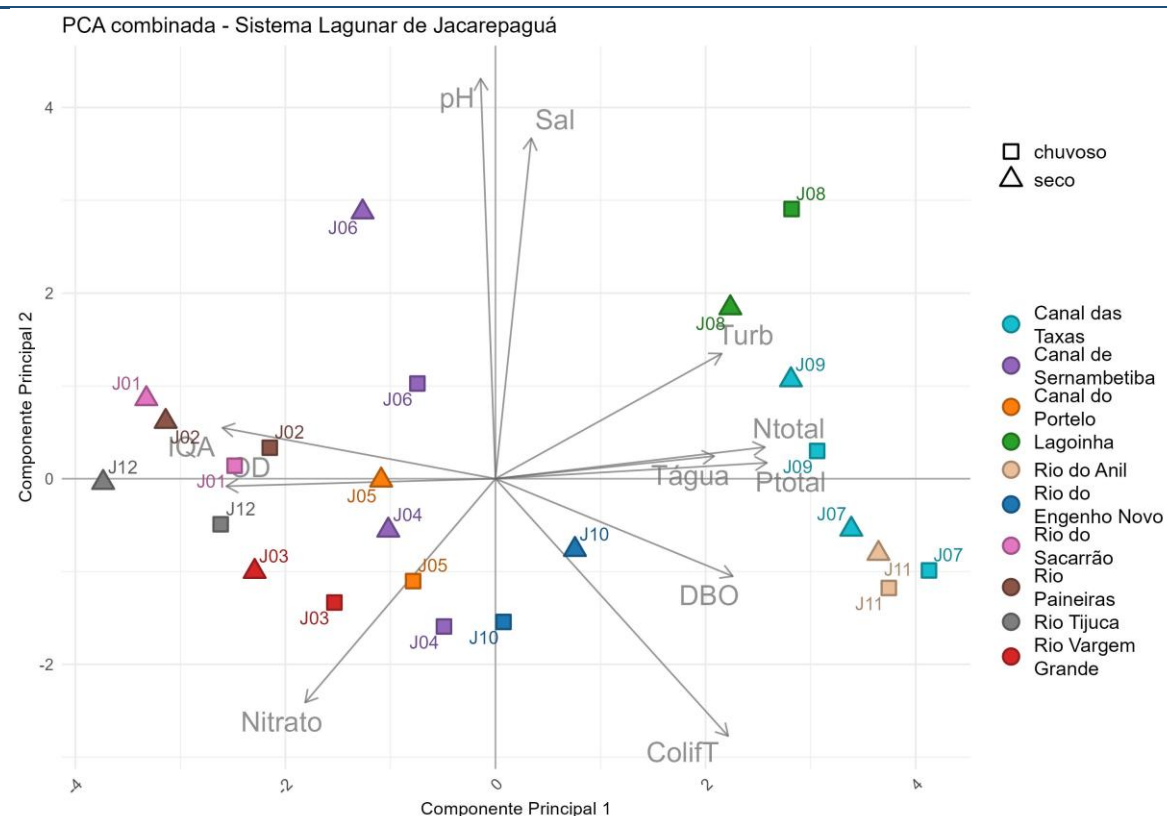


Figura VI-4. Distribuição espacial na Análise de Componentes Principais nas três primeiras dimensões a partir dos resultados obtidos na sub-bacia do Sistema Lagunar de Jacarepaguá.. Superior: Componente Principal 1 versus Componente Principal 2; Inferior: Componente Principal 1 versus Componente Principal 3.

VI.5 Sistema Lagunar de Maricá

A Tabela VI-5, que apresenta as coordenadas das variáveis ambientais nas três primeiras componentes principais (PC1, PC2 e PC3) da sub-bacia do Sistema Lagunar de Maricá, mostra que a PC1 explica 53% da variância dos dados e está fortemente associada a variáveis indicadoras de poluição orgânica e eutrofização, como coliformes termotolerantes (0,397), DBO (0,393), fósforo total (0,396) e nitrogênio total (0,390). O Índice de Qualidade da Água (IQA) e o oxigênio dissolvido têm cargas negativas nessa componente, sugerindo que valores elevados desses poluentes estão associados à degradação da qualidade da água. A PC2, que explica 17% da variância, destaca a influência da temperatura da água (-0,543), turbidez (-0,502), pH (0,529) e salinidade (0,354), representando provavelmente variações físico-químicas associadas a processos sazonais ou condições naturais locais. Já a PC3, com 12% da variância, destaca fortemente o nitrato (0,694), sugerindo que essa variável representa uma dimensão distinta da qualidade da água, possivelmente relacionada a fontes pontuais ou específicas de contaminação por nitrogênio. Juntos, os três componentes principais explicam 81,7% da variância dos dados.

