



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

EMILY GIAN Y ASSUNÇÃO

**QUALIDADE DA ÁGUA E USO/COBERTURA DO SOLO DA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TIBAGI - PR**

Londrina
2017

EMILY GIAN Y ASSUNÇÃO

**QUALIDADE DA ÁGUA E USO/COBERTURA DO SOLO DA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TIBAGI - PR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento do Centro de Tecnologia e Urbanismo da Universidade Estadual de Londrina, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Edificações e Saneamento.

Orientadora: Profa. Dra. Emília Kiyomi Kuroda

Londrina
2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de
Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Assunção, Emily Giany.

Qualidade da água e uso/cobertura do solo da bacia hidrográfica do rio Tibagi - PR /
Emily Giany Assunção. - Londrina, 2017.
142 f. : il.

Orientador: Emília Kiyomi Kuroda.

Dissertação (Mestrado em Edificações e Saneamento) - Universidade Estadual de
Londrina, Centro de Tecnologia e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia
de Edificações e Saneamento, 2017.

Inclui bibliografia.

1. índices de qualidade das águas - Tese. 2. ecotoxicidade - Tese. 3. diagnóstico temporal
- Tese. 4. sensoriamento remoto - Tese. I. Kuroda, Emília Kiyomi . II. Universidade Estadual
de Londrina. Centro de Tecnologia e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Edificações e Saneamento. III. Título.

EMILY GIAN Y ASSUNÇÃO

**QUALIDADE DA ÁGUA E USO/COBERTURA DO SOLO DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO TIBAGI - PR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento do Centro de Tecnologia e Urbanismo da Universidade Estadual de Londrina, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Edificações e Saneamento.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Profa. Dra. Emília Kiyomi Kuroda
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Profa. Dra. Adriana Castreghini de Freitas
Pereira
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Profa. Dra. Elisabete Hiromi Hashimoto
Universidade Tecnológica Federal do Paraná –
UTFPR

Prof. Dr. Hemerson Donizete Pinheiro
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Londrina, 15 de fevereiro de 2017.

Dedicatória

*Dedico esse trabalho ao meu irmão
Wilson Júnior pelo carinho, apoio e
incentivo.*

AGRADECIMENTOS

À Deus, por sempre estar me iluminando e dando força e coragem para caminhar com fé e perseverança.

À minha orientadora Dra. Emília Kiyomi Kuroda pelos ensinamentos, conselhos, incentivo, confiança, oportunidade e pela amizade. Muito obrigada!

Às professoras Adriana e Elisabete pelas contribuições na banca de qualificação.

À minha mãe Viviane, que não mediu esforços para que eu pudesse chegar até essa etapa da minha vida, obrigada pelo apoio, orações, conselhos, ensinamentos, incentivo nas horas difíceis, pelo exemplo de pessoa, por sempre estar ao meu lado, por nunca me deixar desistir e por acreditar no meu potencial.

Ao meu pai Vilson, por todas as orações, ensinamentos, conselhos, apoio e incentivo.

Ao meu irmão Vilson Júnior pelo apoio, paciência, dedicação, carinho, ensinamentos, motivação e por estar sempre disposto a me ajudar, que de uma forma especial esteve ao meu lado todo esse tempo me dando força, coragem e acreditando em mim quando eu achava que não iria conseguir.

À minha família, pelo apoio, incentivo, compreensão e acima de tudo por estarem presentes em minha vida.

À Universidade Estadual de Londrina e aos docentes do Programa de Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento, pela contribuição na formação acadêmica.

À secretária do programa de pós-graduação Maria Aparecida e aos técnicos do laboratório de Maquetes Carlos e do laboratório de Hidráulica e Saneamento Ivan, pelas contribuições durante a realização deste projeto.

Aos amigos do Laboratório de Hidráulica e Saneamento: Amanda, Aline, Andressa, Mariane, Thais, Sarah, Josemarque, Priscila e Renan pelo convívio, companheirismo, momentos de descontração e compartilhamento dos conhecimentos.

À Aline pela amizade, pelo compartilhamento de conhecimentos, esclarecimentos de dúvidas e treinamento de manutenção das cepas de microorganismos para os ensaios de ecotoxicidade.

À Mariane pela amizade, pela companhia e auxílio nos finais de semana de muitas análises e por toda colaboração durante a realização desse projeto.

À Carolina, Rafaela, Jessica, Leticia, Isabela, Bárbara, Mariane, Vilson, Kamila e Carlos que contribuíram durante as análises laboratoriais.

Ao Danilo e Carlos pelo auxílio no trabalho de campo.

Ao Paulo Castro, pelos ensinamentos e auxílios na elaboração do mapa de uso e ocupação do solo.

Aos amigos Ana Karla, Ana Paula, Kaori, Kelly, Gabriela, Gunnar, Jenifer, Luma e Rafaela que reconheceram e respeitaram minha ausência durante a realização deste trabalho e que mesmo longe estão sempre presentes em minha vida. Obrigada pelo companheirismo e pela amizade.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela concessão da bolsa de pesquisa.

À todas as pessoas que diretamente ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

ASSUNÇÃO, Emily Giany. **Qualidade da água e uso/cobertura do solo da bacia hidrográfica do rio Tibagi - PR.** 2017. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2017.

RESUMO

O desenvolvimento de atividades antrópicas está intimamente relacionado ao uso e cobertura da bacia hidrográfica e impacta diretamente nos aspectos qualitativos da água podendo atribuir características que inviabilizem seu uso para determinados fins. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade da água e as alterações no uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do rio Tibagi para os anos de 2006, 2011 e 2016. Para avaliação da qualidade da água foi realizada a caracterização química, física, microbiológica e ecotoxicológica de amostras coletadas no Reservatório da UHE Mauá e à jusante próximo a cidade de Londrina, para o cálculo dos índices de qualidade da água: Índice de Qualidade das Águas - IQA, Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas - ISTO, Índice de Qualidade das Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público - IAP, Índice do Estado Trófico - IET, Índice de Variáveis Mínimas para a Preservação da Vida Aquática - IPMCA, Índice de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e da Comunidade Aquáticas - IVA e Índice de Qualidade da Água de Reservatórios - IQAR. Os ensaios ecotoxicológicos foram realizados utilizando os organismos-teste *Ceriodaphnia dubia*, *Daphnia magna* e *Artemia salina*. O diagnóstico temporal da qualidade da água foi realizado com os dados de caracterização fornecidos pelo Instituto das Águas do Paraná e Agência Nacional das Águas, por meio do cálculo do IQA. Para a classificação do uso e cobertura do solo foi utilizado o programa ArcGIS e imagens do satélite LANDSAT 5 e 8, distinguindo-se as classes temáticas: área urbana, água, vegetação densa, solo exposto e vegetação rasteira. Em geral, a classificação da qualidade da água pelo IQA variou entre boa e ótima; pelo ISTO, apresentaram-se adequadas para o consumo humano ou para o tratamento convencional ou avançado; pelo IAP resultou entre regular e ótima; pelo IET, entre mesotrófico e ultraoligotrófico; pelo IPMCA foi considerada boa; pelo IVA variou entre boa e ótima e pelo IQAR, entre moderadamente e criticamente degradado a poluído, e não apresentaram toxicidade aos organismos estudados. Verificou-se nos mapas de uso e cobertura elaborados o aumento consistente da classe urbana e a redução da classe vegetação rasteira entre os anos analisados. Os resultados dos índices de qualidade da água evidenciaram a importância da utilização de índices específicos para cada uso previsto da água e os mapas de uso e cobertura forneceram subsídios importantes para auxiliar a gestão da bacia hidrográfica do rio Tibagi.

