

Dissertação de Mestrado

Limnologia e qualidade ambiental de um corpo lântico receptor de efluentes tratados da indústria de petróleo

Anita Maria de Lima

Natal, setembro de 2004

LIMA, Anita Maria de – Limnologia e qualidade ambiental de um corpo lântico receptor de efluentes tratados da indústria de petróleo, UFRN, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Área de concentração: Pesquisa e desenvolvimento em tecnologias regionais, Sub-Área: Engenharia Ambiental, Natal/RN, Brasil.

Orientador: Prof. Dr. Henio Normando de Souza Melo.

Co-orientadora: Prof^a. Dra. Josette Lourdes de Sousa Melo.

RESUMO: A poluição ambiental tornou-se assunto de interesse público em todo o mundo. Não apenas os países desenvolvidos vêm sendo afetados pelos problemas ambientais; também as nações em desenvolvimento começam a sofrer os graves impactos da poluição. Dentro deste contexto é necessária a obtenção de dados simplificados para viabilizar ações no gerenciamento dos recursos hídricos pelas autoridades. Esses dados são obtidos através dos índices ambientais, que permitem uma comparação espaço-temporal de pontos distribuídos num mesmo corpo aquático ou entre distintas coleções hídricas, nos quais estão inseridos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos. O objetivo deste trabalho é realizar um diagnóstico das condições ambientais da Lagoa de Baixo em Guamaré/RN, onde se localiza a unidade de produção RN/CE da PETROBRAS, contemplando os Índices de Qualidade de Água Aditivo e Multiplicativo, Índice de Estado Trófico e Quociente de Qualidade Ambiental, além da avaliação das concentrações de metais, com vistas à caracterização ambiental. Os valores médios obtidos para os IQA's, aditivo e multiplicativo foram de 68,67 e 62,76 respectivamente, estando dentro da qualificação "boa". De acordo IET a lagoa apresentou características variando entre oligotrófica a mesotrófica, com nível de impacto regular apontado pelo QQA.

PALAVRAS CHAVES: Índice de Qualidade de Água, Limnologia, Lagoa de Baixo, Guamaré.

BANCA EXAMINADORA E DATA DA DISSERTAÇÃO: 02 de setembro de 2004.

Presidente: Prof. Dr. Henio Normando de Souza Melo (DEQ-UFRN) _____

Membros: Profa. Dra. Josette Lourdes de Sousa Melo (DEQ-UFRN) _____

Prof. Ph.D. Germano Melo Junior (Geologia-UFRN) _____

Dr. Sc. Bias Marçal de Faria (CENPES/PETROBRAS) _____

Limnology and environmental quality of lagoon receiver petroleum effluents treated

ABSTRACT: Environmental pollution has become a subject of public interest throughout the world. Not only have developed countries been affected by environmental problems but also the developing nations have started to suffer from the serious impacts of pollution. Within this context it is necessary to collect simplified environmental data to assist in the management of water resources by the appropriate authorities. These data are obtained through an environmental index that allows a space-time comparison of points distributed in the same aquatic body, or between different water bodies, for physico-chemical and bacteriological parameters. The aim of this present study was to determine the environmental status of the “Lagoa de Baixo” at Guamaré/RN, where a production unit of PETROBRAS RN/CE is located. For this purpose the Water Quality Index (WQI) was used in both an “add” and “multiply” form, the Trophic State Index (TSI) and the Environmental Quality Quotient (EQQ), as well as determining the concentrations of metals. The average values obtained for the WQI, in its two forms were 68,67 and 62,76 respectively which were inside the “good” qualification. According to the TSI the lagoon showed characteristics of a “middle” trophic state, and an impact level of “regular” as determined by the EQQ.

KEYWORDS: Water Quality Index, Limnology, Lagoa de Baixo, Guamaré.

AGRADECIMENTOS

Quando nos propomos a realizar qualquer tipo de trabalho, percebemos que não podemos prescindir da ajuda de outras pessoas, que contribuem de muitas formas para a sua conclusão. Então quando chegamos ao seu término, é necessário guardar um momento para os justos agradecimentos, e utilizamos este espaço para registrar essa forma de homenagem.

Agradeço em primeiro lugar a Deus por ter concedido saúde e um pouco de discernimento para que pudesse desenvolver este trabalho.

A minha mãe Helena Maria da Silva pela compreensão e apoio incondicional.

Aos meus orientadores Henio Normando de S. Melo e Josette Lourdes de S. Melo por acreditarem que poderia desenvolver este trabalho.

Aos meus amigos Josivan, Adriana, Manoel, Marcos Túlio, Marcus Venicio, Sérgio, Thaísa, Ivanaldo, Andréa e Leila pela ajuda inestimável nas coletas de amostras.

A toda a equipe do laboratório de engenharia ambiental e controle de qualidade – LEACQ, que na época da pesquisa ajudaram na realização de análises.

Aos amigos do mestrado pelo companheirismo.

A Petrobrás Unidade RNCE pelo apoio logístico fornecido.

Ao PPGEQ pela oportunidade de aprimoramento acadêmico, a ANP-PRH14 pela bolsa de pesquisa e ao CNPQ/CTPETRO pelos recursos financeiros para compra de equipamentos.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. DBO (Battelle, 1972).	27
Figura 2. OD (Battelle, 1972).	27
Figura 3. Coliformes Fecais (Battelle, 1972).	27
Figura 4. Carbono Inorgânico (Battelle, 1972).	27
Figura 5. Nitrogênio (Battelle, 1972).	27
Figura 6. Fosfato (Battelle, 1972).	27
Figura 7. Temperatura (Battelle, 1972).	28
Figura 8. Sólidos ou Condutividade (Battelle, 1972).	28
Figura 9. Substâncias tóxicas (Battelle, 1972).	28
Figura 10. Turbidez (Battelle, 1972).	28
Figura 11. Principais compartimentos e respectivas comunidades (Esteves, 1988).	31
Tabela 14. Classificação do IET.	37
Figura 12. Campos produtores de petróleo no Rio Grande do Norte.	45
Figura 13. Localização da bacia hidrológica.	46
Figura 14. Visualização da Lagoa de Baixo.	50
Figura 15. Visualização das estações de coleta.	50
Figura 16 – Batimetria da Lagoa de Baixo.	51
Figura 17. Garrafa de van Dorn utilizada na tomada de amostras.	52
Figura 18. Distribuição temporal dos índices estudados.	59
Figura 19. Distribuição espacial do IQA _{Adit.} na superfície da lagoa.	60
Figura 20. Distribuição espacial do IQA _{Adit.} No fundo da lagoa.	60
Figura 21. Distribuição espacial do IQA _{Mult.} na superfície da lagoa.	61
Figura 22. Distribuição espacial do IQA _{Mult.} No fundo da lagoa.	61
Figura 23. Média global dos índices nas estações – superfície.	62
Figura 24. Média global dos índices nas estações – fundo.	62
Figura 25. Distribuição temporal da DBO e OD.	63
Figura 26. Distribuição temporal da Temperatura e do OD na Lagoa.	64
Figura 29. Distribuição temporal do sulfato, cloreto e alcalinidade.	67
Figura 30. Concentração de TOG em alguns pontos estudados.	68
Figura 31. Trecho da Lagoa sem vegetação - margem oeste da Lagoa.	69
Figura 32. Trecho dos alojamentos e início da vegetação da margem oeste.	69
Figura 33. Indicação da vegetação presente na margem leste.	70
Figura 34. Vegetação presente na margem oposta – margem leste.	70

Figura 35. Indicação do nível anterior da lagoa – outubro 2002.	71
Figura 38. Distribuição do IET na superfície da Lagoa.	74
Figura 39. Distribuição do IET no fundo da Lagoa.	74
Figura 40. Distribuição do IET modificado na superfície da Lagoa.	75
Figura 41. Distribuição do IET modificado na superfície da Lagoa.	75
Figura 42. Distribuição espacial do percentual de oxigênio na superfície da lagoa.	76
Figura 43. Distribuição espacial do percentual de oxigênio no fundo da lagoa.	76
Figura 44. Distribuição das tendências dos perfis de oxigênio em um trecho da Lagoa.	77
Figura 45. Distribuição da %OD na seção 01.	78
Figura 46. Distribuição da %OD na seção 02.	78
Figura 47. Distribuição da %OD na seção 03.	79
Figura 48. Distribuição da %OD na seção 04.	79
Figura 49. Distribuição da %OD na seção 05.	79
Figura 50. Distribuição da %OD na seção 06.	79
Figura 51. Distribuição temporal do QQA.	80
Figura 52. Comparação entre séries temporais do IQA e QQA	81
Figura 53. Distribuição do níquel na superfície da Lagoa.	82
Figura 54. Distribuição do níquel no fundo da Lagoa.	82
Figura 55. Distribuição de zinco na superfície da Lagoa.	83
Figura 56. Distribuição de zinco no fundo da Lagoa.	83
Figura 57 – Distribuição espacial do chumbo na superfície.	84
Figura 58 – Distribuição espacial do chumbo no fundo da lagoa.	84
Figura 59. Distribuição do cromo total na superfície da lagoa.	85
Figura 60. Distribuição do cromo total no fundo da lagoa.	85
Figura 57. Distribuição do ferro na superfície da lagoa.	86
Figura 58. Distribuição do ferro no fundo da lagoa.	86
Figura 59. Distribuição de sódio na superfície da lagoa.	87
Figura 60. Distribuição de sódio no fundo da lagoa.	87
Figura 61. Distribuição do potássio na superfície da lagoa.	88
Figura 62. Distribuição do potássio no fundo da lagoa.	88
Figura 63. Distribuição de cálcio na superfície da lagoa.	89
Figura 64. Distribuição de cálcio no fundo da lagoa.	89
Figura 65. Distribuição de magnésio na superfície da lagoa.	90
Figura 66. Distribuição de magnésio no fundo da lagoa.	90

Figura 67. Fator de análise de todos os parâmetros avaliados.....	91
Figura 68. Fator de análise dos parâmetros que constituem o cálculo do IQA.	93
Figura 69 – Avaliação estatística do IQA_{adit}	94
Figura 70. Avaliação estatística do IQA_{Mult}	94
Figura 71. Avaliação estatística do IET.....	95

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Pesos dos parâmetros utilizados no IQA.	17
Tabela 2. Classificação de águas naturais, de acordo com o IQA.	18
Tabela 3. Expressões analíticas para obtenção de q_{OD}	20
Tabela 4. Expressões analíticas para o q_{CF}	20
Tabela 5. Expressões analíticas para o cálculo do q_{pH}	21
Tabela 6. Expressões analíticas para o cálculo do q_{DBO}	22
Tabela 7. Expressões analíticas para o cálculo do q_{NT}	23
Tabela 8. Expressões analíticas para o cálculo do q_{PT}	23
Tabela 9. Expressões analíticas para o cálculo do q_{Tur}	24
Tabela 10. Expressões analíticas para o cálculo do q_{ST}	24
Tabela 11. Expressões analíticas para o cálculo do q_T	25
Tabela 12. Distribuição dos parâmetros e valores para obtenção no QQA.	26
Tabela 13 - Valores limites do QQA correspondentes a uma situação ambiental.....	29
Tabela 15. Precipitação pluviométrica em 2002.....	48
Tabela 16. Coordenadas e localização das estações de coleta.	49
Tabela 17. Configurações utilizadas na determinação dos metais.....	56
Tabela 18. Caracterização dos efluentes.....	58
Figura 36. Histograma do IET – modelo original.....	72
Figura 37. Histograma do IET – modelo modificado.....	72
Tabela 19. Classificação espacial do IET nos dois modelos utilizados para o seu cálculo nas amostras de superfície.....	73
Tabela 20. Classificação espacial do IET nos dois modelos utilizados para o seu cálculo nas amostras de fundo.	74
Tabela 21. Comparação entre as concentrações encontradas e a legislação CONAMA 20.	81
Tabela 22. Valores obtidos para os fatores na ACP.	92
Tabela 23. Valores obtidos para os fatores na ACP.	93

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE TABELAS	viii
1. Introdução	12
1.2 - Objetivos.....	13
1.2.1 – <i>Gerais</i>	13
1.2.2 – <i>Específicos</i>	13
2. Aspectos teóricos.....	15
2.1 – Índice de Qualidade da Água – IQA	15
2.1.1 – <i>Oxigênio Dissolvido</i>	19
2.1.2 – <i>Coliformes fecais</i>	20
2.1.3 – <i>Potencial hidrogeniônico – pH</i>	21
2.1.4 – <i>Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO</i>	21
2.1.5 – <i>Nitrogênio Total</i>	22
2.1.6 – <i>Fósforo Total</i>	23
2.1.7 – <i>Turbidez</i>	23
2.1.8 – <i>Sólidos Totais</i>	24
2.1.9 – <i>Temperatura</i>	25
2.2 – Índice de Qualidade Ambiental por Battelle Columbus	25
2.3 – Aspectos Limnológicos	29
• <i>A zona litoral</i>	31
• <i>A zona límnica</i>	32
• <i>A zona profunda</i>	32
2.3.2 – <i>Características químicas da água</i>	33
• <i>Condutividade</i>	33
• <i>Sulfato</i>	34
• <i>Alcalinidade</i>	34
• <i>Cloreto</i>	35
• <i>Demanda Química de Oxigênio – DQO</i>	35
2.3.2 – <i>Índice de Estado Trófico – IET</i>	36
2.4 - Metais.....	37
2.4.4 – <i>Zinco</i>	39
2.4.5 – <i>Chumbo</i>	39
2.4.6 – <i>Cromo</i>	40
2.4.7 – <i>Ferro</i>	40
2.4.8 – <i>Sódio e Potássio</i>	41
2.4.9 – <i>Cálcio</i>	41
2.4.10 – <i>Magnésio</i>	42
2.5 - Petróleo	42
3. Materiais e métodos.....	45
3.1 – Caracterização da área em estudo.....	45
3.3 – Amostragem	48
3.3- Análises físico-químicas e bacteriológica.....	52
3.3.1- <i>Temperatura</i>	52
3.3.2- <i>pH</i>	52

3.3.3- Turbidez.....	53
3.3.4- Oxigênio Dissolvido – OD.....	53
3.3.5- Demanda Bioquímica de Oxigênio 5 – DBO ₅	53
3.3.6- Sólidos totais	53
3.3.7- Nitrogênio Total	54
3.3.8- Fósforo total	55
3.3.9- Coliformes totais	55
3.3.10- Demanda Química de Oxigênio – DQO.....	55
3.3.11- Condutividade.....	55
3.3.12- Sulfato.....	55
3.3.13- Sulfeto	55
3.3.14- Teor de Óleos e Graxas – TOG	56
3.3.15- Metais	56
4 – Resultados e discussões	58
4.1 – Caracterização do efluente.....	58
4.2 – IQA aditivo e multiplicativo.....	58
4.2.1 – Avaliação sazonal	58
4.2.2 – Avaliação espacial	59
4.3 – Relação entre DBO e OD.....	63
4.4 – Relação entre Temperatura e OD	64
4.5 – Avaliação da DBO e DQO.....	65
4.6 – Comportamento do Nitrogênio e Fosfato	66
4.7 – Comportamento do Cloreto, Alcalinidade e Sulfato.....	67
4.8 – Teor de óleos e graxas.....	67
4.9 – Avaliação Limnológica	68
4.9.1 – Índice de Estado Trófico - IET.....	71
4.9.2 – Distribuição espacial do oxigênio	75
4.9.3 – Distribuição vertical de oxigênio – seção longitudinal	76
4.10 – Quociente de Qualidade Ambiental	80
4.11 – Metais.....	81
4.11.1 – Cádmiu.....	82
4.11.2 – Cobre	82
4.11.3 – Níquel.....	82
4.11.4 – Zinco	83
4.11.5 – Chumbo	83
4.11.6 – Cromo	84
4.11.7 – Ferro	85
4.11.8 – Sódio e Potássio.....	86
4.11.9 – Cálcio.....	88
4.11.10 – Magnésio.....	89
4.12 – Avaliação estatística.....	90
4.12.1. Análise de componente principal.....	91
5 - Conclusões.....	97
6 – Referências bibliográficas.....	100
APÊNDICE	103

ANEXOS144

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1. Introdução

A água é o recurso natural mais importante que participa e dinamiza todos os ciclos ecológicos; os sistemas aquáticos têm uma grande diversidade de espécies úteis ao homem e que são também parte ativa e relevante dos ciclos biogeoquímicos e da diversidade biológica do planeta terra. O homem além de usar a água para suas funções vitais como todas as outras espécies de organismos vivos, utiliza os recursos hídricos para um grande conjunto de atividades, tais como, produção de energia, navegação, produção de alimentos, desenvolvimento industrial, agrícola e econômico (Gleick, 1993 *apud* Tundisi, 2003).

A utilização dos recursos naturais como base para o desenvolvimento e manutenção dos níveis de consumo atuais, tem reflexo direto nos meios bióticos. Entre os ecossistemas mais prejudicados destaca-se o meio aquático, sendo este o mais representativo quando nos referimos à poluição ambiental.

A poluição do meio ambiente tornou-se assunto de interesse público em todas as partes do mundo. Não apenas os países desenvolvidos vêm sendo afetados pelos problemas ambientais; também as nações em desenvolvimento começam a sofrer os graves impactos da poluição. Isso decorre de um rápido crescimento econômico associado à exploração de recursos naturais até então intocáveis. Ao lado dos crescentes problemas provocados pela contaminação do meio ambiente, estão os processos de produção utilizados para extrair matérias-primas e para transformá-las numa multiplicidade de produtos para fins de consumo em escala internacional (Braile, 1979).

Embora se registrem progressos no setor das técnicas de controle da poluição, para vários desses campos da indústria de extração e de transformação, ainda não se chegou, é preciso reconhecer, a métodos que propiciem um controle absoluto. É inegável, porém, a urgência de adotar-se outras medidas, a fim de assegurar a não ocorrência de prejuízos irreparáveis, sob o ponto de vista do meio ambiente, mesmo nas áreas menos desenvolvidas (Braile, 1979).

Dentro deste contexto é necessária a obtenção de dados simplificados para viabilizar a tomada de decisão quanto ao gerenciamento dos recursos hídricos por parte dos órgãos ambientais. Esses dados podem ser conseguidos através dos Índices de Qualidade de Água e Qualidade Ambiental nos quais estão inseridos inúmeros parâmetros físico-químicos e bacteriológicos. O tratamento e análise dos dados para cada parâmetro resultam em árduo e demorado trabalho de avaliação de um determinado corpo d'água quanto a sua classificação para uso. Sob este aspecto os índices de qualidade constituem uma ferramenta que viabilizam uma rápida avaliação das características da água em relação as suas fontes de poluição.

Outro aspecto relevante para a avaliação de um meio aquático é a sua característica limnológica. As observações das interações e adaptações que este ecossistema desenvolve em função das cargas poluidoras aplicadas ao longo do tempo, são dados importantes que possibilitam um diagnóstico ambiental mais completo.

1.2 - Objetivos

1.2.1 – Gerais

A proposta de dissertação de mestrado sob o título “Limnologia e qualidade ambiental de um corpo lântico receptor de efluentes tratados da indústria de petróleo” teve a finalidade de realizar um diagnóstico ambiental da Lagoa de Baixo, que está localizada dentro do pólo Industrial de Guamaré. Com este diagnóstico, pretendeu-se definir qual o nível de impacto ambiental com ênfase nos aspectos limnológicos e nos Índices de Qualidade de Água e Ambiental que esta atividade industrial promove neste corpo d’água, no intuito de subsidiar possíveis medidas mitigadoras a serem adotadas com vistas à recuperação e preservação ambiental.

1.2.2 – Específicos

- Determinar os Índices de Qualidade de Água e Qualidade Ambiental empregando no primeiro os cálculos referentes aos Índices aditivo e multiplicativo e no segundo, a metodologia de Battelli – Columbus Laboratories.

- Realizar um monitoramento do corpo d’água de forma a avaliar a qualidade de suas águas do ponto de vista hidrológico ambiental, sanitário e limnológico.

- Verificar a influência das atividades do pólo sobre a qualidade da água.

- Acompanhar a influência das variações sazonais sobre as características hidrossanitárias da lagoa.

- Fazer uma distribuição temporal e espacial (transversal e longitudinal) dos parâmetros Físico-Químicos utilizados para o monitoramento.

CAPÍTULO 2

ASPECTOS TEÓRICOS

2. Aspectos teóricos

2.1 – Índice de Qualidade da Água – IQA

A qualidade das águas superficiais depende do clima e da litologia da região, da vegetação circundante, do ecossistema aquático e da influência antrópica. A influência do clima se dá através da distribuição da chuva, temperatura e ventos que ocorrem na região. Os seres vivos presentes na água também alteram sua composição. As algas fazem fotossíntese consumindo CO₂ da água e liberando O₂. Toda a cadeia alimentar é sustentada com base no teor de nutrientes presente e, conseqüentemente, tais concentrações regulam a produtividade do ecossistema.

A ação antropogênica sobre o meio aquático é talvez a responsável pelas maiores alterações na composição da água. Os rios vêm sendo depositários de rejeitos por muitos anos, alterando profundamente o estado natural do meio aquático. Os esgotos urbanos lançam efluentes orgânicos, as indústrias uma série de compostos sintéticos e metais pesados, a agricultura é responsável pela presença de pesticidas e excesso de fertilizantes na água. As alterações da qualidade da água representam uma das maiores evidências do impacto das atividades humanas sobre a biosfera (Branco *et al.*, 1991).

Na avaliação da qualidade de um corpo aquático, são utilizados parâmetros físico-químicos, como por exemplo, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO) e parâmetros bacteriológicos, entre outros. A análise isolada desses parâmetros demanda trabalho e tempo dos especialistas encarregados de monitorar, avaliar e quantificar a qualidade da água. Sob este aspecto, a utilização de índices simplificados que contemplam os principais parâmetros indicadores de qualidade água, torna-se instrumento de fácil avaliação e compreensão.

O IQA é um número resultante de uma equação matemática baseada em valores de vários parâmetros de qualidade tanto físicos e químicos como microbiológicos. Este índice fornece uma indicação relativa da qualidade da água, permitindo uma comparação espaço-temporal de pontos distribuídos num mesmo corpo aquático ou entre distintas coleções hídricas (comparação inter e intra reservatórios). Foi desenvolvido inicialmente pela *National Sanitation Foundation* (NSF), da cidade Ann Arbor, Michigan, EUA, em 1970, através de uma pesquisa realizada com vários profissionais de distintas especialidades, que indicou os parâmetros mais significativos, bem como seu peso relativo na composição do índice final. A pesquisa foi baseada no método *Delphi*, da *Rand Corporation* e teve como resultado, curvas

que exprimem a variação dos sub-índices que compõem o índice, sendo a média da opinião dos consultores.

Esta metodologia de quantificar e qualificar a qualidade da água é amplamente utilizada mundialmente pelos pesquisadores. A seguir destacam-se algumas publicações que utilizaram o IQA como ferramenta para o desenvolvimento de suas avaliações:

- Bordalo *et al.* (2001) avaliou as condições ambientais do rio Bankpakong localizado na parte oriental da Tailândia utilizando o IQA. O período de avaliação ocorreu entre junho de 1998 a maio de 1999, o que permitiu a amostragem nas estações chuvosa e seca, possibilitando análises distintas em cada período. Bordalo *et al.* (2001) concluíram no seu artigo “Water quality and uses of the Bankpakong” que nas estações secas o rio é adequado para abrigar espécies marinhas resistentes, sendo questionável a utilização para abastecimento da população. Na estação chuvosa a qualidade da água melhora permitindo o seu uso na produção de água potável e em algumas atividades recreacionais.
- Jonnalagadda e Mhere (2001) utilizaram o IQA para na análise da qualidade das águas no rio Odzi localizado nas terras altas orientais de Zimbábue, e concluíram que a qualidade de suas águas variou entre média a boa durante o período estudado (9 meses), sendo esta classificação reduzida no trecho onde haviam minas abandonadas e fazendas.
- Giljanovic (1999) obteve o IQA para avaliar a qualidade das águas no condado de Dalmatio, sudeste da Croácia, nesta avaliação o autor utilizou o coeficiente de corrosão juntamente com os parâmetros habituais no cálculo geral do IQA, neste estudo foi observado que aumentos nas concentrações de sulfato e cloreto diminuem a qualidade daquelas águas.
- No Brasil a CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Básico, monitora desde de 1974 a qualidade das águas interiores do estado de São Paulo. Em seu último relatório (2000), realizou avaliações em 22 rios daquela região utilizando o IQA para efetuar a classificação desses rios.
- Pereira (1993) realizou um monitoramento dos mananciais de superfície, lagoas do Jiqui e Extremoz, utilizados no abastecimento da cidade do Natal, neste estudo a autora utilizou o Índice de Qualidade de Água para classificar a qualidade desses mananciais.

Para o cálculo do IQA foram selecionados nove parâmetros considerados os mais importantes na qualificação da água, e para cada um deles definiu-se um peso significativo da sua importância na determinação do índice. A Tabela 1 abaixo apresenta os componentes do IQA, bem como seus pesos. Pode-se verificar que o somatório dos pesos é igual a 1,00.

Tabela 1. Pesos dos parâmetros utilizados no IQA.

Nº	Parâmetro	Unidade	Peso (w)
01	Oxigênio Dissolvido	% saturação	0,17
02	Coliformes Fecais	NMP/100ml	0,15
03	pH	-	0,12
04	DBO ₅	mg O ₂ /L	0,10
05	Nitrogênio Total	mg N/L	0,10
06	Fósforo Total	mg P/L	0,10
07	Turbidez	UNT	0,08
08	Sólidos Totais	mg/L	0,08
09	Temperatura de desvio	°C	0,10

Fonte: Cetesb (1979)

O IQA pode ser calculado através de duas expressões matemáticas que definem o IQA aditivo (IQA_A) e o IQA multiplicativo (IQA_M), ou seja:

$$IQA_A = \sum_{i=1}^9 q_i * W_i \quad (1)$$

$$IQA_M = \prod_{i=1}^9 q_i^{W_i} \quad (2)$$

Onde:

IQA = Índice de qualidade da água, representado por um número em escala contínua de 0 a 100.

q_i = qualidade individual (sub-índice de qualidade) do i -ésimo parâmetro, um valor entre 0 e 100.

W_i = peso unitário do i -ésimo parâmetro.

O índice de qualidade da água varia normalmente entre 0 e 100, sendo que quanto maior for o valor do IQA, melhor é a qualidade da água (Tabela 2). Índices de qualidade da água estão associados ao uso que se deseja para um corpo d'água.

Tabela 2. Classificação de águas naturais, de acordo com o IQA.

Índice (IQA)	Qualidade
$79 < IQA \leq 100$	Ótima
$51 < IQA \leq 79$	Boa
$36 < IQA \leq 51$	Aceitável
$19 < IQA \leq 36$	Imprópria para tratamento convencional
$IQA \leq 19$	Imprópria para consumo humano

Fonte: CETESB (2002).

O procedimento para o estabelecimento de um índice de qualidade da água pode ser assim descrito:

1. Estabelece-se qual o uso a ser representado pelo índice, isto é, o índice indicará se a qualidade da água é adequada ou não àquele uso.
2. Selecionam-se as variáveis (nitratos, cor, turbidez, etc.) que influenciam o uso da água objetivado.
3. Deve-se estabelecer relações entre a intensidade da variável e a qualidade da água, isto é, qual a faixa de valores em que a variável pode se encontrar e sua consequência sobre a qualidade.
4. Como as diversas variáveis selecionadas para representar um determinado uso não têm todas a mesma importância, se estabelece um sistema de pesos que, através da média ponderada, se consiga uma nota global para a qualidade da água.

Os valores de q_i são obtidos através de modelos matemáticos, referentes a cada um dos parâmetros que compõem o cálculo dos índices utilizados. Os modelos matemáticos utilizados contemplam as variações e influências que cada parâmetro possa ter ao longo do monitoramento.

As curvas das variáveis sub-índices estão expressas através de funções polinomiais, como resultado da pesquisa realizada através de enquetes, têm sua fundamentação em dados valiosos para sua escolha. Estudos desenvolvidos pela CETESB (1979) levaram à obtenção de várias expressões matemáticas que exprimem a variação de um parâmetro determinante do IQA. Para tal, as curvas de variação de q_i versus **parâmetro**, foram divididas em intervalos convenientes e a cada um desses intervalos foi ajustada uma expressão analítica, pelo método dos mínimos quadrados (equação da reta, exponencial, curva logarítmica, curva de potência e polinômios de 2° e 3° graus) (Duarte, 1999).

Nas Tabelas de 03 a 11, estão apresentadas as expressões relacionadas a cada um dos nove parâmetros que compõem o IQA.

2.1.1 – Oxigênio Dissolvido

Segundo Braga *et al.* (2002), o oxigênio dissolvido é um dos constituintes mais importantes dos recursos hídricos. Embora não seja o único indicador de qualidade da água existente, é um dos mais usados porque está diretamente relacionado com os tipos de organismos que podem sobreviver em um corpo de água. Quando ausente, permite a existência de organismos anaeróbios que liberam substâncias que conferem odor, sabor e aspecto indesejáveis à água.

A solubilidade do oxigênio na água, como de todos os gases, depende de dois fatores principais: temperatura e pressão. Assim, com a elevação da temperatura e diminuição da pressão, ocorre redução e solubilidade do oxigênio na água. Exemplificando: a uma pressão de 760 mmHg, 100% de umidade relativa e a uma temperatura de 0°C, solubilizam-se 14,60 mg de oxigênio por litro de água, enquanto que na mesmas condições e à temperatura de 30°C (frequentemente observada em lagos tropicais), solubilizam-se apenas 7,59 mg de oxigênio por litro de água, ou seja, cerca da metade do valor a 0°C. Portanto, para se obter a saturação de oxigênio, que é expressa em porcentagem, deve-se sempre relacionar os teores absolutos de oxigênio dissolvido com a temperatura e pressão atmosférica (Esteves, 1998).

Nas expressões analíticas que utilizam dados obtidos para o OD, os valores são expressos em porcentagem de saturação. A Equação (3) é um exemplo, de modelo matemático que considera os valores da temperatura e a pressão (APHA *et al.*, 1995 *apud* Duarte 1999)

$$OD_{sat} = \left\{ (14,62 - 0,3898 * T + 0,006969 * T^2 - 0,00005897 * T^3) * \left[1 - (0,0000228675 * A)^{5,167} \right] \right\} \quad (3)$$

Onde:

T= Temperatura da água em °C.

A= Pressão atmosférica ou altitude do ponto, em relação ao nível do mar em metros.

Na Tabela 3 estão listadas expressões analíticas adequadas aos valores de OD encontrados.

Tabela 3. Expressões analíticas para obtenção de q_{OD}

$\%OD_{Sat}$	Expressão
0 – 50	$q_{OD}=[0,34*(\%OD_{Sat.})+0,008095*(\%OD_{Sat.})^2+1,35252\times 10^{-3}*(\%OD_{Sat.})^3]+3$
51 – 85	$q_{OD}=[-1,166*(\%OD_{Sat.})+0,058*(\%OD_{Sat.})^2-3,803435^{-4}*(\%OD_{Sat.})^3]+3$
86 – 100	$q_{OD}=[3,7745*(\%OD_{Sat.})^{0,704889}]+3$
101 – 140	$q_{OD}=[2,90*(\%OD_{Sat.})-0,025*(\%OD_{Sat.})^2+5,60919\times 10^{-5}*(\%OD_{Sat.})^3]+3$
> 140	$q_{OD}=50$

Fonte: CETESB, 1979 *apud* Duarte, 1999.

2.1.2 – Coliformes fecais

Os microrganismos mais comumente empregados como indicadores de contaminação são representados pelo grupo coliforme, que abrange todos os bacilos *gran* negativos, não esporulados, aeróbios ou anaeróbios facultativos, que fermentam lactose produzindo gás dentro de 48h a 35 C. O grupo coliforme é constituído de dois grandes gêneros: os gêneros *Escherichia* e o *Aerobacter*. Das várias espécies do gênero *Escherichia*, a *Escherichia coli* é a espécie que constitui 95% dos coliformes das fezes, além de certo número de outras espécies de coliformes. Alguns membros do grupo coliforme podem também ocorrer com relativa abundância no solo ou mesmo em plantas; águas de superfície quando não poluídas não apresentam contaminação por coliformes (Pereira, 1993).

A Tabela 4 apresenta as expressões utilizadas na obtenção dos valores q_i para o parâmetro coliforme.

Tabela 4. Expressões analíticas para o q_{CF} .

CF/100 ml	Expressão
0	$q_{CF}= 100$
1 – 100	$q_{CF}= 100-33,5*\log CF$
11 - 10^5	$q_{CF}= 100-37,2*\log CF+3,607145*(\log CF)^2$
> 10^5	$q_{CF}= 3$

Fonte: CETESB, 1979 *apud* Duarte, 1999.

2.1.3 – Potencial hidrogeniônico – pH

O pH é a medida da acidez ou alcalinidade relativa de uma determinada solução. Seu valor para a água pura a 25°C é igual a 7, e varia entre 0 e 7 em meios ácidos e entre 7 e 14 em meios alcalinos. O pH é importante porque muitas reações químicas que ocorrem no meio ambiente são intensamente afetadas pelo seu valor. Sistemas biológicos também são bastante sensíveis ao valor do pH, sendo que, usualmente, o meio deve ter pH entre 6,5 e 8,5 para que os organismos não sofram grandes danos. Muitas substâncias decorrentes da atividade humana despejadas no meio aquático podem alterar significativamente o valor do pH, como as deposições ácidas provenientes da poluição atmosférica (Braga, *et al.*, 2002). A Tabela 5 abaixo estão apresentadas as expressões utilizadas na obtenção da qualidade individual q_i para este parâmetro.

Tabela 5. Expressões analíticas para o cálculo do q_{pH}

pH	Expressões
$\leq 2,0$	$q_{pH} = 2,0$
2,1 – 4,0	$q_{pH} = 13,6 - 10,64 * pH + 2,4364 * (pH)^2$
4,1 – 6,2	$q_{pH} = 155,5 - 77,36 * pH + 10,2481 * (pH)^2$
6,3 – 7,0	$q_{pH} = -657,2 + 197,38 * pH - 12,9167 * (pH)^2$
7,1 – 8,0	$q_{pH} = -427,8 + 142,05 * pH - 9,695 * (pH)^2$
8,1 – 8,5	$q_{pH} = 21,6 - 16,0 * pH$
8,6 – 9,0	$q_{pH} = 1,415823 * e^{-(1,1507 * pH)}$
9,1 – 10,0	$q_{pH} = 288,0 - 27,0 * pH$
10,1 – 12,0	$q_{pH} = 633,0 - 106,5 * pH + 4,5 * (pH)^2$
$> 12,0$	$q_{pH} = 3,0$

Fonte: CETESB, 1979 *apud* Duarte, 1999.

2.1.4 – Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO

A capacidade dos microrganismos presentes em uma amostra de água natural em consumir oxigênio é chamada Demanda Bioquímica de Oxigênio, DBO. A substância mais habitualmente oxidada pelo oxigênio dissolvido em água é a matéria orgânica de origem biológica, como a procedente de plantas mortas e restos de animais. De maneira simplificada a matéria orgânica pode ser representada por moléculas de carboidratos polimerizados (as

fibras das plantas poderiam ser um exemplo), com uma fórmula empírica aproximada de CH_2O , a reação de oxidação seria:



A DBO é igual à quantidade de oxigênio consumida como resultado da oxidação da matéria orgânica dissolvida da amostra. As reações de oxidação na amostra são catalisadas pela ação de microorganismos já presentes na água natural (Baird, 2002).

Na Tabela 6 estão apresentados os modelos matemáticos propostos para a obtenção do q_i atribuída a DBO.

Tabela 6. Expressões analíticas para o cálculo do q_{DBO}

DBO ₅	Expressões
0,0 – 5,0	$q_{DBO} = 59,96 * e^{-(0,1232728 * DBO)}$
5,1 – 15,0	$q_{DBO} = 104,67 - 31,5463 * \ln DBO_5$
15,1 – 30,0	$q_{DBO} = 4.394,91 * (DBO_5)^{-1,99809}$
> 30,0	$q_{DBO} = 2,0$

Fonte: CETESB, 1979 *apud* Duarte, 1999.

2.1.5 – Nitrogênio Total

O nitrogênio é um dos elementos mais importantes no metabolismo de ecossistemas aquáticos. Esta importância deve-se principalmente à sua participação na formação de proteínas, um dos componentes básicos da biomassa. Quando presente em baixas concentrações, pode atuar como fator limitante na produção primária de ecossistemas aquáticos. Este elemento está presente nos ambientes aquáticos sob várias formas por exemplo: nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), amônia (NH_3), íon amônio (NH_4^+), óxido nitroso (N_2O), nitrogênio molecular (N_2), nitrogênio orgânico dissolvido (peptídeos, purinas, aminas, aminoácido, etc.), nitrogênio orgânico particulado (bactérias, fitoplâncton, zooplâncton e detritos), etc. (Esteves, 1998).

Na Tabela 7 estão listadas as expressões propostas para a determinação da qualidade individual deste parâmetro.

Tabela 7. Expressões analíticas para o cálculo do q_{NT}

NT	Expressões
0,0 – 10,0	$q_{NT} = 100,0 - 8,169 * NT + 0,3059 * (NT)^2$
10,1 – 60,0	$q_{NT} = 101,9 - 23,1023 * \ln NT$
60,1 – 100,0	$q_{NT} = 159,3148 * e^{-(0,0512842 * NT)}$
> 100,0	$q_{NT} = 1,0$

Fonte: CETESB, 1979 *apud* Duarte, 1999.

2.1.6 – Fósforo Total

Há muito é conhecida a importância do fósforo nos sistemas biológicos. Esta importância deve-se à participação deste elemento em processos fundamentais do metabolismo dos seres vivos, tais como: armazenamento de energia (forma uma fração essencial da molécula de ATP) e estruturação da membrana celular (através dos fosfolipídios).

Na maioria das águas continentais o fósforo é o principal fator limitante de sua produtividade. Além disso, tem sido apontado como o principal responsável pela eutrofização artificial destes ecossistemas (Esteves, 1998). Os modelos matemáticos, utilizados na determinação do q_{PT} estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Expressões analíticas para o cálculo do q_{PT}

PT	Expressões
0,0 – 1,0	$q_{PT} = 99,9 * e^{-(0,91629 * PT)}$
1,1 – 5,0	$q_{PT} = 57,6 - 20,178 * PT + 2,1316 * (PT)^2$
5,1 – 10,0	$q_{PT} = 19,08 * e^{-(0,13544 * PT)}$
>10,0	$q_{PT} = 5,0$

Fonte: CETESB, 1979 *apud* Duarte, 1999.

2.1.7 – Turbidez

A turbidez da água é produzida por material em suspensão, como argilas, ou matéria orgânica ou inorgânica finamente dividida, compostos orgânicos solúveis coloridos, plânctons e outros microorganismos. A turbidez é uma expressão da propriedade ótica que se origina quando a luz dispersa, é absorvida em vez de transmitir, em linha reta, através da amostra. A correlação da turbidez com a concentração, em peso, da matéria em suspensão é difícil de ser

estabelecida, já que a dispersão luminosa também interfere no tratamento, na forma e no índice de refração das partículas (APHA, AWWA, WPOF, 1992).