Tabela VI-5 – Coordenadas obtidas pela Análise de Componentes Principais nas três primeiras dimensões a partir dos resultados obtidos na sub-bacia do Sistema Lagunar de Maricá.

Variável	Código PCA	PC1 (53%)	PC2 (17%)	PC3 (12%)
Coliformes Termotolerantes	ColifT	0,397	0,005	0,074
Dem. Bioquímica de Oxigênio	DBO	0,393	-0,005	-0,123
Fósforo Total	Ptotal	0,396	0,093	-0,060
Índice de Qual. Das Águas	IQA	-0,403	-0,015	0,021
Nitrogênio total	Ntotal	0,390	0,163	-0,046
Nitrato	Nitrato	0,110	0,096	0,694
Oxigênio Dissolvido	OD	-0,366	0,054	0,286
Salinidade	Sal	-0,106	0,354	-0,567
Temperatura da água	Tágua	-0,105	-0,543	-0,122
Turbidez	Turb	0,220	-0,502	0,124
Potencial Hidrogeniônico	pH	-0,012	0,529	0,241

Na Figura VI-5, observa-se que os pontos M09 e M10 (Rio Vigário), tanto no período chuvoso quanto no seco, apresentam os valores mais altos de PC1, indicando forte associação com a presença de poluentes orgânicos e nutrientes, conforme refletido pelas cargas elevadas de DBO, fósforo e nitrogênio total. Em contraste, pontos como M01 (Rio Padeco) e M03 (Rio Doce) têm valores negativos em PC1, o que pode indicar águas de melhor qualidade nesse eixo. Já na PC2, os maiores valores positivos aparecem nos períodos secos dos pontos M05, M07 e M08, sugerindo mudanças nas condições físico-químicas associadas à salinidade, temperatura e pH — características geralmente afetadas por evaporação, menor fluxo e influência marinha. Na PC3, os valores mais elevados ocorrem principalmente em M05-seco e M02-seco, sugerindo que essas amostras se destacam pela presença elevada de nitrato, possivelmente relacionada a fontes pontuais em épocas de menor diluição.