Palavras-chave: Índices de qualidade das águas. Ecotoxicidade. Diagnóstico temporal. Sensoriamento remoto.

ASSUNÇÃO, Emily Giany. **Water quality and land use/land cover of Tibagi River hydrographic basin - PR.** 2017.142 p. Dissertation (Master in Buildings Engineering and Sanitation) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2017.

ABSTRACT

The development of anthropic activities is closely related to land use/land cover of the river basin and directly impacts the qualitative and quantitative aspects of water and can attribute characteristics that make it unviable for specific uses. This work had as objective to evaluate the water quality and the changes in land use/land cover of Tibagi river basin in 2006, 2011 and 2016. For the evaluation of water quality, it was realized chemical, physical, microbiological and ecotoxicological analyses of samples collected at the UHE Mauá Reservoir and downstream near the city of Londrina, to calculate the water quality indexes: Water Quality Index - IQA, Toxic and Organoleptic Substances Index - ISTO, Quality Index Of Raw Waters for Public Supply Purposes - IAP, Trophic State Index - EIT, Index of Minimum Variables for the Preservation of Aquatic Life - IPMCA, Water Quality Index for the Protection of Aquatic Life and the Aquatic Community - IVA and Index of Reservoir Water Quality - IQAR. The ecotoxicological tests were carried out using the test organisms *Ceriodaphnia dubia*, *Daphnia magna* and *Artemia salina*. The temporal diagnosis of water quality was performed using the characterization data provided by the Instituto das Águas do Paraná and Agência Nacional das Águas, through the calculation of the IQA. For the classification of land use/land cover, it was used ArcGIS software and images of the LANDSAT satellite 5 and 8 to distinguish the thematic classes: urban area, water, dense vegetation, exposed soil and undergrowth. In general, the classification of water quality by IQA varied between good and optimal, by ISTO it were suitable for human consumption or for conventional or advanced treatment, by IAP it resulted between regular and optimal; by IET it was between mesotrophic and ultraoligotrophic; by IPMCA it was considered good; by IVA it varied between good and optimal and by IQAR it was considered between moderately and critically degraded to polluted, and did not present toxicity to the organisms studied. In the maps of land use/land cover elaborated, it was verified a consistent increase of the urban class and the reduction of the undergrowth class between the years analyzed. The results of the water quality indexes showed the importance of the use of specific indexes for each predicted use of water and the maps of land use/land cover provided important information to assist the management of the hydrographic basin of the Tibagi River.

Keywords: Water quality indexes. Ecotoxicity. Temporal diagnosis. Remote sensing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curvas de variação de qualidade para os parâmetros coliformes fecais, pH, DBO, nitratos, fosfatos, temperatura, turbidez, sólidos totais dissolvidos e oxigênio dissolvido.....	30
Figura 2 - Curva de qualidade padrão para as variáveis que compõem o ISTO.....	33
Figura 3 - Processo ilustrativo da obtenção de imagens por sensoriamento remoto	50
Figura 4 - Curvas de reflectância obtidas para diferentes tipos de alvos contidos dentro do ângulo de visada do sensor.....	51
Figura 5 - Comprimentos de onda dos satélites LANDSAT 5, 7 e 8.....	56
Figura 6 - Localização da Bacia Hidrográfica do rio Tibagi - BHT	60
Figura 7 - Delineamento experimental dos objetivos 1, 2 e 3	62
Figura 8 - Delineamento experimental dos objetivos 4 e 5.....	62
Figura 9 - Localização das áreas de amostragem.....	64
Figura 10 - Localização dos 24 pontos de amostragem e coleta de dados do reservatório da UHE Mauá	65
Figura 11 - Localização dos 20 pontos de amostragem e coleta do á jusante do reservatório da UHE Mauá próximo à cidade de Londrina - PR.....	65
Figura 12 - Foto de amostragem utilizando a garrafa de Van Dom.....	66
Figura 13 - Foto da localização do ponto utilizando o GPS e a medição de OD	66
Figura 14 - Fotos dos organismos-teste utilizados para realização dos ensaios de ecotoxicidade..	70
Figura 15 - Distribuição espacial das estações fluviométricas selecionadas	77
Figura 16 - Mapa de uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do rio Tibagi - BHT em 2006.....	96
Figura 17 - Mapa de uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do rio Tibagi - BHT em 2011.....	97
Figura 18 - Mapa de uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do rio Tibagi - BHT em 2016.....	98
Figura 19 - Áreas de uso e cobertura e crescimento populacional da BHT.....	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Padrões de enquadramento de corpos hídricos de águas doces classes 1, 2, 3 e 4 Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA 357 / 2005.....	26
Tabela 2 - Peso atribuído a cada parâmetro de cálculo do IQA.....	29
Tabela 3 - Equações representativas das curvas de qualidade, elaboradas pela CETESB	31
Tabela 4 - Classificação do IQA.....	32
Tabela 5 - Limites inferiores e superiores das variáveis do ISTO.....	34
Tabela 6 - Valor/Faixa referente ao teste de Ames e a taxação correspondente para o cálculo do ISTO.....	34
Tabela 7 - Níveis de número de células de cianobactérias e a taxação para o cálculo do ISTO	35
Tabela 8 - Classificação do Índice de Qualidade da Água Bruta para fins de Abastecimento Público- IAP	36
Tabela 9 - Classificação do Estado trófico para rios.....	38
Tabela 10 - Classificação do Estado trófico para reservatórios	38
Tabela 11 - Variáveis componentes do IPMCA e suas ponderações	40
Tabela 12 - Classificação do IPMCA	41
Tabela 13 - Valores de ponderação do IET utilizados para o cálculo do IVA	42
Tabela 14 - Cálculo do IVA integrando os valores do IET e do IPMCA.....	42
Tabela 15 - Classificação do IVA.....	42
Tabela 16 - Classes de qualidade em relação a concentrações das variáveis.....	43
Tabela 17 - Peso atribuído a cada parâmetro de cálculo do IQAR, de acordo com o IAP	44
Tabela 18 - Classificação do IQAR	45
Tabela 19 - Definição da classificação do IQAR.....	45
Tabela 20 - Principais características da série LANDSAT.....	53
Tabela 21 - Características dos sensores da série LANDSAT	54
Tabela 22 - Principais características e aplicações das bandas TM e ETM.....	55
Tabela 23 - Data da coleta de dados e de amostras das águas para cada área de amostragem e período de coleta	63
Tabela 24 - Denominações dos diferentes tipos de amostra.....	64
Tabela 25 - Parâmetros, métodos e equipamentos utilizados para análise de qualidade da água	68
Tabela 26 - Parâmetros, fórmulas e classificações utilizadas para determinação dos índices de qualidade da água	69