Segundo Branco *et al.* (1979) a turbidez é a alteração da penetração da luz provocada, por exemplo, pelo plâncton, bactérias, argilas e silte em suspensão, fontes de poluição que lançam materiais finos e outros. A limpidez da água é importante quando a água se destina a consumo humano, ou mesmo em certos processos industriais.

A Tabela 9 estão listadas os modelos utilizados no cálculo do q_{Tur} que constitui o IQA.

Tabela 9. Expressões analíticas para o cálculo do q_{Tur} .

Tur	Expressões
0,0 – 25,0	$q_{Tur} = 100,17 - 2,67 * Tur + 0,03755 * (Tur)^2$
25,1 – 100,0	$q_{Tur} = 84,96 * e^{-(0,016206 * Tur)}$
>100,0	$q_{Tur} = 5,0$

Fonte: CETESB, 1979 *apud* Duarte, 1999.

2.1.8 – Sólidos Totais

Sólidos são os materiais suspensos ou dissolvidos em águas limpas e em águas residuais. Os sólidos podem afetar negativamente a qualidade da água ou o seu abastecimento de várias maneiras. As águas altamente mineralizadas tampouco são adequadas para inúmeras aplicações industriais. As análises de sólidos são importantes no controle de processos de tratamento biológico e físico de água residuárias (APHA, AWWA, WPOF, 1992).

As expressões que auxiliam a determinação do q_{ST} estão apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10. Expressões analíticas para o cálculo do q_{ST} .

ST	Expressões
0 – 150,0	$q_{ST} = 79,75 + 0,166 * ST - 0,001088 * (ST)^2$
151,0 – 500,0	$q_{ST} = 101,67 - 0,13917 * ST$
>500,0	$q_{ST} = 32,0$

Fonte: CETESB, 1979 *apud* Duarte, 1999.

2.1.9 – Temperatura

A temperatura da água afeta características físicas, químicas e biológicas do meio aquático como densidade da água, a solubilidade de gases, a taxa de sedimentação do fitoplâncton, a tensão superficial, reações químicas e o metabolismo dos organismos aquáticos. Por exemplo, um aumento de temperatura pode causar migração intensa de peixes para regiões mais amenas nas quais a concentração de oxigênio dissolvido é maior ou bloquear a passagem de peixes migratórios devido à presença de uma barreira de calor com menor concentração de oxigênio dissolvido. Pode também favorecer o desenvolvimento excessivo de seres termófilos e ainda alterar a cinética de reações químicas ou mesmo favorecer alguns sinergismos nocivos ao ambiente (Braga, *et al.*, 2002). A Tabela 11 apresenta os modelos propostos para a determinação do q_T , onde a variação de temperatura (ΔT) é o resultado da diferença entre a temperatura da amostra (T_a) e a temperatura do ambiente da coleta (T_e).

Tabela 11. Expressões analíticas para o cálculo do q_T .

$\Delta T = T_a - T_e$	Expressões
$\leq -5,0$	$q_T = 30,0$
$-4,9 - 0,0$	$q_T = 92,5 + 1,3 * \Delta T - 1,32 * (\Delta T)^2$
$0,1 - 3,0$	$q_T = 92,5 - 2,1 * \Delta T - 1,8 * (\Delta T)^2$
$3,1 - 5,0$	$q_T = 233,17 * (\Delta T)^{-1,09576}$
$5,1 - 15,0$	$q_T = 75,27 - 8,398 * \Delta T + 0,265455 * (\Delta T)^2$
$15,0$	$q_T = 9,0$

Fonte: CETESB, 1979 *apud* Duarte, 1999.

2.2 – Índice de Qualidade Ambiental por Battelle Columbus

O Método de Battelle-Columbus é uma técnica de avaliação quantitativa de impactos ambientais aplicada inicialmente para projetos de desenvolvimento de recursos hídricos, publicada em 31 de janeiro de 1972, nos Estados Unidos, pelos laboratórios Battelle-Columbus. Foi testado em campo pela primeira vez no denominado “*Bear River Project*” em Utah, Idaho e Wyoming (EUA). Este projeto foi selecionado, entre outras razões, por ser

similar a outros projetos do governo e possuir o grau de complexidade necessário para o teste do sistema de avaliação.

O método baseia-se em 78 parâmetros ambientais agrupados em 18 componentes ambientais e estas reagrupadas em 04 categorias ambientais: Ecologia, Poluição Ambiental, Aspectos Estéticos e Interesse Humano (Anexo 1). No presente trabalho foi avaliada a categoria Poluição Ambiental, onde foram escolhidos 10 parâmetros físico-químicos. No entanto, neste trabalho, realizaram-se adaptações nos parâmetros Nitrogênio Inorgânico, Fósforo Inorgânico, Carbono Orgânico Total e Sólidos Dissolvidos Totais, e se utilizou os dados obtidos para Nitrogênio Total, Fosfato Total, Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Sólidos Totais mantendo os mesmos pesos atribuídos pelos laboratórios Battelle-Columbus.

A Tabela 12 mostra a distribuição dos pesos ou Unidades de Impacto Ambiental por parâmetros, nesta categoria.

Para cada parâmetro ambiental é atribuído um peso relativo (unidades de importância do parâmetro - UIP) expressos em unidades de impacto ambiental (UIAs) cuja soma totaliza 236 UIAs, correspondendo a uma situação de nenhuma degradação do meio ambiente ou estado natural.

Tabela 12. Distribuição dos parâmetros e valores para obtenção no QQA.

Batelle, 1972		Adaptações propostas neste trabalho	
Poluição Ambiental	UIP	Poluição Ambiental	UIP
.DBO	25	.DBO	25
.OD	31	.OD	31
.Coliformes Fecais	18	.Coliformes Fecais	18
.Carbono Inorgânico	22	.DQO	22
.Nitrogênio inorgânico	25	.Nitrogênio Total	25
.Fosfato Inorgânico	28	.Fósforo Total	28
.Temperatura	28	.Temperatura	28
.Sólidos dissolvidos totais	25	.Sólidos Totais	25
.Substâncias tóxicas	14	.Substâncias tóxicas	14
.Turbidez	20	.Turbidez	20

O método utiliza o **índice de qualidade ambiental** ($IQA_{Batelle}$) adimensional que varia de 0 a 1 (da pior qualidade para a melhor) e está relacionado com os diferentes parâmetros ambientais através de gráficos, em cujas ordenadas estão os $IQA_{S_{Batelle}}$ e nas abscissas os

valores dos parâmetros ambientais com suas respectivas unidades, como indicado nas Figuras 1 a 10.

Na Figura 1, estão apresentadas as curvas relacionadas com a DBO propostas por Battelle (1972) (linha cheia), pela National Sanitation Foundation (NSF), indicada por traços alternados por pontos e uma aproximação para reservatórios, também indicada por Battelle (1972). Na Figura 3, estão expressas as curvas relacionadas com Coliformes Fecais sugeridas por Battelle (1972), pela NSF e pela Ohio River Valley Water Sanitation Commission (ORSANCO). Para os parâmetros Oxigênio Dissolvido (Figura 2) e Turbidez (Figura 10), Battelle Laboratories adotaram o mesmo delineamento proposto pela NSF.

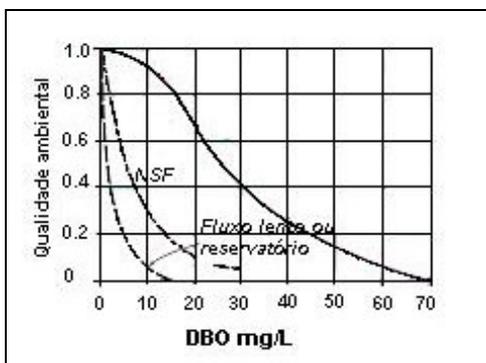


Figura 1. DBO (Battelle, 1972).

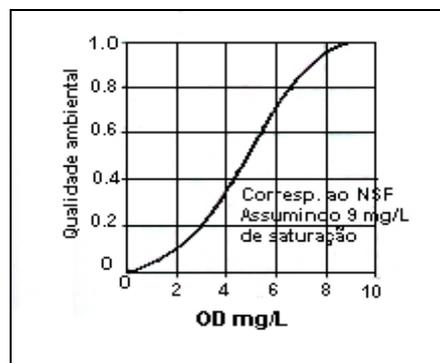


Figura 2. OD (Battelle, 1972).

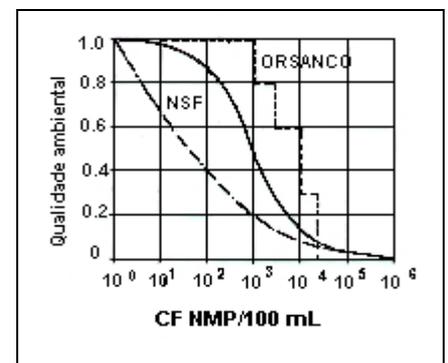


Figura 3. Coliformes Fecais (Battelle, 1972).

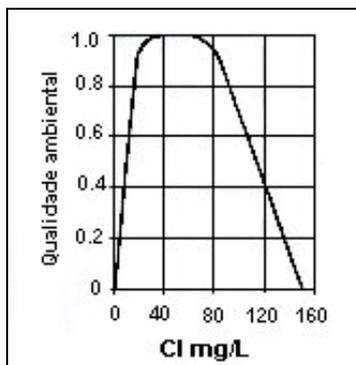


Figura 4. Carbono Inorgânico (Battelle, 1972).

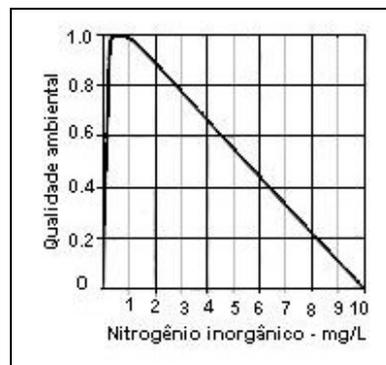


Figura 5. Nitrogênio (Battelle, 1972).

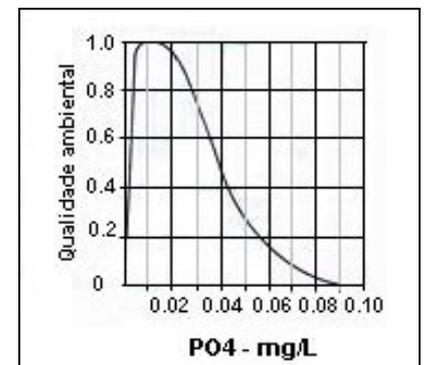


Figura 6. Fosfato (Battelle, 1972).

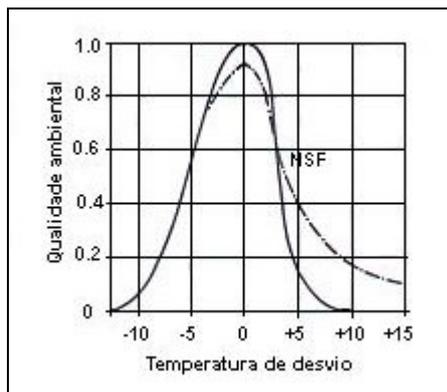


Figura 7. Temperatura (Battelle, 1972).

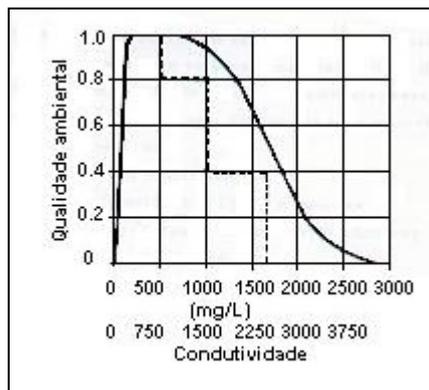


Figura 8. Sólidos ou Condutividade (Battelle, 1972).

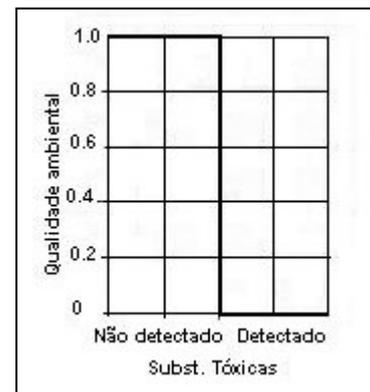


Figura 9. Substâncias tóxicas (Battelle, 1972).

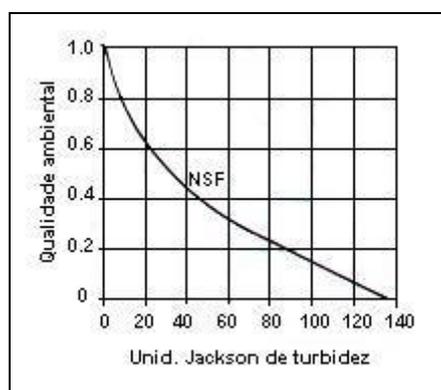


Figura 10. Turbidez (Battelle, 1972).

As **unidades de impacto ambiental** (UIA) para cada alternativa serão dadas pelo somatório da multiplicação das unidades de importância do parâmetro pelo índice de qualidade ambiental de cada parâmetro, como segue:

$$\sum UIA = \sum (UIP \times IQA_{Battelle}) \quad (5)$$

É muito comum utilizar-se a diferença: $\sum UIA$ “com projeto” - $\sum UIA$ “sem projeto” como indicador de impacto global benéfico (diferença positiva) ou adverso (diferença negativa). Ou seja, se da situação “sem projeto” para situação “com projeto” há ganho de UIAs o projeto tem impactos globais benéficos, caso ocorra perdas de UIAs o projeto tem impactos globais adversos.

Pode-se utilizar como indicador da alternativa de menor impacto o que denominamos **quociente de qualidade ambiental** (QQA) que é obtido dividindo-se as unidades de impacto

ambiental ($\sum UIA$) pela soma das unidades de importância dos parâmetros ($\sum UIP$) para cada alternativa, ou seja:

$$QQA = \frac{\sum UIA}{\sum UIP} \quad (6)$$

O quociente de qualidade ambiental é um número adimensional variando de zero a 1, sendo zero uma situação de extrema degradação ambiental e 1 uma situação natural sem nenhuma alteração ambiental (Brito, 2002). É obtido através de gráficos obtidos através de consulta realizada com vários pesquisadores, mostrados nas Figuras 1 a 10.

Após a determinação do QQA em cada avaliação há o enquadramento de acordo com a sua amplitude em relação à situação ambiental. A Tabela 13 apresenta os valores limites do QQA correspondentes a uma situação ambiental (qualidade ambiental).

Tabela 13 - Valores limites do QQA correspondentes a uma situação ambiental.

Situação Ambiental	QQA
Muito ruim	0,0 – 0,20
Ruim	0,3 – 0,40
Regular	0,5 – 0,60
Bom	0,7 – 0,80
Excelente	0,9 – 1,00

Fonte: Brito (2002)

2.3 – Aspectos Limnológicos

Muito antes de surgir à ciência Limnologia, os corpos d'água continentais eram pesquisados sob os mais diferentes pontos de vista, como por exemplo: botânico, zoológico, geológico entre outros. As pesquisas, portanto, eram realizadas no âmbito do que era denominado Hidrobiologia.

Em 1902, François Forel, um médico suíço, publicou um livro intitulado "*Handbuch der Seekunde*", que literalmente significa "Manual da Ciência dos Lagos". O subtítulo deste livro foi denominado, por Forel, de "*Algemeine Limnologie*", ou seja, "Limnologia Geral". Desta maneira surge, pela primeira vez, a palavra Limnologia. Na sua obra, Forel passa a

estudar o lago de uma forma que as comunidades aquáticas se mostram integradas. Assim, ele propôs uma nova abordagem no estudo dos lagos. Esta abordagem foi fortemente influenciada pelo ponto de vista colocado alguns anos antes pelo pesquisador americano Stephen Forbes de que o "lago é um microcosmo", que já indicava para uma abordagem de unidade no estudo de lagos.

A visão de unidade no estudo dos lagos proposta por Forel, influenciou fortemente gerações de pesquisadores que o sucederam. Entre estes podem ser destacados o alemão August Thienemann e o sueco Einar Naumann. A contribuição destes dois pesquisadores foi de fundamental importância para o estabelecimento da Limnologia como área distinta da Ecologia. Através de suas pesquisas, foi possível estabelecer os alicerces teóricos, não somente da Limnologia, mas da Ecologia como um todo.

Até a década de 1930, as pesquisas em ambientes aquáticos continentais no Brasil eram de cunho tipicamente hidrobiológico. Além disso, as pesquisas realizadas naquela época eram caracterizadas pelo forte caráter taxonômico. Outra característica era o fato de que as maiorias das pesquisas limnológicas eram realizadas por pesquisadores estrangeiros.

Em 1930, Rodolpho von Ihering, médico paulista, a convite do então ministro da agricultura do governo Getúlio Vargas criou em Campina Grande, Paraíba, o que poderia ser chamado hoje de um centro de ecologia aquática. Este grande cientista brasileiro caracterizava-se pela ampla visão dos problemas do uso da água na região. Para formar sua equipe de pesquisadores, von Ihering convidou o já experiente limnólogo norte americano Stilmann Wright para estudar os açudes da região. Durante sua permanência em Campina Grande, este pesquisador desenvolveu trabalhos em vários açudes, sendo que concentrou o maior número de pesquisas no açude Bodocongó.

Pode-se dizer que a Limnologia Brasileira, hoje, encontra-se consolidada e caracterizada. Seus profissionais estão entre os mais atuantes na ecologia brasileira. Poucas são as universidades brasileiras onde não há grupo de pesquisa atuando na área de limnologia. Várias publicações avulsas e periódicas divulgam a produção científica na área de limnologia.

Dentre estes se destacam o periódico "Acta Limnologica Brasiliensia", publicada pela SBL e o livro texto "Fundamentos de Limnologia", de autoria de Francisco Esteves que sintetiza os principais conceitos em limnologia dos corpos d'água brasileiros.

Segundo Esteves (1988) lagos são corpos d'água interiores sem comunicação direta com o mar e suas águas têm, em geral, baixo teor de íons dissolvidos, quando comparadas às águas oceânicas. Exceções devem ser feitas aos lagos localizados em regiões áridas ou submetidas a longos períodos de seca, nos quais o teor de íons dissolvidos pode ser alto, pois

a intensa evaporação não é compensada pela precipitação. Nestas condições o teor de sais dissolvidos pode ser muitas vezes superior ao da água do mar.

Os compartimentos de um lago são: região litorânea, região limnética ou pelágica, região profunda e interface água-ar (Figura 11). Esta classificação, como a maioria das classificações em Limnologia, tem apenas caráter didático, uma vez que estes compartimentos não estão isolados dentro do ecossistema aquático, mas sim em constante interação através de trocas de matéria e energia, superpondo-se muitas vezes.

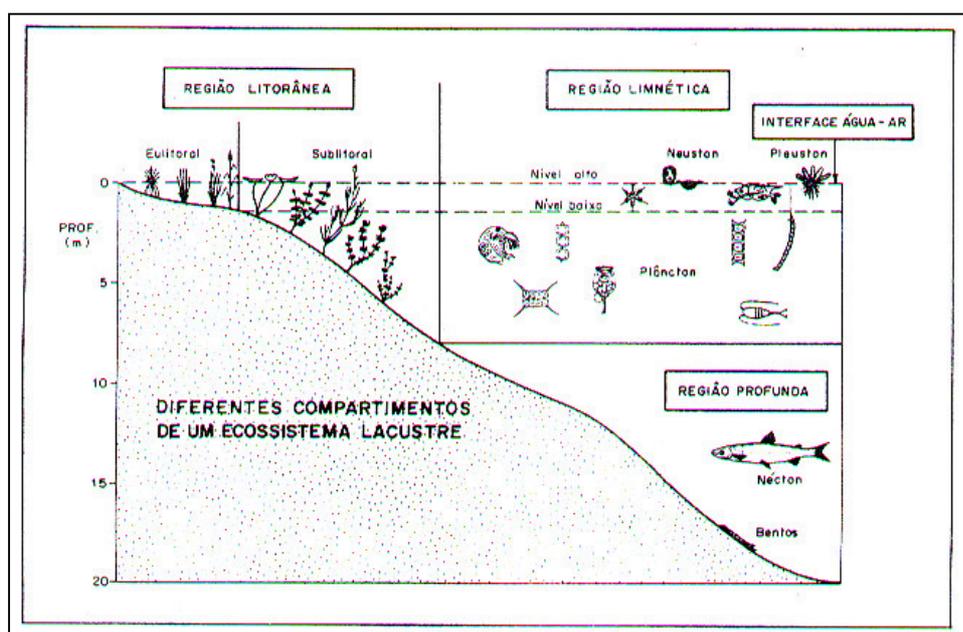


Figura 11. Principais compartimentos e respectivas comunidades (Esteves, 1988).

- ***A zona litoral***

A zona litoral, a parte periférica da lagoa, é a mais ricamente habitada. Nesta região, as plantas mais conspícuas são angiospermas, enraizadas no fundo, como as tifáceas e os juncos. Lírios d'água crescem mais na direção da terra; suas raízes são, também, presas ao fundo, mas as folhas se espalham na superfície e sombreiam a água. Frequentemente há uma cobertura verde de lemnáceas, pequenas angiospermas flutuantes. Outras ervas lacustres crescem completamente submersas. Essas plantas carecem de cutícula e podem absorver minerais pela epiderme, assim como pelas raízes. Suas superfícies abrigam grande número de pequenos organismos. Caracóis, pequenos artrópodes, larvas de mosquitos alimentam-se dessas plantas. Outros insetos, como larvas de libélulas e vários Odonata, assim como insetos nepídeos, são carnívoros. Bivalves, vermes, caracóis e larvas de insetos, além dos mencionados, cavam o

lodo. Rãs, salamandras, tartarugas e cobras d'água encontram-se quase exclusivamente nessa zona litorânea, onde se alimentam, sobretudo de insetos e de outros animais pequenos. Os peixes também são mais abundantes perto das margens. Patos, cisnes e garças alimentam-se de plantas, insetos, moluscos, peixes e anfíbios, que existem em profusão nessa zona. As bordas rasas de alguns lagos e lagoas são pantanosas. Entre os habitantes desses pântanos há vertebrados e invertebrados, como caracóis, rãs, patos, graças, galinhas, ratos almiscarados, lontras e castores.

- ***A zona límnic***

Na zona límnic, a zona de água aberta pequena algas flutuantes – fitoplâncton – são geralmente os únicos organismos fotossintetizantes. Esta zona, que se estende ao limite da penetração da luz, é o habitat, por exemplo, de percas e outros peixes e, em águas mais frias, da truta.

- ***A zona profunda.***

A zona profunda não tem vida vegetal. Os principais ocupantes são bactérias e fungos, os quais decompõem os restos orgânicos que descem das águas mais superficiais.

2.3.1 – Características físicas da água

A percepção do homem nas alterações da qualidade da água através de seus sentidos dá-se pelas características físicas da água, pois se espera que esta seja transparente, sem cor e sem cheiro.

- ***Turbidez***

A penetração da luz na água é alterada por partículas em suspensão que provocam a difusão e absorção da luz. A turbidez é a alteração da penetração da luz provocada, por exemplo, pelo plâncton, bactérias, argilas e silte em suspensão, fontes de poluição que lançam materiais finos e outros. A limpidez da água é importante quando a água se destina a consumo humano, ou mesmo em certos processos industriais (Branco *et al* 1991).

2.3.2 – *Características químicas da água*

Os parâmetros químicos são os índices mais importantes que caracterizam a qualidade de uma água. De maneira geral, a qualidade química de uma água pode ser avaliada pelo seu conteúdo orgânico, autóctone ou alóctone, pela sua forma iônica, pela sua agressividade provocada por gases dissolvidos, pela existência de nutrientes relacionados com a produtividade primária, pela presença de micronutrientes e metais traços, pela presença ou ausência de compostos orgânicos sintéticos, tipo de defensivos agrícolas, solventes, aromáticos polinucleados, modificadores de tensão superficial, etc., e pelo seu conteúdo radioativo (Leman, 1988).

- ***Condutividade***

A condutividade elétrica é determinada pela presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions. É a capacidade da água de transmitir a corrente elétrica. A unidade utilizada é micromhos/cm a uma dada temperatura em graus Celsius. Sob o Sistema Internacional de Unidades, deve-se utilizar o microsiemens/cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$), numericamente equivalente a micromhos/cm.

Para uma dada concentração iônica, a condutividade aumenta com a temperatura. Estas variações diferem para cada íon e concentração, mas pode-se dizer que para um aumento de 1°C na temperatura da solução, corresponderá um acréscimo de 2% na condutividade (Hem, 1985 *apud* Branco *et al.*, 1991).

Em águas naturais não se pode esperar que haja uma relação direta entre condutividade e concentração de sólidos dissolvidos totais, porque as águas naturais não são soluções simples. Estas águas contêm ampla variedade de substâncias dissociadas e não dissociadas. A relação condutividade e sólidos dissolvidos totais só será bem definida em águas naturais de determinadas regiões onde exista uma predominância bem definida de um determinado íon, como no caso de rios que atravessam algumas regiões de solo salino (Branco *et al.*, 1991).

Considerando-se que a capacidade de uma solução em conduzir a corrente elétrica é função da concentração dos íons presentes, é de esperar que em soluções de maior concentração iônica, maior será a condutividade elétrica. Por outro lado, em águas muito puras ocorre fenômeno inverso: maior será a resistência e menor a condutividade.

A condutividade elétrica da água constitui uma das variáveis mais importantes em limnologia, visto que pode fornecer importantes informações tanto sobre o metabolismo do ecossistema aquático, como sobre fenômenos importantes que ocorram na sua bacia de

drenagem. Dentre as informações que podem ser fornecidas pelos valores de condutividade elétrica destacam-se:

- informações sobre a magnitude da concentração iônica. Os íons mais diretamente responsáveis pelos valores de condutividade elétrica em águas interiores são chamados macronutrientes (cálcio, magnésio, potássio, sódio, carbonato, sulfato, cloreto, etc.), enquanto que nitrato, nitrito e especialmente ortofosfato, têm pouca influência. O íon amônio pode ser influência somente em altas concentrações;
- a variação diária da condutividade elétrica da água fornece informações a respeito de processos importantes nos ecossistemas aquáticos, como produção primária (redução dos valores) e decomposição (aumento dos valores);
- as diferenças geoquímicas nos afluentes do rio principal ou de um lago podem ser facilmente avaliadas com auxílio de medidas da condutividade elétrica (Esteves, 1998).

- ***Sulfato***

A distribuição do íon sulfato é fortemente influenciada pela formação geológica da bacia de drenagem do sistema. Assim, um ecossistema localizado próximo ao mar, portanto influenciado por este, ou em regiões com rochas ricas em sulfatos (ex. sulfato de cálcio), apresentará maior concentração do que aqueles localizados em regiões com predominância de rochas ígneas. Desta maneira, a concentração de sulfato pode variar desde valores não detectáveis até valores de saturação. Outro fato importante na determinação da concentração de sulfato é o estágio de evolução do sistema. Naqueles sistemas formados por bacias isoladas e em estágio senescente, caracterizados pela pouca profundidade e alta evaporação, as concentrações de íons são geralmente altas (Esteves, 1998).

- ***Alcalinidade***

Segundo Baird (2002), a química ácido-base de muitos sistemas aquáticos naturais, incluindo rios e lagos, é denominada pela interação do íon carbonato, CO_3^{2-} , uma base moderadamente forte, como ácido fraco H_2CO_3 , ácido carbônico. O ácido carbônico resulta da dissolução na água do gás atmosférico dióxido de carbono e da decomposição de matéria orgânica na água; normalmente existe um equilíbrio entre o gás e o ácido aquoso:



- ***Cloreto***

O cloreto tem efeitos sobre o balanço da salinidade osmótica em geral e sobre a troca de íons, mas a sua utilização no metabolismo não provoca modificações significativas na distribuição espacial é sazonal dentro do lago (Wetzel, 1993).

- ***Demanda Química de Oxigênio – DQO***

Uma determinação mais rápida da demanda de oxigênio pode ser feita por meio da avaliação da Demanda Química de Oxigênio, DQO, de uma amostra de água. O íon dicromato, $Cr_2O_7^{2-}$, na forma de um de seus sais, como o $K_2Cr_2O_7$, é dissolvido em ácido sulfúrico: o resultado é um poderoso agente oxidante. Esta é a preparação usada no lugar do O_2 para determinar a DQO. A semi-reação de redução do dicromato durante a oxidação da matéria orgânica é:



(Na prática, adiciona-se à amostra um excesso de dicromato, e a solução resultante é retrotitulada com Fe^{++} até o ponto final). O número de mols de oxigênio que a amostra teria consumido na oxidação do mesmo material é igual a 6/4 (=1,5) vezes o número de mols de dicromato, já que este último aceita seis elétrons por íon enquanto que o oxigênio aceita apenas quatro:



Assim, o número de mols de O_2 requeridos para a oxidação é 1,5 vez o número de mols do dicromato realmente utilizado.

A dificuldade com o índice DQO, como medida da demanda de oxigênio, é que a solução ácida de dicromato é um oxidante tão forte que oxida substâncias que consumiriam o oxigênio muito lentamente em águas naturais, e que, portanto, não constituem uma ameaça real para seu conteúdo de oxigênio. Em outras palavras, o dicromato oxida substâncias que não seriam oxidadas pelo O_2 na determinação da DBO. Devido a esse excesso de oxidação, principalmente de matéria orgânica estável, como celulose para o CO_2 , e de Cl^- para o Cl_2 , o valor da DQO de uma amostra de água é, em regra geral, ligeiramente maior que o valor da

DBO. Nenhum dos métodos de análise oxida hidrocarbonetos aromáticos ou muitos alcanos, que são resistentes em qualquer circunstância à degradação em águas naturais (Baird, 2002).

2.3.2 – Índice de Estado Trófico – IET.

O termo eutrofia (derivado do adjetivo alemão *eutrophe*) refere-se em geral à riqueza de nutrientes e é uma palavra que não tem sido corretamente usada nos últimos tempos (WETZEL, 1993).

Eutrofização é o termo mais utilizado pelos pesquisadores, na identificação dos níveis de produtividade ou disponibilidade de nutrientes (fósforo, nitrogênio ou carbono) no meio aquático. Geralmente está associado a desequilíbrio ambiental, pois em lagos eutróficos com tendências a hipereutrofia, pode ocorrer o favorecimento a proliferação de algas. Este fato reduz a concentração do oxigênio, impossibilita a penetração da luz entre outros fatores. No entanto, a presença de nutrientes, como nos lagos considerados oligotróficos a mesotróficos, favorece a produtividade primária de alguns consumidores como o zooplâncton, moluscos, crustáceos e peixes.

Duarte (1999), ressalta que o IET é apenas um índice que não define o estado de trofia, ou seja, os parâmetros como Clorofila *a* e o fósforo não são parâmetros de base pra definição de estado de trofia, mas apenas indicadores de um conceito abrangente. O melhor indicador varia de lago para lago e conforme a estação climática. Portanto, o melhor índice deve ser aquele que tem por base um conhecimento mais detalhado do corpo aquático.

O modelo proposto por Carlson (1977), indicado pela Equação 10, calcula o IET baseado na concentração de fósforo no meio aquático, no entanto, segundo Toledo Jr. *et al.*, 1985 *apud* Duarte, 1999, pesquisadores brasileiros propuseram modificações na expressão original, baseado em dados médios obtidos para a represa de Barra Bonita/SP, no período de 1978, 1979 e 1980, indicado pela Equação 11.

$$IET_{Pt} = 10 * \left[6 - \frac{\ln(65/Pt)}{\ln 2} \right] \quad (10)$$

$$IET(mod)_{Pt} = 10x \left[\left(6 - \frac{\ln(80,32/PT)}{\ln 2} \right) \right] \quad (11)$$

Onde: PT – Concentração de fósforo total expresso em µg/L.

A classificação de eutrofização de acordo com as faixas obtidas para o IET através das duas expressões está expressa na Tabela 14.

Tabela 14. Classificação do IET.

Classificação	IET	IET_{Modificado}
Ultraoligotrófico	≤20	---
Oligotrófico	21 - 40	<44
Mesotrófico	41 - 50	44 - 54
Eutrófico	51 - 60	> 54
Hipertrófico	≥61	---

Fonte: Duarte, 1999 *apud* Toledo Jr. *et al.*, 1985.

2.4 - Metais

De acordo com Braga *et al.* (2002), um organismo aquático pode apresentar dois tipos básicos de comportamento em relação aos metais: ou é sensível à ação tóxica de um determinado metal ou não é sensível, entretanto a bioacumulação pode ser potencializada, aumentando seu efeito nocivo ao longo da cadeia trófica, colocando em risco organismos situados no topo dessa cadeia.

Em geral, metais tóxicos estão presentes em quantidades diminutas no meio aquático por ação de fenômenos naturais, mas podem ser despejados em quantidades significativas por atividades industriais, agrícolas e de mineração.

Outro problema associado à presença dos metais é que, mesmo em concentrações diminutas, eles podem gerar danos importantes aos organismos aquáticos ou ao homem. Em muitos casos tais concentrações são inferiores à capacidade de detecção dos aparelhos usualmente utilizados nos laboratórios encarregados do monitoramento da qualidade das águas. Exemplos de metais de menor toxicidade, dependendo da concentração, são o cálcio, magnésio, sódio, ferro, manganês, alumínio, cobre e zinco. Alguns desses metais podem produzir certos inconvenientes para o consumo doméstico de água pela alteração de cor, odor e sabor que os mesmos provocam (Branco *et al.* 1991).

2.4.1 – Cádmio

O cádmio é altamente tóxico às plantas e aos animais. É um metal pesado de particular interesse, pois pode acumular-se na cadeia alimentar. Ele não apresenta efeitos adversos nos ruminantes devido à pequena quantia por ele ingerida. O leite e a carne produzidos também não são afetados pela ingestão de cádmio, pelo fato deste acumular-se no fígado e nos rins dos animais, ao invés de acumular-se na gordura e nos tecidos musculosos. Nos seres humanos, a ingestão de cádmio na dieta também determina o acúmulo do elemento nos rins e pode causar doença crônica com incremento de proteínas na urina (proteinúria) (Paganini, 1997).

2.4.2 – Cobre

O cobre é um elemento bastante importante na dieta humana, normalmente encontrado em proteínas sob a forma combinada, desempenhando importante papel na formação dos eritrócitos, na absorção do ferro e na constituição de vários tecidos. A intoxicação por cobre nos animais e no homem é, particularmente, difícil de ocorrer e complexa, dada a grande diversificação na tolerância a esse metal, e pela profunda interação metabólica do cobre com outros metais e nutrientes que afeta a sua absorção, excreção e retenção nos tecidos (Paganini, 1997).

2.4.3 – Níquel

O níquel puro é um metal duro, branco prateado que pode combinar-se com outros metais, tais como o ferro, cobre, cromo e zinco para formar ligações. Estas ligações são utilizadas na fabricação de moedas, jóias, em válvulas trocadoras de calor.

O níquel pode combinar-se com outros elementos, como por exemplo, o cloro, enxofre e oxigênio para formar compostos. Muitos desses compostos se dissolvem facilmente em água e são de cor verde (ATSDR, 2003).

Segundo artigo publicado pela ATSDR (2003), pessoas que trabalham em refinarias de níquel ou plantas que processam níquel tem relataram casos de bronquite crônica e alterações no pulmão. Estas pessoas inalaram quantidades de níquel muito mais elevadas do que os níveis encontrados em ambientes normais. Alguns trabalhadores que tomaram água que

apresentavam altas concentrações de níquel sofreram dores de estômago e efeitos adversos no sangue e nos rins.

2.4.4 – Zinco

O zinco é um metal essencial ao organismo dos homens, animais e plantas por participar em, pelo menos, 70 conhecidas metaloenzimas. Embora dietas de até 500 ppm não tenham causado efeito deletério a animais, altas concentrações desse metal conduzem à contaminação de algumas culturas (Paganini, 1997).

2.4.5 – Chumbo

O chumbo era usado antigamente como metal para estruturas e na construção de edifícios à prova de intempéries. Os romanos antigos o usavam em dutos de água e recipientes de para cozinhar. De fato, análises de amostras de núcleos de gelo da Groelândia indicaram que a concentração atmosférica de chumbo atingiu um valor máximo na época dos romanos, que não foi alcançado outra vez até o Renascimento (Baird, 2002).

Embora a concentração de chumbo (Pb) esteja crescendo em algumas partes do planeta, as aplicações que resultam em sua dispersão descontrolada vêm sendo bastante reduzidas nas últimas duas décadas em muitos países ocidentais e, como consequência, sua concentração ambiental tem diminuído substancialmente (Baird, 2002).

Geralmente, o chumbo não constitui um problema ambiental até que venha a se dissolver e produzir a forma iônica. O íon estável do chumbo é a espécie Pb^{2+} . Conseqüentemente, o chumbo forma o sulfeto iônico PbS , $Pb^{2+}S^{2-}$; este composto é a base do componente metálico do minério altamente insolúvel (chamado “galena”), do qual é extraído quase todo o chumbo (Baird, 2002).



De acordo com Baird (2002), a presença de concentrações de chumbo em águas naturais é aparentemente paradoxal, dado que tanto seu sulfeto, PbS , quanto seu carbonato, $PbCO_3$, são altamente insolúveis em água.

ferrosos são parcialmente convertidos a hidróxido de ferro (II) insolúvel (Fresenius *et al.*, 1998 *apud* Lima, 2001).

4.11.8 – Sódio e Potássio

As funções principais dos cátions monovalentes sódio e potássio são o transporte e a troca de íons. Foi demonstrada uma necessidade absoluta de sódio em apenas algumas plantas.

O sódio é um elemento biológico essencial aos animais superiores; a diferença na relação de concentrações sódio e potássio nos fluidos intercelulares e extracelulares é responsável pelo transporte de íons através das membranas celulares, pela regulação da pressão osmótica dentro da célula, pela transmissão de impulsos nervosos e por outras funções eletrofisiológicas.

Não existem reservas de íons sódio no corpo dos animais, pelo que a sua perda acima de um determinado valor põe em risco o correto funcionamento celular. A privação deste íon pode levar a graves sintomas ou mesmo à morte, razão porque é reconhecida a importância do cloreto de sódio na nutrição humana. O nosso corpo elimina o íon sódio através do suor e da urina. Os sintomas que evidenciam deficiência deste íon são a sede, anorexia e náuseas podendo em casos mais graves ser a lassidão, câibras musculares ou distúrbios mentais.

Sendo um constituinte indispensável ao correto desenvolvimento das plantas, o potássio encontra-se em quase todo o tipo de solos, em diversas formas e com diferentes graus de solubilidade. O íon potássio é absorvido pelo solo através dos compostos do húmus, ou por intermédio de argilas ou zeólitas naturais. A deficiência do elemento no solo implica um atrofiamento das plantas, principalmente das suas raízes.

O potássio aparece também nos líquidos celulares dos animais sob a forma de íon monopositivo e tem um papel extremamente importante em inúmeras reações biológicas e manifestações vitais, desde a transmissão de impulsos nervosos à contração muscular.

2.4.9 – Cálcio

O cálcio tem implicado de diversas maneiras no desenvolvimento e na dinâmica populacional da flora e da fauna de água doce. É um nutriente necessário ao metabolismo normal das plantas vasculares. Nos casos em que é essencial, o cálcio é geralmente necessário como micronutriente (Wetzel, 1993).