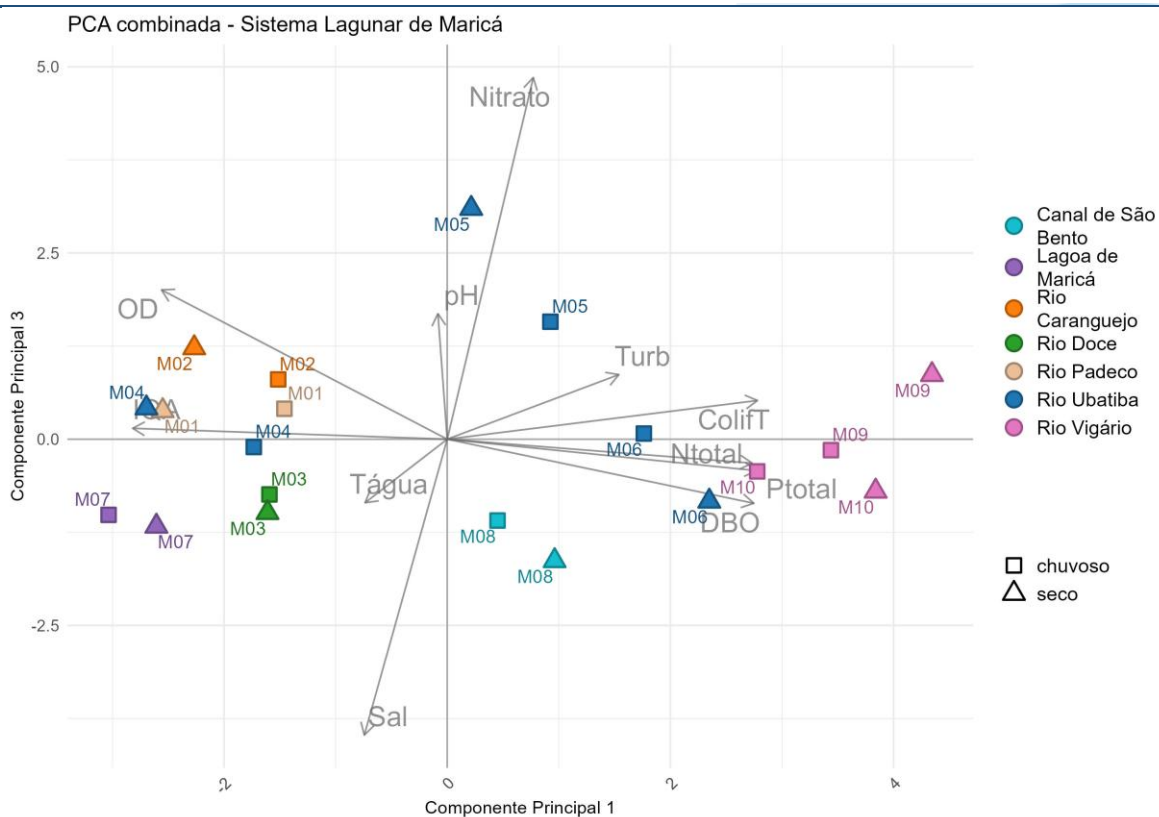
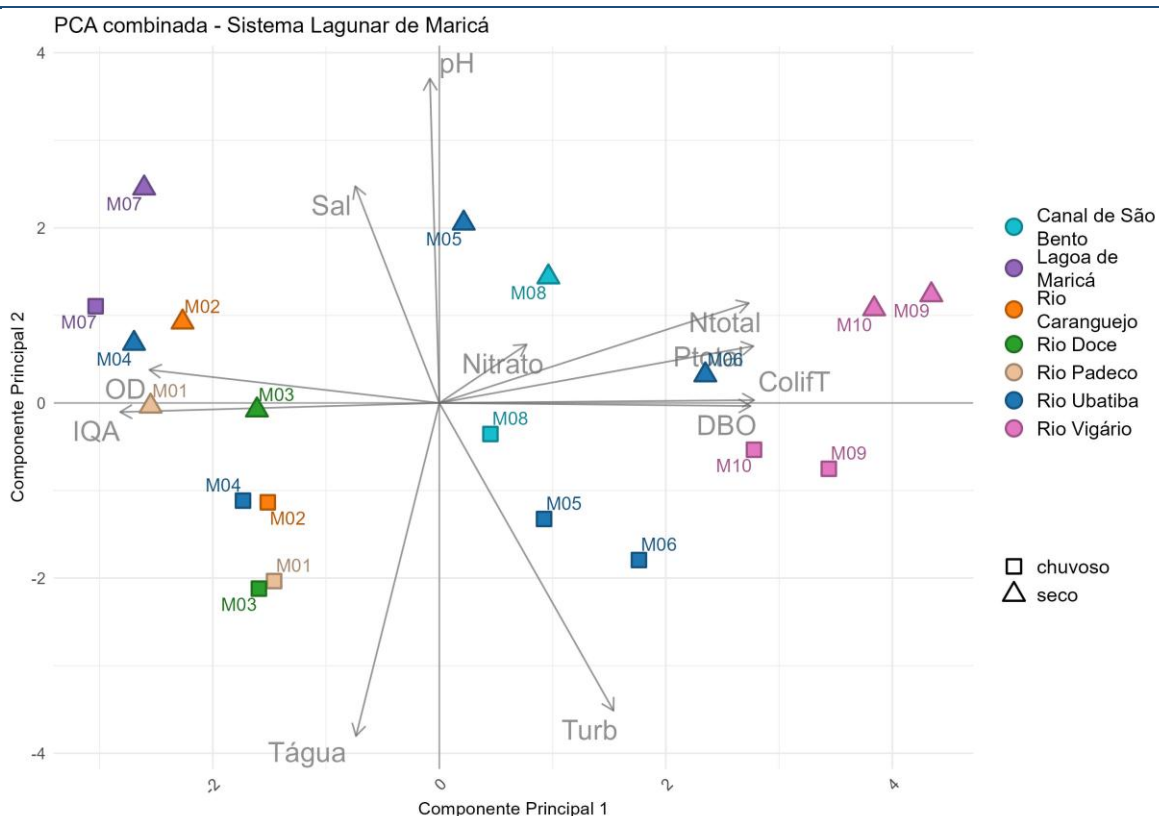


Figura VI-5. Distribuição espacial na Análise de Componentes Principais nas três primeiras dimensões a partir dos resultados obtidos na sub-bacia do Sistema Lagunar de Maricá. Superior: Componente Principal 1 versus Componente Principal 2; Inferior: Componente Principal 1 versus Componente Principal 3.