Tabela 27 - Composição da água reconstituída para cultivo e diluição das amostras no ensaio com Ceriodaphnia dubia	71
Tabela 28 - Composição do meio de cultivo no Meio M4 para Daphnia magna.....	73
Tabela 29 - Composição da solução salina artificial para Artemia salina	76
Tabela 30 - Estações fluviométricas selecionadas para o diagnóstico temporal da qualidade da água do Rio Tibagi.....	77
Tabela 31- Imagens de satélite utilizadas para elaboração do mapa de uso e cobertura do solo ...	78
Tabela 32- Características das amostras utilizada para o mapeamento da imagem do LANDSAT 5 (TM), Ponto 077, Órbita 221, Data 12/09/2006.....	79
Tabela 33 - Valor médio e desvio padrão das análises físico químicas de amostras de água coletadas nas áreas de amostragem do Reservatório da Usina Hidrelétrica Mauá - AR e à jusante no rio Tibagi próximo a cidade de Londrina - AJ.....	80
Tabela 34 - Valores dos parâmetros para determinação do IQA e classificação das águas para cada área de amostragem e período de coleta.....	82
Tabela 35 - Faixa de valores e classificação de IQA da água do rio Tibagi entre os anos de 1987 a 2007.....	84
Tabela 36 - Valores de IQA das águas de estações fluviométricas do rio Tibagi entre os anos de 1987 a 2007	85
Tabela 37 - Resultado das análises dos parâmetros, valor do ISTO e IAP e classificação das águas das áreas de amostragem AR e AJ para o período de chuva	85
Tabela 38 - Resultado das análises dos parâmetros, valor do ISTO e IAP e classificação das águas das áreas de amostragem AR e AJ para o período de estiagem	86
Tabela 39 - Valores dos parâmetros de qualidade para determinação do IET e classificação das águas para cada área de amostragem e período de coleta	88
Tabela 40 - Resultado das análises dos parâmetros, valor do IPMCA e IVA e classificação das águas das áreas de amostragem AR e AJ para o período de chuva	90
Tabela 41 - Resultado das análises dos parâmetros, valor do IPMCA e IVA e classificação das águas das áreas de amostragem AR e AJ para o período de estiagem	91
Tabela 42 - Valores dos parâmetros para determinação do IQAR e classificação.....	93
Tabela 43 - Diluições utilizadas para cada organismo-teste nos ensaios de ecotoxicidade.....	94
Tabela 44 - Áreas correspondentes a cada classe temática de uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do rio Tibagi - BHT para os anos de 2006, 2011 e 2016.	99
Tabela 45 - Valores dos parâmetros para determinação do IQA para águas das três estações fluviométricas (ENG, TIB e POR) para os anos de 2006, 2011 e 2016	102

Tabela 46 - Valores e classificação dos índices de qualidade das águas para as amostras coletadas à profundidade Z1 (30 cm de profundidade).....	104
Tabela 47 - Unidade de mapeamento - imagem LANDSAT 5 (TM), Ponto 077, Órbita 221, Data 12/09/2006.....	115
Tabela 48 - Unidade de mapeamento - imagem LANDSAT 5 (TM), Ponto 078, Órbita 221, Data 12/09/2006.....	116
Tabela 49 - Unidade de mapeamento - imagem LANDSAT 5 (TM), Ponto 077, Órbita 222, Data 03/09/2006.....	117
Tabela 50 - Unidade de mapeamento - imagem LANDSAT 5 (TM), Ponto 076, Órbita 222, Data 03/09/2006.....	118
Tabela 51 - Unidade de mapeamento - imagem LANDSAT 5 (TM), Ponto 077, Órbita 221, Data 05/08/2011.....	119
Tabela 52 - Unidade de mapeamento - imagem LANDSAT 5 (TM), Ponto 078, Órbita 221, Data 05/05/2011.....	120
Tabela 53 - Unidade de mapeamento - imagem LANDSAT 5 (TM), Ponto 076, Órbita 222, Data 16/08/2011.....	121
Tabela 54 - Unidade de mapeamento - imagem LANDSAT 5 (TM), Ponto 077, Órbita 222, Data 16/08/2011.....	122
Tabela 55 - Unidade de mapeamento - imagem LANDSAT 8 (OLI), Ponto 077, Órbita 221, Data 16/04/2016.....	123
Tabela 56 - Unidade de mapeamento - imagem LANDSAT 8 (OLI), Ponto 078, Órbita 221, Data 07/09/2016.....	124
Tabela 57 - Unidade de mapeamento - imagem LANDSAT 8 (OLI), Ponto 076, Órbita 222, Data 23/04/2016.....	125
Tabela 58 - Unidade de mapeamento - imagem LANDSAT 8 (OLI), Ponto 077, Órbita 222, Data 23/04/2016.....	126
Tabela 59 - Coordenadas UTM, profundidade de Secchi e valores dos parâmetros das amostras do reservatório da UHE Mauá no período chuvoso.....	127
Tabela 60 - Coordenadas UTM, profundidade de Secchi e valores dos parâmetros das amostras do reservatório da UHE Mauá no período de estiagem.....	128
Tabela 61 - Coordenadas UTM, profundidade de Secchi e valores dos parâmetros das amostras da jusante do reservatório da UHE Mauá no período chuvoso.....	129
Tabela 62 - Coordenadas UTM, profundidade de Secchi e valores dos parâmetros das amostras da jusante do reservatório da UHE Mauá no período de estiagem.....	129

Tabela 63 - Resultados do ensaio de ecotoxicidade agudo com Ceriodaphnia dubia para a amostra Composta da área de amostragem do Reservatório da UHE Mauá - AR _{COMP} no período de chuva.....	130
Tabela 64 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com Ceriodaphnia dubia para a amostra Composta da área de amostragem do Reservatório da UHE Mauá - AR _{COMP} no período de estiagem	130
Tabela 65 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com Ceriodaphnia dubia para a amostra Z1 da área de amostragem do Reservatório da UHE Mauá - AR _{Z1} no período de chuva.....	130
Tabela 66 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com Ceriodaphnia dubia para a amostra Z1 da área de amostragem do Reservatório da UHE Mauá - AR _{Z1} no período de estiagem	131
Tabela 67 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com Ceriodaphnia dubia para a amostra Z2 da área de amostragem do Reservatório da UHE Mauá - AR _{Z2} no período de chuva.....	131
Tabela 68 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com Ceriodaphnia dubia para a amostra Z2 da área de amostragem do Reservatório da UHE Mauá - AR _{Z2} no período de estiagem	131
Tabela 69 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com Ceriodaphnia dubia para a amostra Composta da área de amostragem à Jusante, no rio Tibagi próximo à cidade de Londrina-PR - AJ _{COMP} no período de chuva	132
Tabela 70 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com Ceriodaphnia dubia para a amostra Composta da área de amostragem à Jusante, no rio Tibagi próximo à cidade de Londrina-PR - AJ _{COMP} no período de estiagem	132
Tabela 71 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com Ceriodaphnia dubia para a amostra Z1 da área de amostragem à Jusante, no rio Tibagi próximo à cidade de Londrina-PR - AJ _{Z1} no período de chuva	132
Tabela 72 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com Ceriodaphnia dubia para a amostra Z1 da área de amostragem à Jusante, no rio Tibagi próximo à cidade de Londrina-PR - AJ _{Z1} no período de estiagem.....	133
Tabela 73 - Resultados do ensaio de ecotoxicidade agudo com Daphnia magna para a amostra Composta da área de amostragem do Reservatório da UHE Mauá - AR _{COMP} no período de chuva	134
Tabela 74 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com Daphnia magna para a amostra Composta da área de amostragem do Reservatório da UHE Mauá - AR _{COMP} no período de estiagem	134
Tabela 75 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com Daphnia magna para a amostra Z1 da área de amostragem do Reservatório da UHE Mauá - AR _{Z1} no período de chuva.....	134