2.4.10 – Magnésio

De acordo com Wetzel (1993), o magnésio constitui um requisito universal das plantas clorofilinas que se destina ao componente de magnésio da porfirina das moléculas de clorofila e também a participar como micronutriente nas transformações enzimáticas, especialmente nas transfosforilações feitas por algas, fungos e bactérias. As necessidades de magnésio para o metabolismo não são importantes em comparação com as quantidades geralmente à disposição na água doce. Além disso, os compostos de magnésio são muito mais solúveis que os de cálcio. Por isso nunca há precipitação de quantidades significativas de magnésio. Os monocarbonatos das águas duras são normalmente constituídos por mais de 95% de CaCO_3 à pressão normal de CO_2 . O MgCO_3 e o Mg_2OH precipitam em quantidades significativas apenas a valores de pH muito elevados (superiores a 10) na maioria das condições naturais.

2.5 - Petróleo

O petróleo é composto por uma mistura de várias substâncias com diferentes taxas de biodegradabilidade. O petróleo e seus derivados podem acidentalmente atingir corpos de água nas fases de extração, transporte, aproveitamento industrial e consumo. Entre os principais efeitos danosos impostos ao meio ambiente, estão a formação de uma película superficial que dificulta as trocas gasosas entre o ar e a água, a vedação dos estômatos das plantas e órgãos respiratórios dos animais, a impermeabilização das raízes de plantas e a ação de substâncias tóxicas nele contidas para muitos organismos (Braga, 2002).

Segundo Braile, 1979, a produção de petróleo envolve sua recuperação das fontes subterrâneas, na forma de óleo cru. Gás natural é obtido junto com o óleo em poços separados, mas sua recuperação e purificação são relativamente livres de problemas com despejos industriais.

Os despejos provenientes da produção consistem de:

- Lodos, que aparecem no processo de perfuração.
- Óleos, que aparecem devido a perdas ocasionais durante a perfuração e manuseio.
- Salmoura, que, inevitavelmente, acompanha o óleo cru.

A quantidade de salmoura em certos campos petrolíferos é aproximadamente 3,3 vezes a quantidade de petróleo bombeado e em sua composição existem 32,5% de sólidos totais e 20% de cloretos. A sua carga de sólidos pode, na verdade, ser 10 vezes superior a da água do

mar normal. A menos que exista nas redondezas um curso d'água de grande porte, para que a salmoura seja eliminada após a remoção de óleo, poderá causar problemas sérios de poluição.

As águas de produção são efluentes complexos, de salinidades elevadas, cuja composição pode variar amplamente, dependendo do tipo de campo e da sua idade, origem e qualidade do óleo, bem como do procedimento usado para sua extração. Os compostos que, normalmente, compõem esta água são: óleo disperso e dissolvido; sais minerais dissolvidos; sólidos oriundos da corrosão; graxas e asfaltenos; produtos químicos adicionados para prevenir e/ou tratar problemas operacionais, tais como biocidas, anti-incrustantes, anti-espumantes e inibidores de corrosão; e gases dissolvidos, incluindo CO₂ e H₂S (Stephenson, 1991 *apud* Vieira *et al.*, 2002).

Em áreas *onshore*, que correspondem a aproximadamente 23% da produção nacional de petróleo, a água de produção é tratada em um separador água-óleo (SAO) e reinjetada nos poços, retornando ao mesmo reservatório de onde foi retirada para promover a recuperação secundária do óleo ou é descartada no meio ambiente (Santos & Wiesner, 1997 *apud* Vieira *et al.*, 2002). Já nas áreas *offshore*, a água de produção é normalmente descartada no mar após passar pelo separador água-óleo.

O petróleo contém centenas de compostos diferentes. Estudos realizados em amostras de óleo do campo de Poncã City (Oklahoma, EUA) foram identificados cerca de 350 hidrocarbonetos, 200 compostos de enxofre, além de diversos não-hidrocarbonetos. Em termos elementares, o petróleo é composto essencialmente por carbono (80 a 90% em peso), hidrogênio (10 a 15%), enxofre (até 5%), oxigênio (até 4%), nitrogênio (até 2%) e traços de outros elementos (ex. níquel, vanádio, etc). A composição do petróleo é geralmente descrita em termos de proporção de hidrocarbonetos saturados, hidrocarbonetos aromáticos e não hidrocarbonetos (PGT, 2004).

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3. Materiais e métodos

3.1 – Caracterização da área em estudo

Geologicamente o município de Guamaré, situa-se na faixa de domínio da Bacia Potiguar, idade cretácea, entretanto predominam na região sedimentos pertencentes ao grupo Barreiras da idade terciária, formadores de solos arenosos e areno-argilosos de coloração creme avermelhada, que recobre os calcários da formação Jandaíra (estes ocorrendo somente em superfície).

No litoral o grupo Barreiras encontra-se recoberto por Dunas de composição areno-quartzosa com origem marinha e transporte eólico, enquanto na faixa estuarina predominam os aluviões recentes, com solos areno-argilosos com muita matéria orgânica, manguezal (IDEMA, 1999).

O Pólo Industrial de Guamaré localiza-se no município de Guamaré, a 38 Km de Macau e a 166 Km a noroeste de Natal, com acesso rodoviário pelas BR-406 e RN-221, ambas asfaltadas.

O município pertence à micro-região salineira Norte-Riograndense, situado a 5⁰6' de latitude e a 36⁰19' de longitude, com 3m de altitude. Sua área é de 286 Km², que representa 0,54 % do território estadual (Figura 12).



Figura 12. Campos produtores de petróleo no Rio Grande do Norte.

A Figura 12 representa o escoamento da produção de óleo e gás natural, originados nos campos de petróleo localizados em terra e em mar; Mossoró, Auto do Rodrigues, Açú e Macau destacam-se pela produção em terra, os campos situados nos mar são Pescada, Ubarana, Agulha e Arabaiana. Todo o óleo e gás produzidos nesses campos são enviados ao pólo petroquímico localizado em Guamaré onde são processados.

O Pólo de Guamaré pertence à região identificada como Bacia Hidrográfica localizada na Faixa Litorânea Norte de escoamento difuso (Figura 13). Dentre as bacias hidrológicas que compõem tal região incluem-se: rio Camurupim, Catanduba, Tomás, Pisal Sal, e os riachos Tubibau, Cabelo e Baixa Branca. A região das Bacias Secundárias do Litoral Norte foi subdividida em duas sub-zonas com características diferentes quanto à pluviometria e drenagem, quais sejam, a sub-zona de Touros e a de João Câmara.

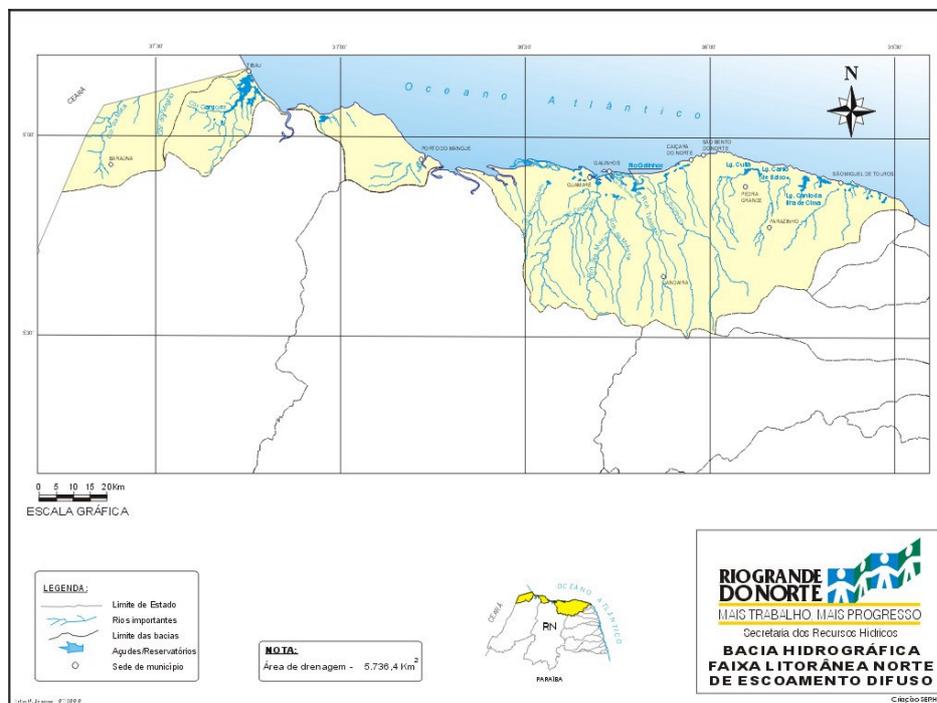


Figura 13. Localização da bacia hidrológica.

De acordo com o IDEMA (1999), em seu Relatório Informativo Municipal, a região apresenta, sob o ponto de vista hidrogeológico, o aquífero Barreiras que se apresenta confinado, semiconfinado e livre em algumas áreas. Os poços construídos mostram capacidade máxima de vazão, variando entre 5 a 100 m³/h, com águas de excelente qualidade química, com baixos teores de sódio podendo ser utilizada praticamente para todos os fins. Outro aquífero mencionado no referido relatório é Aluvião que se apresenta disperso sendo constituído pelos sedimentos geralmente arenosos depositados nos leitos e terraços dos rios e

riachos de maior porte. Estes depósitos caracterizam-se pela alta permeabilidade, boas condições de realimentação e uma profundidade média em torno de 7 metros.

O índice pluviométrico anual na sub-zona de João Câmara é da ordem de 400 mm, bem inferior aos 1000 mm da sub-zona de Touros. A região de influência do Pólo industrial de Guamaré pertence a sub-zona de João Câmara.

Os rios e riachos da sub-zona de João Câmara são intermitentes e temporários, pois não chegam a atingir o mar. O período de descarga nula destes rios e riachos é maior que o período em que há escoamento. O pequeno volume de água superficial é perdido por evapotranspiração ou por infiltração no leito arenoso.

Alguns destes cursos d'água formam lagoas na sua foz. Estima-se, segundo FIDEC (1985), que em anos úmidos o potencial hídrico superficial de escoamento seja de $4,437 \times 10^6$ m³/ano, o que é bastante reduzido considerando-se a sua extensão.

De acordo com Alexandre (2001) a Lagoa de Baixo faz parte de um sistema lacustre, que inclui outras lagoas próximas como: Cajarana, Salgada, Doce e Seca, e alguns riachos temporários normalmente oriundos da Serra do Mangue Seco. Na época de chuvas, esses riachos contribuem para aumentar significativamente o volume de água nas lagoas. A Lagoa de Baixo tem uma área aproximada de 0,4 km² (maior comprimento 1,3 km e maior largura de 0,44 km) e profundidade média de 2,2m.

A Lagoa de Baixo, que durante algum tempo, recebeu os efluentes tratados do Pólo Industrial de Guamaré-RN caracteriza-se como lagoa costeira, que são áreas de transição entre o mar e o continente e geralmente atuam como áreas de retenção de matéria.

As características dos efluentes do referido Pólo Industrial são de água oleada. As principais fontes de efluentes são o Gás Natural (UPGN) e a Estação de Tratamento de Óleo (ETO).

Os efluentes são tratados na Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) que, de acordo com Silva (2002), consiste de um tanque de decantação, onde boa parte do óleo fica flotado e sai por gravidade; a água ainda com hidrocarbonetos é levada a um tanque, onde é adicionado um polieletrólito, e a mistura passa por um separador eletrostático. Após este tratamento, o efluente é descartado no mar através de emissários. No entanto, o excedente deste efluente tratado era lançado na lagoa (esta lagoa, tipicamente de períodos úmidos, é anterior a PETROBRAS) onde era submetido aos processos naturais de decantação e degradação biológica.

A partir de agosto de 2002, com a ampliação da ETE, que contemplou a construção de um novo tanque de decantação e a entrada em operação do segundo emissário, o aporte do excedente de efluentes foi totalmente interrompido.

Durante o ano de 2002 os maiores volumes de precipitação de chuvas ocorridos no município de Guimarães foram nos meses de março e maio, de acordo com dados fornecidos pela EMPARN e apresentados na Tabela 15.

Tabela 15. Precipitação pluviométrica em 2002.

Meses	Precipitação (mm)
Janeiro	98,7
Fevereiro	45,2
Março	114,2
Abril	25,8
Maiο	166,0
Junho	70,8
Julho	Não informado
Agosto a Dezembro	Não choveu

Fonte: EMPARN, 2002.

3.3 – Amostragem

De acordo Pereira (1993), quando se pretende monitorar qualidade de água, duas formas básicas de monitoramento se apresentam. Elas são conhecidas como Estações Fixas (*Fixed Stations*) e Campanhas Intensivas (*Intensive Surveys*).

No presente estudo, o monitoramento foi realizado em estações fixas de coleta, cujas localizações (Tabela 16) foram demarcadas com o auxílio de um GPS, aparelho que utiliza o Sistema de Posicionamento Global, da marca Garmim, modelo II plus.

A existência de estações pré-fixadas com rotina de amostragem temporal caracteriza o sistema de Estações Fixas. A função deste sistema é criar uma série temporal de dados de qualidade de água, que devidamente tratada, propiciará informações para análises gerenciais tais como: tendências, impactos específicos, avaliações para projetos, caracterização de adequabilidade e enquadramento entre outras.

Tabela 16. Coordenadas e localização das estações de coleta.

Estação	Coordenadas*	Localização	Prof. Média (m)	Prof. Coleta (m)	
				Sup.	Fundo
1	24M 0790709 UTM 9432679	Saída para o canal	2,50	0,50	2,40
2	24 M 0790418 UTM 9432430	Próximo ao alojamento	1,20	0,50	-
3	24 M 0790637 UTM 9432388	Centro	4,00	0,50	3,90
4	24 M 0790795 UTM 9432431	Margem leste	1,50	0,50	-
5	24 M 0790705 UTM 9432264	Margem leste	3,00	0,50	2,90
6	24 M 0790663 UTM 9432282	Centro	3,50	0,50	3,40
7	24 M 0790502 UTM 9432292	Cont. de óleo-margem oeste	1,50	0,50	-
8	24 M 0790719 UTM 9432093	Margem leste	1,50	0,50	-
9	24 M 0790658 UTM 9432108	Centro	3,00	0,50	2,90
10	24 M 0790492 UTM 9432120	Margem oeste	1,10	0,50	-
11	24 M 0790485 UTM 9432089	Cont. de óleo-margem oeste	0,70	0,50	-
12	24 M 0790566 UTM 9432078	Centro	3,00	0,50	2,90
13	24 M 0790675 UTM 9432042	Margem leste	2,00	0,50	1,90
14	24 M 0790687 UTM 9731991	Margem leste	1,50	0,50	-
15	24 M 0790617 UTM 9431983	Centro	3,00	0,50	2,90
16	24 M 0790527 UTM 9431842	Cont. de óleo-margem oeste	0,60	0,50	-
17	24 M 0790556 UTM 9431872	Cont. de óleo-margem oeste	0,90	0,50	-
18	24 M 0790599 UTM 9431876	Centro	3,00	0,50	2,90
19	24 M 0790677 UTM 9431879	Margem leste	1,50	0,50	-
20	24 M 0790612 UTM 9431563	Início	1,10	0,50	-

*Datum South América 69

A Figura 14 é uma foto de satélite onde, podemos localizar a Lagoa de Baixo, o Pólo de Guamaré, o mangue e parte da região costeira do Rio Grande do Norte. Na indicação da referida figura, podemos observar as características alongadas da Lagoa.



Figura 14. Visualização da Lagoa de Baixo.

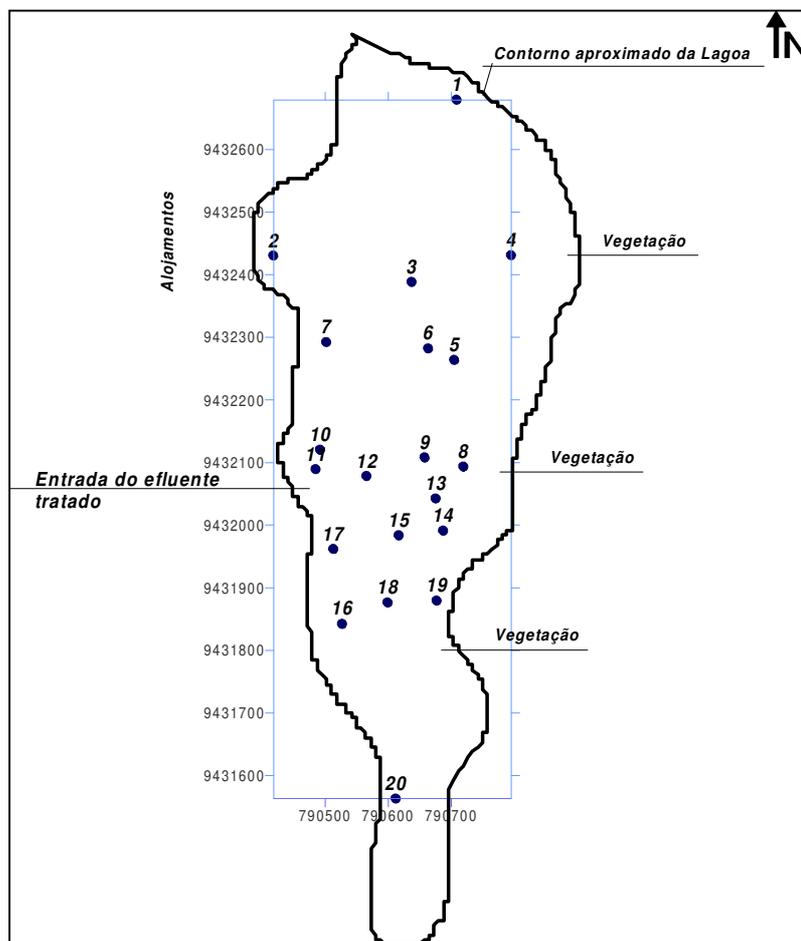


Figura 15. Visualização das estações de coleta.

Com o auxílio de um peso atrelado a uma corda graduada, foi realizado o levantamento batimétrico em cada estação demarcada, com os dados de profundidade e as coordenadas de cada ponto. A Figura 16 mostra uma idéia aproximada do relevo do fundo da lagoa.

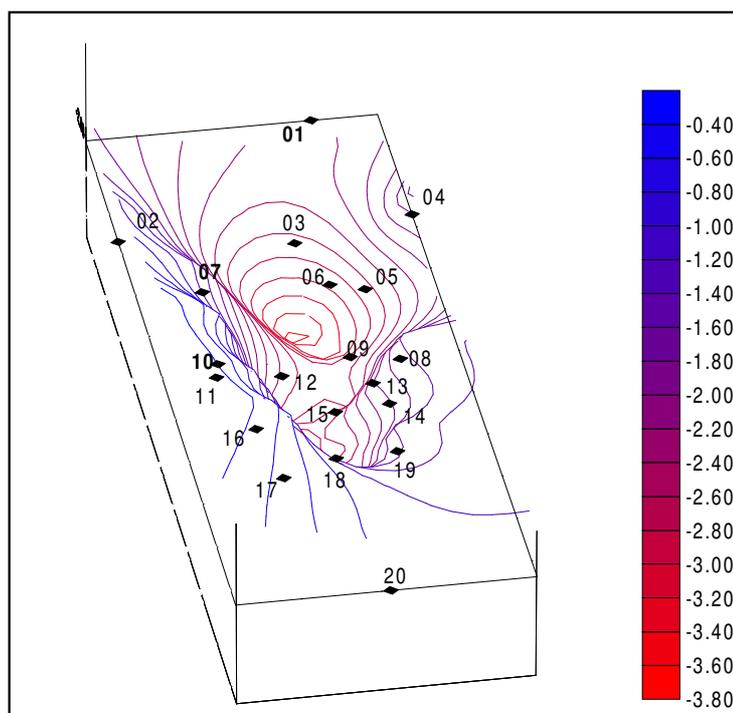


Figura 16 – Batimetria da Lagoa de Baixo.

Foram realizadas campanhas durante dez meses para tomada de amostras. A amostragem foi realizada a 0,50m da lâmina d'água em todos os pontos demarcados, e em profundidade que variaram entre 1,9 a 3,9 m de acordo com cada estação, com o auxílio de garrafa coletora modelo van Dorn vertical, apresentando capacidade de 3 litros e confeccionada em nylon (Figura 17).

Em novembro de 2002 foi realizada uma coleta especial, nas estações 01, 03, 06 e 12 com tomada de amostras realizadas a cada 50,0 cm percorrendo toda a profundidade das estações mencionadas.

Nos dois procedimentos de coleta, as amostras foram armazenadas sob refrigeração em caixas térmicas.



Figura 17. Garrafa de van Dorn utilizada na tomada de amostras.

3.3- Análises físico-químicas e bacteriológica

Para a obtenção dos Índices de Qualidade de Água aditivo e multiplicativo e Quociente de Qualidade Ambiental foram determinados os parâmetros temperatura, pH, turbidez, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), sólidos totais, nitrogênio total (NT), fósforo total, coliformes fecais e demanda química de oxigênio (DQO).

Os parâmetros condutividade, sulfato, sulfeto, teor de óleos e graxas, metais pesados como ferro, cádmio, níquel, zinco, cobre, cromo total, chumbo, sódio, potássio, cálcio e magnésio, foram contemplados nesta pesquisa. Abaixo, estão descritas de maneira sucinta as metodologias empregadas na determinação de cada parâmetro avaliado.

3.3.1- Temperatura

A temperatura foi determinada com o auxílio de termômetro digital com haste.

3.3.2- pH

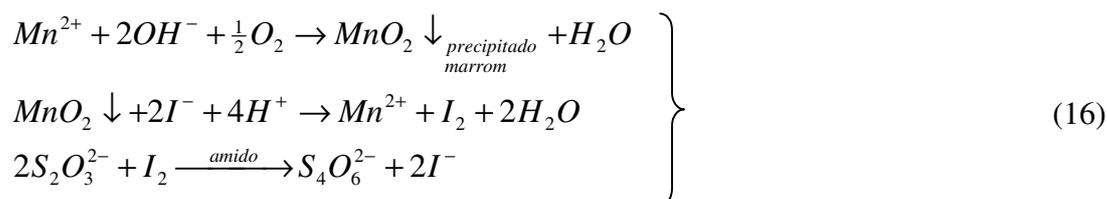
Na determinação do pH foi utilizado o método potenciométrico com o auxílio do pHmetro Digimed modelo DM2.

3.3.3- Turbidez

A avaliação da turbidez foi efetuada com o turbidímetro HACH modelo 2100P cujo princípio de leitura baseia-se no método nefelométrico (seção 2130 B) descrito no APHA *et al.* (1985).

3.3.4- Oxigênio Dissolvido – OD

Na determinação do OD foi utilizado o método de Winkler ou método modificado de azida, cujos valores de OD são obtidos mediante titulação do iodo com solução de tiosulfato de sódio, após fixação do OD na amostras com a solução alcalina de iodeto de azida, sulfato manganoso com limite de detecção em $\pm 50\mu\text{g/L}$ com precisão oscilando $\pm 5\mu\text{g/L}$; apesar deste método está descrito no APHA *et al.* (1995), seção 4500-O B, apresentamos de maneira resumida as reações envolvidas nesta determinação.



3.3.5- Demanda Bioquímica de Oxigênio 5 – DBO₅

Nesta determinação foi utilizado o método descrito no APHA *et al.* (1995) seção 5210 B, cujo princípio consiste em medir por titulação com tiosulfato de sódio, o OD inicial e o OD ao final de 5 dias de incubação a 20 C, a diferença entre as leituras define a DBO da amostra.

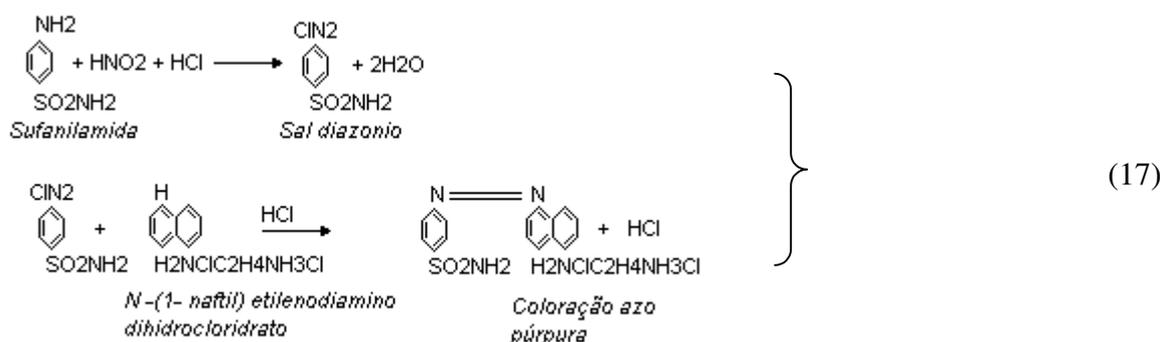
3.3.6- Sólidos totais

Utilizou-se o método gravimétrico na determinação deste parâmetro descrito no APHA *et al.* (1995) seção 2540 B.

3.3.7- Nitrogênio Total

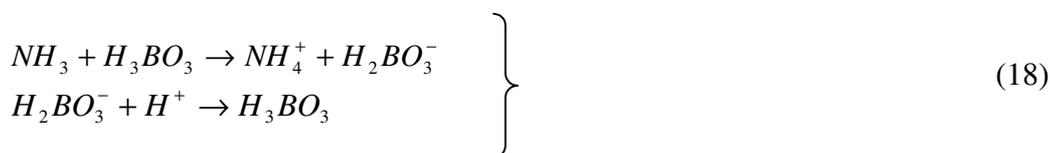
Na determinação do nitrogênio total foram somados os valores obtidos para os parâmetros Nitrito, Nitrato, Nitrogênio amoniacal e Nitrogênio orgânico.

Na determinação do nitrito presente nas amostras, foi utilizado o método colorimétrico descrito na seção 4500-NO₂⁻ B APHA *et al.* (1995), sendo empregado sulfanilamida e N – (1-Naftil) Etilenodiamino dicloridrato (NED) para desenvolvimento de coloração e leituras efetuadas no espectrofotômetro da HACH modelo DR2000, as principais reações ocorridas estão apresentadas abaixo:

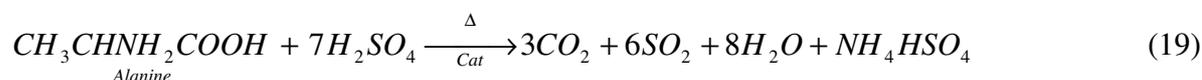


Na determinação dos valores de nitrato foi utilizado o método espectrofotométrico, com leituras realizadas no equipamento Ultrospec III da Pharmacia Biotech descrito na seção 4500-NO₃⁻ B do APHA *et al.* (1995).

O nitrogênio amoniacal foi avaliado utilizando o método titulométrico preconizado pelo APHA *et al.* (1995) seções 4500-NH₃ B e 4500-NH₃ C, as reações envolvidas estão apresentadas abaixo:



O nitrogênio orgânico foi determinado pelo método Kjeldahl, onde a amostra é submetida a uma digestão ácida, e a obtenção dos dados é feita por titulometria utilizando H₃BO₃ (Equação 18), a equação abaixo apresenta a reação envolvida no processo.



3.3.8- Fósforo total

Na determinação do fosfato total foi utilizado o método do ácido ascórbico preconizado no APHA *et al.* (1995) seção 4500-P E, e as leituras foram realizadas no espectrofotômetro da HACH modelo DR2000.

3.3.9- Coliformes totais

A concentração de coliformes fecais foi utilizado o substrato cromogênico como meio de cultura da Merck e incubados a temperatura de $36^{\circ} \text{C} \pm 0,5\text{C}$ em incubadora da marca Galenkamp.

3.3.10- Demanda Química de Oxigênio – DQO

A DQO foi determinada utilizando o método titulométrico com refluxo fechado no processo de digestão da amostra, de acordo com o APHA *et al.* (1995) seção 5220 C.

3.3.11- Condutividade

Nas determinações da condutividade foi utilizado o método potenciométrico com o auxílio condutivímetro DM31 da Digimed.

3.3.12- Sulfato

A concentração de sulfato foi determinada utilizando o método turbidimétrico descrito no APHA *et al.* (1995) seção 4500-SO₄²⁻ E, com as leituras realizadas no espectrofotômetro da HACH modelo DR2000.

3.3.13- Sulfeto

Na determinação da concentração de sulfeto foram utilizados kits da marca Hach, baseado no método do azul de metileno para desenvolvimento de coloração, sendo as leituras realizadas no espectrofotômetro da HACH modelo DR2000.

3.3.14- Teor de Óleos e Graxas – TOG

Na determinação da concentração de óleos e graxas foi utilizado o método gravimétrico com extração por soxhlet citado na seção 5520 D do APHA *et al.* (1995).

3.3.15- Metais

Os elementos ferro, cádmio, níquel, zinco, cobre, cromo total, chumbo, sódio, potássio, cálcio e magnésio, foram analisados pelo método de absorção atômica, com a utilização de ácido nítrico para abertura das amostras e concentração dos elementos em análise em placa aquecedora da Quimis a temperatura de 270° C. Na leitura das amostras foi utilizado o SpetrAA 10 plus da Varian. Os comprimentos de onda, os limites de detecção e o gás utilizado estão apresentados na Tabela 17.

Tabela 17. Configurações utilizadas na determinação dos metais.

Elemento	Comprimento de onda (nm)	Detecção mg/L*	Gases utilizados
Cálcio	239,9	2 – 800	Acetileno – óxido nitroso
Cádmio	228,8	0,02 – 3	Ar – acetileno
Cromo	357,9	0,06 – 15	Ar – acetileno
Cobre	324,7	0,03 – 10	Ar – acetileno
Ferro	248,3	0,06 – 15	Ar – acetileno
Potássio	404,4	15 – 800	Ar – acetileno
Sódio	330,2	2 – 400	Ar – acetileno
Magnésio	202,6	0,15 – 20	Acetileno – óxido nitroso
Níquel	232,0	0,1 – 20	Ar – acetileno
Chumbo	217,0	0,1 – 30	Ar – acetileno
Zinco	213,9	0,01 – 2,0	Ar – acetileno

* Faixa de detecção do equipamento.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÕES

4 – Resultados e discussões

4.1 – Caracterização do efluente

Durante o período de avaliação foram tomadas amostras do emissário e no ponto de descarte de efluente na lagoa o qual foi denominado Saída da ETE. Os dados estão apresentados na Tabela 18 abaixo. Esses dados foram usados na comparação dos principais parâmetros analisados nas amostras de água da lagoa.

Tabela 18. Caracterização dos efluentes.

Parâmetro	Unidade	S. ETE
Temperatura	C	38,70
DQO	mg O ₂ /L	137,05
DBO	mg O ₂ /L	26,93
OD	mg O ₂ /L	0,00
Cloreto	mg Cl ⁻ /L	767,50
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	401,09
TOG	mg/L	41,75

4.2 – IQA aditivo e multiplicativo

4.2.1 – Avaliação sazonal

Os valores médios obtidos para os Índices de Qualidade de Água Aditivo e Multiplicativo, em cada campanha, estão apresentados na Figura 18, onde se observa um aumento nos seus valores no mês de julho, podendo esse aumento, ser atribuído ao reflexo da estação chuvosa, ocorrida nos meses anteriores. A partir do mês de agosto, ocorreu a interrupção do aporte dos efluentes na lagoa, propiciando um discreto aumento nos índices estudados.

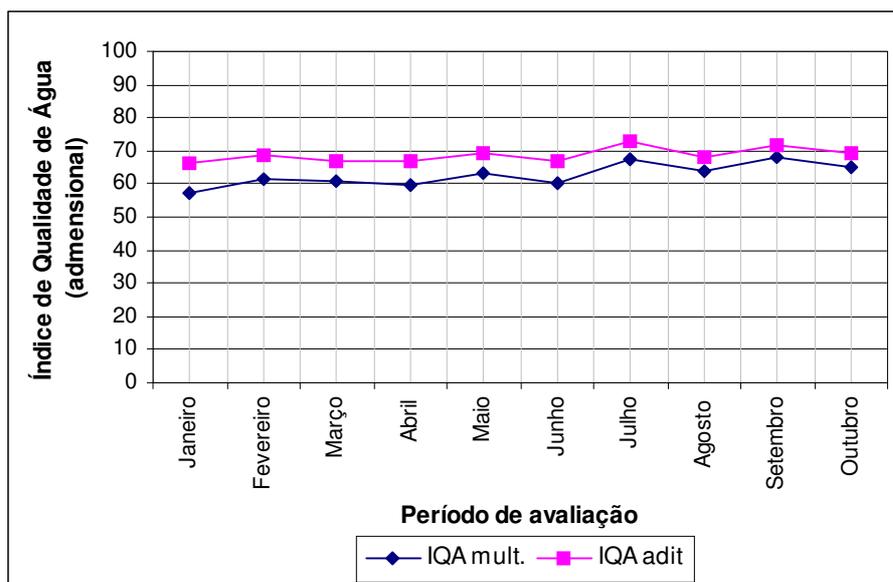


Figura 18. Distribuição temporal dos índices estudados.

Todas as médias encontradas classificam a água da lagoa como “boa” de acordo com o preconizado por CETESB (2002) na Tabela 2. No entanto, durante o período de monitoramento foram encontrados valores mínimos que enquadrariam a água na categoria “aceitável” ou até mesmo “imprópria para tratamento”. Esses valores mínimos ocorreram em estações localizadas próximo ao ponto de descarte, cujo aspecto será discutido no item posterior.

4.2.2 – Avaliação espacial

A avaliação espacial permitiu a visualização dos dados obtidos em todas as estações monitoradas distribuídos na área da lagoa, viabilizando a análise do comportamento dos índices estudados. Nos gráficos onde estão distribuídos os dados de superfície foram considerados os valores médios do IQA (aditivo e multiplicativo) obtidos em cada campanha.

As Figuras 19 e 20 apresentam o comportamento do IQA aditivo na superfície e fundo da Lagoa de Baixo, respectivamente. As regiões de coloração mais intensa indicam os menores valores encontrados para o IQA, que estão próximos do ponto de descarte de efluente tratado e nas regiões mais profundas. O comportamento das curvas do IQA, apresentado nas figuras citadas, indica uma concentração baixa dos valores de IQA próximo a região de maior concentração dos poluentes, aumentando seus valores ao longo da lagoa, provavelmente em

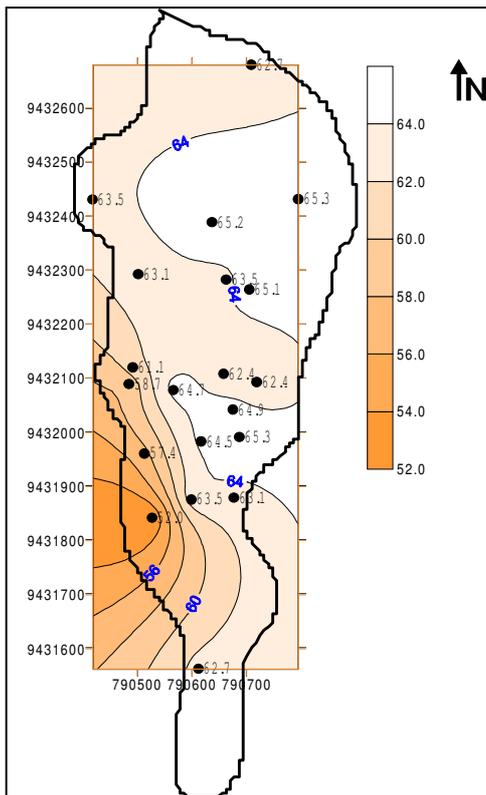


Figura 21. Distribuição espacial do IQA_{Mult} na superfície da lagoa.

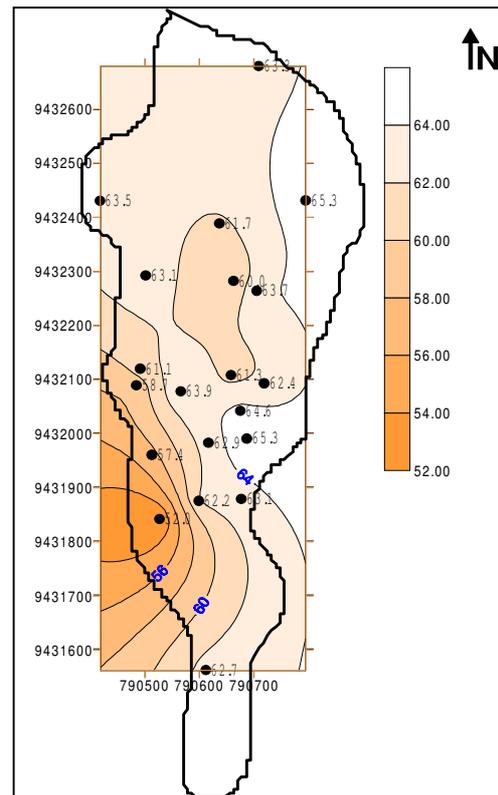


Figura 22. Distribuição espacial do IQA_{Mult} No fundo da lagoa.

As Figuras discutidas acima permitiram a visualização das tendências da distribuição dos valores obtidos. Outra avaliação espacial pode ser realizada, com ênfase nas médias globais de todas as estações estudadas. Na Figura 23, cada ponto plotado representa a média dos índices obtidos nas dez campanhas realizadas em relação a cada estação de amostragem. Para melhor visualização dos dados, optou-se por agrupá-los de forma sequenciada - margens leste e oeste, centro – seguindo a ordem apresentada na Figura 15.

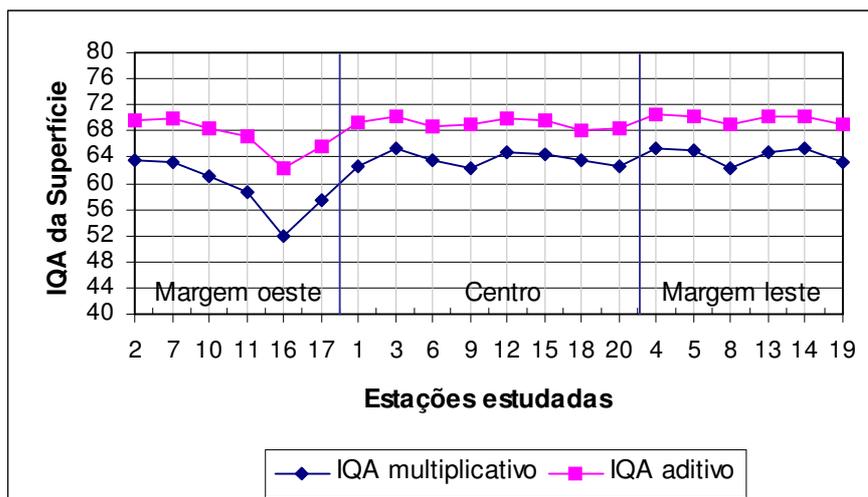


Figura 23. Média global dos índices nas estações – superfície.

Na margem leste, as estações 10, 11, 16 e 17 que se localizavam próximo ao ponto de descarte, apresentaram as menores médias o que justifica as médias baixas apresentadas durante o período de avaliação.

A mesma avaliação foi realizada para as amostras coletadas no fundo da lagoa (Figura 24) cujas profundidades variaram entre 1,90 m e 3,90 m (Tabela 14). De acordo com estas características, foram obtidos dados para os índices ($IQA_{Adit.}$ e $IQA_{Mult.}$) em grande parte das estações localizadas no centro da lagoa e em duas estações da margem oeste.