VI.6 Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga

A Tabela VI-6 apresenta os pesos das variáveis ambientais nas três primeiras componentes principais (PC1, PC2 e PC3), que explicam, respectivamente, 52%, 21% e 15% da variância total dos dados — somando 88% de explicação. Na PC1, a maioria das variáveis (como nitrogênio total, DBO, coliformes termotolerantes e turbidez) apresenta cargas negativas, sugerindo que essa dimensão representa um gradiente de poluição orgânica e nutrientes. Variáveis associadas à qualidade, como oxigênio dissolvido (OD), pH e o Índice de Qualidade da Água (IQA), têm cargas positivas. Assim, PC1 pode ser interpretada como um eixo de "qualidade da água", indo de condições degradadas (valores negativos) a condições melhores (valores positivos). A PC2 é influenciada positivamente por fósforo total, salinidade e OD, e negativamente pela temperatura da água, sugerindo um gradiente sazonal ou relacionado à intrusão salina. A PC3 é fortemente associada ao nitrato e à salinidade, com destaque também para o IQA, podendo refletir variações pontuais em processos de nitrificação e entrada de água salgada.

Tabela VI-6 – Coordenadas obtidas pela Análise de Componentes Principais nas três primeiras dimensões a partir dos resultados obtidos na sub-bacia do Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga.

Variável	Código PCA	PC1 (52%)	PC2 (21%)	PC3 (15%)
Coliformes Termotolerantes	ColifT	-0,336	0,260	0,260
Dem. Bioquímica de Oxigênio	DBO	-0,332	-0,002	-0,120
Fósforo Total	Ptotal	-0,295	0,447	0,063
Índice de Qual. Das Águas	IQA	0,312	-0,262	0,273
Nitrogênio total	Ntotal	-0,388	0,130	-0,023
Nitrato	Nitrato	-0,232	-0,035	0,609
Oxigênio Dissolvido	OD	0,321	0,312	-0,016
Salinidade	Sal	0,259	0,347	0,415
Temperatura da água	Tágua	-0,122	-0,608	0,097
Turbidez	Turb	-0,323	-0,008	-0,407
Coliformes Termotolerantes	ColifT	0,313	0,243	-0,347

A Figura VI-6 permite observar padrões espaciais e sazonais. Observa-se que o Canal do Camboatá (C06) possui valores negativos em PC1 no período chuvoso, sugerindo forte associação com poluição orgânica e nutrientes, conforme indicado pela interpretação da PC1. No período seco, esse ponto melhora relativamente, mas ainda se encontra em uma posição desfavorável. Já os pontos da Lagoa de Itaipu (C01 a C05) apresentam escores positivos em PC1 durante o período seco, refletindo melhores condições de qualidade da água ou menor influência de poluição, possivelmente devido à diluição no período chuvoso. A Lagoa de Piratininga (C07 a C12), por sua vez, exibe uma clara separação sazonal: escores negativos em PC2 no período chuvoso e positivos no seco, reforçando a influência de fatores sazonais, como temperatura, salinidade e carregamento de nutrientes. Além disso, os valores negativos de PC3 nos pontos da Lagoa de Piratininga indicam um padrão distinto de comportamento do nitrato e salinidade, o que pode sugerir características hidrodinâmicas ou fontes pontuais de impacto diferentes.