Tabela 76 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com <i>Daphnia magna</i> para a amostra Z1 da área de amostragem do Reservatório da UHE Mauá - AR _{Z1} no período de estiagem	135
Tabela 77 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com <i>Daphnia magna</i> para a amostra Z2 da área de amostragem do Reservatório da UHE Mauá - AR _{Z2} no período de chuva.....	135
Tabela 78 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com <i>Daphnia magna</i> para a amostra Z2 da área de amostragem do Reservatório da UHE Mauá - AR _{Z2} no período de estiagem	135
Tabela 79 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com <i>Daphnia magna</i> para a amostra Composta da área de amostragem à Jusante, no rio Tibagi próximo à cidade de Londrina-PR - AJ _{COMP} no período de chuva	136
Tabela 80 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com <i>Daphnia magna</i> para a amostra Composta da área de amostragem à Jusante, no rio Tibagi próximo à cidade de Londrina-PR - AJ _{COMP} no período de estiagem.....	136
Tabela 81 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com <i>Daphnia magna</i> para a amostra Z1 da área de amostragem à Jusante, no rio Tibagi próximo à cidade de Londrina-PR - AJ _{Z1} no período de chuva	136
Tabela 82 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com <i>Daphnia magna</i> para a amostra Z1 da área de amostragem à Jusante, no rio Tibagi próximo à cidade de Londrina-PR - AJ _{Z1} no período de estiagem	137
Tabela 83 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com <i>Artemia Salina</i> para a amostra Composta da área de amostragem do Reservatório da UHE Mauá - AR _{COMP} no período de chuva....	138
Tabela 84 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com <i>Artemia Salina</i> para a amostra Composta da área de amostragem do Reservatório da UHE Mauá - AR _{COMP} no período de estiagem.....	138
Tabela 85 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com <i>Artemia Salina</i> para a amostra Z1 da área de amostragem do Reservatório da UHE Mauá - AR _{Z1} no período de chuva	139
Tabela 86 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com <i>Artemia Salina</i> para a amostra Z1 da área de amostragem do Reservatório da UHE Mauá - AR _{Z1} no período de estiagem.....	139
Tabela 87 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com <i>Artemia Salina</i> para a amostra Z2 da área de amostragem do Reservatório da UHE Mauá - AR _{Z2} no período de chuva	140
Tabela 88 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com <i>Artemia Salina</i> para a amostra Z2 da área de amostragem do Reservatório da UHE Mauá - AR _{Z2} no período de estiagem	140
Tabela 89 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com <i>Artemia Salina</i> para a amostra Composta da área de amostragem à Jusante do Reservatório da UHE Mauá - AJ _{COMP} no período de chuva.....	141

Tabela 90 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com Artemia Salina para a amostra Composta da área de amostragem à Jusante do Reservatório da UHE Mauá - AJ _{COMP} no período de estiagem	141
Tabela 91 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com Artemia Salina para a amostra Z1 da área de amostragem à Jusante do Reservatório da UHE Mauá - AJ _{Z1} no período de chuva	142
Tabela 92 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com Artemia Salina para a amostra Z1 da área de amostragem à Jusante do Reservatório da UHE Mauá - AJ _{Z1} no período de estiagem	142

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional das Águas
AJ	Área de amostragem à jusante do Reservatório da Usina Hidrelétrica - UHE Mauá, no rio Tibagi próximo à cidade de Londrina-PR
AR	Área de amostragem do Reservatório da Usina Hidrelétrica - UHE Mauá
BHT	Bacia Hidrográfica do rio Tibagi
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
COMP	Amostra Composta
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EF-ENG	Estação Fluviométrica Engenheiro Rosaldo Leitão
EF-POR	Estação Fluviométrica Porto Londrina
EF-TIB	Estação Fluviométrica Tibagi
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IAP	Índice de Qualidade das Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público
IET	Índice do Estado Trófico
IPMCA	Índice de Variáveis Mínimas para a Preservação da Vida Aquática
IQA	Índice de Qualidade das Águas
IQAR	Índice de Qualidade da Água de Reservatórios
ISTO	Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas
ITCG	Instituto de Terras, Cartografia e Ciências
IVA	Índices de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e da Comunidade Aquáticas
LANDSAT	<i>Land Remote Sensing Satellite</i>
MAXVER	Máxima Verossimilhança
NBR	Norma Brasileira
NMP	Número Mais Provável
NSF	National Sanitation Foundation
OD	Oxigênio Dissolvido

OLI	Operational Land Imager
PFTHM	Potencial de Formação de Trialometas
pH	Potencial de Hidrogênio
SR	Sensoriamento Remoto
SST	Sólidos Suspensos Totais
TM	Thematic Mapper
UHE	Usina Hidrelétrica
UTM	Universal Transversa de Mercator
Z1	Amostra coletada à 30 cm de profundidade
Z2	Amostra coletada à 22 m de profundidade

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	22
2.	OBJETIVOS.....	24
2.1	Objetivo geral	24
2.2	Objetivos específicos	24
3.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	25
3.1	Qualidade da água e Aspectos legais sobre a água	25
3.1.1	Índices de qualidade das águas.....	27
3.1.1.1	Índice de Qualidade das Águas – IQA	29
3.1.1.2	Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas - ISTO e Índice de Qualidade das Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público – IAP.....	33
3.1.1.3	Índice do Estado Trófico – IET	36
3.1.1.4	Índice de Variáveis Mínimas para a Preservação da Vida Aquática - IPMCA e Índice de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e da Comunidades Aquáticas – IVA	39
3.1.1.5	Índice de Qualidade da Água de Reservatórios – IQAR	43
3.1.2	Ecotoxicidade.....	46
3.1.2.1	Organismos-teste.....	47
3.2	Sensoriamento remoto	49
3.2.1	Satélites	52
3.2.1.1	LANDSAT	52
3.2.2	Mapeamento de uso e cobertura do solo.....	56
3.2.2.1	Correlação do uso e cobertura do solo com a qualidade da água.....	58
3.3	Bacia Hidrográfica do rio Tibagi – BHT	59
4.	MATERIAL E MÉTODOS	62
4.1	Delineamento experimental.....	62
4.2	Amostragem	63
4.3	Análises laboratoriais	67

4.4	Determinação dos índices de qualidade da água.....	69
4.5	Ensaio de ecotoxicidade	70
4.5.1	<i>Ceriodaphnia dubia</i> (NBR 13373 - ABNT, 2010).....	70
4.5.1.1	Manutenção e cultivo de <i>Ceriodaphnia dubia</i>	70
4.5.1.2	Ensaio de ecotoxicidade em <i>Ceriodaphnia dubia</i>	71
4.5.2	<i>Daphnia magna</i> (NBR 12713 - ABNT, 2009)	72
4.5.2.1	Manutenção e cultivo de <i>Daphnia magna</i>	72
4.5.2.2	Ensaio de ecotoxicidade em <i>Daphnia magna</i>	74
4.5.3	<i>Artemia salina</i> (N 2588 - PETROBRÁS, 1996)	74
4.5.3.1	Testes preliminares para determinação das condições de ensaio em <i>Artemia salina</i>	74
4.5.3.2	Ensaio de ecotoxicidade em <i>Artemia salina</i>	75
4.6	Coleta de dados para diagnóstico da qualidade do rio Tibagi.....	76
4.7	Elaboração do mapa de uso e cobertura do solo.....	77
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	80
5.1	Avaliação da qualidade das águas do Reservatório da Usina Hidrelétrica - UHE Mauá e à jusante próximo à cidade de Londrina- PR	80
5.1.1	Índice de Qualidade das Águas – IQA	82
5.1.2	Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas - ISTO e Índice de qualidade das águas brutas para fins de Abastecimento Público – IAP	85
5.1.3	Índice de Estado Trófico – IET	88
5.1.4	Índice de Variáveis Mínimas para a Preservação da Vida Aquática - IPMCA e Índices de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e da Comunidades Aquáticas – IVA	90
5.1.5	Índice de Qualidade da Água de Reservatórios – IQAR	92
5.2	Avaliação da Ecotoxicidade	94
5.3	Diagnóstico temporal do uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do rio Tibagi - BHT e da qualidade da água	95
5.3.1	Diagnóstico temporal do uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do rio Tibagi – BHT	95
5.3.2	Diagnóstico temporal da qualidade da água do rio Tibagi	101