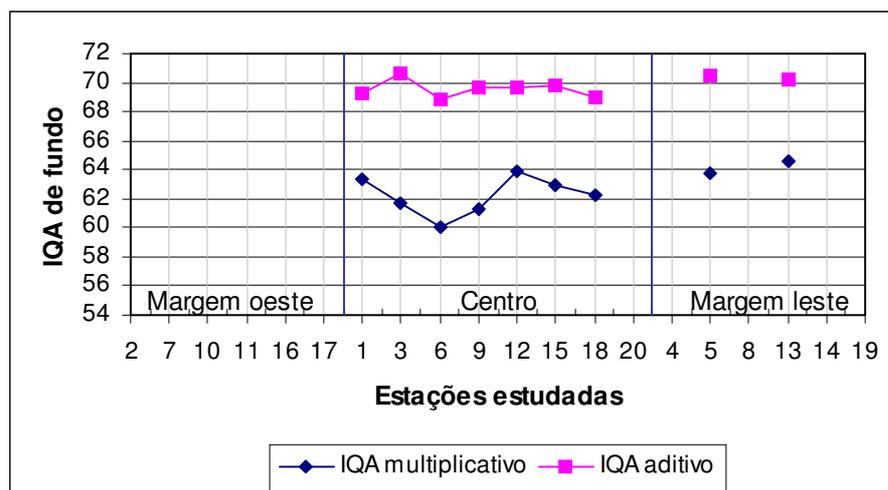


Figura 24. Média global dos índices nas estações – fundo.

4.3 – Relação entre DBO e OD

Como mencionado anteriormente, na determinação do IQA tanto aditivo quanto multiplicativo, é realizada a partir dos valores de nove parâmetros, dentre estes se destacam a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e o Oxigênio Dissolvido (OD), que apresentam obviamente uma relação inversa. Estes parâmetros foram avaliados durante todo o período de estudo e o comportamento de seus valores médios tomados em todas as estações nas dez campanhas realizadas, estão apresentados na Figura 25.

Para melhor compreensão dos dados plotados, optou-se por alocar no eixo da esquerda os valores da DBO e no eixo da direita os dados encontrados para o OD. Esse formato permite comparar os parâmetros de forma individual, ao mesmo tempo em que pode ser realizada uma avaliação entre eles. A DBO, que é uma indicação de degradação da matéria orgânica pelos microrganismos, apresentou, durante as dez campanhas, redução no seu valor, apresentando valores médios iniciais de 20,6 mg/L chegando a 3,85 mg/L nas últimas amostragens.

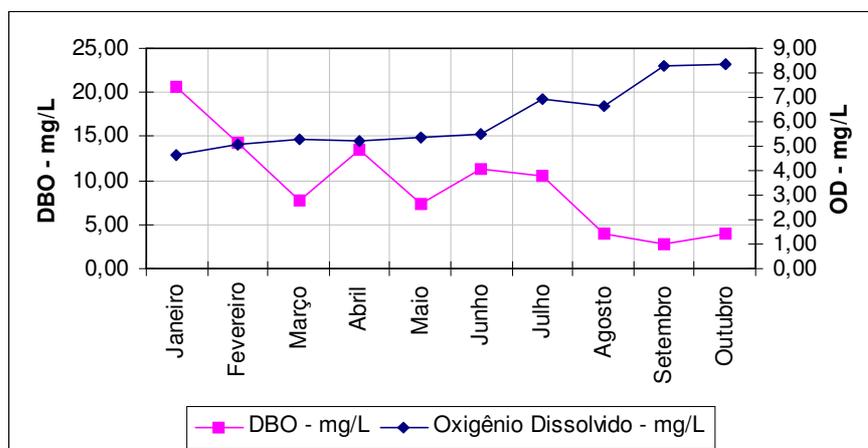


Figura 25. Distribuição temporal da DBO e OD.

De maneira inversa o OD, presente na Lagoa de Baixo, aumentou sendo observado valores médios nas campanhas iniciais de 4,7 mg/L, atingindo valores de 8,4 mg/L ao final do estudo. Alguns fatores podem ter influenciado essas alterações onde se pode destacar as chuvas ocorridas nos meses de março, abril e maio, o que propiciou uma diluição no corpo lântico. Outro fator que pode ser destacado é a interrupção do aporte de efluente no mês de agosto, refletindo positivamente na alteração destes parâmetros.

De acordo com Camargo & Miyal (1988) *apud* Esteves (1998), o padrão de distribuição de oxigênio em ecossistemas aquáticos é, via de regra, inverso ao gás carbônico.

Este fato é mais evidente durante um dia ensolarado, quando ocorre na zona eufótica um intenso consumo de gás carbônico devido à fotossíntese, ao mesmo tempo em que ocorre uma produção considerável de oxigênio. Por outro lado, na zona afótica, devido à atividade microbiana (decomposição da matéria orgânica), há uma alta produção de gás carbônico e correspondente consumo de oxigênio. Este fenômeno ocorre mesmo em lagoas rasas, como é o caso do lago Curuçá, no Pará, onde a partir de dois metros de profundidade observa-se forte déficit de oxigênio e acentuado aumento de gás carbônico.

4.4 – Relação entre Temperatura e OD

A solubilidade dos gases é inversamente proporcional à temperatura (Lei de Henry), quanto mais próximo da temperatura crítica que é a temperatura em que o gás pode ser encontrado em estado líquido, mais solúvel será o gás nesse líquido. Assim sendo, a temperatura média de estudo foi muito acima da temperatura crítica diminuindo assim a solubilidade do oxigênio na água da Lagoa. Cada acréscimo na temperatura implicava na diminuição da solubilidade e, por conseguinte, na diminuição da concentração de OD.

A Figura 26 apresenta o comportamento destes dois parâmetros, durante o período de avaliação.

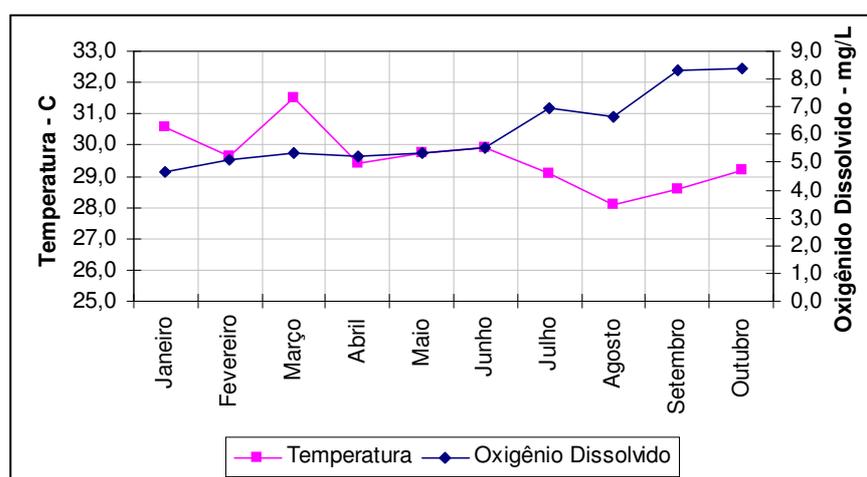


Figura 26. Distribuição temporal da Temperatura e do OD na Lagoa.

Os valores do OD permaneceram estáveis, na ordem de 5 mg/L, entre os meses de fevereiro a junho. Neste período as temperaturas das amostras oscilaram entre 31,5 °C a 29,9 °C, e a oscilação de 1,6 °C, aparentemente, não interferiu na concentração do OD. No entanto, a partir do mês de julho, foi observado aumento nos valores obtidos para o OD, coincidindo

com uma discreta redução nos valores da temperatura. Os dados médios do OD, deste período, variaram entre 6,94 mg/L, em julho, a 8,36 mg/L, em outubro, para a temperatura obteve –se valores médios na ordem de 29 °C, nos meses de julho e outubro, e de 28 °C, nos meses de agosto e setembro. Diante do que foi verificado pode-se afirmar que a redução da temperatura influenciou de maneira positiva na concentração do OD. Esta redução pode ser atribuída às condições climáticas da região, como também redução do aporte de efluente.

4.5 – Avaliação da DBO e DQO

A Demanda Química de Oxigênio é outro parâmetro que avalia o consumo de oxigênio de um meio aquático ou de um efluente. A diferença entre DQO e DBO, é a sua capacidade de considerar, em sua determinação, a influência do conteúdo que não é passível de degradação biológica. Valores baixos de DBO podem, em muitos casos, levar o analista a pensar de maneira errada quanto ao nível de impacto proporcionado por algumas cargas poluidoras, que podem apresentar baixo conteúdo orgânico biodegradável, mas altas concentrações de resíduos químicos de difícil degradação natural. Como foi mostrado anteriormente, no cálculo do IQA (Tabela 2), a DQO não está entre os parâmetros que contribuem para o seu cálculo. No entanto, considerou-se importante, contemplar sua determinação neste estudo, em função dos efluentes serem de origem petroquímica.

Na Figura 27 observa-se que, a DBO decresceu durante o período de avaliação. Em contrapartida, a DQO que não apresentou grandes oscilações até o mês de agosto (mês de interrupção do aporte de efluente), onde se observa aumento da DQO, apesar dos valores para DBO ser da ordem de 3 mg/L neste período (nos meses de setembro e outubro).

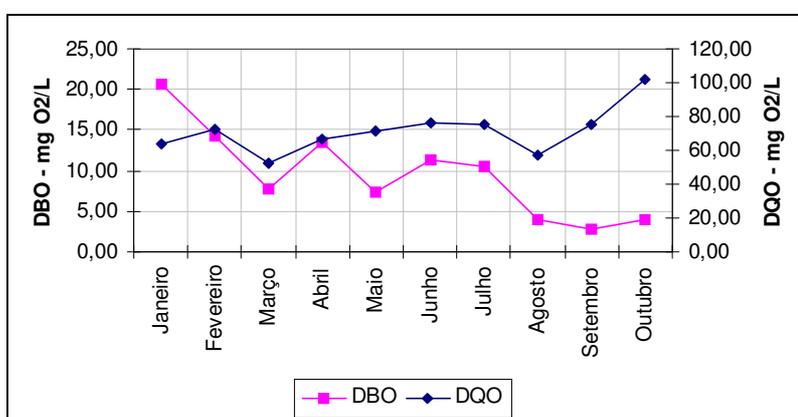


Figura 27. Distribuição temporal da DBO e da DQO na Lagoa de Baixo.

A Lagoa de Baixo, na época do monitoramento, não apresentou nenhum tributário natural, sendo este papel desempenhado pelo fluxo intermitente dos efluentes tratados do pólo de Guamaré. A interrupção deste volume de água, aliado ao período de estiagem, deu início ao processo de evaporação da lâmina d'água, propiciando, dessa forma, a concentração dos sais e das substâncias químicas presentes na coluna d'água e no sedimento. Isso implicou em um relativo aumento da DQO nos meses de setembro e outubro.

4.6 – Comportamento do Nitrogênio e Fósforo

A presença dos nutrientes fósforo e nitrogênio no meio aquático é importante, pois eles participam da maioria das rotas metabólicas de muitos microorganismos e plantas, favorecendo o equilíbrio biológico neste ambiente. No entanto, quando estão em concentrações elevadas, podem causar desequilíbrio originando a eutrofização deste compartimento.

Os nutrientes Nitrogênio e Fósforo foram avaliados, por integrarem o conjunto de parâmetros que constituem o IQA. Os valores médios encontrados estão representados na Figura 28, onde se verifica que as concentrações de Nitrogênio oscilaram, durante o período de avaliação, com valores variando entre 1,60 mg/L a 7,50 mg/L com média 3,74 mg/L. Os valores obtidos para o Fósforo total foram baixos, com mínimo de 0,009 mg/L e máximo de 0,067 mg/L.

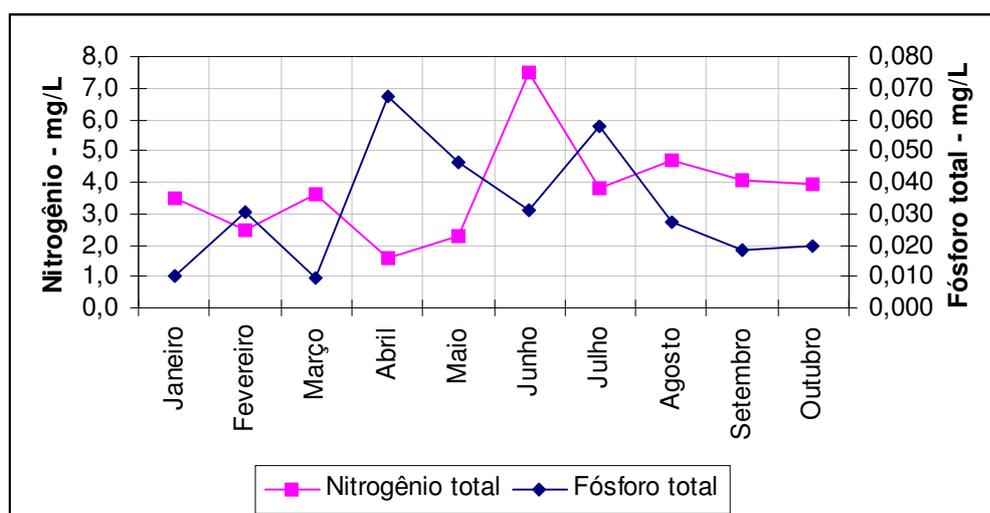


Figura 28. Distribuição temporal do Nitrogênio e Fósforo.

4.7 – Comportamento do Cloreto, Alcalinidade e Sulfato.

Segundo Wetzel (1993), a composição iônica da água depende fundamentalmente das soluções diluídas e dos compostos alcalinos do solo, em particular bicarbonatos, carbonatos, sulfatos e cloretos.

A concentração de sais na lagoa, a enquadram na categoria de salobra. Foram determinadas as concentrações de Cloretos e Sulfatos, como também a Alcalinidade Total (Figura 29). Estes parâmetros não participaram nos cálculos para determinação do IQA, mas foram monitorados durante o período de avaliação, com o objetivo de identificar suas oscilações no monitoramento. Como pode ser observada na Figura 29, a contribuição da concentração dos cloretos é muito maior em relação às concentrações de Sulfato e da Alcalinidade Total.

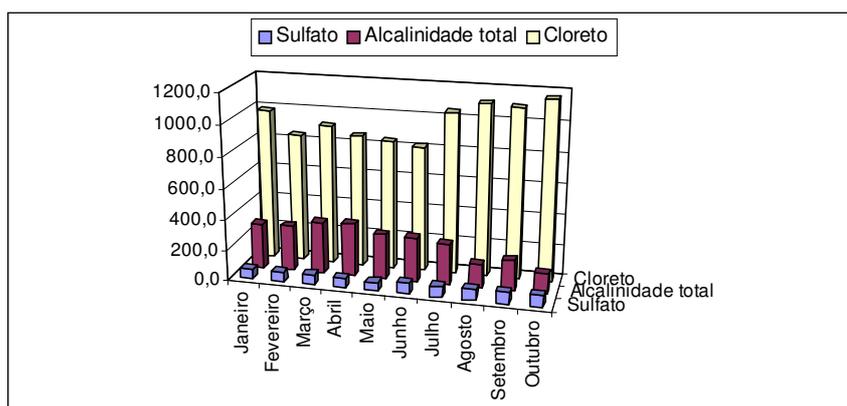


Figura 29. Distribuição temporal do sulfato, cloreto e alcalinidade.

4.8 – Teor de óleos e graxas

O teor de óleos e graxas foi avaliado no afluente da lagoa (S. ETE), no emissário e em algumas estações estratégicas (estações 1, 3, 9, 15 e 16). As estações 1 e 3 foram localizadas afastadas do ponto de descarte de efluente, as estações 9 e 16 estão próximas ao aporte de efluente e a estação 15 localiza-se no centro da lagoa. O resultados estão apresentados na Figura 30.

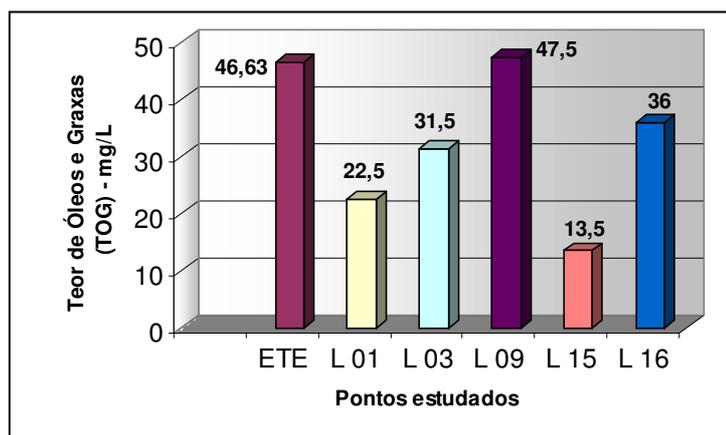


Figura 30. Concentração de TOG em alguns pontos estudados.

Esta avaliação foi realizada em duas campanhas, nos meses de junho e outubro. No entanto, as concentrações encontram-se acima dos limites estabelecidos pela resolução nº 20 do CONAMA (1986), que preconiza teores virtualmente ausentes.

4.9 – Avaliação Limnológica

A Lagoa de Baixo apresenta, características alongadas (ver Figura 14), e seu formato irregular dificulta a determinação de sua área. No entanto, em estudo realizado por Alexandre (2001), a Lagoa de Baixo tem uma área aproximada de 0,4 km² (maior comprimento 1,3 km e maior largura de 0,44 km) e profundidade média de 2,2m e volume aproximado de 0,00126 km³ (1 258 400 m³) considerando as maiores dimensões. No presente estudo, foram alocadas, estações de coleta nas regiões litorânea e limnética (ver Figura 15).

A lagoa apresenta vegetação nas suas margens, com exceção do trecho que estão alocados alguns tanques de armazenagem de óleo, a estação de tratamento de efluentes, a praça da administração central do pólo e o alojamento, (estruturas localizadas na margem oeste). As Figuras 31 e 32 fornecem uma razoável visualização do mencionado trecho.



Figura 31. Trecho da Lagoa sem vegetação - margem oeste da Lagoa.



Figura 32. Trecho dos alojamentos e início da vegetação da margem oeste.

Na Figura 32 pode ser observado, a partir da esquerda, os alojamentos e a vegetação ciliar composta basicamente por árvores de pequeno e médio porte, além de vegetação rasteira que invade a região litorânea.

Na margem oposta (margem leste), toda a vegetação é composta de gramíneas de juncos e capins que, apresentaram-se alagadas em grande parte da extensão desta margem. As Figuras 33 e 34 abaixo auxiliam no entendimento deste trecho.



Figura 33. Indicação da vegetação presente na margem leste.



Figura 34. Vegetação presente na margem oposta – margem leste.

A interrupção das cargas afluentes, em agosto de 2002, influenciou diretamente na redução do nível da lâmina d'água existente. Esta redução pode ser visualizada na Figura 35 abaixo, onde está indicado o nível anterior da lagoa (Figura 31 editada).



Figura 35. Indicação do nível anterior da lagoa – outubro 2002.

4.9.1 – Índice de Estado Trófico - IET

Como foi mencionado anteriormente, o IET nos fornece uma possibilidade de avaliar a tendência de eutrofização de meio aquático. Neste estudo foram utilizados o modelo original proposto por Carlson (1977) (Equação 10) e a modificação da mesma expressão adaptada a ambientes tropicais (Equação 11), com o objetivo de avaliar qual dos modelos seria mais representativo na classificação do estado de eutrofização da Lagoa de Baixo. É importante ressaltar que os dados utilizados nesta avaliação foram os relacionados com as concentrações de fósforo total, sendo que para se ter um completo diagnóstico do índice de trofia de um corpo aquático é necessário levar em consideração outros parâmetros como clorofila e transparência.

Nas Figuras 36 e 37 estão apresentadas as distribuições dos agrupamentos dos dados obtidos do IET para as duas expressões testadas (Equações 10 e 11). Onde se observa que, para o conjunto de dados analisados e plotados na Figura 36.

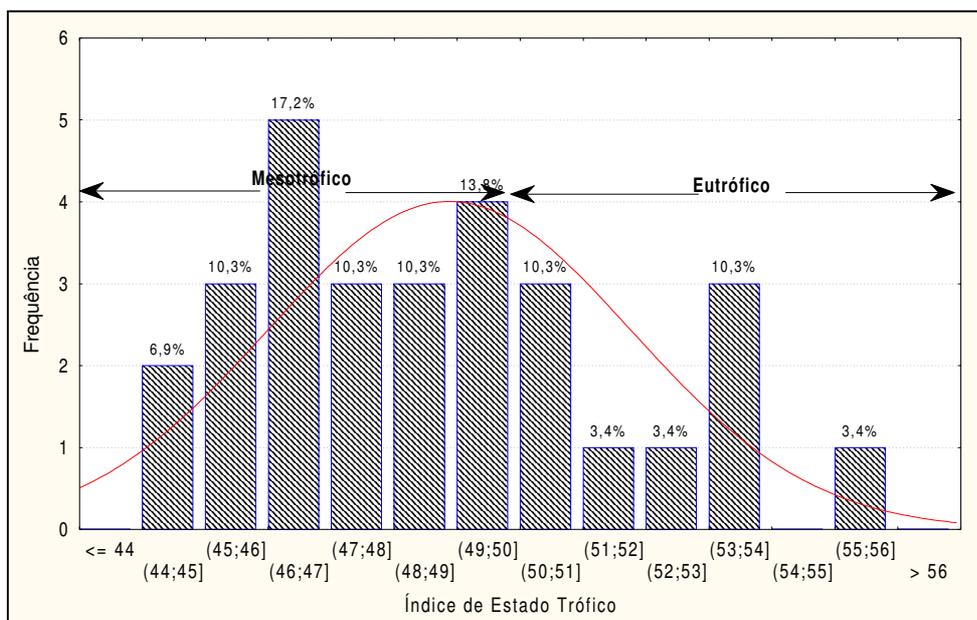


Figura 36. Histograma do IET – modelo original.

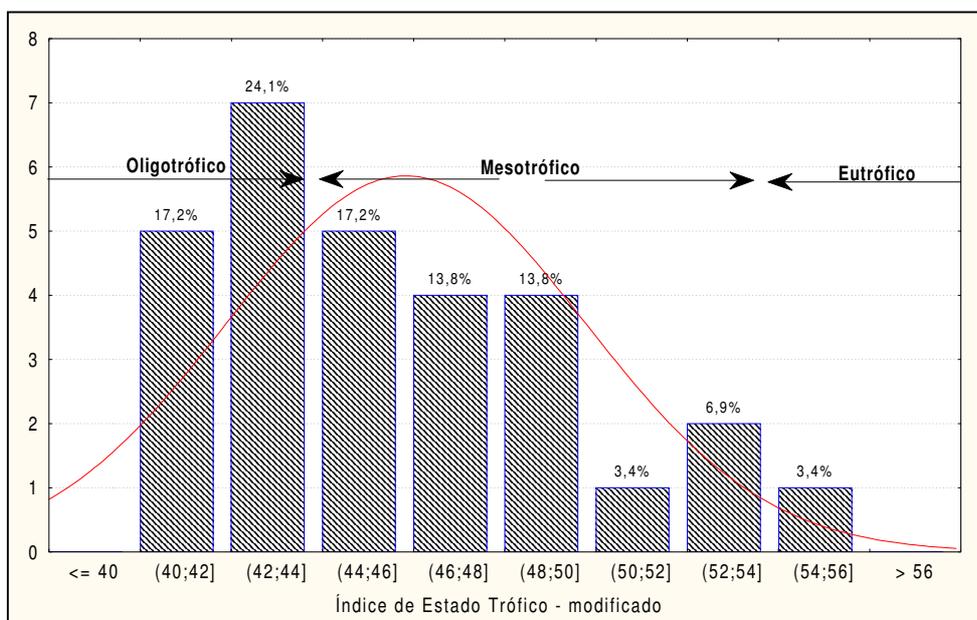


Figura 37. Histograma do IET – modelo modificado.

Na avaliação tomando como referência às médias de cada estação durante os dez meses de estudo, se observa que nas amostras de superfície, coletada a 0,50m da lâmina d'água, tendências mesotróficas em relação ao modelo original proposto por Carlson (Equação 10), no entanto, ao aplicarmos o modelo Carlson adaptado para ambientes tropicais, a classificação apresentou tendências oligotróficas a mesotróficas.

Nas amostras coletadas em profundidade os dois modelos forneceram a mesma tendência mesotrófica (Tabela 20).

Tabela 19. Classificação espacial do IET nos dois modelos utilizados para o seu cálculo nas amostras de superfície.

Ponto	IET	Classificação	IET mod	Classificação
1	50,98	Mesotrófico	49,23	Mesotrófico
2	44,82	Mesotrófico	40,34	Oligotrófico
3	47,04	Mesotrófico	43,54	Oligotrófico
4	48,43	Mesotrófico	45,55	Oesotrófico
5	46,36	Mesotrófico	42,56	Oligotrófico
6	46,31	Mesotrófico	42,49	Oligotrófico
7	46,65	Mesotrófico	42,97	Oligotrófico
8	48,49	Mesotrófico	45,63	Mesotrófico
9	45,97	Mesotrófico	42,00	Oligotrófico
10	49,15	Mesotrófico	46,58	Mesotrófico
11	49,93	Mesotrófico	47,71	Mesotrófico
12	45,68	Mesotrófico	41,57	Oligotrófico
13	48,47	Mesotrófico	45,59	Mesotrófico
14	45,89	Mesotrófico	41,88	Oligotrófico
15	46,89	Mesotrófico	43,33	Oligotrófico
16	52,05	Eutrófico	50,77	Mesotrófico
17	55,33	Eutrófico	55,49	Eutrófico
18	46,12	Mesotrófico	42,21	Oligotrófico
19	47,66	Mesotrófico	44,43	Mesotrófico
20	50,38	Mesotrófico	48,36	Mesotrófico

Tabela 20. Classificação espacial do IET nos dois modelos utilizados para o seu cálculo nas amostras de fundo.

Ponto	IET	Classificação	IET mod	Classificação
1A	49,37	Mesotrófico	46,89	Mesotrófico
3A	49,55	Mesotrófico	47,16	Mesotrófico
5A	47,76	Mesotrófico	44,57	Mesotrófico
6A	53,50	Eutrófico	52,85	Mesotrófico
9A	50,98	Mesotrófico	49,22	Mesotrófico
12A	44,98	Mesotrófico	40,57	Oligotrófico
13A	53,44	Eutrófico	52,77	Mesotrófico
15A	54,00	Eutrófico	43,33	Oligotrófico
18A	51,19	Eutrófico	49,53	Mesotrófico

Nas Figuras 38 a 41 pode-se visualizar as tendências do IET mencionadas nas tabelas anteriores. Nas figuras as tendências dos níveis de eutrofização estão indicadas através da variação de intensidade da cor, ou seja, a maior intensidade da cor indicará maior tendência de eutrofização.

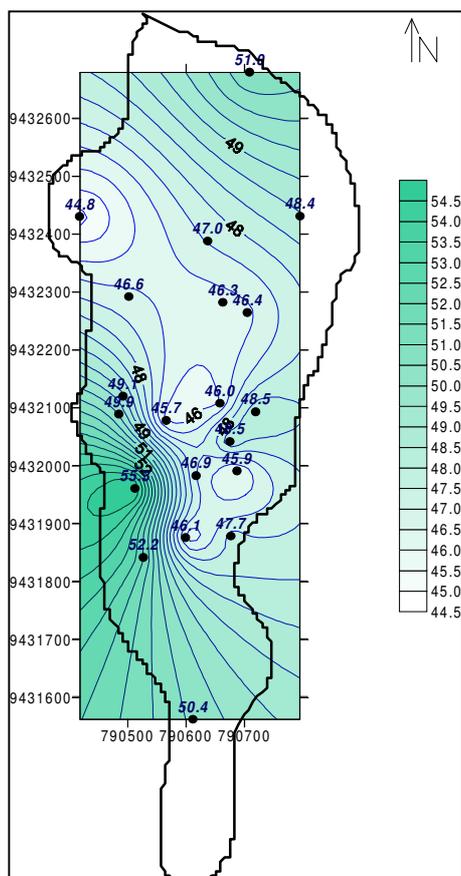


Figura 38. Distribuição do IET na superfície da Lagoa.

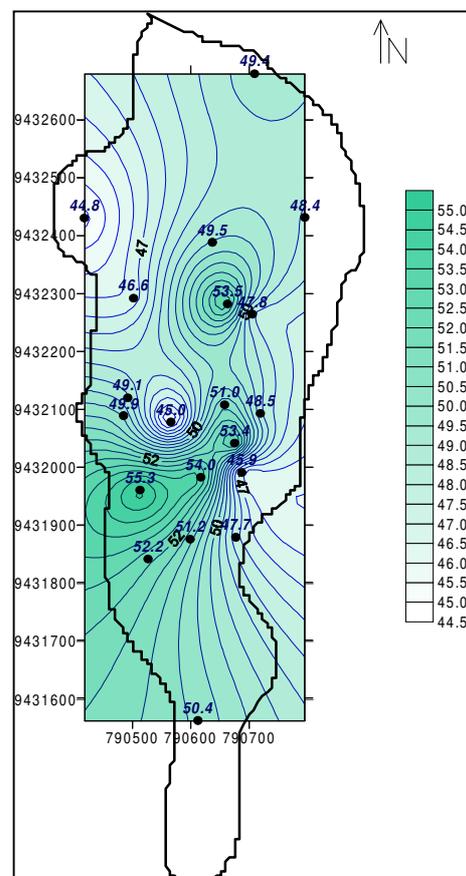


Figura 39. Distribuição do IET no fundo da Lagoa.

Desse modo, podemos identificar que na distribuição do IET na superfície, se observa valores altos para o índice próximo a área de contenção de óleo com diminuição gradual ao longo da lagoa. Na avaliação realizada nas amostras de fundo foram observados valores maiores nos pontos mais profundos.

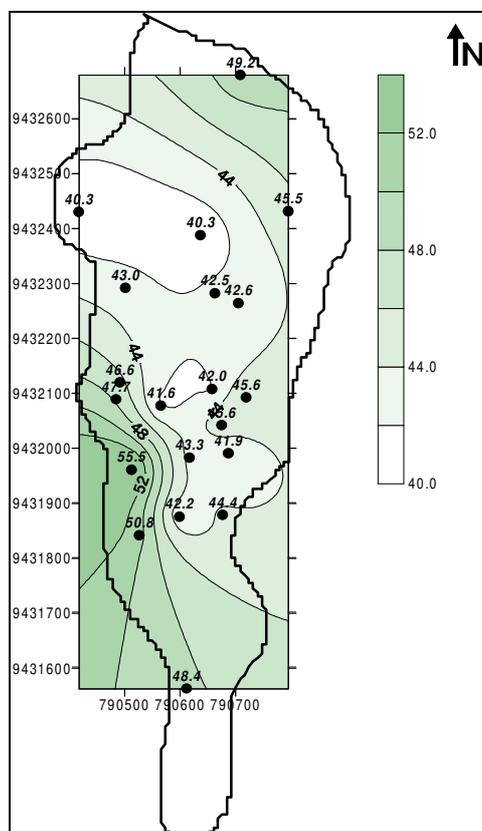


Figura 40. Distribuição do IET modificado na superfície da Lagoa.

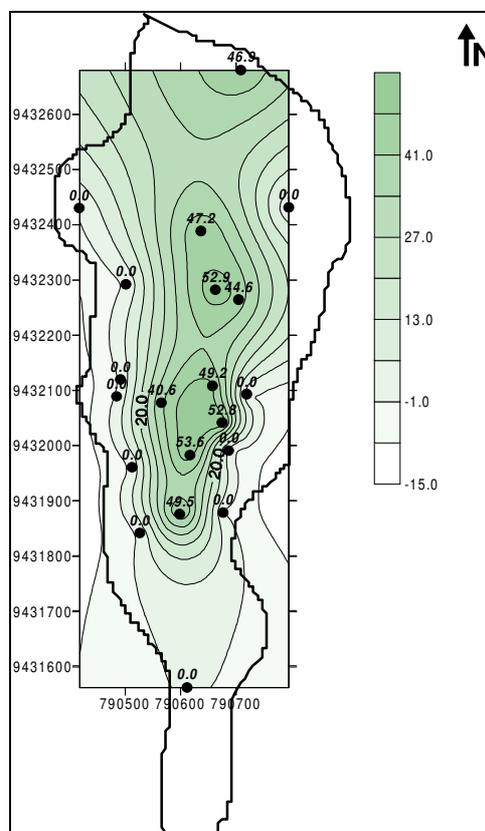


Figura 41. Distribuição do IET modificado na superfície da Lagoa.

4.9.2 – Distribuição espacial do oxigênio

Segundo Esteves (1998), dentre os gases dissolvidos na água, o oxigênio (O_2), é um dos mais importantes na dinâmica e na caracterização de ecossistemas aquáticos. As principais fontes de oxigênio para a água são a atmosfera e a fotossíntese. Por outro lado, as perdas são o consumo pela decomposição de matéria orgânica (oxidação), perdas para a atmosfera, respiração de organismos aquáticos e oxidação dos íons metálicos como, por exemplo, o ferro e o manganês.

As avaliações do percentual de saturação de oxigênio nas amostras de superfície e fundo estão apresentadas nas Figuras 42 e 43, onde se observa que há uma tendência de menor saturação nos pontos próximos ao ponto de descarte e nas regiões de maior

profundidade. Essa distribuição do oxigênio em lagos ocorre através dos deslocamentos de massas de água, propiciada pelas correntezas ou gradientes de temperatura, a difusão molecular é praticamente desconsiderada nestas situações.

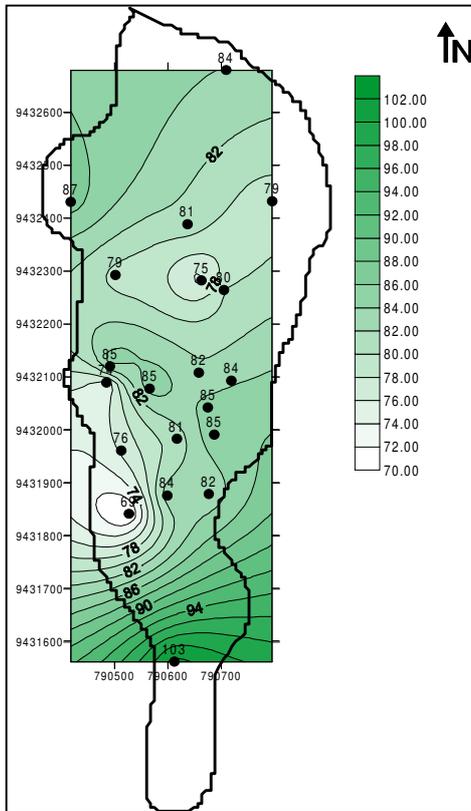


Figura 42. Distribuição espacial do percentual de oxigênio na superfície da lagoa.

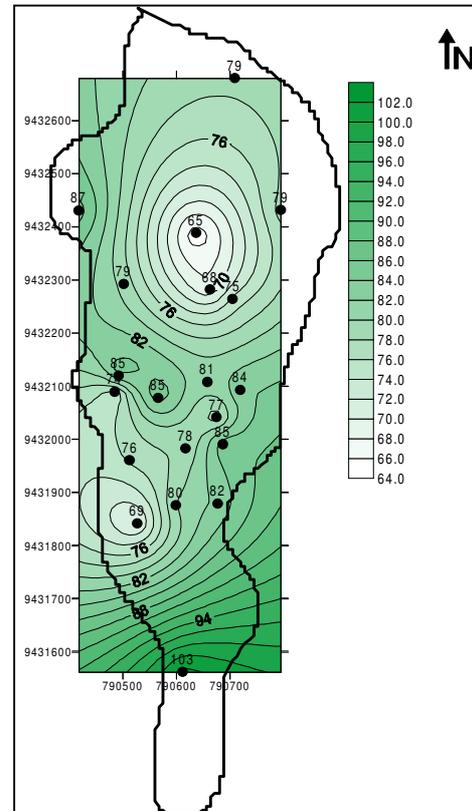


Figura 43. Distribuição espacial do percentual de oxigênio no fundo da lagoa.

4.9.3 – Distribuição vertical de oxigênio – seção longitudinal

Em um trecho de 600m de comprimento compreendendo as estações 01, 03, 06 e 12, foi realizada amostragem a intervalos de 50 cm até atingir a profundidade das estações mencionadas. Os dados estão apresentados na Figura 44 sob a forma de isotores, onde se observa tendências dos perfis de oxigênio com características ortogradas. Esse comportamento pode ser atribuído a alguns fatores, tais como, velocidade dos ventos que influenciam diretamente na hidrodinâmica da lagoa e a baixa profundidade do sistema que não propicia zonas onde possa ocorrer estratificação térmica.

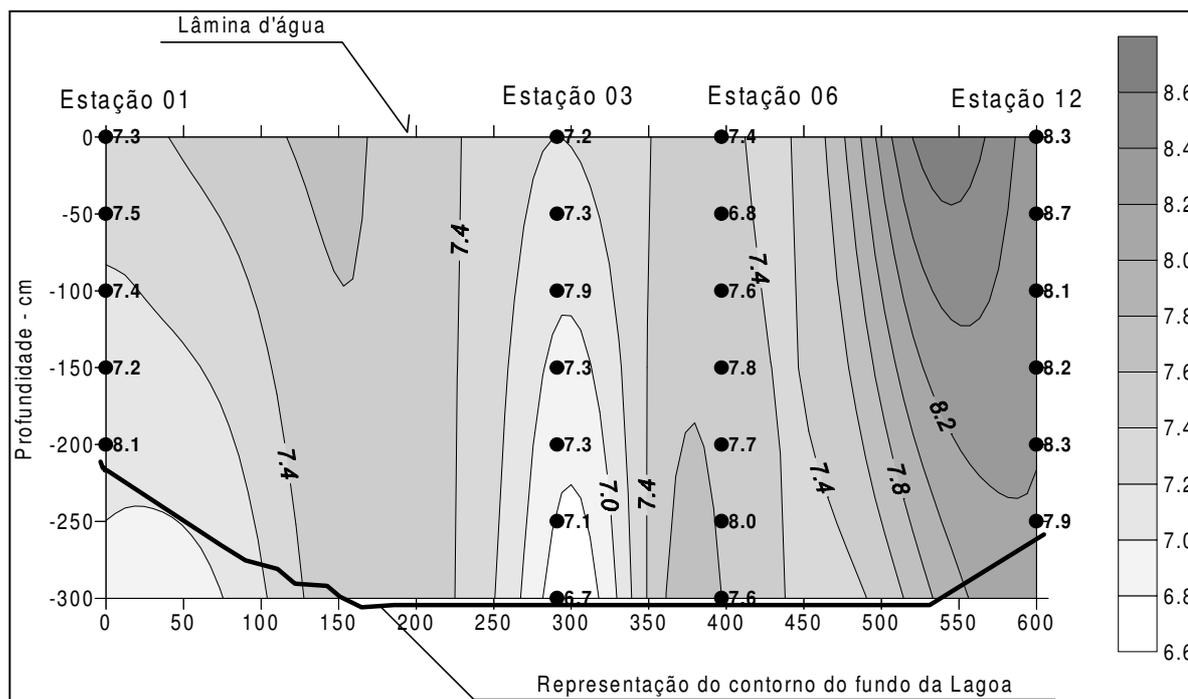


Figura 44. Distribuição das tendências dos perfis de oxigênio em um trecho da Lagoa.