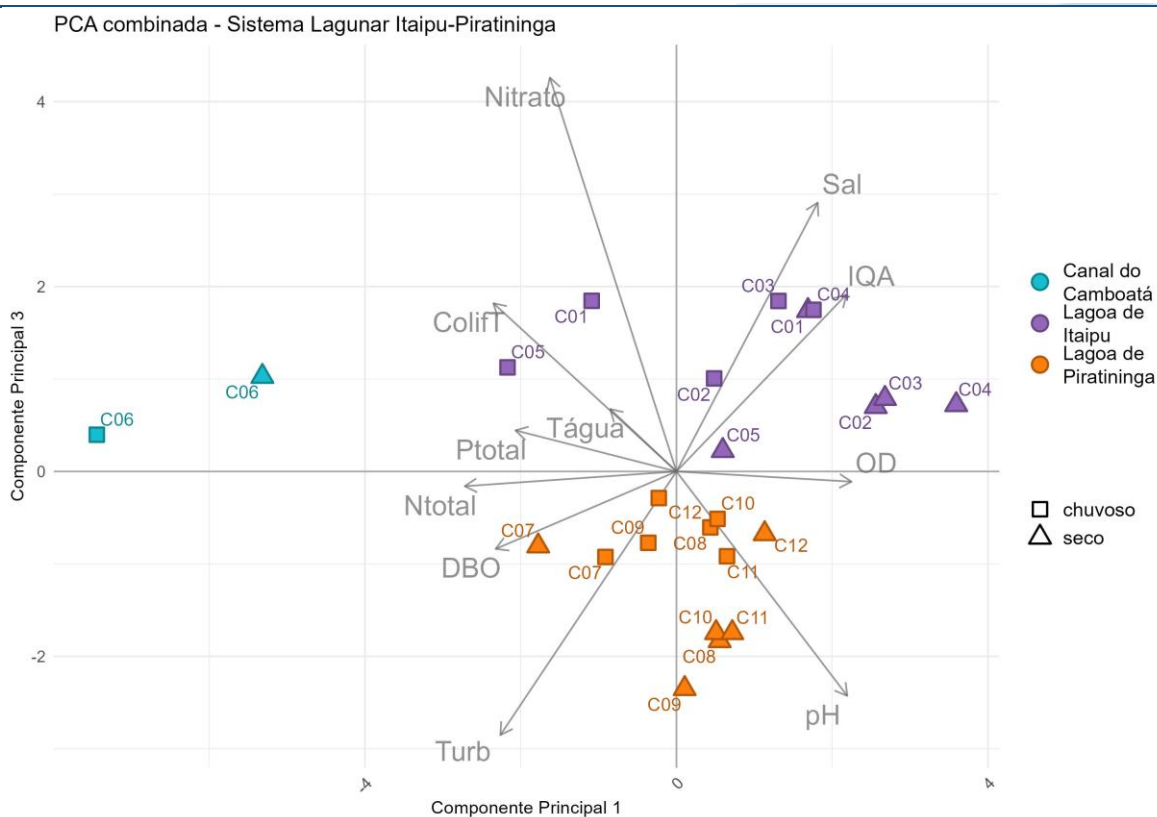
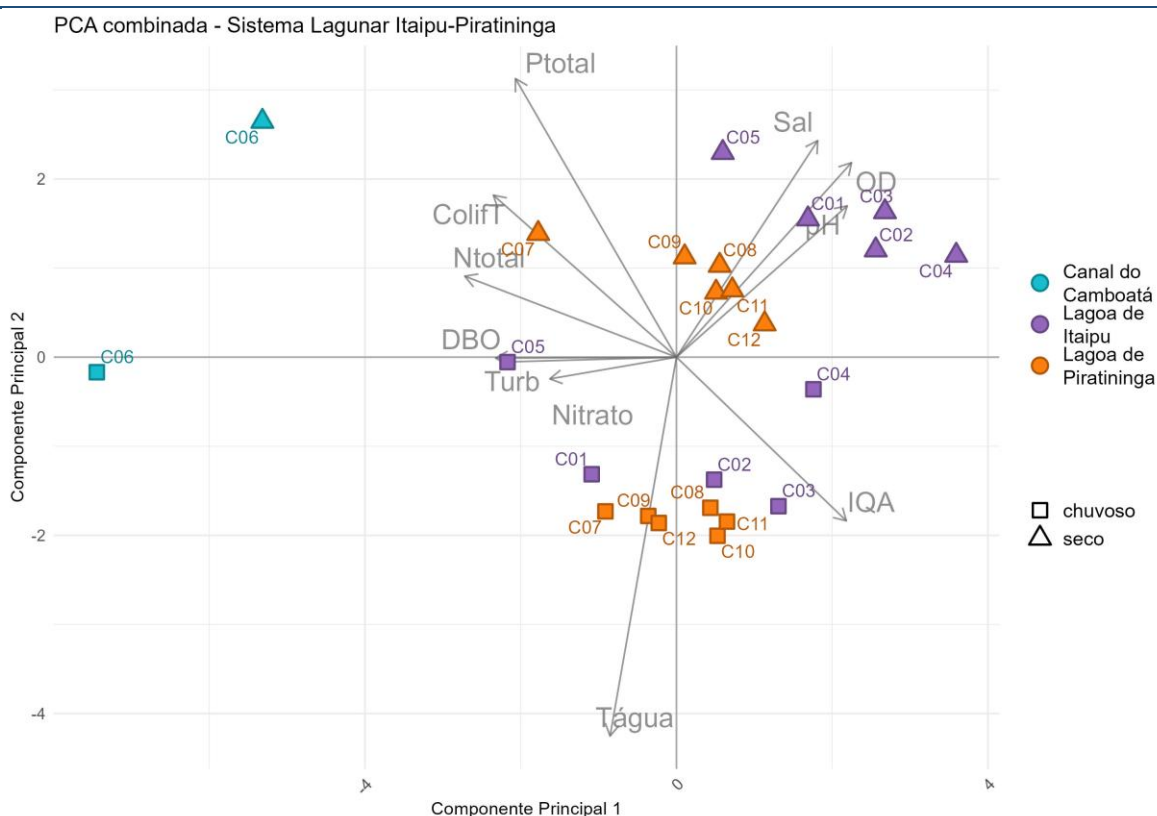