5.4	Considerações finais	104
	CONCLUSÕES	106
	RECOMENDAÇÕES.....	108
	BIBLIOGRAFIA	109
	APÊNDICES	115
	APÊNDICE I - Chaves de interpretação das imagens dos satélites LANDSAT 5 (TM) e LANDSAT 8 (OLI)	115
	APÊNDICE II - Valores dos parâmetros profundidade do disco de Secchi, turbidez, sólidos suspensos totais - SST, clorofila a, pH, temperatura, oxigênio dissolvido - OD e condutividade das amostras pontuais a jusante e no reservatório da UHE Mauá	127
	APÊNDICE III - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com organismos testes <i>Ceriodaphnia dubia</i> para as amostras COMP, Z1 e Z2 das áreas de amostragem do Reservatório da Usina Hidrelétrica - UHE Mauá - AR e à jusante, no rio Tibagi próximo à cidade de Londrina-PR – AJ	130
	APÊNDICE IV - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com organismos testes <i>Daphnia magna</i> para as amostras COMP, Z1 e Z2 das áreas de amostragem do Reservatório da Usina Hidrelétrica - UHE Mauá - AR e à jusante, no rio Tibagi próximo à cidade de Londrina-PR – AJ	134
	APÊNDICE V - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com organismos testes <i>Artemia Salina</i> para as amostras COMP, Z1 e Z2 das áreas de amostragem à jusante e no reservatório da UHE Mauá.....	138

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento urbano aliado ao aumento da densidade demográfica tem causado problemas de demanda de água sob os aspectos qualitativo e quantitativo e demandado investimentos cada vez mais significativos aos sistemas de abastecimento.

A Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelecida na Lei Nº 9.433 prevê como diretriz de ação “*a articulação da gestão de recursos hídricos com a do uso do solo*” (Brasil, 1997). Esta diretriz é fundamentada no fato de que o homem transforma os espaços da bacia por meio de desmatamentos, da implantação de pastagens e cultivos, da construção de obras civis, represamento e canalização de cursos d'água, da implantação de indústrias e áreas urbanas, gerando grande quantidade de rejeitos, cujo destino final frequentemente é o ambiente aquático.

A Política Nacional de Meio Ambiente, através da Lei 6.938/1981 define poluição como sendo a degradação da qualidade ambiental consequente de atividades que direta ou indiretamente prejudiquem a saúde, segurança, bem-estar da população, às atividades sociais e econômicas, a biota e às condições estéticas ou sanitárias do ambiente.

Assim, a qualidade da água depende das condições geológicas, geomorfológicas, climáticas, pedológicas, hidrológicas da bacia de drenagem e está intimamente relacionada ao uso e ocupação da bacia, podendo atribuir características que inviabilizem seu uso para fins específicos.

As imagens obtidas por satélite de sensoriamento remoto vêm sendo utilizadas de forma crescente para aquisição de dados, monitoramento das mudanças da superfície terrestre, estudos ambientais, agrícolas, cartográficos, urbanos, entre outros. As técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento possibilitam identificar áreas de risco ou áreas que já foram intensamente degradadas, bem como distinguir variações ocorridas devido às modificações naturais da paisagem e às provocadas pelo homem, e por isso, são consideradas ferramentas estratégicas potenciais para o monitoramento ambiental em escalas locais e globais, devido à rapidez, eficiência, periodicidade e abrangência.

Desta forma, a associação/correlação destas com informações pontuais obtidas *in loco* possibilita realizar inferências importantes sobre a superfície, potencializando a contribuição, uso e aplicação das tecnologias de sensoriamento remoto e

geoprocessamento nas mais diversas áreas das ciências aplicadas, em especial no planejamento e gestão dos recursos hídricos.

Mais especificamente, considerando a intervenção ocorrida em 2012 na bacia hidrográfica do rio Tibagi - BHT, com o represamento do rio entre os municípios de Telêmaco Borba e Ortigueira para a instalação da Usina Hidrelétrica Mauá - UHE Mauá - e sua relevância, uma vez que abrange uma área correspondente a 13% do território do estado e abastece 49 municípios do Paraná, faz-se necessária a realização de investigações sobre a qualidade da água para diferentes usos e os possíveis fatores intervenientes relacionados ao uso e cobertura do solo, a fim de subsidiar futuras tomadas de decisão em questões importantes para promoção do bem-estar da sociedade e proteção ambiental.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a qualidade da água considerando a intervenção ocorrida em 2012 com o represamento do rio para a instalação da Usina Hidrelétrica Mauá - UHE Mauá e alterações do uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do rio Tibagi.

2.2 Objetivos específicos

OBJETIVO ESPECÍFICO 1: Avaliar a qualidade das águas do Reservatório da Usina Hidrelétrica - UHE Mauá e do rio Tibagi próximo à cidade de Londrina-PR por meio de amostragem nos períodos de seca e chuva e análises laboratoriais utilizando-se os índices de qualidade: Índice de Qualidade das Águas - IQA, Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas - ISTO, Índice de Qualidade das Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público - IAP, Índice do Estado Trófico - IET, Índice de Variáveis Mínimas para a Preservação da Vida Aquática - IPMCA, Índice de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e da Comunidade Aquáticas - IVA e Índice de Qualidade da Água de Reservatórios - IQAR.

OBJETIVO ESPECÍFICO 2: Avaliar a ecotoxicidade das águas do Reservatório da Usina Hidrelétrica - UHE Mauá e do rio Tibagi próximo à cidade de Londrina-PR nos períodos de seca e chuva para os organismos-teste: *Ceriodaphnia dubia*, *Daphnia magna* e *Artemia salina*.

OBJETIVO ESPECÍFICO 3: Realizar um diagnóstico temporal do uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do rio Tibagi - BHT com imagens de sensoriamento remoto para os anos de 2006, 2011 e 2016.

OBJETIVO ESPECÍFICO 4: Realizar um diagnóstico temporal da qualidade da água utilizando dados de séries históricas para os anos de 2006, 2011 e 2016.

OBJETIVO ESPECÍFICO 5: Correlacionar dados dos diagnósticos temporais do uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do rio Tibagi - BHT e da qualidade da água antes (anos de 2006 e 2011) e após (2016) a intervenção ocorrida em 2012 com o represamento do rio para a instalação da Usina Hidrelétrica Mauá - UHE Mauá.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Qualidade da água e Aspectos legais sobre a água

Devido à propriedade de solvente e capacidade de transporte de partículas no escoamento, a água incorpora diversas impurezas, estabelecendo sua composição físico química. Sob outra ótica, a qualidade da água depende de condições naturais em função da cobertura e composição do solo, bem como de condições antrópicas relacionadas ao uso e ocupação do solo nas bacias hidrográficas, que podem interferir na qualidade da água de forma pontual ou difusa (VON SPERLING, 1996).