4.9.4 – Distribuição vertical de oxigênio – seções transversais

Na mesma linha de avaliação, observamos as tendências de distribuição do oxigênio nas seções transversais, que compreendem 18 das 20 estações demarcadas. Em cada seção estão alocadas 3 estações disposta na seguinte ordem:

- Seção 01: estações 02, 03 e 04;
- Seção 02: estações 07, 06 e 05;
- Seção 03 (próximo a ETE): estações 10, 09 e 08;
- Seção 04 (próximo a ETE): estações 11, 12 e 13;
- Seção 05: estações 16, 15 e 14 e
- Seção 06: estações 17, 18 e 19.

Com esta disposição continuamos adotando a seqüência de margem oeste, centro e margem leste, respectivamente. Lembrando que o aporte de efluentes tratados ocorreu na margem oeste. Esse ordenamento está apresentado nas Figuras 45 a 50, onde se observa que a distribuição de oxigênio (expresso em porcentagem de saturação), ocorre de forma difusa ao avaliarmos as seções em conjunto, confirmando o comportamento evidenciado nos gráficos anteriores.

A circulação dos gases dissolvidos, material particulado, elementos químicos, microrganismos e plâncton têm grande relação com os movimentos da água. Segundo Wetzel (1993), o redemoinhar da água provoca um aumento na mistura verificada entre duas camadas, originando uma camada de transição através da qual há um gradiente de velocidade tangencial e um gradiente de densidade. Esses efeitos de mistura, provocados na coluna d'água influenciam em grande parte a variação na concentração de oxigênio no sistema.

As Figuras 43 a 44 estão apresentadas as seções 01, 02 e 03 onde se observa uma menor concentração de oxigênio no fundo da lagoa, aumentando nas zonas próximas a superfície e margens.

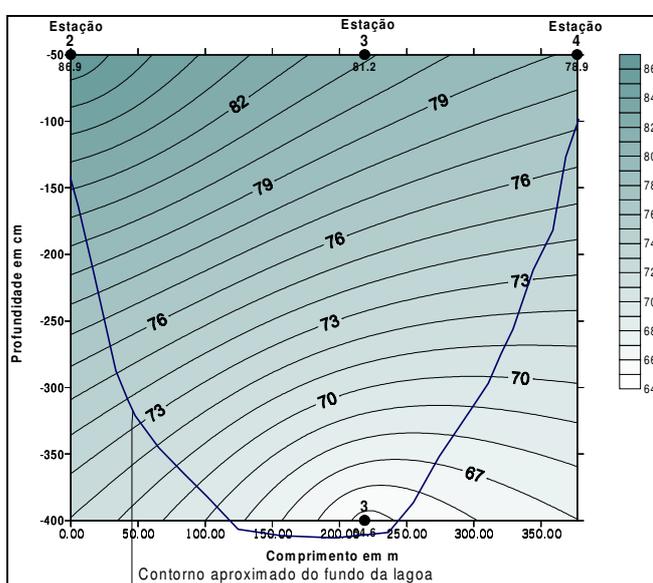


Figura 45. Distribuição da %OD na seção 01.

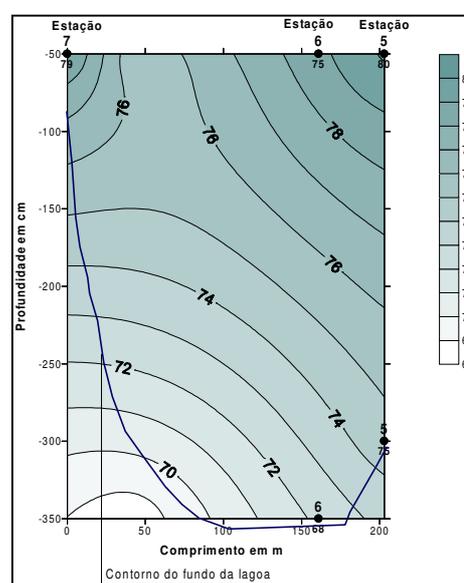


Figura 46. Distribuição da %OD na seção 02.

Na seção 04 ocorreu comportamento diferente em relação às demais seções, sendo observado uma zona de menor concentração de oxigênio acima do ponto mais profundo desta seção, esse comportamento pode ser explicado pela difusão de material particulado oriundo da estação 11 (margem oeste), localizado próxima às barreiras de contenção de óleo. Esta movimentação pode ser relacionada a “circulação de Langmuir” (Langmuir, 1938 *apud* Wetzel, 1993), que demonstrou que em determinadas circunstâncias os movimentos associados ao transporte em turbulência se encontram organizados em correntes verticais helicoidais nas camadas superiores dos lagos. A convecção resultante destes movimentos verticais cria *bandas*, que têm uma orientação aproximadamente paralela à direção do vento. As bandas coincidem com as linhas de convergência superficial e com o movimento para baixo, sendo caracterizadas pela presença de amontoados de material particulado agregado e caracterizado por uma atividade superficial.

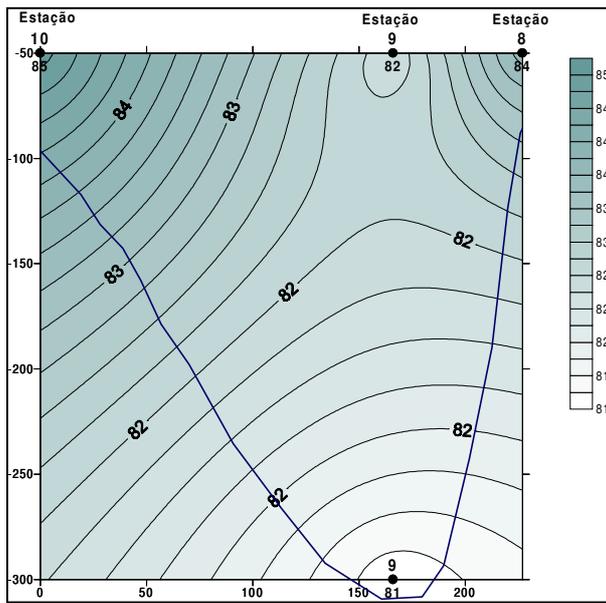


Figura 47. Distribuição da %OD na seção 03.

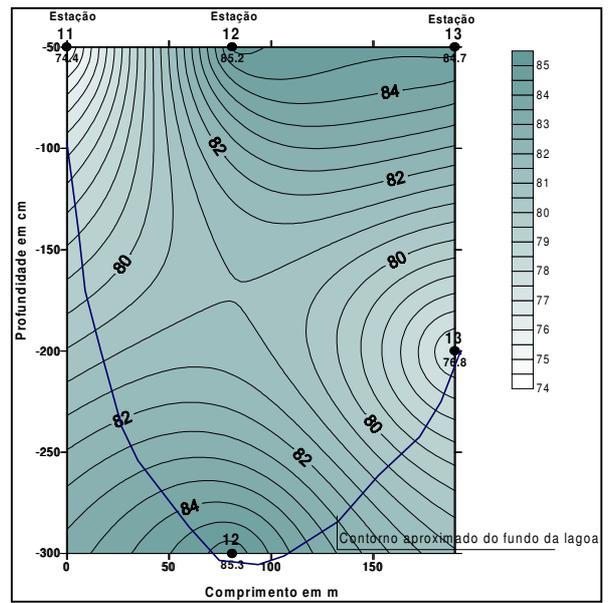


Figura 48. Distribuição da %OD na seção 04.

Nas seções 05 e 06, localizadas à montante do local de aporte de efluentes tratados, a porcentagem de saturação de oxigênio é menor, aumentando em direção a margem leste.

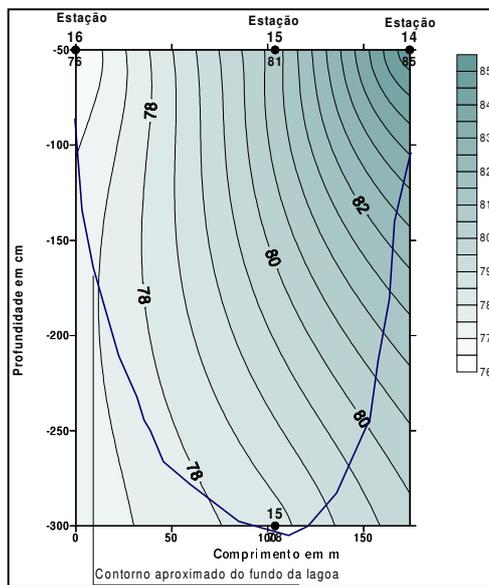


Figura 49. Distribuição da %OD na seção 05.

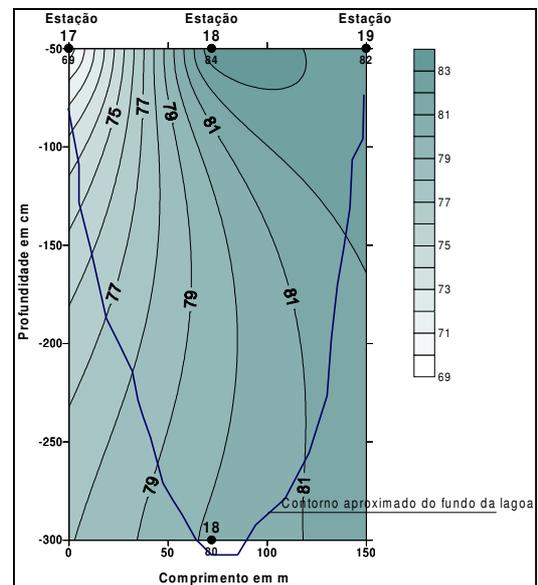


Figura 50. Distribuição da %OD na seção 06.

4.10 – Quociente de Qualidade Ambiental

O Quociente de Qualidade Ambiental é outro índice importante na determinação do nível de impacto de uma determinada área. A Figura 51 apresenta os valores médios obtidos durante as campanhas realizadas, onde cada ponto plotado é o resultado médio de todas as estações monitoradas, com valores médios, mínimos e máximos de 0,60, 0,54 e 0,66, respectivamente. De acordo com a classificação proposta para os níveis ambientais apresentados na Tabela 13, os dados obtidos nesta avaliação qualificam a lagoa como “regular” a “bom”.

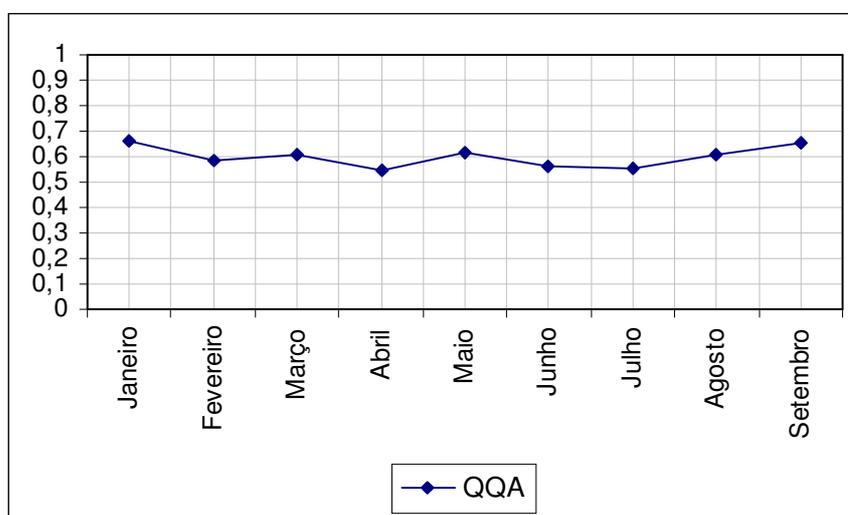


Figura 51. Distribuição temporal do QQA.

Na determinação do QQA foram consideradas as médias globais dos parâmetros apresentados na tabela itens mencionados na Tabela 12. No entanto, na determinação do $IQA_{Battelle}$ nos parâmetros, COT, Sólidos totais dissolvidos e Fosfato inorgânico, utilizou-se os valores obtidos na determinação da DQO, Sólidos totais e fósforo total.

A comparação direta com o IQA permite observar que o QQA acompanhou, em magnitude de valores, os dados obtidos para aquele índice (Figura 52). Considerando que na sua composição, está incluída a consideração da presença de substâncias tóxicas, cuja atribuição de pontuação é da forma dicotômica (presença 0 e ausência 1), seu comportamento global não apresentou variações bruscas.

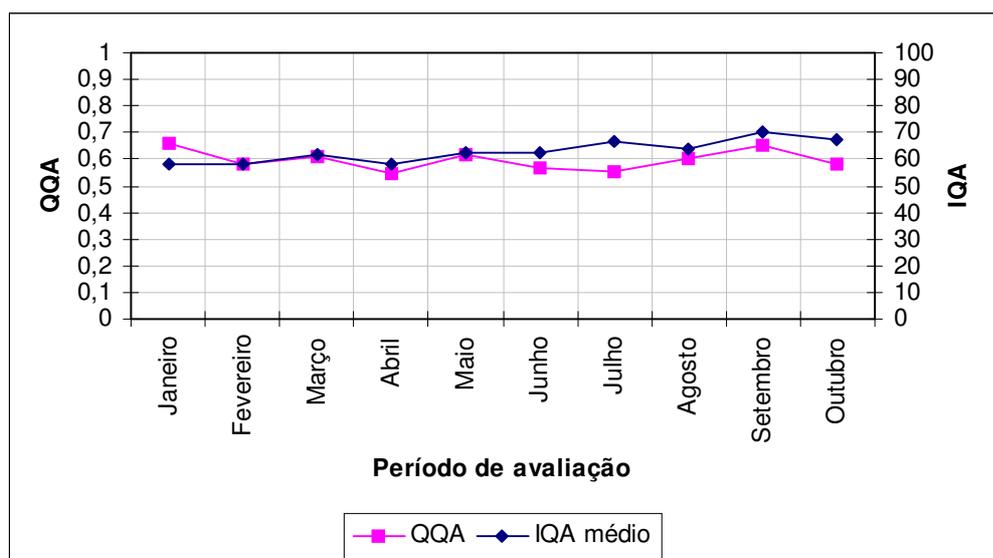


Figura 52. Comparação entre séries temporais do IQA e QQA .

4.11 – Metais

Foram avaliados os teores dos metais níquel, zinco, cádmio, cobre, chumbo, cromo total, ferro, sódio, potássio, cálcio e magnésio nas amostras tomadas nos meses de junho a outubro de 2002. Alguns metais têm sua concentração limitada pela legislação. Na Tabela 21 estão listados os valores médios dos metais avaliados nesse monitoramento e comparados com os limites estabelecidos pela resolução nº 20 do CONAMA (1986), considerando a água analisada como classe 7.

Tabela 21. Comparação entre as concentrações encontradas e a legislação CONAMA 20.

METAL	Média mg/L	Mínimo mg/L	Máximo mg/L	CONAMA mg/L
Níquel	0,015	0,002	0,037	0,100
Chumbo	0,135	0,004	0,345	0,010
Zinco	0,054	0,007	0,122	0,170
Cromo	0,270	0,089	0,405	0,050

Esta avaliação torna-se relevante, pois a determinação dessas concentrações auxilia a compreensão das interações que podem ocorrer na coluna d'água. Nas Figuras 49 a 56 estão apresentadas as curvas de isotores nas amostras tomadas em superfície e fundo para cada um dos 11 elementos mencionados.

4.11.1 – Cádmi

Nas determinações do elemento, no presente estudo, utilizando a metodologia de absorção atômica, não foi detectada a presença de cádmio, estando sua concentração, abaixo do limite de detecção do equipamento que é 0,02 mg/L.

4.11.2 – Cobre

A exemplo do cádmio, não foi detectada concentração de cobre nas amostras coletadas, estando abaixo de 0,03 mg/L.

4.11.3 – Níquel

De acordo com os dados apresentados na Tabela 19 os valores de níquel encontrados durante o período não excederam o limite estabelecido pela CONAMA (1986). A distribuição espacial deste elemento nas amostras tomadas em superfície e fundo da lagoa indicaram que os pontos de maior concentração estão na estação 7 (margem oeste) e na margem leste em direção a saída da Lagoa e na região de maior profundidade, provavelmente aderido ao sedimento da lagoa (Figuras 53 e 54).

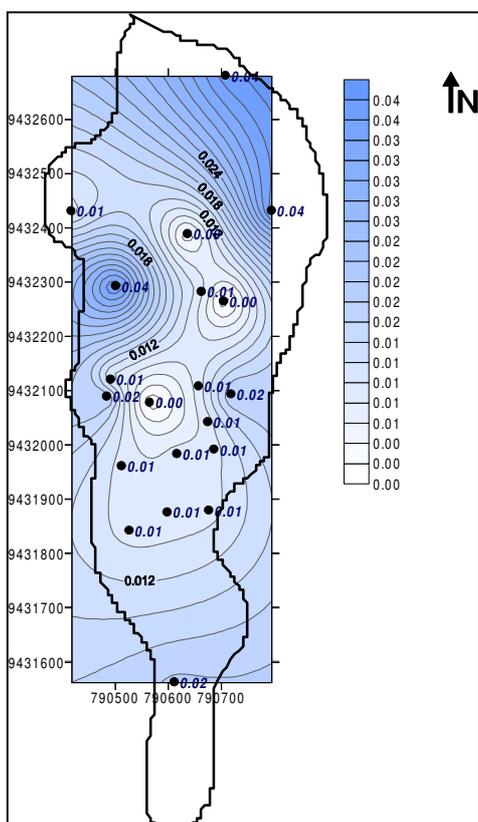


Figura 53. Distribuição do níquel na superfície da Lagoa.

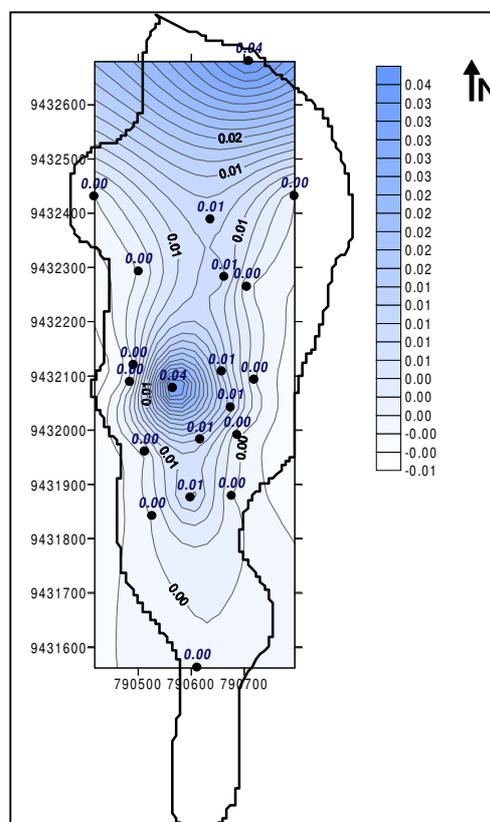


Figura 54. Distribuição do níquel no fundo da Lagoa.

4.11.4 – Zinco

O comportamento do zinco na Lagoa está apresentado nas Figuras 55 e 56, onde se observa que na superfície há uma tendência de maior concentração na margem leste (margem oposta ao ponto de descarte) e nos pontos mais profundos da lagoa. Os dados obtidos para o zinco estão abaixo do nível máximo determinado pela resolução nº 20 do CONAMA.

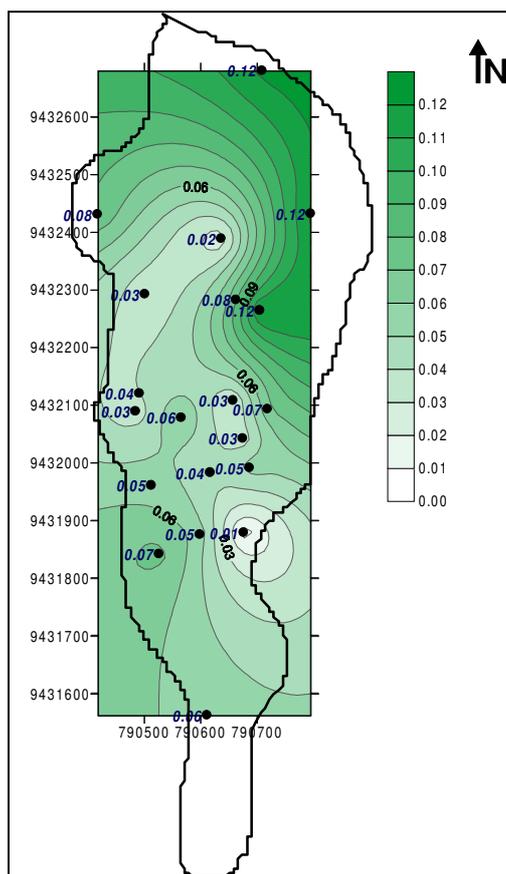


Figura 55. Distribuição de zinco na superfície da Lagoa.

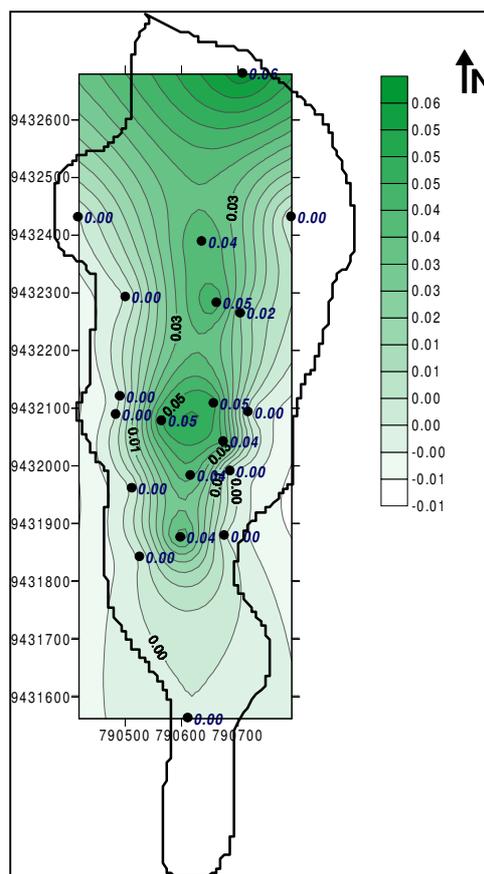


Figura 56. Distribuição de zinco no fundo da Lagoa.

4.11.5 – Chumbo

As concentrações de chumbo foram determinadas nas amostras de superfície e fundo da Lagoa de Baixo e as Figuras 57 e 58 apresentam a distribuição espacial deste elemento. As maiores concentrações foram observadas na margem leste e no fundo da Lagoa. Com os valores obtidos para a alcalinidade, que indica a presença de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos, é provável que parte do chumbo determinado nas amostras, esteja sob a forma de

PbCO₃. Os valores médios encontrados estão acima do limite permitido pelo CONAMA (Tabela 19).

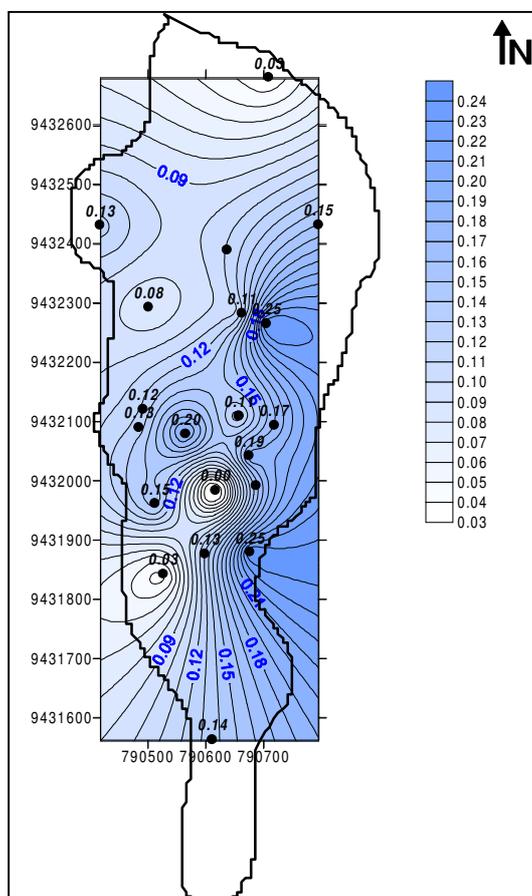


Figura 57 – Distribuição espacial do chumbo na superfície

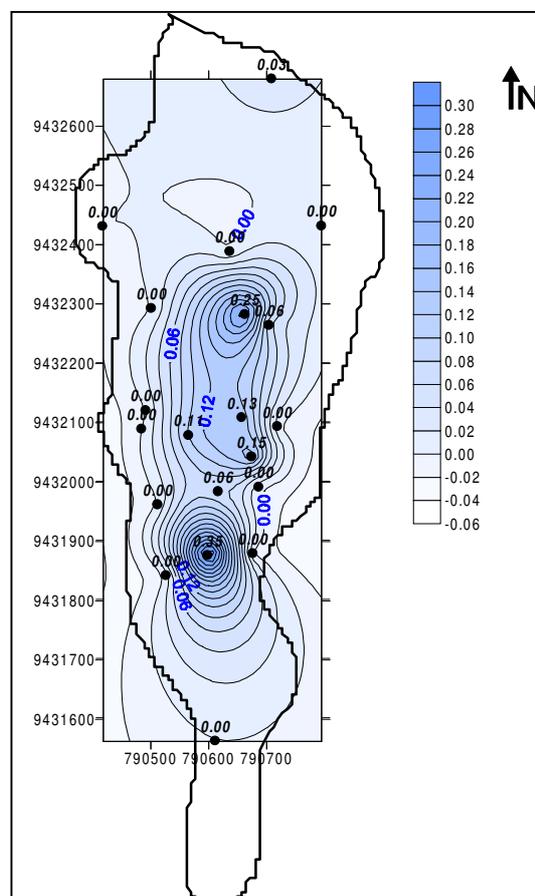


Figura 58 – Distribuição espacial do chumbo no fundo da lagoa.

4.11.6 – Cromo

A figura 59 apresenta a distribuição das concentrações de cromo total, nas amostras tomadas em superfície, onde se observa uma tendência à uniformidade na lâmina d'água, com discreta elevação nos dados das estações próximas ao ponto de descarte.

As concentrações de cromo total obtidas nas amostras tomadas no fundo da lagoa estão apresentadas na Figura 60, neste gráfico se observa que os maiores valores de cromo total estão localizados nos pontos mais profundos, provavelmente aderido ao sedimento. Os valores encontrados para o cromo total excederam o limite máximo preconizado pelo CONAMA, com distribuição uniforme de sua concentração na superfície e nos pontos de maior profundidade.

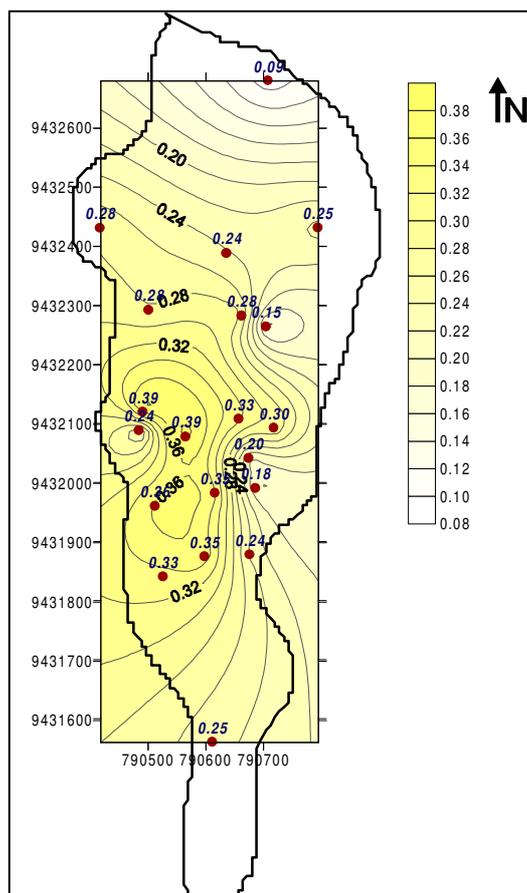


Figura 59. Distribuição do cromo total na superfície da lagoa.

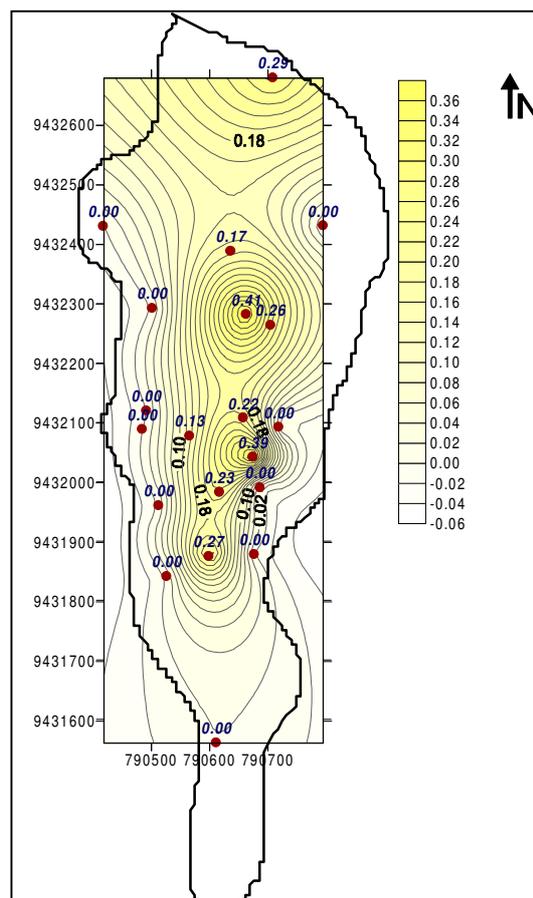


Figura 60. Distribuição do cromo total no fundo da lagoa.

4.11.7 – Ferro

Da Figura 57 infere-se que, as tendências de maior concentração para o ferro estão localizadas na margem oposta ao ponto de descarte (margem leste) e na região próxima a saída da lagoa (estações 1, 2, 3 e 4). Outras regiões onde as concentrações de ferro se apresentaram mais elevadas foram nos pontos de maior profundidade da lagoa (Figura 58).

A presença do elemento ferro na lagoa pode propiciar diversas reações, como por exemplo, a precipitação do fosfato, onde, segundo Esteves (1998) mencionando pesquisas realizadas por Mortimer (1941) e Uhlman (1975), mostrou que a ação dos íons ferro sobre a dinâmica do fosfato depende do seu estado de oxidação que, por sua vez, depende da concentração do oxigênio e do pH do meio. No mesmo texto Esteves (1998) afirma que em lagos onde predominam condições de oxidação, como aqueles com perfil de oxigênio do tipo ortogrado e pH próximo ao neutro, grande parte dos íons de ferro presentes, encontra-se na forma oxidada (Fe^{3+} = íon férrico). Entretanto, o íon Fe^{3+} encontra-se precipitado ou

complexado na forma de hidróxido de ferro hidratado $[Fe(H_2O)_6]^{3+} \rightarrow [Fe(OH)H_2O]_5^{2+} + H^+$, podendo adsorver espécies fosfatadas ($H_2PO_4^-$ e HPO_4^{2-}) em sua superfície, precipitando-as principalmente no sedimento.

Essas interações químicas podem explicar as tendências eutróficas calculadas pelo IET (Índice de Estado Trófico) indicadas na Figura 37.

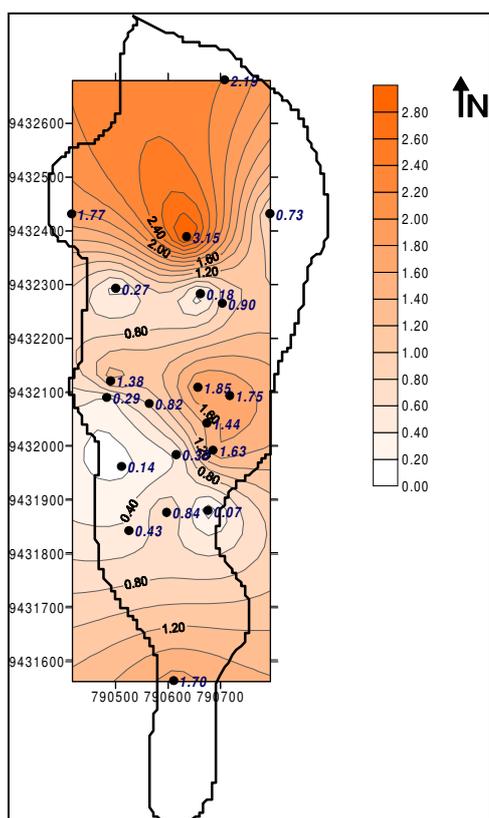


Figura 57. Distribuição do ferro na superfície da lagoa.

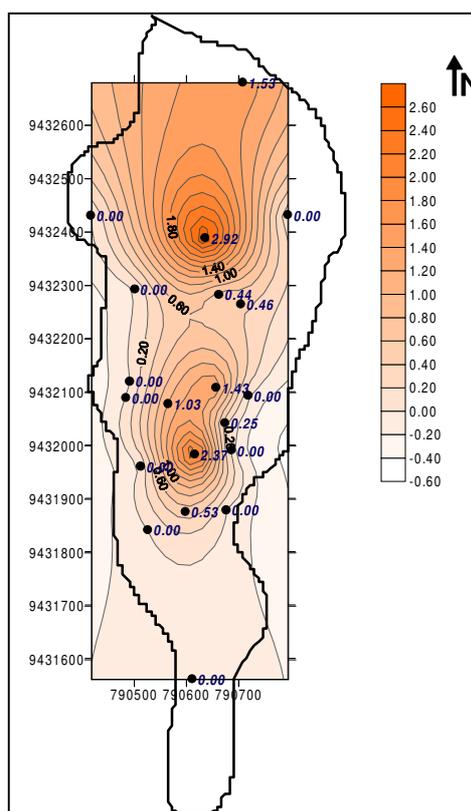


Figura 58. Distribuição do ferro no fundo da lagoa.

4.11.8 – Sódio e Potássio

A distribuição espacial e temporal do sódio e do potássio nos lagos é uniforme e apresenta variações sazonais muito pequenas, o que é uma indicação da natureza conservadora destes íons.

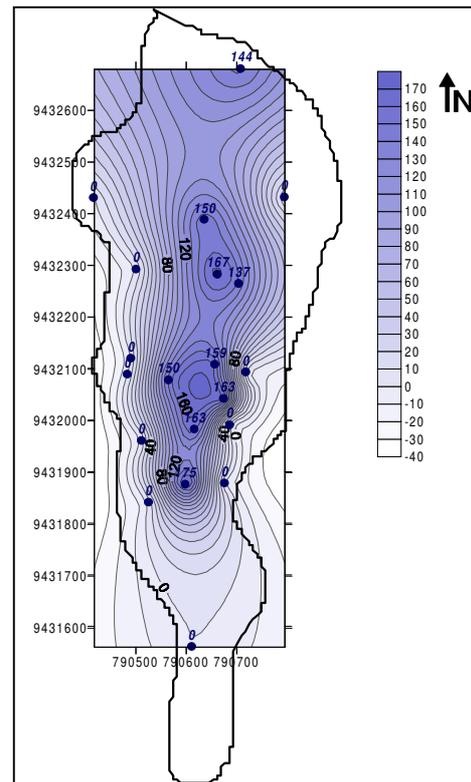
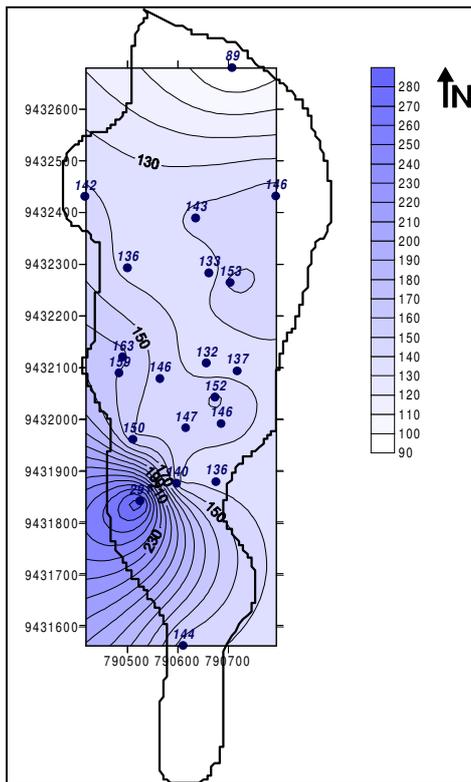


Figura 63. Distribuição de cálcio na superfície da lagoa. Figura 64. Distribuição de cálcio no fundo da lagoa.

4.11.10 – Magnésio

O comportamento do magnésio nas amostras tomadas na superfície e fundo da lagoa indica sua dissolução em toda a coluna d'água com aumento de sua concentração nos pontos de maior profundidade, ou seja, nas amostras tomadas próximas ao sedimento de fundo. Com médias globais de 64,84 mg/L (Figuras 65 e 66).

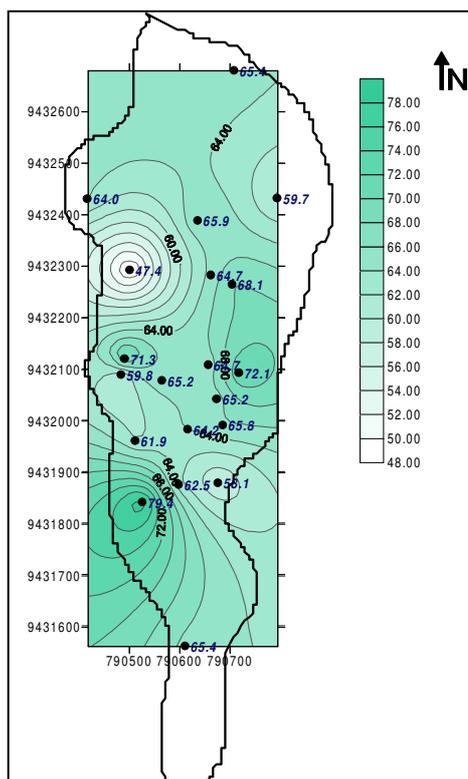


Figura 65. Distribuição de magnésio na superfície da lagoa.

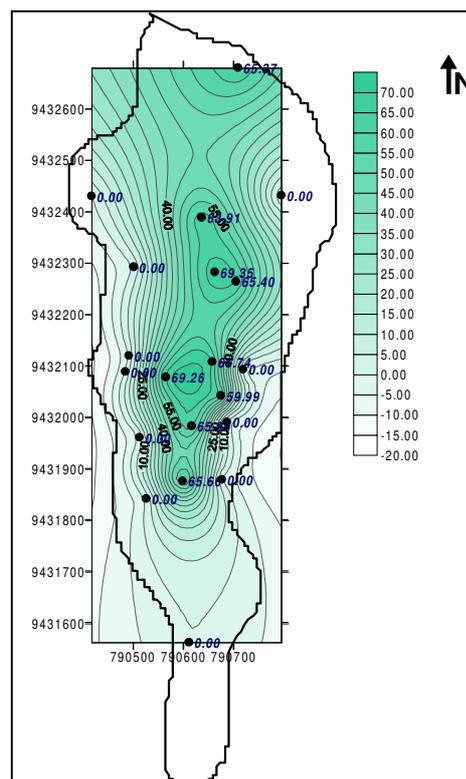


Figura 66. Distribuição de magnésio no fundo da lagoa.