Figura VI-6. Distribuição espacial na Análise de Componentes Principais nas três primeiras dimensões a partir dos resultados obtidos na sub-bacia Sistema Lagunar de Itaipu-Piratininga. Superior: Componente Principal 1 versus Componente Principal 2; Inferior: Componente Principal 1 versus Componente Principal 3.

VII. CONCLUSÃO

Com base na análise integrada do relatório técnico de monitoramento da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara (RHBG), seguem as conclusões por sub-bacia e para a região hidrográfica como um todo, considerando parâmetros físico-químicos, microbiológicos e hidrológicos:

Lagoa Rodrigo de Freitas: a Lagoa apresentou variações sazonais significativas para nitrogênio total, pH e oxigênio dissolvido, especialmente entre inverno e verão, refletindo a influência de processos climáticos e hidrológicos. A maioria das amostras se manteve dentro das classes 1 e 2 da Resolução CONAMA 357/05, com poucos pontos em desconformidade. Embora a média de nitrato tenha sido a mais alta entre as sub-bacias (1,25 mg/L), a carga microbiológica foi relativamente controlada em comparação às demais regiões analisadas.

Sub-bacia Leste: apresenta contaminação microbiológica, com picos superiores a 160.000 NMP/100 mL em pontos como Papucainha (L8) e o afluente do Rio Caceribu (L22), indicativos de lançamento contínuo de esgoto não tratado. Observou-se variação sazonal significativa para fósforo total, pH e coliformes termotolerantes, principalmente no verão, em função do aumento da temperatura e da menor diluição por vazões reduzidas. Ainda assim, 100% das amostras de águas doces permaneceram nas classes 1 e 2, sendo uma das sub-bacias menos impactadas.

Sub-bacia Oeste: apresentou os maiores sinais de degradação ambiental. A Análise de Componentes Principais (PCA) revelou correlações diretas entre altas concentrações de DBO, fósforo total, nitrogênio total e coliformes termotolerantes com baixos níveis de oxigênio dissolvido e IQA, indicando um forte gradiente de poluição orgânica. O Rio Iguaçu e o Rio Carioca figuraram entre os mais impactados. Houve diferença estatisticamente significativa entre períodos secos e chuvosos para vários parâmetros.

Sistema Lagunar de Jacarepaguá: apresentou variações relevantes nos parâmetros de qualidade da água entre os períodos, com diferenças em pH, nitrato e coliformes. A predominância de águas salobras nesta sub-bacia reflete um padrão estuarino. A PCA indicou presença de poluentes orgânicos e nutrientes, embora com menor variação

sazonal em comparação às outras sub-bacias. Houve casos pontuais em desconformidade com a Resolução CONAMA 357/05.