A Política Nacional dos Recursos Hídricos - PNRH, instituída na Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997 tem como objetivo assegurar à atual e às futuras gerações a disponibilidade de água em quantidade e qualidade adequadas aos respectivos usos, a utilização racional e integrada dos recursos hídricos visando o desenvolvimento sustentável e a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos seja de origem natural ou decorrentes da utilização inapropriada dos recursos naturais.

A referida legislação apresenta, como um dos instrumentos, o enquadramento dos corpos d'água em classes, segundo seus usos preponderantes, que são estabelecidas pela legislação ambiental.

Assim, a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA 357 / 2005 dispõe sobre a classificação dos corpos de águas doces, salobras e salinas essencial à defesa de seus níveis de qualidade, avaliados por condições e padrões específicos, de modo a assegurar seus usos preponderantes (BRASIL, 2005).

O enquadramento dos corpos d'água em classes consiste no estabelecimento de uma meta ou objetivo de qualidade da água a ser alcançado ou mantido num curso d'água, considerando seus usos preponderantes a longo tempo.

Na Tabela 1 são apresentados os valores limites de alguns parâmetros para águas doces classes 1, 2, 3 e 4, segunda a resolução CONAMA 357/2005.

Tabela 1 - Padrões de enquadramento de corpos hídricos de águas doces classes 1, 2, 3 e 4 Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA 357 / 2005

PARÂMETROS	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
pH	Entre 6,0 e 9,0	Entre 6,0 e 9,0	Entre 6,0 e 9,0	Entre 6,0 e 9,0
Sólidos dissolvidos totais (mg L ⁻¹)	500	500	SE	SE
Turbidez (UNT)	40	100	100	SE
Oxigênio Dissolvido (mg L ⁻¹)	Não inferior a 6	Não inferior a 5	Não inferior a 4	Não inferior a 2
Nitrogênio amoniacal total (mg L ⁻¹)	3,7 (pH < 7,5) 2,0 (7,5 < pH ≤ 8,0) 1,0 (8,0 < pH ≤ 8,5) 0,5 (pH > 8,5)	3,7 (pH < 7,5) 2,0 (7,5 < pH ≤ 8,0) 1,0 (8,0 < pH ≤ 8,5) 0,5 (pH > 8,5)	13,3 (pH < 7,5) 5,6 (7,5 < pH ≤ 8,0) 2,2 (8,0 < pH ≤ 8,5) 1,0 (pH > 8,5)	SE
Nitrito (mg L ⁻¹)	1	1	1	SE
Nitrato (mg L ⁻¹)	10	10	10	SE
Fósforo total (mg L ⁻¹)	lêntico - 0,02 intermediário - 0,025 lótico - 0,1	lêntico - 0,030 intermediário - 0,050 lótico - 0,1	lêntico - 0,05 intermediário - 0,075 lótico - 0,15	SE
DBO (mg L ⁻¹)	3	5	10	SE
Clorofila a (µg L ⁻¹)	10	30	60	SE
Densidade de Cianobactérias (cel mL ⁻¹)	20.000	50.000	100.000	SE
Coliformes Termotolerantes (NMP 100mL ⁻¹)	200	2000	2500	SE
Fenóis (mg L ⁻¹)	0,003	0,003	0,01	1,00
Alumínio dissolvido (mg L ⁻¹)	0,1	0,1	0,2	SE
Cádmio total (mg L ⁻¹)	0,001	0,001	0,01	SE
Chumbo total (mg L ⁻¹)	0,01	0,01	0,033	SE
Cobre dissolvido (mg L ⁻¹)	0,009	0,009	0,013	SE
Cromo total (mg L ⁻¹)	0,05	0,05	0,05	SE
Ferro dissolvido (mg L ⁻¹)	0,3	0,3	5,0	SE
Manganês total (mg L ⁻¹)	0,1	0,1	0,5	SE
Mercúrio total (mg L ⁻¹)	0,0002	0,0002	0,002	SE
Níquel total (mg L ⁻¹)	0,025	0,025	0,025	SE
Zinco total (mg L ⁻¹)	0,18	0,18	5,0	SE
Efeito tóxico	Não verificado efeito crônico	Não verificado efeito crônico	Não verificado efeito agudo	SE

Fonte: BRASIL (2005), adaptado

Vale ressaltar que, de acordo com o CONAMA N° 357/2005 o enquadramento dos corpos d'água deve estar baseados nos níveis de qualidade que deveriam possuir para atender às demandas da comunidade, e não de acordo com os níveis de qualidade de seu estado atual (BRASIL, 2005).

Neste contexto, faz-se necessária a realização de estudos e investigações sobre a qualidade da água a fim de se estabelecer ferramentas de monitoramento, gestão e controle da qualidade dos corpos hídricos.

3.1.1 Índices de qualidade das águas

Os índices de qualidade das águas surgiram da crescente preocupação com os aspectos ambientais do desenvolvimento, procedimento que exige um número elevado de informações em níveis de complexidade cada vez maiores. Com o passar do tempo, estes índices tornaram-se fundamentais nos processos de decisão e acompanhamento das políticas públicas. No entanto, desenvolver um índice abrangente que contemple as informações necessárias, de forma sintética e acessível tem se tornado um grande desafio para os órgãos reguladores e comunidade acadêmica (CETESB, 2014).

Segundo Von Sperling (2007), os índices retratam a qualidade das águas em um determinado ponto de monitoramento através de um índice global apresentado em “notas” que representam as condições do trecho do corpo d’água variando de “muito ruim” a “excelente”, ou que permitam interferências sobre algum aspecto específico, tal como biodiversidade e toxicidade. Para facilitar a comunicação com o público, os resultados podem ser expressos em mapas hidrográficos com escalas de cores nos trechos dos cursos d’água para cada faixa de valor do índice.

Os índices não podem ser utilizados para avaliação de atendimento à legislação ambiental, uma vez que mascaram a multiplicidade característica, inerente à qualidade da água, pelo seu caráter reducionista, em que um conjunto de variáveis de qualidade corresponde a uma nota ou avaliação única. Embora os índices apresentem uma avaliação integrada, estes não substituem uma avaliação detalhada da qualidade das águas de um determinado corpo hídrico, mas, quando bem empregados, podem ser de grande utilidade (VON SPERLING, 2007; CETESB, 2014).

De acordo com OTT (1978), os índices de qualidade podem ser utilizados para diversas finalidades, tais como:

- Distribuir recursos: distribuição de verbas e definição de prioridades;
- Ordenar áreas geográficas: comparar as condições ambientais em diferentes áreas geográficas;
- Impor normas: determinar o cumprimento ou não da legislação ambiental;
- Analisar as tendências: acompanhar as mudanças na qualidade dos corpos hídricos superficiais;
- Informar ao público: informar à população sobre as condições de qualidade ambiental em um determinado corpo hídrico;

- Identificar problemas de qualidade de água que demandem estudos especiais em trechos de rios;
- Servir de instrumentos para a gestão dos recursos hídricos.

Nos últimos anos, inúmeros estudos foram realizados, visando desenvolver ou adaptar as mais variadas técnicas de índices de qualidade das águas, cada qual com seu propósito.