4.12 – Avaliação estatística

Durante todo o trabalho de avaliação com os índices (IQA, QQA, IET), é muito claro o envolvimento de parâmetros físico-químicos e bacteriológicos, para obtê-los. Os dados obtidos nos monitoramentos em sistemas reais apresentam, na maioria dos casos, oscilações em alguns parâmetros. Essas variações são atribuídas às mudanças climáticas, alterações severas do sistema em estudo, como por exemplo, drenagem de um rio, ou desequilíbrio ambiental provocado por descarte ocasional de um efluente, influenciando diretamente nos dados obtidos. Além das variações isoladas de cada parâmetro, outro aspecto que se observa é a correlação existente entre grupos de parâmetros.

As séries de dados obtidas neste estudo, não fogem ao comportamento mencionado anteriormente, sendo relevante realizar algumas avaliações utilizando a estatística como ferramenta.

4.12.1. Análise de componente principal

A análise das componentes principais nada mais é que o cálculo dos autovalores e correspondentes autovetores de uma matriz de variâncias-covariâncias ou de uma matriz de coeficientes de correlação entre variáveis. Quando as variáveis, devido a escalas diferentes de mensurações empregadas, não podem ser diretamente comparadas, torna-se necessário preliminarmente a padronização, de modo que as variáveis transformadas passem a ter média zero e variância unitária, o que é conseguido pela transformação "z". Nesses casos, com variáveis padronizadas, a matriz de variâncias-covariâncias e a de coeficientes de correlação tornam-se idênticas (Landin, 2000).

A análise de componente principal ou fator de análise expressa de maneira resumida as correlações existentes entre diversos parâmetros, além de destacar os principais fatores que influenciam estas correlações. A Figura 67 apresenta as correlações existentes entre todos os parâmetros estudados.

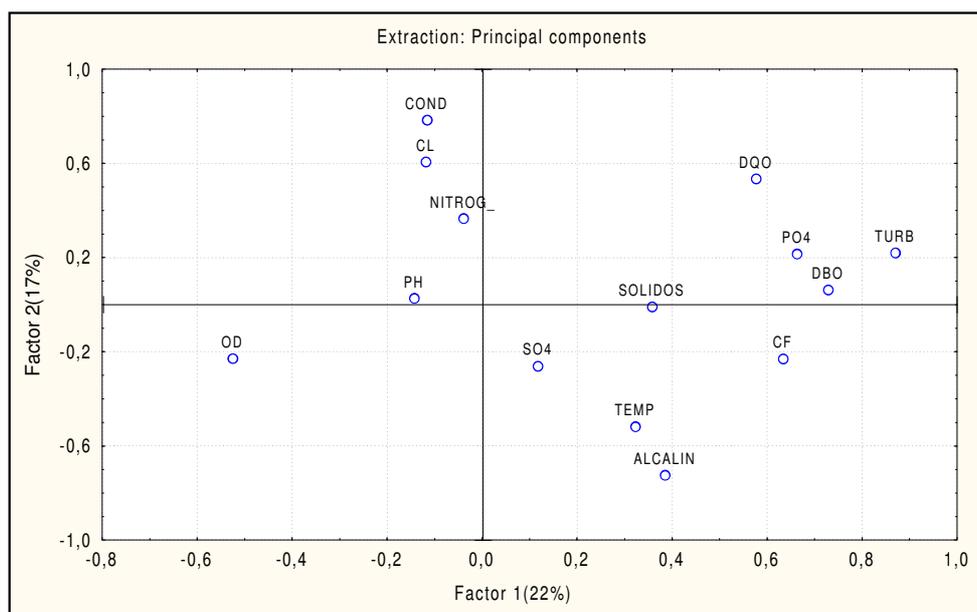


Figura 67. Fator de análise de todos os parâmetros avaliados.

A soma dos dois fatores principais resultantes da análise representa 38% dos dados avaliados, não representando bem o grupo de parâmetros. No entanto, ao avaliarmos a distribuição dos parâmetros no gráfico (Figura 67), se observa claramente a forte correlação existente entre alguns parâmetros, dentre eles pode-se destacar, a relação existente entre os grupos DBO, PO₄, DQO e Turbidez. Outros aspectos que se pode inferir é a correlação negativa existente entre o OD e a DQO e DBO fato observado explicado anteriormente.

As componentes que têm maior influência no fator 1 são a turbidez e a DBO indicando que está mais correlacionado com a matéria orgânica, o fator 2 tem influência da condutividade como contribuição positiva e da alcalinidade com peso negativo, denotando uma forte influência dos sais dissolvidos. Todos os valores obtidos na análise estão apresentados na Tabela 22.

Tabela 22. Valores obtidos para os fatores na ACP.

Parâmetro	Fator 1	Fator 2
Temperatura	0,323	-0,518
DQO	0,577	0,535
DBO	0,729	0,062
Alcalinidade	0,386	-0,725
Cloreto	-0,118	0,607
Condutividade	-0,115	0,783
Sulfato -SO ₄	0,117	-0,261
Fosfato -PO ₄	0,663	0,215
OD	-0,525	-0,229
Sólidos	0,358	-0,010
Turbidez	0,871	0,220
Coliformes fecais	0,634	-0,231
pH	-0,143	0,027
Nitrogênio total	-0,039	0,365
Variância	3,183	2,467
Percentual	0,227	0,176

A mesma análise foi realizada apenas com os parâmetros envolvidos na determinação do IQA (ver Tabela 2), nesta avaliação a soma dos fatores resultaram em 48% dos dados estudados, indicando melhor representatividade em relação à avaliação anterior, quando foram considerados todos os 14 parâmetros (Figura 67).

As contribuições dos parâmetros turbidez e DBO se mantiveram como principais componentes no fator 1 além de aumentaram de valor, a mudança ocorreu na componente principal do fator 2 que passou a ser a temperatura (Tabela 22).

Tabela 23. Valores obtidos para os fatores na ACP.

Parâmetro	Fator 1	Fator 2
Temperatura	0,352	0,866
DBO	0,767	-0,013
Fosfato - PO4	0,567	-0,369
OD	-0,556	0,342
Sólidos	0,435	0,435
Turbidez	0,904	-0,264
Coliformes totais	0,640	0,237
PH	-0,117	0,196
Nitrogênio total	-0,058	-0,447
Expl.Var	2,776	1,558
Prp.Totl	0,308	0,173

A nova distribuição está apresentada na Figura 68. Novamente os parâmetros DBO, Turbidez e PO4, apresentam boa interação sendo significativa sua contribuição na obtenção do IQA.

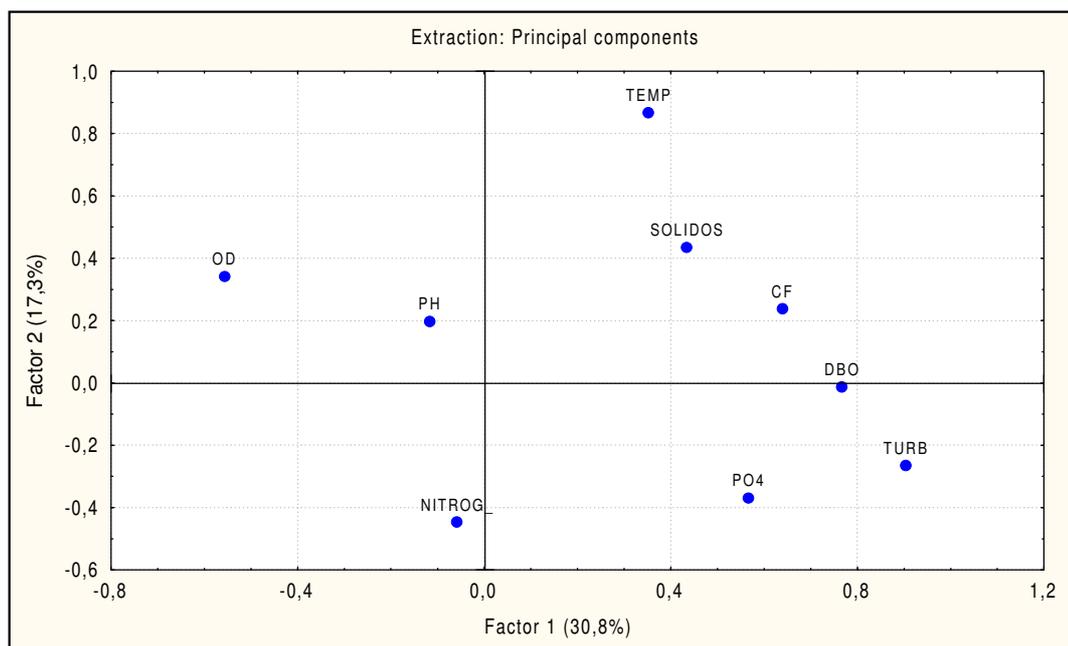


Figura 68. Fator de análise dos parâmetros que constituem o cálculo do IQA.

4.12.2 – Variações de dados

Outras análises estatísticas podem ser realizadas a partir dos valores dos parâmetros e dos resultados dos índices. As Figuras 69 e 70 apresentam a variabilidade estatísticas dos Índices de Qualidade de Água aditivo e multiplicativo utilizando, onde se observa os valores mínimo, máximo e a mediana dos dados obtidos para os referidos índices.

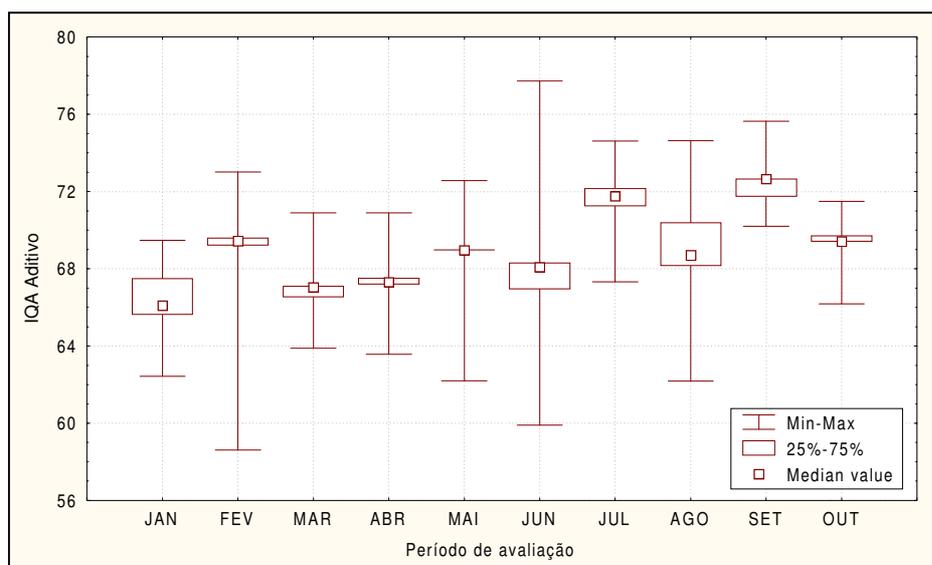


Figura 69 – Avaliação estatística do IQA_{Adit.}

Ao se observar as duas figuras, verificamos que os resultados obtidos utilizando o modelo estabelecido para o IQA_{Aditivo} apresentou melhor agrupamento dos dados, estando seus valores médios inseridos nos limites amostrais de 25 a 75% dos dados estudados.

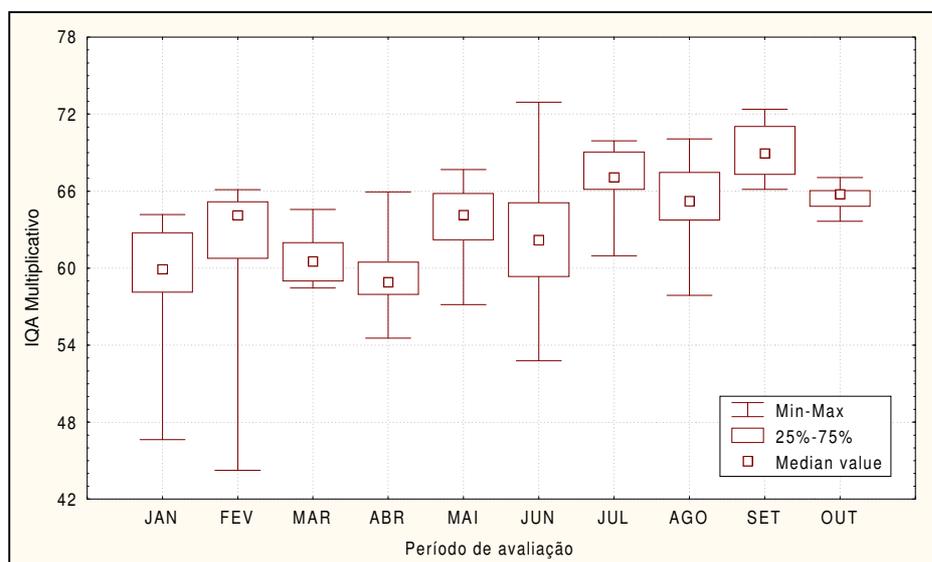


Figura 70. Avaliação estatística do IQA_{Mult.}

A mesma avaliação foi realizada para o IET (Índice de Estado Tráfico), apresentada na Figura 71. Os dados obtidos para este índice apresentaram variabilidade durante o período de avaliação, com exceção da campanha realizada em abril de 2002.

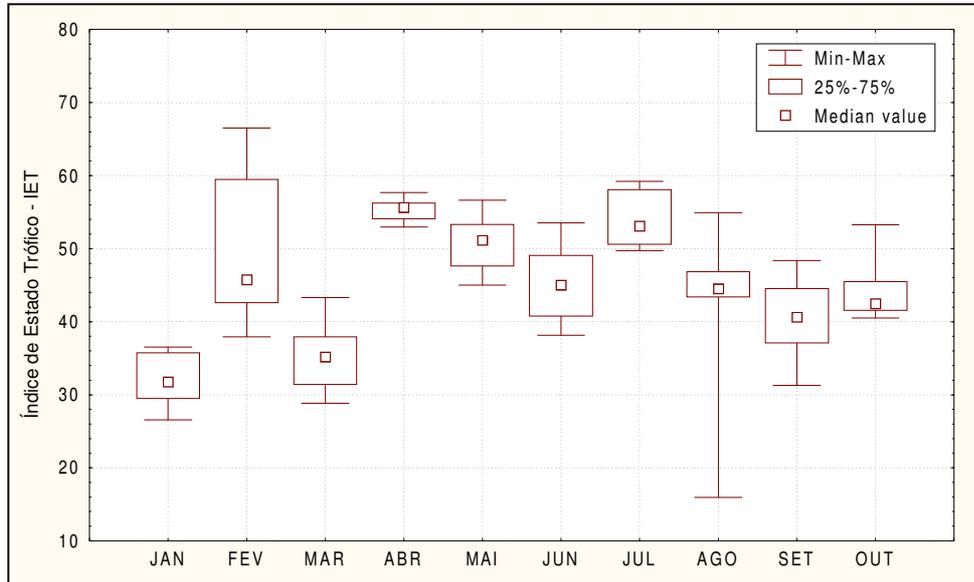


Figura 71. Avaliação estatística do IET.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

5 - Conclusões

Os valores médios globais obtidos para os Índices de Qualidade de Água aditivo e multiplicativo, tomados a partir de todas as estações avaliadas em cada campanha, indicaram que a Lagoa de Baixo apresenta boa qualidade da sua água, durante o período de avaliação compreendido entre janeiro a outubro de 2002.

A avaliação realizada nas estações alocadas nas margens e no centro da lagoa apresentaram diferenças discretas, sendo observadas elevações gradativas da qualidade, indicada pelo IQA, a partir do ponto de descarte dos efluentes.

Os dados obtidos para Índice de Estado Trófico (IET), utilizando o modelo de Carlson adaptado para ambientes tropicais tomando como principal parâmetro de cálculo o fosfato, indicaram que a lagoa apresenta características oligotróficas com tendências a mesotrófica, nas regiões limnética e litorânea a partir da região de aporte de efluente.

Os resultados obtidos para o QQA (Quociente de Qualidade Ambiental) proposto por Battelli Columbus Laboratories classificaram a lagoa como “regular”, quanto ao nível de impacto ambiental. No entanto ao compararmos os dois índices ambientais – IQA e QQA – foi observado que ambos seguiram o mesmo comportamento. Por contemplar em seus parâmetros, a avaliação de substâncias tóxicas, havia uma expectativa de que seus resultados seriam restritivos quanto à qualidade ambiental, o que não ocorreu.

A análise de componente principal – ACP – realizada nos parâmetros que estão envolvidos na determinação do IQA identificou que os parâmetros DBO, turbidez e temperatura têm grande influência nos cálculos realizados para obtê-lo. A aplicação da ACP, considerando os quatorze parâmetros avaliados mostrou que existem dois fatores importantes que têm maior influência para este estudo, um dos fatores está representado pelos parâmetros DBO e turbidez indicando que a matéria orgânica tem forte influência nos monitoramentos ambientais, outros fator está relacionado com os parâmetros alcalinidade e condutividade sinalizando a contribuição dos sais presentes e conseqüentemente sua influência na qualidade de um corpo d’água.

A interrupção do aporte de efluente provocou algumas mudanças nas séries temporais dos parâmetros DBO, DQO, OD, cloretos e sólidos. A DBO foi reduzida para níveis abaixo do preconizado pela Resolução do CONAMA como conseqüência às concentrações de OD foram ligeiramente elevadas. No entanto devido ao aumento da concentração de sais proporcionado pela falta de chuvas no período a DQO apresentou aumento nos seus valores médios.

Os valores encontrados para os elementos traços chumbo e cromo foram acima dos limites permitidos pela Resolução nº 20 do CONAMA. As concentrações de níquel e zinco ficaram abaixo do limite permitido pela mesma resolução. Não foi detectado teores de cádmio e cobre com a metodologia utilizada, estando suas concentrações abaixo dos limites de detecção do equipamento.

As concentrações do teor de óleos e graxas (TOG), se apresentaram acima do que estabelece a legislação, “virtualmente ausente”.

A utilização dos índices (IQA, QQA e IET), como ferramentas de identificação de impacto ambiental ou classificação de qualidade do meio ambiente foram satisfatórias neste estudo. Entretanto, houve a necessidade da avaliação de outros parâmetros como, a determinação dos elementos traços (metais pesados) e teor de óleos e graxas no intuito de melhorar o diagnóstico ambiental. Nesse sentido há a necessidade de utilização de índices que contemplem esses parâmetros, além de outros mais restritivos.

Após a interrupção do aporte de efluentes, que funcionava como recarga artificial de água na lagoa, foi observada a redução considerável do seu volume. Nos primeiros meses foi observada mudança positiva quanto ao comportamento de alguns parâmetros como DBO e OD, mas a elevação das concentrações da condutividade, cloreto, DQO, sinalizam que esta redução na lâmina d'água poderá ser prejudicial ao ecossistema apresentado anteriormente.

A redução do volume de água pode provocar alterações no microclima no entorno da lagoa, reduzindo a qualidade de vida das pessoas que trabalham naquela área. Outro aspecto que deve ser colocado seria quanto a questão de segurança, a lagoa está inserida em um pólo industrial cujas matérias primas são o petróleo e seus derivados, em caso de ocorrência de sinistro a lagoa seria mais uma opção no volume de água exigido na solução de um problema deste porte.

Nesse sentido, a possibilidade de voltar esforços para tratar uma parcela do efluente, descartada no emissário, com o objetivo de manter o nível da lâmina d'água da Lagoa de Baixo vem a ser uma alternativa viável, visto que o aporte controlado de água com teores de contaminantes reduzidos aos níveis exigidos pela legislação, favoreceriam a recuperação natural da lagoa. Essa recarga controlada seria acompanhada com planos de monitoramentos constantes.

CAPÍTULO 6

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

6 – Referências bibliográficas

ALEXANDRE, M. J. O. *Avaliação geoquímica das águas e sedimentos de fundo da Lagoa de Baixo, pólo industrial de Guamaré/PETROBRAS (Guamaré-RN-Brasil)*. 2001. 204f. Dissertação de mestrado. Centro de Ciências Exatas e da Terra, Programa de pesquisa e pós-graduação em geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

APHA, AWWA, WEF. *Standard methods for examination of water and wastewater*. 19.ed. Washington: American Public Health Association, 1995.

APHA-AWWA-WPOF. *Metodos normalizados para el analisis de águas potables y residuales*. 17 ed. Ediciones Díaz de Santos, S.A., 1992, Madrid (Espanha).

ATSDR. *Reseña toxicológica del níquel (version para comentário público)*. Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EEUU., Serviço de Salud Pública. 2003.

BAIRD, C. *Química ambiental*. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BORDALO, A. A.; NILSUMRANCHIT, W.; CHALERMWAT, K. *Water quality and uses of the Bankpakong river (eastern Thailand)*. *Elsevier Science Ltd*, v.35, n.15, p. 3635-3642, 2001.

BRAGA, B. et al. *Introdução á engenharia ambiental*. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

BRAILE, P. M. (1979). *Manual de tratamento de águas residuárias*. São Paulo, CETESB, 1979.

BRANCO, S. M.; CLEARY, R. W.; COIMBRA, R. M.; EIGER, S.; LUCA, S. J.; NOGUEIRA, V. P. Q.; PORTO, M. F. A. *Hidrologia ambiental*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1991. V. 3.

BRITO, Luiz. Pereira. *Índice de Qualidade Ambiental*, Programa de pós graduação em engenharia sanitária-UFRN, disciplina Avaliação de Impactos Ambientais. Notas de Aula, Natal-RN. 2002.

CAMARGO, A.F.M. & MIYAI, R.K.1988: *Caracterização Limnológica do Lago Uruçá: Lago de Várzea do Rio Trombetas (Águas Claras), Pará*. Acta Limnológica Brasiliensia. 2: 153-180.

CURTIS, H. Biologia. Editora Guanabara, segunda edição. 1977.

DEE, N; et all. Enviromental evaluation system for water resource planning. Ohio: Battelle Columbus Laboratories, 1972.

DUARTE, M. A. C. *Utilização dos índices de estado trófico (IET) e de qualidade de água (IQA) na caracterização limnológica e sanitária das lagoas de Bonfim, Extremoz e Jiqui-RN*. 1999. 156 f. Dissertação de mestrado (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Ciências e Tecnologia, Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande.

ESTEVES, F. A. *Fundamentos de limnologia*. Rio de Janeiro: Interciência, 2ed.1998.

ESTEVES, F. A. *Fundamentos de limnologia*. Rio de Janeiro: Interciência: FINEP, 1988.

GUAZELLI, M. R. OTTA, N. *Rede de amostragem e indicadores de qualidade de água: critérios e conceituações*. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 10, 1979. Anais ABES. Manaus-AM. 21 a 26/01/1979.

IDEMA. Informativo Municipal-Guamaré. Natal/RN, 1999,v 5, p1-14.

JONNALAGADDA, S.; MHERE, S. *Water quality of the Odzi river in the eastern highland of Zimbabwe*. Elsevier Scienc Ltd, v. 35, n. 10, p. 2371-2376, 2001.

LANDIM, P.M.B. *Análise estatística de dados geológicos multivariados*. DGA, IGCE,UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática,Texto Didático 03, 96 pp. 2000.

LERMAN, A.; *Lakes*. New York, Springer Verlag, 1988.

LIMA, I. V. *Ecotoxicologia do ferro e seus compostos*.Salvador. CRA, 2001. 112 p.; 15 V. 4.

PEREIRA, M. G. *Qualidade das águas dos mananciais de superfície utilizados no abastecimento da cidade do Natal: aplicação do IQA nos pontos de captação*. 1993. 178f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

Introdução à Geologia do Petróleo. Petroleum Geoscience Technology. Disponível em: http://www.pgtech.com.br/geologia_do_petroleo.pdf. Acesso em: maio de 2004.

SAWYER, C. N., McCARTY, P. L., PARKLIM G. F. *Chemistry for environmental engineering*. 4th ed. McGraw-Hill, Inc.1994. Singapore.

SILVA, D.N. *Degradação fotoquímica de hidrocarbonetos de gasolina em efluentes aquosos*. 2002. Dissertação de Mestrado, UFRN, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Área de Concentração: Pesquisa e desenvolvimento de tecnologias regionais, Sub área: Engenharia Ambiental, Natal/RN, Brasil.

TUNDISI, J. G. *Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado*. Cienc. Cult., Oct./Dec. 2003, vol.55, no.4, p.31-33. ISSN 0009-6725.

VIEIRA, D.S.; CAMMAROTA, M. C.; CAMPORESE, E. F.S. Redução de contaminantes presentes na água de produção de petróleo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETROLEO & GÁS, 2, 2003, Rio de Janeiro. **Trabalhos Técnicos**. CD-ROM.

WETZEL, R. G. *Limnologia*. 2 ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1993.

APÊNDICE

Apêndice 1. IQA das amostras tomadas em superfície com valores médios, mínimo e máximo.

Estação	Média IQA _{Mult.}	Média IQA _{Adit.}
	62,70	69,28
1	52,77 – 68,81	65,47 – 72,66
	63,52	69,65
2	57,51 – 70,43	65,65 – 73,96
	65,25	70,32
3	58,68 – 72,39	66,87 – 75,64
	65,31	70,46
4	60,05 – 70,76	65,84 – 74,02
	65,08	70,15
5	59,13 – 69,44	65,40 – 72,00
	63,46	68,68
6	58,29 – 67,68	64,63 – 72,00
	63,12	69,08
7	46,93* – 72,92	62,63 – 77,73
	62,37	69,08
8	46,66* – 68,01	62,43 – 73,52
	62,38	69,16
9	47,62* – 68,61	64,08 – 74,15
	61,10	68,41
10	51,78 – 71,61	59,90 – 75,33
	58,69	67,17
11	34,08** – 67,83	51,92 – 71,97
	64,75	69,79
12	57,16 – 72,32	65,43 – 76,73
	64,85	70,15
13	54,11 – 72,80	65,24 – 77,45
	65,34	70,26
14	60,46 – 72,09	67,36 – 76,83
	64,49	69,52
15	59,38 – 73,48	64,22 – 78,34
	51,98	62,34
16	23,91** – 68,20	44,71* – 72,10
	57,44	65,76
17	45,38* – 68,86	53,68 – 72,64
	63,47	68,01
18	55,79 – 70,28	58,87 – 75,22
	63,08	68,87
19	56,15 – 70,24	63,33 – 74,85
	62,72	68,44
20	55,59 – 69,13	62,59 – 73,10

Apêndice 2. IQA das amostras tomadas em profundidade com valores médios, mínimo e máximo.

Estação	Profundidade		Média IQA _{Multiplicativo}	Média IQA _{Aditivo}
		(m)		
1	2,00		63,35	68,88
			54,55 – 71,15	63,57 – 74,72
3	3,50		61,66	67,53
			44,24* – 70,07	58,61 – 74,64
5	2,50		63,70	68,27
			58,13 – 68,52	62,93 – 72,39
6	3,00		60,01	66,46
			46,64* – 67,31	62,19 – 70,74
9	2,50		61,30	68,08
			50,33 – 67,54	62,31 – 71,14
12	2,50		63,89	69,39
			53,31 – 70,91	62,32 – 75,30
13	2,50		64,38	68,82
			60,01 – 69,82	64,18 – 74,12
15	2,50		62,88	67,93
			56,69 – 69,70	63,45 – 73,34
18	2,50		62,22	67,83
			55,10 – 70,40	62,68 – 74,32

Apêndice 3. Estatística descritiva do IQA multiplicativo das amostras de superfície.

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Média Superfície	57,10	62,40	60,31	60,14	64,82	59,43	67,63	64,46	68,25	64,63
Erro padrão	1,48	0,85	2,15	0,59	1,16	2,21	1,00	0,34	0,51	0,60
Mediana	58,49	62,59	62,87	60,31	65,44	62,62	68,83	64,26	68,01	65,25
Desvio padrão	6,63	3,61	9,59	2,65	3,49	9,89	4,47	1,54	2,29	2,32
Variância da amostra	43,93	13,02	92,05	7,01	12,16	97,74	19,95	2,37	5,25	5,39
Curtose	-1,25	-0,89	11,88	1,07	3,63	1,23	1,74	0,45	0,86	5,56
Assimetria	-0,24	-0,34	-3,34	0,17	-1,80	-1,28	-1,21	0,06	-0,31	-2,23
Intervalo	20,70	12,13	42,87	11,83	11,45	38,84	18,15	6,41	9,84	9,33
Mínimo	46,66	55,69	23,91	54,11	56,73	34,08	55,33	61,04	62,55	57,73
Máximo	67,36	67,83	66,78	65,94	68,18	72,92	73,48	67,45	72,39	67,06
Contagem	20,00	18,00	20,00	20,00	9,00	20,00	20,00	20,00	20,00	15,00
Nível de confiança(95,0%)	3,10	1,79	4,49	1,24	2,68	4,63	2,09	0,72	1,07	1,29

Apêndice 4. Estatística descritiva do IQA multiplicativo das amostras de fundo.

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Média Fundo	58,27	59,95	61,14	57,94	60,32	62,48	67,43	62,07	68,16	65,13
Erro padrão	2,28	2,69	0,78	1,06	1,49	0,76	1,06	1,60	0,50	0,34
Mediana	58,53	61,83	61,41	58,42	60,51	62,52	67,92	60,42	67,54	65,48
Desvio padrão	6,85	7,13	2,20	2,99	2,98	2,27	3,19	4,79	1,51	0,96
Variância da amostra	46,94	50,78	4,85	8,97	8,87	5,15	10,15	22,90	2,27	0,93
Curtose	-0,11	5,82	-1,74	-1,51	-5,02	-1,46	-0,80	-0,92	0,25	-1,59
Assimetria	-0,32	-2,34	-0,01	-0,49	-0,13	-0,07	-0,65	0,81	1,06	-0,58
Intervalo	22,31	20,92	5,80	7,60	5,94	5,83	9,10	13,00	4,43	2,42
Mínimo	46,64	44,24	58,46	53,31	57,17	59,36	61,82	57,08	66,69	63,64
Máximo	68,95	65,16	64,25	60,92	63,10	65,18	70,91	70,07	71,12	66,06
Contagem	9,00	7,00	8,00	8,00	4,00	9,00	9,00	9,00	9,00	8,00
Nível de confiança(95,0%)	5,27	6,59	1,84	2,50	4,74	1,75	2,45	3,68	1,16	0,81

Apêndice 5. Estatística descritiva do IQA aditivo das amostras de superfície.

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Média da superfície	66,05	69,01	66,83	67,64	70,42	66,65	73,22	68,87	72,00	69,08
Erro padrão	0,82	0,73	1,25	0,38	0,69	1,46	0,69	0,41	0,50	0,54
Mediana	67,15	69,42	68,24	67,44	70,57	68,33	73,77	68,59	71,93	69,48
Desvio padrão	3,67	3,09	5,61	1,71	2,07	6,51	3,08	1,84	2,26	2,10
Variância da amostra	13,50	9,53	31,48	2,92	4,29	42,42	9,47	3,40	5,10	4,39
Curtose	0,21	0,01	14,03	-0,17	0,46	0,65	-0,50	0,66	2,62	6,07
Assimetria	-0,91	-0,98	-3,51	0,55	-0,70	-0,98	-0,30	-0,04	-0,84	-2,28
Intervalo	13,63	10,42	26,99	6,02	6,69	25,81	11,20	7,86	10,14	8,74
Mínimo	57,65	62,59	44,71	65,24	66,41	51,92	67,15	64,63	65,50	62,75
Máximo	71,29	73,01	71,70	71,26	73,10	77,73	78,34	72,49	75,64	71,49
Contagem	20,00	18,00	20,00	20,00	9,00	20,00	20,00	20,00	20,00	15,00
Nível de confiança(95,0%)	1,72	1,54	2,63	0,80	1,59	3,05	1,44	0,86	1,06	1,16

Apêndice 6. Estatística descritiva do IQA aditivo das amostras de fundo.

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Média do fundo	66,73	67,31	66,66	65,23	66,08	67,58	71,97	66,48	71,81	69,31
Erro padrão	1,16	1,54	0,78	0,71	1,34	0,64	0,91	1,59	0,48	0,38
Mediana	67,42	68,50	66,93	65,39	67,08	67,62	72,15	64,51	71,14	69,74
Desvio padrão	3,47	4,08	2,22	2,02	2,69	1,92	2,73	4,77	1,44	1,08
Variância da amostra	12,03	16,68	4,92	4,09	7,24	3,68	7,44	22,78	2,07	1,16
Curtose	1,16	4,62	-1,88	-1,94	2,34	1,09	-1,05	-1,02	0,71	3,32
Assimetria	0,90	-2,00	-0,10	-0,19	-1,59	-0,92	-0,45	0,88	1,22	-1,74
Intervalo	11,22	12,55	5,66	5,19	5,76	6,24	7,97	12,45	4,10	3,27
Mínimo	62,61	58,61	63,88	62,32	62,19	63,65	67,33	62,19	70,62	66,96
Máximo	73,83	71,17	69,54	67,51	67,95	69,89	75,30	74,64	74,72	70,23
Contagem	9,00	7,00	8,00	8,00	4,00	9,00	9,00	9,00	9,00	8,00
Nível de confiança(95,0%)	2,67	3,78	1,85	1,69	4,28	1,47	2,10	3,67	1,10	0,90

Apêndice 7. Tabela de correlação dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos.

	Temp.	pH	Turb.	S.T.	O.D.	NO ₂ - N	NO ₃ - N	PO ₄	SO ₄	Condut.	Cloreto	Alcalin.	DBO	DQO	CF
Temperatura	1,00														
pH	-0,41	1,00													
Turbidez	0,57	-0,17	1,00												
S.T.	0,49	-0,57	0,42	1,00											
O.D.	-0,63	0,64	-0,26	-0,04	1,00										
NO ₂ - N	0,50	0,06	0,80	0,56	0,02	1,00									
NO ₃ - N	-0,04	0,23	0,16	-0,08	0,04	0,19	1,00								
PO ₄	-0,33	-0,43	-0,52	-0,08	-0,12	-0,63	0,11	1,00							
SO ₄	-0,43	0,30	-0,26	0,01	0,63	-0,14	-0,64	-0,32	1,00						
Condutividade	-0,46	0,77	0,04	-0,07	0,84	0,35	0,18	-0,48	0,52	1,00					
Cloreto	-0,53	0,79	-0,15	-0,21	0,82	0,22	-0,05	-0,32	0,55	0,85	1,00				
Alcalinidade	0,69	-0,78	0,14	0,31	-0,83	-0,05	-0,11	0,31	-0,61	-0,89	-0,85	1,00			
DBO	0,49	-0,33	0,14	-0,23	-0,76	-0,13	-0,33	0,12	-0,41	-0,64	-0,52	0,66	1,00		
DQO	-0,32	0,45	-0,07	-0,14	0,61	-0,14	0,20	0,07	0,28	0,55	0,34	-0,52	-0,25	1,00	
CF	0,17	-0,31	-0,30	-0,08	-0,35	-0,57	0,11	0,25	-0,11	-0,48	-0,64	0,31	0,09	0,07	1,00

Apêndice 8. Estatística descritiva dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos.

	Temperatura °C	DQO mg O ₂ /L	DBO mg O ₂ /L	Alcalinidade mg CaCO ₃ /L	Cloreto mg Cl/L	Condutividade mS/cm	Sulfato mg SO ₄ ²⁻ /L	Fosfato mg PO ₄ ²⁻ /L
Média	29,55	68,76	10,88	270,04	974,41	3,93	69,93	0,032
Erro padrão	0,07	2,16	0,60	3,18	5,21	0,01	0,81	0,002
Mediana	29,40	67,04	9,07	267,84	978,69	3,92	68,65	0,030
Desvio padrão	0,37	11,64	3,24	17,14	28,08	0,07	4,34	0,009
Variância da amostra	0,14	135,38	10,53	293,94	788,48	0,00	18,79	0,000
Curtose	-0,73	6,42	2,17	5,81	0,19	-0,01	5,02	0,005
Assimetria	0,60	2,07	1,53	0,35	0,02	0,54	1,98	0,950
Intervalo	1,34	58,27	13,46	108,36	126,12	0,26	20,62	0,033
Mínimo	29,03	54,52	7,51	217,94	916,83	3,81	64,31	0,021
Máximo	30,36	112,79	20,97	326,30	1042,95	4,08	84,93	0,053
Contagem	29	29	29	29	29	29	29	29
Nível de confiança(95,0%)	0,14	4,43	1,23	6,52	10,68	0,03	1,65	0,004

Apêndice 9. Estatística descritiva dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos (continuação).

	OD	Sólidos	Turbidez	Coliformes	Nitrato	Nitrito	N-NH ₃
	mg O ₂ /L	mg/L	NTU	NMP/100mL	N-NO ₃ g/L	N-NO ₂ g/L	mg/L
Média	5,99	3034,67	12,43	53,75	0,749	0,011	1,13
Erro padrão	0,09	266,47	0,76	3,80	0,012	0,000	0,05
Mediana	6,05	2249,89	10,82	46,14	0,741	0,011	1,09
Desvio padrão	0,51	1434,96	4,07	20,48	0,065	0,001	0,29
Variância da amostra	0,26	2059121,10	16,53	419,50	0,004	0,000	0,08
Curtose	6,62	4,24	7,71	2,69	-0,564	-0,086	6,59
Assimetria	1,17	1,99	2,56	1,65	0,261	0,578	2,20
Intervalo	3,04	6081,80	19,82	86,75	0,254	0,005	1,44
Mínimo	4,83	1950,00	8,42	32,67	0,641	0,009	0,75
Máximo	7,87	8031,80	28,24	119,43	0,895	0,014	2,20
Contagem	29	29	29	29	29	29	29
Nível de confiança(95,0%)	0,19	545,83	1,55	7,79	0,025	0,000	0,11

Apêndice 10. Dados físico-químicos e bacteriológicos da Estação 01 – amostras tomadas na superfície.

Parâmetro	Unidade	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Temperatura	C	30,20	31,60	31,50	30,00	29,90	30,30	29,30	28,90	28,70	28,60
pH		7,93	7,68	7,57	7,52	7,69	7,74	7,92	7,89	8,23	8,18
Saturação de oxigênio	% OD	58,05	78,97	67,45	81,52	62,34	75,33	90,93	100,62	110,55	109,08
Oxigênio Dissolvido	mg O ₂ /L	4,40	5,82	5,00	6,20	4,75	5,70	7,00	7,80	8,60	8,50
DBO	mg O ₂ /L	11,48	16,58	5,56	16,58	2,47	1,58	10,55	4,57	2,75	3,80
Turbidez	NTU	12,40	22,00	21,30	3,82	3,38	4,25	4,90	6,57	7,22	15,20
Sólidos totais	mg/L	1178,00	18366,00	14804,00	2044,00	1930,00	1930,00	2254,00	2478,00	3096,00	3102,00
Fosfato	mg PO ₄ /L	0,009	0,094	0,005	0,046	0,041	0,034	0,079	0,029	0,027	0,016
Nitrito	mg NO ₂ /L	0,010	0,012	0,014	0,009	0,006	0,005	0,007	0,010	0,010	0,013
Nitrato	mg NO ₃ ⁻ -N/L	0,58	0,89	0,68	0,57	1,49	1,48	0,52	0,66	0,66	0,74
Nitrogênio amoniacal	mg NH ₃ /L	1,22	0,33	3,19	1,96	0,46	1,19	0,31	0,51	0,24	0,27
Nitrogênio kjedhal	mg N/L	3,62	4,28	3,95	3,95	3,92	5,03	2,80	3,81	3,81	3,41
Coliformes totais	NMP/100 mL	11,00	15,00	70,00	260,00	80,00	9000,00	96,00	78,00	33,50	55,00
DQO	mg O ₂ /L	55,38	73,91	63,28	66,85	57,61	91,28	73,60	64,21	59,00	65,28
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	263,34	295,80	381,91	327,08	291,71	278,33	259,72	214,62	198,85	40,30
Cloreto	mg Cl/L	932,16	999,69	969,27	919,82	830,81	989,06	941,48	1105,20	1158,50	1100,00
Condutividade	mS/cm	3,84	3,79	3,79	3,72	3,58	3,44	3,56	4,19	4,37	4,77
Sulfato	mg SO ₄ ⁻ /L	72,84	63,34	66,93	68,70	57,79	58,55	60,57	72,60	72,95	63,47
Sulfeto	mg S ₂ /L							0,007	0,007	0,014	0,012

Apêndice 11. Dados físico-químicos e bacteriológicos da Estação 01 – amostras tomadas em profundidade.