Sistema Lagunar de Maricá: apresentou padrão menos impactado em relação a coliformes termotolerantes e nutrientes. No entanto, observou-se presença pontual de amostras fora dos padrões da Resolução CONAMA 357/05 (especialmente quanto ao STD), indicando episódios localizados de poluição. O sistema foi o único que não apresentou diferenças estatisticamente significativas nem entre estações nem entre períodos.

Sistema Lagunar de Itaipu-Piratininga: foram registradas variações significativas entre estações e períodos para fósforo total, nitrato, pH e oxigênio dissolvido. A PCA mostrou grande influência da salinidade e da turbidez, sugerindo interação com águas costeiras e processos de ressuspensão de sedimentos. Foi a sub-bacia com maior percentual de amostras fora dos padrões de nitrato. O sistema apresenta contaminação microbiológica, com picos superiores a 160.000 NMP/100 mL em diversos pontos de amostragem, indicativos de lançamento intermitente e em alguns casos, contínuo (especialmente após períodos de chuva) de esgoto não tratado. Foi observada presença pontual de amostras fora dos padrões da Resolução CONAMA 357/05 (especialmente quanto aos coliformes e fósforo total), indicando episódios localizados de poluição por esgotos domésticos, sendo mais críticos no Canal do Camboatá e na lagoa de Itaipu, embora com ocorrências também na lagoa de Piratininga.

Região Hidrográfica da Baía de Guanabara: a análise geral revela um quadro de comprometimento da qualidade hídrica em praticamente todas as sub-bacias, em maior ou menor grau, com destaque para a região Oeste como a mais crítica. Fatores como adensamento populacional, ausência de tratamento adequado de esgoto e variabilidade climática sazonal (chuvas, temperatura) são os principais determinantes da degradação observada. A maioria das amostras se manteve nas classes 1 e 2 da Resolução CONAMA 357/05, mas os valores extremos, sobretudo para coliformes e nutrientes, indicam a necessidade de ações integradas de saneamento e recuperação ambiental.



Como ponto de melhoria, é sugerida uma avaliação específica da influência da maré nos pontos de amostragem em rios, canais e lagoas que sofrem essa influência,

considerando separadamente os resultados das amostras coletadas em momentos de baixa-mar e preamar, a fim de identificar alterações na qualidade da água decorrentes da diluição com a água da baía ou do mar, uma vez que essa avaliação não fazia parte do atual escopo deste trabalho. Além disso, é sugerida também a análise de fitoplâncton, a fim de verificar o efeito da eutrofização nos corpos hídricos monitorados.

VIII. EQUIPE TÉCNICA

No Quadro VIII-1 abaixo é apresentada a equipe técnica responsável pela elaboração do relatório.

Quadro VIII-1. Equipe Técnica.

Equipe	Descrição	Assinatura
André Schmidt Filgueras	Oceanólogo, Dr.em Geociências Tratamento dos dados, Análises Estatísticas, Resultados e Discussão, Análise integrada e Considerações finais	
Silvia Lisboa de Araujo	Bióloga, MSc. Geoquímica Ambiental Revisão e Aprovação do Relatório	

REFERÊNCIAS

ABNT. ISO/IEC 17025: Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaios e calibração. 3. ed. Rio de Janeiro: [s.n.], 2017. 32 p.

ANA. **Orientações para Operações das Estações Hidrométricas**. Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica. Brasília, 2012.

AGEVAP. **Ato Convocatório nº 04/2021**. Resende, RJ: Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, 2021.

APHA; AWWA; WEF. **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**. 23rd ed, 2017.

BERNHARD, A. The Nitrogen Cycle: Processes, Players, and Human Impact. **Nature Education Knowledge**, v. 2, n. 2, p. 1–12, 2010.

BRITTO. A. L. N. P. V; QUINTSLR, S. **Políticas e Programas para Esgotamento Sanitário na Metrópole do Rio de Janeiro: Um Olhar na Perspectiva das Desigualdades Ambientais**. **Cad. Metropole**, v. 22, n.48, p. 435-456. 2020.

CBH-BG. **Projeto Aguadeira**, 2019. Acesso em 20/10/2021.