No início de 1970, a *National Sanitation Foundation* desenvolveu o Índice de Qualidade da Água - IQA, com o objetivo de acompanhar, analisar e monitorar as alterações na qualidade da água em um corpo hídrico. O estudo combinou as opiniões de mais de 100 especialistas em gestão da qualidade da água, utilizando a técnica Delphi. No final da pesquisa foram obtidas 9 variáveis de qualidade da água para compor o índice de qualidade da água, além do peso relativo das mesmas, a curva de variação de cada uma delas e a escala de classificação.

No Brasil, o interesse por índices de qualidade da água aumentou após a manifestação da necessidade de utilização dos índices para controle do meio ambiente feita pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA, em seu relatório anual de 1972. A partir de então, em 1975 a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB adaptou o Índice de Qualidade da Água proposto pela *National Sanitation Foundation - NSF*, para avaliar a qualidade de água para abastecimento público, assim como para o gerenciamento ambiental das 22 Unidades de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (CETESB, 2014).

O Instituto Ambiental do Paraná - IAP iniciou estudos em 1996 com base em dados de monitoramentos desde 1982 e propôs um Sistema de avaliação, classificação e monitoramento da qualidade da água em reservatórios do estado do Paraná (IAP, 2009).

Desde 2002 a CETESB, visando aperfeiçoar a avaliação ambiental, vem utilizando índices específicos para cada uso dos recursos hídricos, a saber:

- Índice de Qualidade das Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público - IAP;
- Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas - ISTO;
- Índice do Estado Trófico - IET;
- Índice de Variáveis Mínimas para a Preservação da Vida Aquática - IPMCA;

- Índices de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e de Comunidades Aquáticas - IVA;
- Índice da Comunidade Fitoplanctônica - ICF;
- Índice da Comunidade Bentônica - ICB;
- Índice de Balneabilidade - IB.

3.1.1.1 Índice de Qualidade das Águas - IQA

Desde 1975 a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB vem utilizando uma versão adaptada do IQA da *National Sanitation Foundation* - NSF, visando avaliar a qualidade da água para fins de abastecimento público, considerando aspectos relativos ao tratamento dessas águas, sendo atualmente, o índice mais utilizado no Brasil (CETESB, 2016).

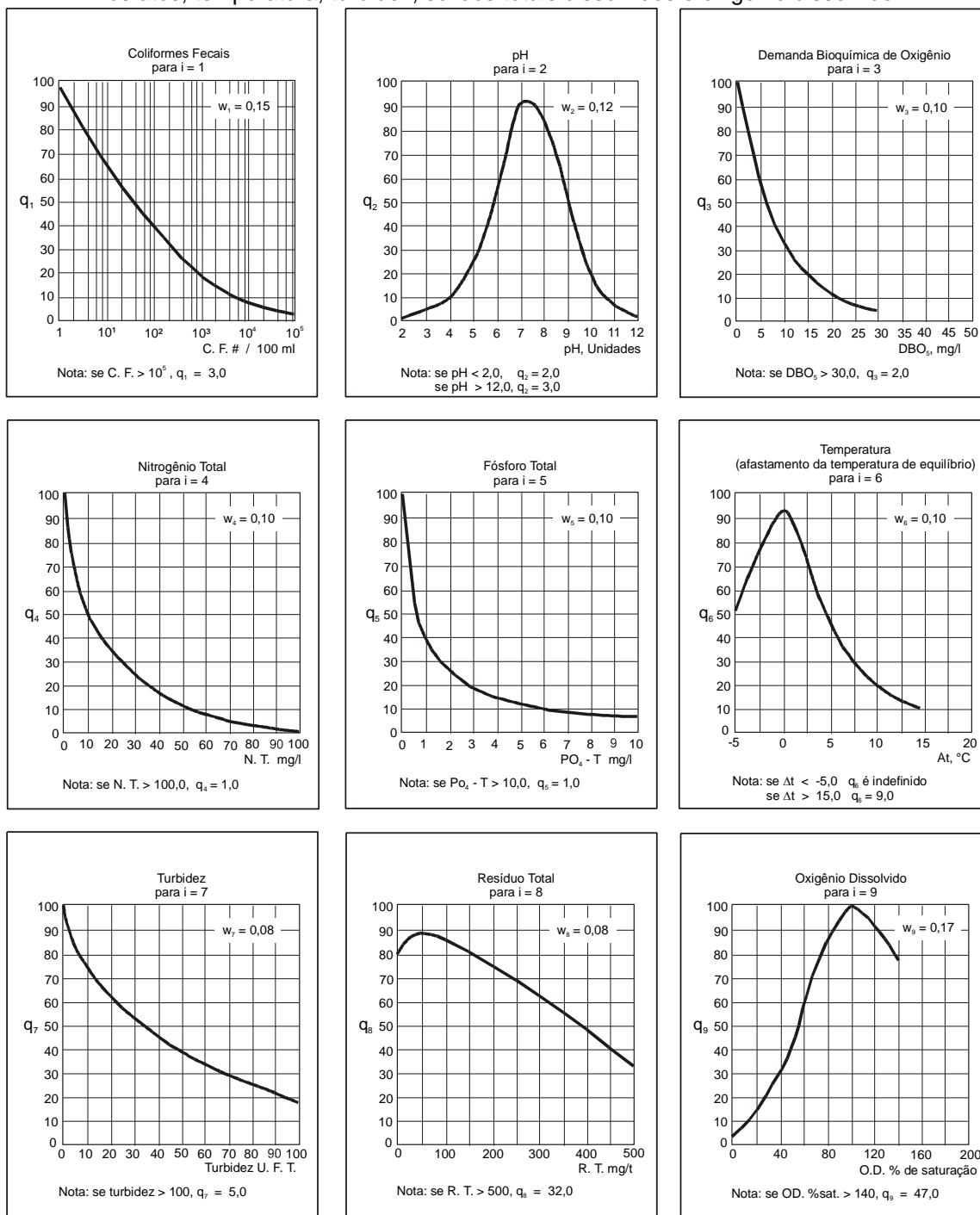
Nessa adaptação realizada pela CETESB houve alteração nos pesos relativos de cada parâmetro (Tabela 2), além da substituição do fosfato e nitrato por fósforo total e nitrogênio total. A companhia apresentou ainda novas curvas de variação (Figura 1) além de equações aproximadas (Tabela 3) para cada parâmetro.

Tabela 2 - Peso atribuído a cada parâmetro de cálculo do IQA

Parâmetro	Peso (wi)
Coliformes termotolerantes	0,15
pH	0,12
DBO _{5,20}	0,10
Nitrogênio total	0,10
Fósforo total	0,10
Diferença de temperatura	0,10
Turbidez	0,08
Sólidos totais	0,08
OD	0,17

Fonte: CETESB (2004)

Figura 1 - Curvas de variação de qualidade para os parâmetros coliformes fecais, pH, DBO, nitratos, fosfatos, temperatura, turbidez, sólidos totais dissolvidos e oxigênio dissolvido.



Fonte: CETESB (2010)

As curvas de variação de qualidade apresentadas na Figura 1 atribuem notas – q_i que variam de acordo com o estado ou condições dos parâmetros. Com base nas curvas de variação de qualidade a CETESB apresentou equações (Tabela 3) aproximadas para determinação da nota – q_i referente a cada parâmetro.