Parâmetro	Unidade	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Temperatura	C	30,30	31,80	31,80	30,10	30,00	30,50	29,10	29,20	28,90	29,10
pH		8,02	7,67	7,6	7,55	7,75	7,63	7,84	7,99	8,03	8,1
Saturação de oxigênio	% OD	58,15	78,97	65,08	60,58	62,45	74,26	86,73	95,96	106,42	97,09
Oxigênio Dissolvido	mg O ₂ /L	4,40	5,82	4,80	4,60	4,75	5,60	6,70	7,40	8,25	7,50
DBO	mg O ₂ /L	13,07	13,72	6,60	15,95	3,21	8,16	8,21	3,57	2,50	3,00
Turbidez	NTU	13,50	24,10	20,00	4,48	3,21	4,35	6,84	6,48	7,18	13,60
Sólidos totais	mg/L	1210,00	2146,00	2150,00	2178,00	1912,00	1962,00	2216,00	2400,00	21072,00	43072,00
Fosfato	mg PO ₄ /L	0,004	0,089	0,005	0,065	0,039	0,021	0,048	0,018	0,013	0,022
Nitrito	mg NO ₂ /L	0,009	0,011	0,014	0,009	0,011	0,005	0,008	0,009	0,010	0,013
Nitrato	mg NO ₃ ⁻ N/L	0,58	0,73	0,70	0,62	1,47	1,49	0,53	0,66	0,66	1,05
Nitrogênio amoniacal	mg NH ₃ /L	1,55	0,51	3,92	1,40	1,23	0,93	0,19	0,48	0,60	0,70
Nitrogênio kjedhal	mg N/L	3,75	4,41	4,28	4,28	3,86	6,22	3,27	2,60	2,60	3,81
Coliformes totais	NMP/100 mL	15,60	16,00	150,00	500,00	130,00	500,00	37,90	109,80	16,10	57,15
DQO	mg O ₂ /L	68,33	85,42	62,43	81,75	47,55	88,05	69,49	51,58	64,00	67,41
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	290,93	307,98	373,26	343,92	291,71	287,64	268,61	216,37	188,34	164,25
Cloreto	mg Cl/L	980,69	1029,68	1018,73	890,15	811,03	998,95	1107,74	1093,35	1152,58	1061,57
Condutividade	□ S/cm	3,84	3,76	3,79	3,64	3,53	3,42	3,58	4,15	4,35	4,77
Sulfato	mg SO ₄ ⁻ /L	72,53	62,31	65,17	69,70	54,51	75,38	56,72	67,60	67,39	90,52
Sulfeto	mg S ₂ /L							0,005	0,007	0,007	0,012

Apêndice 12. Dados físico-químicos e bacteriológicos da Estação 02 – amostras tomadas na superfície.

Parâmetro	Unidade	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Temperatura	C	31,30	31,40	32,10	30,70	30,80	31,60	29,80	28,20	28,40	29,30
pH		8,07	7,63	7,53	7,53	7,98	7,78	7,82	8,02	8,32	8,28
Saturação de oxigênio	% OD	60,50	76,19	68,14	75,85	85,31	92,56	81,24	101,95	110,62	116,91
Oxigênio Dissolvido	mg O ₂ /L	4,50	5,66	5,00	5,70	6,40	6,85	6,20	8,00	8,65	9,00
DBO	mg O ₂ /L	10,73	17,23	5,22	12,28	2,93	7,39	9,79	2,85	2,85	4,40
Turbidez	NTU	15,90	25,60	21,70	4,71	3,30	4,68	5,15	6,86	7,17	13,00
Sólidos totais	mg/L	1203,00	2120,00	2090,00	2134,00	1854,00	2054,00	2188,00	2456,00	3056,00	3046,00
Fosfato	mg PO ₄ /L	0,003	0,023	0,009	0,061	0,021	0,014	0,034	0,020	0,005	0,016
Nitrito	mg NO ₂ /L	0,013	0,014	0,017	0,009	0,006	0,007	0,009	0,010	0,010	0,014
Nitrato	mg NO ₃ ⁻ N/L	0,56	0,72	0,67	0,64	1,39	1,41	0,47	0,56	0,56	0,89
Nitrogênio amoniacal	mg NH ₃ /L		0,54	3,59	0,90	0,73	0,71	0,29	0,51	0,33	0,40
Nitrogênio kjedhal	mg N/L	3,95	4,28	4,28	3,95	3,74	5,72	2,90	2,54	2,54	2,61
Coliformes totais	NMP/100 mL	15,00	20,00	180,00	500,00	170,00	2400,00	60,50	90,40	13,50	43,35
DQO	mg O ₂ /L	73,00	83,43	56,93	71,67	59,78	72,38	80,46	49,47	65,00	78,08
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	458,58	312,33	379,99	325,16	291,29	277,07	264,38	213,31	191,41	155,49
Cloreto	mg Cl/L	961,83	994,69	959,38	880,26	830,81	919,82	1087,96	1105,20	1143,69	1143,23
Condutividade	mS/cm	3,79	3,69	3,84	3,51	3,50	3,49	3,67	4,19	4,32	4,74
Sulfato	mg SO ₄ ⁻ /L	70,59	69,25	66,02	74,62	51,05	56,34	65,33	63,70	63,47	70,37
Sulfeto	mg S ₂ /L							0,008	0,005	0,010	0,012

Apêndice 13. Dados físico-químicos e bacteriológicos da Estação 03 – amostras tomadas na superfície.

Parâmetro	Unidade	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Temperatura	C	30,60	30,70	31,20	29,50	29,80	29,60	28,70	30,00	27,80	28,30
pH		8,12	7,85	7,55	7,54	7,94	7,72	7,94	7,94	8,29	8,25
Saturação de oxigênio	% OD	59,78	84,14	67,10	65,17	75,99	80,30	83,56	101,24	94,91	99,57
Oxigênio Dissolvido	mg O ₂ /L	4,50	6,32	5,00	5,00	5,80	6,15	6,50	7,70	7,50	7,80
DBO	mg O ₂ /L	13,06	12,34	5,74	16,87	4,54	6,12	8,59	3,80	1,95	3,30
Turbidez	NTU	13,10	33,70	22,90	3,81	7,43	4,84	4,66	5,76	6,68	14,00
Sólidos totais	mg/L	1225,00	22130,00	2078,00	2204,00	1920,00	1932,00	2202,00	2686,00	2836,00	2838,00
Fosfato	mg PO ₄ /L	0,004	0,019	0,010	0,074	0,037	0,011	0,037	0,020	0,020	0,025
Nitrito	mg NO ₂ /L	0,010	0,011	0,017	0,008	0,005	0,008	0,007	0,010	0,009	0,013
Nitrato	mg NO ₃ ⁻ -N/L	0,60	0,69	0,67	0,59	1,36	1,44	0,45	0,57	0,57	0,78
Nitrogênio amoniacal	mg NH ₃ /L	0,82	2,79	4,10	0,78	0,90	0,97	0,16	0,51	0,64	0,54
Nitrogênio kjedhal	mg N/L	3,95	4,47	4,15	4,01	3,37	6,28	2,71	2,84	2,84	2,94
Coliformes totais	NMP/100 mL	13,40	15,00	50,00	110,00	300,00	40,00	63,70	63,70	5,10	45,35
DQO	mg O ₂ /L	67,48	85,20	62,86	63,34	41,63	61,64	75,66	56,84	57,00	63,15
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	264,20	304,50	367,97	333,81	284,08	280,87	262,26	212,43	190,53	169,94
Cloreto	mg Cl/L	1018,41	959,70	949,49	880,26	820,92	919,82	1058,29	1096,31	1164,42	1176,85
Condutividade	mS/cm	3,81	3,81	3,82	3,64	3,63	3,64	3,57	4,16	4,39	4,71
Sulfato	mg SO ₄ ⁻ /L	69,92	74,48	75,21	65,67	53,76	53,76	82,85	73,25	73,50	52,88
Sulfeto	mg S ₂ /L							0,006	0,007	0,009	0,010

Apêndice 14. Dados físico-químicos e bacteriológicos da Estação 03 – amostras tomadas em profundidade.

Parâmetro	Unidade	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Temperatura	C	30,60	30,70	31,20	29,50	29,80	29,60	28,70	30,00	27,80	28,30
pH		8,04	7,49	7,48	7,52	7,84	7,68	7,84	7,92	8,26	8,17
Saturação de oxigênio	% OD	58,45	10,86	54,75	54,84	63,87	57,50	80,26	97,97	88,74	78,73
Oxigênio Dissolvido	mg O ₂ /L	4,40	0,83	4,20	4,10	4,90	4,45	6,20	7,30	7,05	6,20
DBO	mg O ₂ /L	18,35	11,50	6,58	14,69	4,70	6,27	8,19	3,43	1,25	2,80
Turbidez	NTU	13,60	33,20	19,20	3,87	17,40	4,45	5,19	6,38	7,07	40,40
Sólidos totais	mg/L	7368,00	2080,00	2062,00	16106,00	2086,00	2024,00	2206,00	2606,00	3106,00	3104,00
Fosfato	mg PO ₄ /L	0,006	0,013	0,005	0,065	0,066	0,031	0,047	0,020	0,029	0,048
Nitrito	mg NO ₂ /L	0,013	0,008	0,013	0,008	0,019	0,005	0,008	0,010	0,012	0,017
Nitrato	mg NO ₃ ⁻ -N/L	0,56	0,66	0,67	0,64	1,48	1,36	0,47	0,60	0,60	0,80
Nitrogênio amoniacal	mg NH ₃ /L		2,65	0,33	1,06	0,84	1,03	0,58	0,06	0,76	0,47
Nitrogênio kjedhal	mg N/L	4,28	4,61	4,47	440,86	4,29	7,52	2,51	2,96	2,96	2,81
Coliformes totais	NMP/100 mL	7,40	17,00	60,00	80,00	170,00	130,00	28,20	32,30	21,30	21,10
DQO	mg O ₂ /L	51,25	67,28	69,84	69,26	108,71	74,09	70,63	35,79	78,00	87,68
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	260,32	307,55	370,85	327,08	371,85	284,68	274,95	215,06	199,29	170,82
Cloreto	mg Cl/L	961,83	994,69	969,27	870,37	840,70	890,15	1068,18	1081,51	1179,23	1181,65
Condutividade	mS/cm	3,75	3,75	3,83	3,57	3,53	3,49	3,62	4,11	4,44	4,82
Sulfato	mg SO ₄ ⁻ /L	65,90	66,69	63,59	72,35	47,01	60,94	57,55	72,90	72,56	63,94
Sulfeto	mg S ₂ /L							0,006	0,007	0,008	0,014

Apêndice 15. Dados físico-químicos e bacteriológicos da Estação 04 – amostras tomadas na superfície.

Parâmetro	Unidade	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro*
Temperatura	C	30,40	31,00	31,00	29,40	29,40	30,00	29,50	29,70	28,30	
pH		8,05	7,67	7,54	7,52	7,99	7,72	7,79	8	8,25	
Saturação de oxigênio	% OD	66,19	83,46	60,19	66,36	71,57	74,94	89,94	96,79	100,21	
Oxigênio Dissolvido	mg O ₂ /L	5,00	6,24	4,50	5,10	5,50	5,70	6,90	7,40	7,85	
DBO	mg O ₂ /L	14,18	13,23	5,14	14,82	3,01	6,35	9,12	3,64	2,00	
Turbidez	NTU	14,30	28,50	18,50	3,58	4,39	4,30	4,47	5,92	6,62	
Sólidos totais	mg/L	1180,00	2126,00	2478,00	2130,00	1982,00	2056,00	2200,00	2662,00	2734,00	
Fosfato	mg PO ₄ /L	0,011	0,032	0,030	0,067	0,028	0,039	0,032	0,011	0,015	
Nitrito	mg NO ₂ /L	0,010	0,014	0,018	0,012	0,006	0,006	0,009	0,009	0,010	
Nitrato	mg NO ₃ ⁻ N/L	0,55	0,70	0,67	0,63	1,40	1,39	0,50	0,63	0,63	
Nitrogênio amoniacal	mg NH ₃ /L	0,82	0,40	1,56	0,76	0,92	1,09	0,29	0,27	0,67	
Nitrogênio kjedhal	mg N/L	3,95	4,61	4,61	4,08	3,74	4,60	3,28	3,14	3,14	
Coliformes totais	NMP/100 mL	37,90	40,00	35,00	40,00	110,00	300,00	53,90	62,90	18,70	
DQO	mg O ₂ /L	67,80	73,91	74,07	56,77	59,19	74,49	105,14	47,37	59,00	
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	258,60	297,54	351,13	320,35	286,20	279,18	265,22	215,93	219,44	
Cloreto	mg Cl/L	955,54	999,69	1008,84	870,37	840,70	909,93	1068,18	1093,35	1176,26	
Condutividade	mS/cm	3,81	3,80	3,80	3,69	3,57	3,46	3,61	4,15	4,43	
Sulfato	mg SO ₄ ⁻ /L	73,02	66,87	74,54	63,59	51,17	72,67	78,01	73,70	73,50	
Sulfeto	mg S ₂ /L							0,006	0,005	0,006	

* Nível de água muito baixo, não foi possível realizar a amostragem.

Apêndice 16. Dados físico-químicos e bacteriológicos da Estação 05 – amostras tomadas na superfície.

Parâmetro	Unidade	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Temperatura	C	30,60	30,80	31,30	29,40	30,00	29,50	28,50	27,60	27,40	28,80
pH		8	7,65	7,53	7,51	7,96	7,67	7,88	7,97	8,24	8,25
Saturação de oxigênio	% OD	50,48	89,83	64,53	71,57	78,23	77,56	83,27	90,79	94,24	101,09
Oxigênio Dissolvido	mg O ₂ /L	3,80	6,74	4,80	5,50	5,95	5,95	6,50	7,20	7,50	7,85
DBO	mg O ₂ /L	13,92	16,28	5,51	9,25	3,43	7,58	9,12	3,05	1,95	3,35
Turbidez	NTU	13,30	26,20	18,40	3,95	5,06	4,33	4,94	7,20	6,67	13,00
Sólidos totais	mg/L	1194,00	2098,00	2046,00	2026,00	1912,00	2040,00	2194,00	2458,00	3766	3442
Fosfato	mg PO ₄ /L	0,006	0,010	0,018	0,067	0,044	0,015	0,036	0,015	0,017	0,013
Nitrito	mg NO ₂ /L	0,013	0,012	0,018	0,009	0,009	0,005	0,007	0,013	0,009	0,013
Nitrato	mg NO ₃ ⁻ N/L	0,54	0,66	0,68	0,62	1,38	1,45	0,45	0,60	0,60	0,74
Nitrogênio amoniacal	mg NH ₃ /L	1,15	0,40	3,01	0,90	0,87	1,13	0,55	0,48	0,64	0,17
Nitrogênio kjedhal	mg N/L	4,61	4,28	4,61	4,08	4,35	5,10	2,88	4,48	4,48	1,87
Coliformes totais	NMP/100 mL	14,30	15,00	50,00	70,00	130,00	230,00	26,50	66,30	21,80	50,85
DQO	mg O ₂ /L	77,03	75,02	59,05	72,33	48,14	60,12	65,83	52,63	60,00	68,48
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	263,77	294,93	375,18	316,50	295,95	283,83	263,95	217,69	194,91	170,82
Cloreto	mg Cl/L	993,26	879,73	929,71	849,74	850,59	890,15	1117,63	1084,47	1182,19	1128,82
Condutividade	mS/cm	3,81	3,79	3,84	3,56	3,55	3,53	3,64	4,12	4,45	4,76
Sulfato	mg SO ₄ ⁻ /L	73,26	72,05	65,23	65,36	51,62	59,87	74,46	69,25	69,11	62,84
Sulfeto	mg S ₂ /L							0,006	0,009	0,007	0,012

Apêndice 17. Dados físico-químicos e bacteriológicos da Estação 05 – amostras tomadas em profundidade.

Parâmetro	Unidade	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Temperatura	C	30,00	30,40	30,90	29,20	29,60	29,40	28,50	28,00	27,40	28,20
pH		7,93	7,72	7,52	7,47	7,95	7,73	7,8	7,93	8,25	8,25
Saturação de oxigênio	% OD	55,22	78,20	60,08	67,43	58,76	70,27	80,71	91,43	92,35	91,75
Oxigênio Dissolvido	mg O ₂ /L	4,20	5,91	4,50	5,20	4,50	5,40	6,30	7,20	7,35	7,20
DBO	mg O ₂ /L	12,17	12,06	5,24	7,58	5,96	5,75	8,20	3,12	2,10	2,40
Turbidez	NTU	13,00	30,70	18,60	3,76	12,00	4,16	4,73	5,75	6,39	15,80
Sólidos totais	mg/L	1278,00	2126,00	1942,00	2094,00	2104,00	2108,00	2244,00	2598,00	2934,00	2938,00
Fosfato	mg PO ₄ /L	0,003	0,016	0,010	0,058	0,067	0,012	0,077	0,001	0,017	0,013
Nitrito	mg NO ₂ /L	0,017	0,013	0,017	0,009	0,011	0,005	0,007	0,007	0,009	0,021
Nitrato	mg NO ₃ ⁻ -N/L	0,56	0,78	0,59	0,72	1,43	1,41	0,46	0,56	0,56	0,71
Nitrogênio amoniacal	mg NH ₃ /L	0,86	3,37	3,08	1,34	0,92	1,84	0,26	0,36	0,57	0,37
Nitrogênio kjedhal	mg N/L	5,33	4,94	5,00	4,41	4,17	4,79	2,96	2,90	2,90	2,48
Coliformes totais	NMP/100 mL	32,70	35,00	50,00	500,00	90,00	80,00	50,40	17,50	27,80	49,60
DQO	mg O ₂ /L	91,25	79,67	56,08	69,70	64,71	74,25	57,83	57,89	58,00	62,08
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	266,79	291,02	375,18	316,50	349,38	287,64	269,45	203,23	193,60	168,63
Cloreto	mg Cl/L	1005,83	909,72	969,70	859,73	840,70	850,59	1018,73	1078,55	1155,54	1167,24
Condutividade	mS/cm	3,82	3,77	3,79	3,56	3,54	3,53	3,66	4,10	4,36	4,77
Sulfato	mg SO ₄ ⁻ /L	71,07	59,39	65,53	69,07	49,85	60,82	78,47	78,80	78,29	73,66
Sulfeto	mg S ₂ /L							0,006	0,005	0,006	0,012

Apêndice 18. Dados físico-químicos e bacteriológicos da Estação 06 – amostras tomadas na superfície.

Parâmetro	Unidade	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Temperatura	C	30,10	30,20	31,40	29,40	29,70	29,80	28,70	27,10	27,90	28,50
PH		7,95	7,77	7,56	7,51	8,02	7,74	7,87	8,11	8,29	8,29
Saturação de oxigênio	% OD	59,27	82,32	61,95	67,66	75,86	67,48	74,56	69,99	95,71	96,72
Oxigênio Dissolvido	mg O ₂ /L	4,50	6,24	4,60	5,20	5,80	5,15	5,80	5,60	7,55	7,55
DBO	mg O ₂ /L	19,16	12,82	5,13	14,51	2,24	6,93	8,73	3,06	2,10	2,90
Turbidez	NTU	13,60	27,00	19,10	3,86	6,89	4,16	5,23	7,47	6,49	12,80
Sólidos totais	mg/L	1229,00	2106,00	2000,00	2090,00	2758,00	2024,00	2296,00	2524,00	2924,00	2930,00
Fosfato	mg PO ₄ /L	0,007	0,021	0,009	0,061	0,027	0,018	0,046	0,025	0,009	0,015
Nitrito	mg NO ₂ ⁻ /L	0,011	0,012	0,014	0,008	0,005	0,005	0,007	0,012	0,009	0,012
Nitrato	mg NO ₃ ⁻ -N/L	0,58	0,74	0,64	0,65	1,37	1,37	0,43	0,65	0,65	0,69
Nitrogênio amoniacal	mg NH ₃ /L	1,05	0,76	2,61	1,15	0,87	0,58	0,48	0,88	0,73	0,54
Nitrogênio kjedhal	mg N/L	3,29	4,28	4,28	4,08	4,48	4,97	2,84	3,08	3,08	2,14
Coliformes totais	NMP/100 mL	15,60	15,00	60,00	300,00	70,00	220,00	23,30	55,70	57,60	49,50
DQO	mg O ₂ /L	56,45	68,82	66,35	48,00	44,98	48,38	60,34	49,47	55,00	48,21
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	331,44	295,37	372,78	332,85	290,02	282,14	256,76	219,00	185,27	169,94
Cloreto	mg Cl ⁻ /L	1175,57	919,71	1039,68	889,72	850,59	749,34	1047,16	1108,16	1170,34	1176,85
Condutividade	mS/cm	3,88	3,82	3,82	3,51	3,52	3,53	3,65	4,20	4,41	4,75
Sulfato	mg SO ₄ ⁻ /L	72,90	61,70	66,57	63,91	50,04	55,78	76,88	70,52	70,52	73,66
Sulfeto	mg S ₂ /L							0,007	0,006	0,008	0,012

Apêndice 19. Dados físico-químicos e bacteriológicos da Estação 06 – amostras tomadas em profundidade.

Parâmetro	Unidade	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Temperatura	C	30,00	30,10	31,00	29,10	29,10	29,40	28,60	27,10	27,60	28,30
PH		7,91	7,63	7,5	7,49	7,86	7,72	7,81	8,1	8,25	8,21
Saturação de oxigênio	% OD	55,22	71,23	53,50	60,84	48,54	63,11	70,58	76,24	91,42	92,55
Oxigênio Dissolvido	mg O ₂ /L	4,20	5,41	4,00	4,70	3,75	4,85	5,50	6,10	7,25	7,25
DBO	mg O ₂ /L	36,04	13,17	4,92	14,83	7,99	6,38	12,99	5,09	1,60	2,50
Turbidez	NTU	12,60	26,90	18,90	4,00	90,00	3,98	4,13	23,00	6,26	12,70
Sólidos totais	mg/L	1242,00	2078,00	2030,00	2048,00	2092,00	15838,00	2362,00	2784,00	2878,00	2878,00
Fosfato	mg PO ₄ /L	0,008	0,180	0,008	0,052	0,048	0,022	0,087	0,056	0,012	0,016
Nitrito	mg NO ₂ /L	0,014	0,012	0,021	0,008	0,025	0,004	0,012	0,011	0,010	0,012
Nitrato	mg NO ₃ ⁻ -N/L	0,50	0,70	0,63	0,64	1,45	1,59	0,47	0,71	0,71	0,77
Nitrogênio amoniacal	mg NH ₃ /L	1,51	0,69	2,94	1,68	1,04	1,03	0,42	0,48	0,51	0,40
Nitrogênio kjedhal	mg N/L	3,75	4,61	4,61	4,28	4,42	4,54	3,08	3,51	3,51	2,81
Coliformes totais	NMP/100 mL	13,50	13,00	70,00	220,00	300,00	110,00	58,30	82,60	29,50	65,95
DQO	mg O ₂ /L	57,93	70,82	62,54	45,15	143,82	79,76	153,37	96,84	49,00	25,81
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	285,32	291,45	365,56	327,56	488,45	277,07	278,33	221,19	192,28	146,73
Cloreto	mg Cl/L	1018,41	939,71	959,70	869,73	830,81	826,20	1027,94	1093,35	1170,34	1282,53
Condutividade	mS/cm	3,85	3,84	3,83	3,53	3,52	3,56	3,71	4,15	4,41	4,73
Sulfato	mg SO ₄ ⁻ /L	75,39	60,85	71,98	62,27	50,23	68,95	77,71	78,90	78,21	93,11
Sulfeto	mg S ₂ /L							0,007	0,008	0,008	0,012

Apêndice 20. Dados físico-químicos e bacteriológicos da Estação 07 – amostras tomadas na superfície.

Parâmetro	Unidade	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Temperatura	C	30,20	30,30	32,30	29,50	29,80	29,80	30,70	28,80	29,30	28,60
PH		8,37	7,59	7,52	7,55	8,00	7,70	7,95	8,06	8,28	8,30
Saturação de oxigênio	% OD	60,69	80,27	68,37	62,57	75,34	78,61	85,16	74,69	106,52	100,10
Oxigênio Dissolvido	mg O ₂ /L	4,60	6,07	5,00	4,80	5,75	6,00	6,40	5,80	8,20	7,80
DBO	mg O ₂ /L	35,97	21,79	10,06	15,64	4,87	8,68	9,47	4,04	3,05	3,35
Turbidez	NTU	13,90	30,30	18,30	4,58	5,21	3,94	5,11	7,00	6,83	13,00
Sólidos totais	mg/L	1181,00	2048,00	2010,00	2022,00	2022,00	1974,00	2220,00	2452,00	14642,00	14648,00
Fosfato	mg PO ₄ /L	0,009	0,024	0,004	0,051	0,025	0,049	0,037	0,023	0,008	0,016
Nitrito	mg NO ₂ /L	0,015	0,014	0,017	0,009	0,009	0,007	0,008	0,009	0,007	0,012
Nitrato	mg NO ₃ ⁻ -N/L	0,58	0,68	0,61	0,72	1,43	1,41	0,46	0,73	0,73	1,61
Nitrogênio amoniacal	mg NH ₃ /L	0,89	3,01	2,97	0,78	0,90	0,39	0,45	0,42	0,73	0,77
Nitrogênio kjedhal	mg N/L	6,38	4,94	4,21	4,34	4,84	6,96	2,74	2,96	2,96	2,88
Coliformes totais	NMP/100 mL	12,00	12,00	25,00	170,00	80,00	0,00	43,20	61,30	13,50	75,75
DQO	mg O ₂ /L	60,48	93,83	70,48	46,47	80,30	94,37	62,17	61,05	59,00	64,21
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	312,48	308,85	365,56	316,98	289,17	270,72	253,80	210,24	196,66	166,44
Cloreto	mg Cl/L	955,54	879,73	899,72	859,73	840,70	768,56	989,52	1099,28	1182,19	1191,26
Condutividade	mS/cm	3,74	3,80	3,77	3,66	3,60	3,52	3,65	4,17	4,45	4,66
Sulfato	mg SO ₄ /L	61,21	72,17	73,55	71,34	65,29	70,40	71,97	75,85	75,07	75,15
Sulfeto	mg S ₂ /L							0,006	0,007	0,009	0,011

Apêndice 21. Dados físico-químicos e bacteriológicos da Estação 08 – amostras tomadas na superfície.

Parâmetro	Unidade	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió*	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Temperatura	C	30,20	30,00	31,60	29,40		29,80	28,90	27,80	28,70	29,70
PH		8,33	7,72	7,59	7,50		7,74	7,85	8,05	8,31	8,22
Saturação de oxigênio	% OD	63,33	78,76	77,02	74,17		77,96	89,01	74,66	106,05	112,49
Oxigênio Dissolvido	mg O ₂ /L	4,80	5,99	5,70	5,70		5,95	6,90	5,90	8,25	8,60
DBO	mg O ₂ /L	34,17	19,18	6,98	14,24		8,29	10,30	3,17	2,50	4,35
Turbidez	NTU	14,30	27,50	22,50	3,75		4,27	4,61	7,80	7,00	13,10
Sólidos totais	mg/L	1236,00	2082,00	2058,00	2064,00		1910,00	2200,00	2546,00	2956,00	2962,00
Fosfato	mg PO ₄ /L	0,008	0,009	0,007	0,067		0,024	0,076	0,008	0,047	0,021
Nitrito	mg NO ₂ ⁻ /L	0,014	0,012	0,014	0,009		0,005	0,008	0,010	0,010	0,013
Nitrato	mg NO ₃ ⁻ -N/L	0,53	0,63	0,57	0,65		1,39	0,42	0,80	0,80	0,88
Nitrogênio amoniacal	mg NH ₃ /L	1,32	0,69	2,68	0,78		0,58	0,35	0,76	0,76	0,37
Nitrogênio kjedhal	mg N/L	5,86	5,26	4,94	4,41		5,16	2,74	3,45	3,45	2,68
Coliformes totais	NMP/100 mL	23,80	30,00	50,00	230,00		40,00	47,10	65,00	47,20	45,60
DQO	mg O ₂ /L	58,99	78,78	74,92	45,59		42,16	49,60	42,63	52,00	74,88
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	264,63	287,97	377,59	315,06		282,99	275,37	219,00	196,22	160,31
Cloreto	mg Cl ⁻ /L	968,12	859,73	969,70	819,75		758,95	1008,73	1099,28	1191,07	1191,26
Condutividade	mS/cm	3,85	3,83	3,78	3,52		3,50	3,64	4,17	4,48	4,70
Sulfato	mg SO ₄ ⁻ /L	60,85	69,43	66,49	64,91		44,56	64,72	82,25	82,83	81,58
Sulfeto	mg S ₂ /L							0,005	0,006	0,008	0,012

*Amostra não coletada por problemas administrativos - o tempo da equipe do barco havia expirado.

Apêndice 22. Dados físico-químicos e bacteriológicos da Estação 09 – amostras tomadas na superfície.

Parâmetro	Unidade	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió*	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Temperatura	C	30,40	29,90	31,40	29,30		29,80	29,00	27,20	28,00	29,00
PH		8,45	7,61	7,64	7,53		7,76	7,88	8,05	8,31	8,3
Saturação de oxigênio	% OD	58,25	75,35	82,15	64,95		77,96	94,33	81,39	100,32	105,32
Oxigênio Dissolvido	mg O ₂ /L	4,40	5,74	6,10	5,00		5,95	7,30	6,50	7,90	8,15
DBO	mg O ₂ /L	36,09	17,70	6,91	12,25		8,19	9,55	4,21	2,25	3,80
Turbidez	NTU	12,50	28,00	22,30	3,90		4,12	4,78	7,00	6,83	12,30
Sólidos totais	mg/L	1045,00	2088,00	2062,00	2102,00		2324,00	2198,00	2630,00	2898,00	2902,00
Fosfato	mg PO ₄ /L	0,009	0,013	0,005	0,063		0,028	0,055	0,006	0,014	0,013
Nitrito	mg NO ₂ ⁻ /L	0,010	0,012	0,013	0,008		0,006	0,007	0,011	0,010	0,011
Nitrato	mg NO ₃ ⁻ -N/L	0,54	0,62	0,58	0,59		1,37	0,55	0,68	0,68	0,93
Nitrogênio amoniacal	mg NH ₃ /L	1,09	0,80	2,76	0,73		0,35	0,42	0,48	0,70	0,67
Nitrogênio kjedhal	mg N/L	3,62	3,95	4,61	4,28		5,22	2,56	2,72	2,72	2,14
Coliformes totais	NMP/100 mL	25,80	40,00	50,00	170,00		40,00	55,70	50,40	123,60	117,95
DQO	mg O ₂ /L	61,33	96,71	71,43	61,15		61,80	54,17	40,00	55,00	65,28
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	276,27	296,67	361,71	325,16		275,80	255,92	223,38	199,29	124,83
Cloreto	mg Cl ⁻ /L	968,12	889,72	979,70	899,72		806,98	1051,22	1087,43	1199,95	1143,23
Condutividade	mS/cm	3,82	3,73	3,81	3,38		3,52	3,67	4,13	4,51	4,75
Sulfato	mg SO ₄ ⁻ /L	62,43	74,60	62,90	63,02		55,33	82,92	82,35	82,99	93,34
Sulfeto	mg S ₂ /L							0,007	0,009	0,009	0,012

*Amostra não coletada por problemas administrativos - o tempo da equipe do barco havia expirado.

Apêndice 23. Dados físico-químicos e bacteriológicos da Estação 09 – amostras tomadas em profundidade.

Parâmetro	Unidade	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió*	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Temperatura	C	30,30	30,10	31,40	29,30		29,70	28,30	27,30	28,00	29,00
PH		8,52	7,71	7,61	7,5		7,76	7,83	8,05	8,32	8,25
Saturação de oxigênio	% OD	70,04	76,70	82,15	63,65		74,56	82,98	80,28	96,51	100,79
Oxigênio Dissolvido	mg O ₂ /L	5,30	5,82	6,10	4,90		5,70	6,50	6,40	7,60	7,80
DBO	mg O ₂ /L	35,69	17,66	8,17	12,06		9,59	9,27	7,48	1,50	3,80
Turbidez	NTU	12,50	27,00	19,20	4,27		4,10	5,21	41,80	10,30	20,90
Sólidos totais	mg/L	1128,00	2256,00	34424,00	1914,00		2012,00	2182,00	2888,00	2924,00	2858,00
Fosfato	mg PO ₄ /L	0,008	0,067	0,009	0,058		0,032	0,052	0,050	0,035	0,031
Nitrito	mg NO ₂ ⁻ /L	0,010	0,012	0,020	0,006		0,005	0,009	0,014	0,015	0,016
Nitrato	mg NO ₃ ⁻ -N/L	0,55	0,62	0,61	0,56		1,44	0,45	0,81	0,81	0,89
Nitrogênio amoniacal	mg NH ₃ /L	1,12	0,58	2,86	1,26		0,97	0,26	0,64	1,15	1,30
Nitrogênio kjedhal	mg N/L	3,95	4,15	4,80	4,41		5,78	3,39	3,75	3,75	2,61
Coliformes totais	NMP/100 mL	19,20	41,00	45,00	130,00		220,00	63,70	62,90	44,30	77,35
DQO	mg O ₂ /L	62,81	82,54	74,60	53,48		48,86	63,09	151,58	63,00	84,48
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	290,49	285,36	352,09	321,79		277,07	263,11	227,76	223,38	169,51
Cloreto	mg Cl ⁻ /L	993,26	919,71	949,71	909,72		720,52	1048,26	1114,08	1161,46	1172,05
Condutividade	mS/cm	3,86	3,80	3,77	3,56		3,56	3,66	4,22	4,38	4,75
Sulfato	mg SO ₄ ⁻ /L	55,55	72,35	61,70	65,54		60,57	64,80	72,65	72,33	99,54
Sulfeto	mg S ₂ /L							0,007	0,011	0,011	0,013

*Amostra não coletada por problemas administrativos - o tempo da equipe do barco havia expirado.

Apêndice 24. Dados físico-químicos e bacteriológicos da Estação 10 – amostras tomadas na superfície.

Parâmetro	Unidade	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio*	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Temperatura	C	30,50	30,20	31,40	29,50		31,70	30,10	28,00	29,60	30,30
PH		8,38	7,69	7,64	7,53		7,6	7,76	8,06	8,33	8,32
Saturação de oxigênio	% OD	71,61	68,05	91,57	71,69		56,85	68,49	86,35	127,96	121,58
Oxigênio Dissolvido	mg O ₂ /L	5,40	5,16	6,80	5,50		4,20	5,20	6,80	9,80	9,20
DBO	mg O ₂ /L	37,89	20,29	6,32	14,07		13,04	12,03	3,81	4,00	5,10
Turbidez	NTU	13,90	28,50	19,70	6,56		11,00	9,62	6,11	6,67	26,10
Sólidos totais	mg/L	1155,00	2284,00	2030,00	18382,00		2194,00	2212,00	2630,00	2946,00	2954,00
Fosfato	mg PO ₄ /L	0,009	0,016	0,009	0,062		0,034	0,071	0,023	0,024	0,029
Nitrito	mg NO ₂ ⁻ /L	0,012	0,012	0,018	0,008		0,009	0,014	0,009	0,009	0,013
Nitrato	mg NO ₃ ⁻ -N/L	0,56	0,61	0,56	0,56		1,51	0,49	0,65	0,65	1,02
Nitrogênio amoniacal	mg NH ₃ /L	1,05	0,44	3,08	1,01		1,03	0,42	1,03	0,82	0,74
Nitrogênio kjedhal	mg N/L	4,94	4,94	4,61	3,95		5,16	3,21	3,33	3,33	2,81
Coliformes totais	NMP/100 mL	6,40	10,00	60,00	170,00		500,00	123,30	39,50	3,00	103,15
DQO	mg O ₂ /L	67,06	68,16	68,25	59,62		86,23	60,57	38,95	70,00	109,01
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	283,17	298,41	358,83	326,12		310,48	286,79	217,69	203,67	147,17
Cloreto	mg Cl ⁻ /L	930,40	889,72	939,71	849,74		749,34	1074,91	1117,04	1214,76	1148,03
Condutividade	mS/cm	3,82	3,78	3,77	3,61		3,71	3,75	4,23	4,56	4,77
Sulfato	mg SO ₄ ⁻ /L	57,99	64,32	68,25	58,80		59,75	86,60	85,99	86,60	97,89
Sulfeto	mg S ₂ /L							0,014	0,007	0,006	0,016

*Amostra não coletada por problemas administrativos - o tempo da equipe do barco havia expirado.

Apêndice 25. Dados físico-químicos e bacteriológicos da Estação 11 – amostras tomadas na superfície.

Parâmetro	Unidade	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió*	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro***
Temperatura	C	30,50	29,00	31,40	29,40		32,10	30,60	28,30	30,40	
PH		8,26	7,58	7,69	7,48		7,48	7,85	8,07	8,4	
Saturação de oxigênio	% OD	74,26	62,36	87,53	62,46		22,49	81,03	85,53	119,81	
Oxigênio Dissolvido	mg O ₂ /L	5,60	4,83	6,50	4,80		1,65	6,10	6,70	9,05	
DBO	mg O ₂ /L	35,57	9,30	7,15	14,17		40,55	13,07	4,44	3,30	
Turbidez	NTU	13,60	18,30	21,50	4,91		61,00	11,60	6,05	9,90	
Sólidos totais	mg/L	1338,00	2670,00	18692,00	2532,00		2456,00	2208,00	2582,00		
Fosfato	mg PO ₄ /L	0,017	0,024	0,007	0,073			0,096	0,007	0,016	
Nitrito	mg NO ₂ /L	0,010	**	0,020	0,009		0,018	0,012	0,011	0,011	
Nitrato	mg NO ₃ ⁻ -N/L	0,56	0,60	0,58	0,52		1,49	0,36	0,81	0,81	
Nitrogênio amoniacal	mg NH ₃ /L	0,95	0,62	2,36	0,67		2,19	0,42	0,67	0,82	
Nitrogênio kjedhal	mg N/L	3,95	3,95	4,28	3,82		3,98	2,69	3,33	3,33	
Coliformes totais	NMP/100 mL	6,40	5,00	25,00	210,00		230,00	90,60	51,20	55,70	
DQO	mg O ₂ /L	63,87	54,00	60,32	60,27		175,81	67,43	38,95	73,00	
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	278,00	300,15	373,26	324,68		329,09	291,87	216,81	220,00	
Cloreto	mg Cl/L	961,83	809,75	839,74	879,73		806,98	1063,07	1114,08	1173,30	
Condutividade	mS/cm	3,89	3,83	3,74	3,63		3,78	3,71	4,22	4,42	
Sulfato	mg SO ₄ ⁻ /L	60,97	62,86	67,44	63,40		64,79	76,05	87,35	88,32	
Sulfeto	mg S ₂ /L							0,011	0,009	0,008	

*Amostra não coletada por problemas administrativos - o tempo da equipe do barco havia expirado.