CBH-BG. **SUBCOMITÊS DA HIDROGRÁFICA DA BAÍA DE GUANABARA**. 2020. Disponível em: <http://www.comitebaiadeguanabara.org.br/>. Acesso em: 20 out. 2021.

CETESB. **Relatório de Qualidade das Águas Superficiais | Apêndice D - Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade**, 2009. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/Ap%C3%AAndice-D-Significado-Ambiental-e-Sanit%C3%A1rio-das-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-29-04-2014.pdf>>. Acesso em 29 dez. 2020.

CETESB; ANA. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. Organizadores: Carlos Jesus Brandão et al. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011. 325 p. Disponível em: <<https://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/GuiaNacionalDeColeta.pdf>>. Acesso em: jun. 2019.

CETESB. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo | Apêndice E - Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem**, 2019. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2017/11/Ap%C3%AAndice-E-Significado-Ambiental-e-Sanit%C3%A1rio-das-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-2016.pdf>>. Acesso em 06/04/2022.

COLUNA, N. M. E. **Análise temporal e espacial da qualidade da água na bacia hidrográfica do Zerede, Timóteo – MG**. I Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: o Eucalipto e o Ciclo Hidrológico, Taubaté, Brasil, p. 207-214, 2007.

CONAMA Resolução nº 357. **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**. Brasil. 2005.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de Limnologia**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 226p, 1998.

FREITAS, I. C. **Estrutura Termohalinas e Massas d' Água na Zona Econômica Exclusiva do NE Brasileiro**. Dissertação (Mestrado em Oceanografia). - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, p. 146. 2003.

BRASIL. **Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília: p. 112. 2014.

GUIMARÃES, G. P.; MELLO, W. Z. DE. Fluxos de Óxido nitroso na interface ar-mar na Baía de Guanabara. **Química Nova**, v. 31, p. 1613–1620, 2008.

GUIMARÃES, F. B.F.; LIMA, L. S.; ROSMAN, P.A; ROSMAN, P.C.C. **Projeto Baías do Brasil - Sistema Laguna Maricá-Guarapina – RJ**. 2019. Disponível em: <[Relatório - Sistema Laguna Maricá - Guarapina \(RJ\) \(ufrj.br\)](#)>. Acesso em 26 de novembro de 2021.

INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE. **RH V: Região Hidrográfica Baía de Guanabara**. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/Portal/Agendas/GESTAODEAGUA/S/InstrumentosdeGestodeRecHid/PlanodeRecursosHidricos/BaiadeGuanabaraAgendaAzu/index.htm>. Acesso em 31 mar. 2022.

JUNG, A.; CANN, P.L.; ROIG, B.; THOMAS, O.; BAURÈS, E.; THOMAS, M. Microbial Contamination Detection in Water Resources: Interest of Current Optical Methods, Trends and Needs in the Context of Climate Change. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 11, p. 4292-4310, 2014.

KASSAMBARA, A. 2017. **Practical guide to principal component methods in R: PCA, M (CA), FAMD, MFA, HCPC, factoextra**. Sthda.

LIBES, S. M. **An introduction to Marine Biogeochemistry**. 2nd Edition, Academic Press, p. 928, 2009.

McBRIDE, G.B.; STOTT, R.; MILLER, W.; BAMBIC, D.; WUERTZ, S. Discharge-based QMRA for estimation of public health risks from exposure to stormwater-borne pathogens in recreational waters in the United States. **Water Research**, v. 47, p. 5282-5297, 2013.

R CORE TEAM. 2023. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 04 set. 2024.

SILVA, L.B.C.; MOLISANI, M.M. 2019. **Revisão Histórica Sobre o Estado Trófico de Lagoas Costeiras do Estado do Rio de Janeiro**. Campos dos Goytacazes, RJ: Essentia. 105 p.

TUNDISI, J. J.; TUNDISI, T. M. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.
VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4a ed., Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental-UFMG, p. 243, 2014.

WAGNER, R. J. et al. **Guidelines and standard procedures for continuous water-quality monitors: station operation, record computation, and data reporting**. U.S. Geological Survey Techniques and Methods, Techniques and Methods 1–D3, 2006. Disponível em: <http://pubs.water.usgs.gov/tm1d3c>. Acesso em: 10 jun. 2024.

WETZEL, R. G. **Limnology Lake and River Ecosystems**. Orlando: Academic Press, 2001.