**Tempo de análise expirado.

***Nível de água muito baixo, não foi possível realizar a amostragem.

Apêndice 26. Dados físico-químicos e bacteriológicos da Estação 12 – amostras tomadas na superfície.

Parâmetro	Unidade	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio*	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Temperatura	C	30,50	28,00	31,20	29,50		29,90	28,90	27,60	28,70	29,20
PH		8,35	7,45	7,62	7,58		7,82	7,96	8,09	8,33	8,34
Saturação de oxigênio	% OD	68,96	52,83	85,89	63,87		85,31	94,17	92,05	109,91	113,46
Oxigênio Dissolvido	mg O ₂ /L	5,20	4,16	6,40	4,90		6,50	7,30	7,30	8,55	8,75
DBO	mg O ₂ /L	9,38	11,41	6,67	13,33		9,41	8,60	3,87	2,95	4,15
Turbidez	NTU	16,60	15,60	20,30	4,13		4,73	5,30	6,85	6,99	11,50
Sólidos totais	mg/L	989,00	2018,00	2064,00	2100,00		1980,00	2354,00	2426,00	2902,00	2908,00
Fosfato	mg PO ₄ /L	0,009	0,015	0,003	0,050		0,039	0,028	0,018	0,022	0,018
Nitrito	mg NO ₂ /L	0,011	**	0,017	0,009		0,009	0,008	0,009	0,010	0,013
Nitrato	mg NO ₃ ⁻ -N/L	0,55	0,70	0,59	0,53		1,42	0,46	0,66	0,66	0,83
Nitrogênio amoniacal	mg NH ₃ /L	0,72	3,12	3,77	0,81		1,09	0,74	0,82	0,94	0,50
Nitrogênio kjedhal	mg N/L	3,95	4,28	4,61	3,95		4,85	2,96	3,33	3,33	2,88
Coliformes totais	NMP/100 mL	12,40	25,00	40,00	500,00		40,00	13,50	46,20	23,30	45,30
DQO	mg O ₂ /L	62,18	75,46	18,22	47,34		57,01	79,31	35,79	67,00	79,15
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	280,15	307,55	364,60	324,19		275,80	265,64	218,12	197,10	175,20
Cloreto	mg Cl/L	968,12	769,76	989,69	869,73		720,52	948,26	1090,39	1196,99	1061,57
Condutividade	mS/cm	3,81	3,72	3,77	3,65		3,56	3,66	4,14	4,50	4,79
Sulfato	mg SO ₄ ⁻ /L	58,78	69,55	66,24	55,08		62,90	81,49	70,65	71,23	72,80
Sulfeto	mg S ₂ /L							0,006	0,006	0,009	0,012

*Amostra não coletada por problemas administrativos - o tempo da equipe do barco havia expirado.

**Tempo de análise expirado.

Apêndice 27. Dados físico-químicos e bacteriológicos da Estação 12 – amostras tomadas em profundidade.

Parâmetro	Unidade	Janeiro	Fevereiro**	Março	Abril	Maió*	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Temperatura	C	30,50		31,10	29,00		29,80	29,30	27,30	28,50	29,20
PH		8,26		7,64	7,49		7,74	7,92	8,15	8,29	8,39
Saturação de oxigênio	% OD	74,26		87,09	55,57		77,96	97,42	77,77	102,48	110,22
Oxigênio Dissolvido	mg O ₂ /L	5,60		6,50	4,30		5,95	7,50	6,20	8,00	8,50
DBO	mg O ₂ /L	11,52		6,08	13,97		8,60	8,78	3,73	2,55	3,80
Turbidez	NTU	12,50		22,20	3,91		4,61	5,79	6,87	6,78	11,80
Sólidos totais	mg/L	1087,00		2088,00	2078,00		2062,00	2270,00	2488,00	3464,00	3470,00
Fosfato	mg PO ₄ /L	0,006		0,003	0,042		0,039	0,030	0,019	0,011	0,018
Nitrito	mg NO ₂ /L	0,012		0,019	0,009		0,003	0,007	0,010	0,010	0,012
Nitrato	mg NO ₃ ⁻ -N/L	0,54		0,54	0,59		1,40	0,40	0,70	0,70	0,79
Nitrogênio amoniacal	mg NH ₃ /L	0,86		3,23	0,64		0,87	0,68	0,82	0,73	0,50
Nitrogênio kjedhal	mg N/L	4,94		4,94	4,61		3,98	3,14	8,29	8,29	2,68
Coliformes totais	NMP/100 mL	6,40		40,00	800,00		230,00	13,40	48,70	45,00	44,20
DQO	mg O ₂ /L	51,14		47,12	50,63		66,35	55,54	35,79	59,00	70,61
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	267,22		368,45	320,35		287,64	262,26	217,25	203,67	177,83
Cloreto	mg Cl/L	1030,98		839,74	869,73		710,91	1048,26	1120,00	1202,91	1100,00
Condutividade	mS/cm	3,85		3,77	3,58			3,66	4,24	4,52	4,80
Sulfato	mg SO ₄ ⁻ /L	64,01		66,24	64,73		65,73	67,82	78,55	79,62	61,03
Sulfeto	mg S ₂ /L							0,002	0,007	0,006	0,015

*Amostra não coletada por problemas administrativos - o tempo da equipe do barco havia expirado.

**Amostra perdida.

Apêndice 28. Dados físico-químicos e bacteriológicos da Estação 13 – amostras tomadas na superfície.

Parâmetro	Unidade	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio*	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Temperatura	C	30,50	28,40	31,20	29,30		29,60	28,90	27,40	28,30	29,30
pH		8,28	7,51	7,6	7,51		7,78	7,91	8,12	8,33	8,33
Saturação de oxigênio	% OD	62,33	58,52	83,21	68,85		83,57	95,46	87,96	109,78	112,36
Oxigênio Dissolvido	mg O ₂ /L	4,70	4,58	6,20	5,30		6,40	7,40	7,00	8,60	8,65
DBO	mg O ₂ /L	10,73	10,89	6,83	19,65		9,53	9,44	3,07	2,30	3,95
Turbidez	NTU	14,40	15,70	20,00	3,96		4,66	5,22	7,66	6,15	12,20
Sólidos totais	mg/L	989,00	2018,00	2064,00	2100,00		1980,00	2354,00	2426,00	2902,00	2908,00
Fosfato	mg PO ₄ /L	0,012	0,010	0,003	0,068		0,043	0,039	0,024	0,053	0,013
Nitrito	mg NO ₂ /L	0,011	**	0,017	0,011		0,006	0,009	0,010	0,009	0,011
Nitrato	mg NO ₃ ⁻ -N/L	0,52	0,60	0,64	0,66		1,40	0,44	0,53	0,53	0,79
Nitrogênio amoniacal	mg NH ₃ /L	0,99	1,74	3,15	0,84		0,48	0,84	0,48	0,64	0,54
Nitrogênio kjedhal	mg N/L	4,28	4,28	4,28	4,28		4,54	2,85	3,57	3,57	3,35
Coliformes totais	NMP/100 mL	9,90	20,00	40,00	500,00		20,00	8,40	38,40		50,85
DQO	mg O ₂ /L	82,33	65,73	33,51	55,89		62,04	56,69	32,63	93,00	64,21
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	265,07	292,76	359,31	316,02		268,18	251,69	211,12	183,96	
Cloreto	mg Cl/L	1005,83	759,76	919,71	849,74		758,95	1036,42	1111,12	1205,88	1167,24
Condutividade	mS/cm	3,85	3,84	3,76	3,66		3,57	3,62	4,21	4,53	4,80
Sulfato	mg SO ₄ ⁻ /L	67,06	73,02	64,54	56,28		58,42	63,51	76,85	77,66	94,67
Sulfeto	mg S ₂ /L							0,005	0,006	0,006	0,012

*Amostra não coletada por problemas administrativos - o tempo da equipe do barco havia expirado.

**Amostra perdida.

Apêndice 29. Dados físico-químicos e bacteriológicos da Estação 13 – amostras tomadas em profundidade.

Parâmetro	Unidade	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio*	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro***
Temperatura	C	30,40	29,10	31,60	29,10		29,80	28,50	27,10	28,50	
pH		8,13	7,51	7,59	7,51		7,8	7,89	8,14	8,31	
Saturação de oxigênio	% OD	64,87	53,88	81,08	64,72		77,96	85,83	78,74	107,61	
Oxigênio Dissolvido	mg O ₂ /L	4,90	4,24	6,00	5,00		5,95	6,70	6,30	8,40	
DBO	mg O ₂ /L	8,90	10,85	5,50	12,97		6,77	8,88	4,68	2,45	
Turbidez	NTU	14,10	17,30	21,60	9,99		5,24	6,44	8,44	7,52	
Sólidos totais	mg/L	2088,00	2078,00	2052,00	2058,00		2084,00	2212,00	2482,00	2928,00	
Fosfato	mg PO ₄ /L	0,009	0,015	0,000	0,072		0,006	0,079	0,150	0,031	
Nitrito	mg NO ₂ /L	0,010	**	0,017	0,010		0,005	0,010	0,010	0,012	
Nitrato	mg NO ₃ ⁻ -N/L	0,50	0,63	0,62	0,56		1,33	0,37	0,50	0,50	
Nitrogênio amoniacal	mg NH ₃ /L	0,99	0,94	3,41	0,95		0,52	0,61	0,60	0,73	
Nitrogênio kjedhal	mg N/L	5,00	4,80	4,61	4,41		4,41	3,03	3,21	3,21	
Coliformes totais	NMP/100 mL	17,80	30,00	45,00	80,00		110,00	21,10	67,00	53,00	
DQO	mg O ₂ /L	66,21	60,19	34,87	41,81			45,49	45,26	95,00	
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	275,84	295,80	362,67	331,89		283,83	271,14	225,13	197,10	
Cloreto	mg Cl/L	993,26	859,73	876,96	848,67		730,13	1045,30	1140,73	1063,74	
Condutividade	mS/cm	3,87	3,75	3,77	3,74		3,57	3,65	4,31	4,05	
Sulfato	mg SO ₄ ⁻ /L	68,82	71,74	64,22	61,13		78,84	80,66	69,85	70,68	
Sulfeto	mg S ₂ /L							0,006	0,008	0,006	

*Amostra não coletada por problemas administrativos - o tempo da equipe do barco havia expirado.

**Amostra perdida.

*** Nível de água muito baixo, não foi possível realizar a amostragem.

Apêndice 30. Dados físico-químicos e bacteriológicos da Estação 14 – amostras tomadas na superfície.

Parâmetro	Unidade	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio*	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Temperatura	C	30,50	29,00	31,40	29,40		29,50	28,90	27,90	29,60	29,80
pH		8,23	7,48	7,61	7,54		7,78	7,91	8,1	8,31	8,33
Saturação de oxigênio	% OD	59,67	63,43	83,49	67,66		85,38	95,46	83,66	110,99	119,23
Oxigênio Dissolvido	mg O ₂ /L	4,50	4,91	6,20	5,20		6,55	7,40	6,60	8,50	9,10
DBO	mg O ₂ /L	13,17	11,37	5,07	12,28		8,57	9,32	3,16	2,80	4,30
Turbidez	NTU	15,70	14,40	22,40	4,01		4,47	4,95	6,58	8,19	14,30
Sólidos totais	mg/L	1101,00	2182,00	1914,00	1908,00		2080,00	2176,00	2350,00	2968,00	2980,00
Fosfato	mg PO ₄ /L	0,006	0,009	0,003	0,062		0,038	0,046	0,016	0,011	0,016
Nitrito	mg NO ₂ /L	0,010	**	0,014	0,009		0,004	0,009	0,009	0,010	0,010
Nitrato	mg NO ₃ ⁻ -N/L	0,54	0,59	0,59	0,61		1,32	0,45	0,56	0,56	0,92
Nitrogênio amoniacal	mg NH ₃ /L	0,92	2,50	3,63	1,04		0,58	0,48	0,54	0,54	0,60
Nitrogênio kjedhal	mg N/L	4,47	4,61	4,80	4,28		5,22	2,72	3,33	3,33	2,88
Coliformes totais	NMP/100 mL	7,50	15,00	30,00	220,00		80,00	13,40	72,20	42,60	46,65
DQO	mg O ₂ /L	55,07	69,49	26,60	41,64		74,73	76,80	52,63	82,50	71,68
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	255,15	292,32	363,64	316,02		274,10	262,68	209,36	186,15	
Cloreto	mg Cl/L	961,83	739,77	819,75	899,72		720,52	1054,18	1111,12	1208,84	1229,69
Condutividade	mS/cm	3,82	3,78	3,81	3,68		3,56	3,68	4,21	4,54	4,81
Sulfato	mg SO ₄ ⁻ /L	68,46	56,77	68,07	57,79		75,06	82,32	66,85	67,86	68,64
Sulfeto	mg S ₂ /L							0,006	0,007	0,008	0,013

*Amostra não coletada por problemas administrativos - o tempo da equipe do barco havia expirado.

**Amostra perdida.

Apêndice. Dados físico-químicos e bacteriológicos da Estação 15 – amostras tomadas na superfície.

Parâmetro	Unidade	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio*	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Temperatura	C	30,70	28,90	31,00	29,30		29,50	29,00	27,30	28,20	29,40
pH		8,17	7,48	7,6	7,54		7,79	7,92	8,11	8,3	8,35
Saturação de oxigênio	% OD	57,22	44,00	81,59	67,55		81,47	98,21	81,53	103,22	111,91
Oxigênio Dissolvido	mg O ₂ /L	4,30	3,41	6,10	5,20		6,25	7,60	6,50	8,10	8,60
DBO	mg O ₂ /L	13,23	5,90	6,84	13,85		7,81	9,48	2,67	2,70	4,20
Turbidez	NTU	12,20	14,50	22,00	3,75		4,64	5,06	6,77	6,97	13,30
Sólidos totais	mg/L	1012,00	2020,00	2044,00	2044,00		2138,00	2214,00	2510,00	2832,00	2830,00
Fosfato	mg PO ₄ /L	0,013	0,016	0,000	0,071		0,035	0,022	0,011	0,009	0,016
Nitrito	mg NO ₂ /L	0,009	**	0,016	0,008		0,005	0,009	0,010	0,009	0,018
Nitrato	mg NO ₃ ⁻ -N/L	0,52	0,61	0,62	0,62		1,31	0,42	0,48	0,48	0,81
Nitrogênio amoniacal	mg NH ₃ /L	0,89	5,00	3,05	0,67		1,35	0,39	0,36	0,67	0,54
Nitrogênio kjedhal	mg N/L	4,28	4,61	4,41	3,88		5,03	2,70	3,08	3,08	2,28
Coliformes totais	NMP/100 mL	15,00	25,00	40,00	170,00		130,00	8,40	61,70	24,00	56,20
DQO	mg O ₂ /L	74,53	92,72	49,84	27,49		62,75	54,63	37,89	96,00	71,68
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	275,84	307,11	353,05	328,04		274,95	264,38	212,43	184,84	153,30
Cloreto	mg Cl/L	1030,98	749,66	782,67	839,24		758,95	1074,91	1099,28	1194,03	1450,65
Condutividade	□ S/cm	3,85	3,84	3,77	3,60		3,48	3,75	4,17	4,49	4,78
Sulfato	mg SO ₄ ⁻ /L	69,12	68,88	72,54	68,44		55,96	80,81	65,35	66,13	65,74
Sulfeto	mg S ₂ /L							0,006	0,006	0,007	0,015

*Amostra não coletada por problemas administrativos - o tempo da equipe do barco havia expirado.

**Amostra perdida.

Apêndice 32. Dados físico-químicos e bacteriológicos da Estação 15 – amostras tomadas em profundidade.

Parâmetro	Unidade	Janeiro	Fevereiro**	Março	Abril	Maió*	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Temperatura	C	30,60		31,30	29,00		29,10	28,10	27,50	28,50	29,30
pH		8,16		7,59	7,47		7,75	7,85	8,05	8,3	8,31
Saturação de oxigênio	% OD	45,16		80,66	54,27		87,78	81,55	67,97	101,84	107,17
Oxigênio Dissolvido	mg O ₂ /L	3,40		6,00	4,20		6,90	6,30	5,40	7,95	8,25
DBO	mg O ₂ /L	11,42		6,13	11,11		7,54	11,79	3,02	2,75	4,00
Turbidez	NTU	15,00		25,50	4,00		5,62	29,80	7,38	7,57	13,50
Sólidos totais	mg/L	1022,00		2050,00	2024,00		2100,00	2668,00	2532,00	2980,00	2974,00
Fosfato	mg PO ₄ /L	0,010		0,000	0,063		0,069	0,157	0,022	0,020	0,019
Nitrito	mg NO ₂ /L	0,010		0,017	0,008		0,017	0,012	0,012	0,012	0,013
Nitrato	mg NO ₃ ⁻ -N/L	0,49			0,63		1,31	0,64	0,47	0,47	0,78
Nitrogênio amoniacal	mg NH ₃ /L	0,95		3,48	0,81		0,93	0,48	0,39	0,64	0,57
Nitrogênio kjedhal	mg N/L	4,61		4,61	4,28		5,10	3,11	3,02	3,02	3,01
Coliformes totais	NMP/100 mL	9,90		40,00	300,00		70,00	29,80	85,50	17,50	57,25
DQO	mg O ₂ /L	70,53		16,96	117,42		79,76	162,97	29,47	108,00	82,35
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	276,27		367,48	323,23		288,49	269,87	208,93	189,65	162,06
Cloreto	mg Cl/L	1024,69		924,11	801,52		768,56	1116,36	1048,94	1214,76	1450,65
Condutividade	mS/cm	3,84		3,75	3,75		3,56	3,89	4,00	4,56	4,75
Sulfato	mg SO ₄ ⁻ /L	65,59		65,36	71,91		68,44	58,91	78,95	80,17	53,79
Sulfeto	mg S ₂ /L							0,006	0,008	0,017	0,013

*Amostra não coletada por problemas administrativos - o tempo da equipe do barco havia expirado.

**Amostra não coletada.

Apêndice 33. Dados físico-químicos e bacteriológicos da Estação 16 – amostras tomadas na superfície.

Parâmetro	Unidade	Janeiro	Fevereiro**	Março	Abril	Maió*	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro***
Temperatura	C	31,80		34,50	29,30		30,50	29,30	28,60	30,00	
pH		8,2		7,6	7,55		7,6	7,87	8,1	8,33	
Saturação de oxigênio	% OD	44,74		0,00	68,85		59,01	106,52	93,68	113,07	
Oxigênio Dissolvido	mg O ₂ /L	3,30		0,00	5,30		4,45	8,20	7,30	8,60	
DBO	mg O ₂ /L	17,50		42,27	11,18		31,66	19,76	3,47	3,20	
Turbidez	NTU	20,70		54,20	4,38		15,00	88,90	7,47	7,03	
Sólidos totais	mg/L	1045,00		2068,00	2054,00		5466,00	2742,00	2554,00	2558	
Fosfato	mg PO ₄ /L	0,016		0,029	0,068		0,009	0,130	0,023	0,011	
Nitrito	mg NO ₂ /L	0,024		0,024	0,008		0,018	0,012	0,011	0,010	
Nitrato	mg NO ₃ ⁻ -N/L	0,51		0,53	0,63		1,47	0,64	0,56	0,56	
Nitrogênio amoniacal	mg NH ₃ /L	1,02		3,66	1,01		0,93	0,29	0,36	0,67	
Nitrogênio kjedhal	mg N/L	5,26		4,94	4,61		8,83	2,80	3,75	3,75	
Coliformes totais	NMP/100 mL	200,50		190,00	230,00		500,00	28,10	53,00	29,50	
DQO	mg O ₂ /L	64,84		68,90	64,15		90,78	169,83	36,84	53,00	
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	290,93		353,05	329,97		307,94	271,99	214,18	208,05	
Cloreto	mg Cl/L	942,97		792,09	867,53		739,74	1092,68	1134,81	1196,99	
Condutividade	mS/cm	3,77		3,65	3,78		3,66	3,81	4,29	4,50	
Sulfato	mg SO ₄ ⁻ /L	70,59		62,52	58,49		76,83	58,45	69,75	70,37	
Sulfeto	mg S ₂ /L							0,007	0,008	0,007	

*Amostra não coletada por problemas administrativos - o tempo da equipe do barco havia expirado.

**Amostra não coletada.

***Nível de água muito baixo, não foi possível realizar a amostragem.

Apêndice 34. Dados físico-químicos e bacteriológicos da Estação 17 – amostras tomadas na superfície.

Parâmetro	Unidade	Janeiro	Fevereiro*	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro**
Temperatura	C	21,00		31,00	29,50	29,80	30,60	29,90	27,80	29,40	
PH		8,17		7,5	7,55	8	7,51	8	8,11	8,33	
Saturação de oxigênio	% OD	46,87		68,21	82,12	68,79	30,55	106,31	96,17	112,56	
Oxigênio Dissolvido	mg O ₂ /L	4,20		5,10	6,30	5,25	2,30	8,10	7,60	8,65	
DBO	mg O ₂ /L	20,42		16,50	15,04	6,21	11,40	9,40	3,87	2,90	
Turbidez	NTU	13,90		21,20	20,00	6,08	16,20	5,40	6,08	7,34	
Sólidos totais	mg/L	1027,00		2750,00	2746,00	1990,00	2236,00	2220,00	2226,00	2232	
Fosfato	mg PO ₄ /L	0,013		0,014	0,234	0,019	0,038	0,049	0,047	0,011	
Nitrito	mg NO ₂ /L	0,012		0,024	0,0102	0,009	0,011	0,009	0,009	0,009	
Nitrato	mg NO ₃ ⁻ -N/L	0,49		0,60	0,59	1,40	1,35	0,61	0,70	0,70	
Nitrogênio amoniacal	mg NH ₃ /L	0,95		2,574	1,54	0,81	0,92	0,56	0,48	0,51	
Nitrogênio kjedhal	mg N/L	4,94		4,61	3,95	4,53768	6,84	3,05	2,96	2,96	
Coliformes totais	NMP/100 mL	16,40		40,00	170,00	2800,00	300,00	172,30	41,00	24,90	
DQO	mg O ₂ /L	69,05		86,07	248,21	66,29	54,85	66,97	32,63	62,00	
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	268,51		329,97	678,21	305,70	317,25	257,61	239,15	217,69	
Cloreto	mg Cl/L	968,12		933,54	829,81	811,03	787,77	1077,87	1125,93	1191,07	
Condutividade	□S/cm	3,86		3,64	3,33	3,65	3,76	3,76	4,26	4,48	
Sulfato	mg SO ₄ /L	71,86		62,65	81,67	98,94	123,65	58,08	73,85	74,25	
Sulfeto	mg S ₂ /L							0,006	0,007	0,008	

*Amostra não coletada.

**Nível de água muito baixo, não foi possível realizar a amostragem.

Apêndice 35. Dados físico-químicos e bacteriológicos da Estação 18 – amostras tomadas na superfície.

Parâmetro	Unidade	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio*	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Temperatura	C	31,00	28,30	31,90	29,10		29,20	28,80	27,40	28,80	30,10
pH		8,22	7,43	7,52	7,54		7,65	7,96	8,1	8,32	8,36
Saturação de oxigênio	% OD	66,88	60,54	67,91	66,02		65,48	97,87	94,24	111,39	123,80
Oxigênio Dissolvido	mg O ₂ /L	5,00	4,74	5,00	5,10		5,05	7,60	7,50	8,65	9,40
DBO	mg O ₂ /L	22,80	7,82	5,56	11,66		7,37	8,68	3,78	3,05	4,85
Turbidez	NTU	15,10	18,10	16,70	3,86		8,01	5,42	6,21	6,82	13,60
Sólidos totais	mg/L	1028,00	2016,00	1848,00	1844,00		2214,00	2256,00	2258,00	2906,00	2900,00
Fosfato	mg PO ₄ /L	0,013	0,012	0,004	0,051		0,032	0,063	0,008	0,011	0,016
Nitrito	mg NO ₂ ⁻ /L	0,013	**	0,017	0,007		0,009	0,009	0,009	0,010	0,012
Nitrato	mg NO ₃ ⁻ -N/L	0,50	0,67	0,53	0,63		1,34	0,57	0,54	0,54	0,84
Nitrogênio amoniacal	mg NH ₃ /L	1,15	0,80	3,95	1,01		1,18	0,42	0,48	0,60	0,50
Nitrogênio kjedhal	mg N/L	5,59	5,26	4,94	3,82		6,84	3,11	4,29	4,29	2,41
Coliformes totais	NMP/100 mL	13,70	15,00	50,00	170,00		500,00	34,50	51,20	21,60	35,60
DQO	mg O ₂ /L	61,68	48,46	42,30	98,14		73,29	60,57	62,11	72,00	75,95
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	273,25	291,45	378,07	328,04		299,06	267,34	213,31	186,15	
Cloreto	mg Cl ⁻ /L	942,97	693,08	810,95	886,39		758,95	1068,99	1114,08	1202,91	1335,37
Condutividade	mS/cm	3,83	3,77	3,60	3,44		3,66	3,73	4,22	4,52	4,81
Sulfato	mg SO ₄ ⁻ /L	67,60	72,84	67,56	61,26		142,18	59,66	59,75	60,01	58,49
Sulfeto	mg S ₂ /L							0,006	0,009	0,008	0,013

*Amostra não coletada por problemas administrativos - o tempo da equipe do barco havia expirado.

**Amostra perdida.

Apêndice 36. Dados físico-químicos e bacteriológicos da Estação 18 – amostras tomadas em profundidade.

Parâmetro	Unidade	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio*	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Temperatura	C	31,00	28,50	31,90	28,70		29,20	28,50	27,30	28,80	30,20
pH		8,23	7,57	7,59			7,77	7,8	8,06	8,28	8,37
Saturação de oxigênio	% OD	57,51	65,02	67,60	64,28		81,05	84,55	75,26	102,38	124,01
Oxigênio Dissolvido	mg O ₂ /L	4,30	5,08	5,00	5,00		6,25	6,60	6,00	7,95	9,40
DBO	mg O ₂ /L	21,79	17,42	5,80	12,46		8,90	8,82	6,84	3,95	5,10
Turbidez	NTU	16,00	18,00	19,00	4,91		5,37	15,00	19,00	15,40	14,10
Sólidos totais	mg/L	1026,00	2032,00	1870,00	2050,00		0,00	2240,00	2266,00	2944,00	2936,00
Fosfato	mg PO ₄ /L	0,010	0,013	0,004	0,069		0,034	0,058	0,071	0,039	0,018
Nitrito	mg NO ₂ /L	0,013	**	0,017	0,008		0,006	0,009	0,017	0,018	0,014
Nitrato	mg NO ₃ ⁻ -N/L	0,53	0,65	0,54	0,59		1,26	0,61	0,63	0,63	1,02
Nitrogênio amoniacal	mg NH ₃ /L	0,76	1,38	3,97	0,73		2,47	0,92	0,45	0,94	
Nitrogênio kjedhal	mg N/L	5,72	5,59	4,94	3,95		7,21	3,42	4,35	4,35	2,01
Coliformes totais	NMP/100 mL	23,80	25,00	50,00	150,00		110,00	8,50	43,20	16,90	51,95
DQO	mg O ₂ /L	61,89	54,66	55,00	57,09		81,20	59,43	230,53	280,50	77,01
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	288,77	291,02	378,07	319,87		276,22	267,76	225,57	197,10	
Cloreto	mg Cl/L	999,55	716,66	810,95	792,09		797,38	1083,79	1131,85	1226,60	1508,29
Condutividade	mS/cm	3,72	3,80	3,60	3,43			3,78	4,28	4,60	4,83
Sulfato	mg SO ₄ ⁻ /L	67,54	69,49	67,56	67,88		102,22	52,56	74,65	75,07	63,07
Sulfeto	mg S ₂ /L							0,007	0,014	0,012	0,013

*Amostra não coletada por problemas administrativos - o tempo da equipe do barco havia expirado.

**Amostra perdida.

Apêndice 37. Dados físico-químicos e bacteriológicos da Estação 19 – amostras tomadas na superfície.

Parâmetro	Unidade	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió*	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro**
Temperatura	C	30,70	27,90	31,30	29,10		29,30	28,80	28,00	28,80	
pH		8,13	7,34	7,6	7,55		7,81	7,96	8,04	8,31	
Saturação de oxigênio	% OD	62,54	51,68	76,63	71,20		83,78	105,60	92,70	115,25	
Oxigênio Dissolvido	mg O ₂ /L	4,70	4,08	5,70	5,50		6,45	8,20	7,30	8,95	
DBO	mg O ₂ /L	24,67	17,23	7,02	11,51		7,61	7,68	3,25	3,75	
Turbidez	NTU	15,20	15,90	19,80	4,11		5,28	4,93	5,47	7,59	
Sólidos totais	mg/L	1088,00	2172,00	2138,00	2136,00		1996,00	2182,00	2184,00		
Fosfato	mg PO ₄ /L	0,015	0,014	0,000	0,053		0,037	0,040	0,024	0,008	
Nitrito	mg NO ₂ /L	0,010		0,018	0,008		0,009	0,008	0,010	0,009	
Nitrato	mg NO ₃ ⁻ -N/L	0,45	0,64	0,51	0,54		1,37	0,53	0,59	0,59	
Nitrogênio amoniacal	mg NH ₃ /L	1,02	5,11	5,91	0,31		0,95	1,01	2,12	1,15	
Nitrogênio kjedhal	mg N/L	3,95	4,61	4,61	3,75		6,09	3,23	3,45	3,45	
Coliformes totais	NMP/100 mL	9,90	10,00	20,00	110,00		110,00	41,00	83,30	25,60	
DQO	mg O ₂ /L	60,00	66,17	34,35	64,44		70,90	62,40	44,21	71,00	
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	288,77	292,32	368,93	321,31		288,06	270,72	227,76	188,34	
Cloreto	mg Cl/L	980,69	820,38	801,52	839,24		758,95	1080,83	1125,93	1232,53	
Condutividade	mS/cm	3,82	3,81	3,66	3,47		3,51	3,77	4,26	4,62	
Sulfato	mg SO ₄ ⁻ /L	64,20	70,22	69,45	65,54		154,91	62,61	75,85	96,24	
Sulfeto	mg S ₂ /L							0,005	0,005	0,009	

*Amostra não coletada por problemas administrativos - o tempo da equipe do barco havia expirado.

**Nível de água muito baixo, não foi possível realizar a amostragem.

Apêndice 38. Dados físico-químicos e bacteriológicos da Estação 20 – amostras tomadas na superfície.

Parâmetro	Unidade	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Temperatura	C	30,70	29,00	31,10	29,40	29,60	29,30	29,00	28,80	29,60	31,80
pH		8,12	7,57	7,60	7,55	8,02	7,81	7,99	8,12	8,41	8,47
Saturação de oxigênio	% OD	74,52	52,68	89,77	96,29	88,79	90,93	126,64	109,46	145,59	152,53
Oxigênio Dissolvido	mg O ₂ /L	5,60	4,08	6,70	7,40	6,80	7,00	9,80	8,50	11,15	11,25
DBO	mg O ₂ /L	10,67	17,07	6,69	11,80	5,28	6,84	7,61	3,61	5,20	7,55
Turbidez	NTU	10,30	15,10	15,60	3,34	3,95	4,46	5,06	5,59	7,20	13,60
Sólidos totais	mg/L	1070,00	2134,00	2140,00	2138,00	2129,00	2092,00	2158,00	2164,00	2950,00	2950,00
Fosfato	mg PO ₄ /L	0,009	0,061	0,000	0,063	0,044	0,051	0,049	0,022	0,000	0,023
Nitrito	mg NO ₂ /L	0,009	*	0,013	0,009	0,010	0,006	0,010	0,010	0,010	0,017
Nitrato	mg NO ₃ ⁻ -N/L	0,52	0,60	0,57	0,60	1,42	1,42	0,66	0,78	0,78	0,97
Nitrogênio amoniacal	mg NH ₃ /L	3,26	4,39	3,41	1,54	0,92	0,95	0,78	0,57	0,88	0,50
Nitrogênio kjedhal	mg N/L	3,55	4,28	4,34	3,36	4,60	8,21	3,29	2,96	2,96	2,21
Coliformes totais	NMP/100 mL	20,20	26,00	30,00	120,00	140,00	500,00	32,50	50,40	30,50	36,65
DQO	mg O ₂ /L	68,21	64,40	20,94	47,92	54,85	127,45	62,17	54,74	67,00	83,41
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	297,39	310,59	351,13	303,99	284,08	264,38	257,61	227,76	194,91	220,00
Cloreto	mg Cl/L	993,26	820,38	810,95	858,10	870,37	797,38	1080,83	1137,77	1229,56	1421,83
Condutividade	mS/cm	3,68	3,68	3,68	3,52	3,56	3,60	3,77	4,30	4,61	4,85
Sulfato	mg SO ₄ ⁻ /L	65,17	64,44	66,36	55,46	51,68	148,74	61,17	57,65	58,68	56,08
Sulfeto	mg S ₂ /L							0,009	0,007	0,009	0,016

*Amostra perdida.

Apêndice 39. Estatística descritiva dos metais analisados – amostras tomadas em superfície.

	Níquel	Ferro	Chumbo	Zinco	Cromo	Sódio	Potássio	Magnésio	Cálcio
Média	0,015	1,095	0,131	0,059	0,273	528,469	50,055	64,540	149,384
Erro padrão	0,003	0,186	0,016	0,007	0,018	8,831	0,737	1,390	8,156
Mediana	0,009	0,867	0,129	0,055	0,278	531,877	49,406	64,960	145,051
Desvio padrão	0,011	0,831	0,067	0,033	0,080	39,492	3,296	6,215	36,473
Variância da amostra	0,000	0,691	0,005	0,001	0,006	1559,618	10,861	38,629	1330,269
Curtose	0,796	0,128	-0,032	0,091	-0,043	5,159	4,876	3,371	13,430
Assimetria	1,425	0,702	-0,118	0,774	-0,507	-1,227	2,065	-0,355	3,142
Intervalo	0,035	3,080	0,245	0,115	0,300	206,095	13,848	31,970	201,893
Mínimo	0,002	0,069	0,004	0,007	0,089	404,045	46,637	47,435	89,106
Máximo	0,037	3,150	0,249	0,122	0,389	610,141	60,485	79,405	290,999
Soma	0,269	21,895	2,366	1,189	5,466	10569,381	1001,110	1290,792	2987,689
Contagem	18	20	18	20	20	20	20	20	20
Nível de confiança(95,0%)	0,005	0,389	0,033	0,015	0,038	18,483	1,542	2,909	17,070

Apêndice 40. Estatística descritiva dos metais analisados – amostras tomadas em profundidade.

	Níquel	Ferro	Chumbo	Zinco	Cromo	Sódio	Potássio	Magnésio	Cálcio
Média	0,016	1,217	0,142	0,042	0,262	535,656	48,540	65,519	156,525
Erro padrão	0,005	0,312	0,038	0,004	0,030	6,744	0,536	0,930	4,026
Mediana	0,009	1,034	0,120	0,041	0,259	535,034	47,703	65,399	158,634
Desvio padrão	0,013	0,935	0,107	0,012	0,091	20,233	1,609	2,790	12,077
Variância da amostra	0,000	0,875	0,011	0,000	0,008	409,393	2,590	7,781	145,845
Curtose	0,000	-0,375	0,535	2,725	-0,382	1,136	0,869	1,426	-0,810
Assimetria	1,440	0,855	1,097	-0,383	0,429	-0,552	1,161	-0,483	-0,148
Intervalo	0,028	2,674	0,314	0,045	0,274	67,262	5,028	9,369	37,701
Mínimo	0,009	0,246	0,031	0,018	0,131	495,633	46,813	59,985	137,131
Máximo	0,037	2,920	0,345	0,064	0,405	562,895	51,842	69,354	174,833
Soma	0,129	10,956	1,133	0,382	2,362	4820,902	436,859	589,674	1408,727
Contagem	8	9	8	9	9	9	9	9	9
Nível de confiança(95,0%)	0,011	0,719	0,090	0,009	0,070	15,553	1,237	2,144	9,283

ANEXOS

Anexo 1: Impactos Ambientais - Pesos por Categorias e Parâmetros

Ecologia	240	Poluição Ambiental	402	Aspectos Estéticos	153	Interesse Humano	205
Espécies e Populações Terrestre (14)Pastos e Campos (14)Plantações (14)Vegetação Natural (14)Espécies Daninhas (14)Aves de caça Aquática (14)Pesca Comercial (14)Vegetação Natural (14)Espécies Daninhas (14)Pesca Esportiva (14)Aves Aquáticas	140	Poluição da Água (20)Perdas nas bacias Hidrográficas (25)DBO (31)OD (18)Coliformes Fecais (22)Carbono Inorgânico (25)Nitrogênio Inorg. (28)Fosfato Inorgânico (16)Pesticidas (18)pH (28)Variação de Vazão (28)Temperatura (25)Sólidos Disol. Totais (14)Substâncias Tóxicas (20)Turbidez	318	Solo (6)Mat. Geológico Sup. (16)Relevo e Características Topográficas (10)Extensão e Alinhamento	32	Valores Científicos (13)Arqueológicos (13)Ecológicos (11)geológicos (11)Hidrológicos Valores Históricos (11)Arquitetura e Estilo (11)Eventos (11)personagens (11) Religiões, Culturas (11)"Fronteira do Oeste"	48
				Ar (3)Odor e Visibilidade (2)Sons	5		55
				Água (10)Presença d'água (16)Interface solo-água (6)Odor e M. Flotantes (10)Superfície de Água (10)Margens Arborizadas e Geológicas	52		28
Habitats e Comunidades Terrestres (12)cadeias Alimentares (12)uso do solo (12)Espécies Raras e Ameaçadas (14)Diversidade de espécies Aquáticas (12)Cadeias Alimentares (12)Espécies Raras e Ameaçadas (12)Características Fluviais (14)Diversidade de Espécies	100	Poluição do Ar (5)Monóxido de Carbono (5)Hidrocarbonetos (10)Óxido de Nitrogênio (12)Partículas sólidas (5)Oxidantes Fotoquím. (10)Óxidos de Enxofre (5)Outros	52	Biota (5)Animais Domésticos (5)Animais selvagens (9)Diversidade Vegetal (5)Tipos de Vegetação	24	Sensações (11)Admiração (11)Isolamento/Solidão (4)Mistério (11)Integração com a natureza	37
				Poluição do Solo (14)Uso do Solo (14)Erosão do Solo	10		37
Eossistemas Somente descritivo		Poluição Sonora (4)Ruído	4	Composição (15)Efeitos compostos (15)Elementos Singulares	30	Legenda: () peso por parâmetro □ Total/cat. ou grupo	

Fonte: Battelle-Columbus Laboratories (1972)