Tabela 3 - Equações representativas das curvas de qualidade, elaboradas pela CETESB

Parâmetros	Limite mínimo (>)	Limite máximo (≤)	Equação de qi	
Coliformes termotolerantes (log ₁₀)	0	1	100 - 33 * logC	
	1	5	100 - 37,2 * log C + 3,60743 * logC ²	
	5		3	
pH	0	2	2	
	2	4	13,6 - 10,6 * pH + 2,4364 * pH ²	
	4	6,2	155,5 - 77,36 * pH + 10,2484 * pH ²	
	6,2	7	- 657,2 + 197,38 * pH - 12,9167 * pH ²	
	7	8	- 427,8 + 142,05 * pH - 9,695 * pH ²	
	8	8,5	216 - 16 * pH	
	8,5	9	1415823 * EXP (- 1,1507 * pH)	
	9	10	228 - 27 * pH	
	10	12	633 - 106,5 * pH + 4,5 * pH ²	
	12	14	3	
DBO (mg L ⁻¹)	0	5	99,96 * EXP (- 0,1232728 * C)	
	5	15	104,67 - 31,5463 * LOG10 (C)	
	15	30	4394,91 * C ^{-1,99809}	
	30		2	
Nitrogênio total (mgN L ⁻¹)	0	10	100 - 8,169 * C + 0,3059 * C ²	
	10	60	101,9 - 23,1023 * LOG10 (C)	
	60	100	159,3148 * EXP (- 0,0512842 * C)	
	100		1	
Fósforo (mgPO ₄ L ⁻¹)	0	1	99 - EXP (- 0,91629 * C)	
	1	5	57,6 - 20,178 * C + 2,1326 * C ²	
	5	10	19,8 * EXP (- 0,13544 * C)	
	10		5	
Diferença de temperatura			94 (assumido o valor constante de 94 pela CETESB, por se considerar que, nas condições brasileiras, a temperatura dos corpos d'água não se afasta da temperatura de equilíbrio)	
Turbidez (UNT)	0	25	100,17 - 2,67 * Turb + 0,03775 * Turb ²	
	25	100	84,76 * EXP (- 0,016206 * Turb)	
	100		5	
Sólidos totais (mg L ⁻¹)	0	150	79,75 + 0,166 * C - 0,001088 * C ²	
	150	500	101,67 - 0,13917 * C	
	500		32	
Percentagem de saturação de OD (%)	0	50	3 + 0,034 * (% sat) + 0,008095 (% sat) ² + 1,35252 * 0,00001 (% sat) ³	
	50	85	3 - 1,166 * (% sat) + 0,058 * (% sat) ² - 3,803435 * 0,0001 (% sat) ³	
	85	100	3 + 3,7745 * (% sat) ^{0,704889}	
	100	140	3 + 2,9 * (% sat) - 0,02496 * (% sat) ² + 5,60919 * 0,00001 (% sat) ³	
	140		3 + 47	
	Concentração de saturação de OD (mg L ⁻¹)			Cs = (14,62 - 0,3898 * Temp + 0,006969 * Temp ² - 0,00005896 * Temp ³) * (1 - 0,0000228675 * altitude) ^{5,167}
	Percentagem de saturação (%)			100 * OD/Cs

Fonte: CETESB (2004), adaptado

O IQA, adaptado pela CETESB, é calculado pelo produto ponderado dos fatores de qualidade de água correspondentes aos parâmetros, utilizando seguinte fórmula matemática:

$$IQA = \prod_{i=1}^N q_i^{w_i} \quad (1)$$

Em que:

IQA: índice de qualidade da água, variando entre 0 e 100;

N= número de parâmetros;

qi = valor da qualidade do *i*-ésimo parâmetro, variando entre 0 e 100, obtido através da curva média de variação de qualidade, em função de sua concentração ou medida;

wi = peso do *i*-ésimo parâmetro, variando entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade.

Sendo que a soma dos pesos *wi*, de todos os parâmetros, deve ser igual a 1.

É importante comentar que, para realização do cálculo do IQA é necessário dispor dos valores dos nove parâmetros de qualidade, caso contrário, o cálculo é inviabilizado (CETESB, 2016).

Além disso, acordo com a CETESB (2016) no lugar de coliformes termotolerantes pode-se utilizar os resultados de *Escherichia coli* aplicando-se um fator de correção de 1,25 sobre o resultado.

O resultado do IQA será um número inteiro, entre 0 e 100, que será classificado de acordo com as faixas de valores do índice (Tabela 4) que representa a qualidade da água em um determinado corpo hídrico, variando de péssima (0 a 19) a ótima (80 a 100).

Tabela 4 - Classificação do IQA

Categoria	Faixa de IQA
Ótima	80 - 100
Boa	52 - 79
Regular	37 - 51
Ruim	20 - 36
Péssima	0 - 19

Fonte: CETESB (2004)

As variáveis que compõem o IQA, refletem a contaminação dos corpos hídricos ocasionada principalmente pelo lançamento de esgotos domésticos. No entanto, é importante ressaltar que o índice não considera algumas variáveis importantes, como:

metais pesados, compostos orgânicos, substâncias estas que afetam as propriedades organolépticas da água, número de células de cianobactérias, potencial de formação de trihalometanos, cianotoxinas, agrotóxicos, fármacos, hormônios e tantos outros que representam risco à saúde humana e ao ambiente (CETESB, 2016).

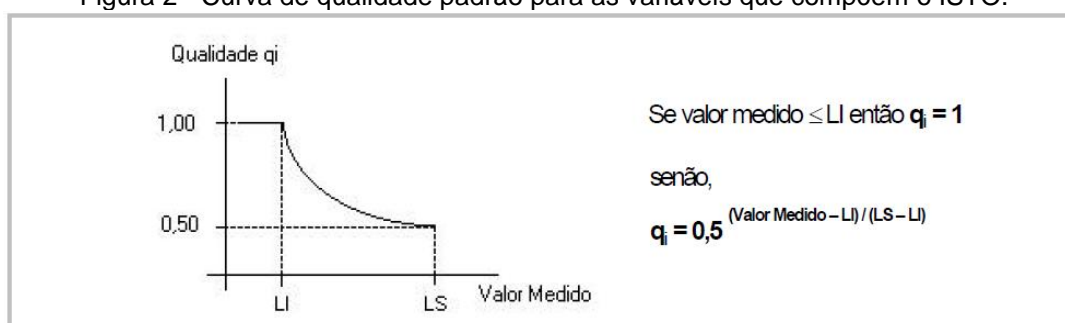
3.1.1.2 Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas - ISTO e Índice de Qualidade das Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público - IAP

O Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas - ISTO é formado por dois grupos de variáveis (CETESB, 2008):

- **Grupo de substâncias tóxicas:** teste de Ames, potencial de formação de trihalometanos - PFTHM, número de células de cianobactérias, cádmio, chumbo, cromo total, mercúrio e níquel, relacionados a problemas de saúde;
- **Grupo de substâncias organolépticas:** ferro, manganês, alumínio, cobre e zinco, relacionadas ao padrão de aceitação da água para consumo humano.

De acordo com CETESB (2014), para cada variável que compõe o ISTO foram estabelecidas curvas de qualidade que atribuem valores variando de 0 a 1. Com exceção às variáveis teste de Ames e célula de cianobactérias, as curvas de qualidade foram elaboradas utilizando-se dois níveis de qualidade - q_i , que associam os valores numéricos 1,00 ao limite inferior - LI e 0,50 ao limite superior - LS, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Curva de qualidade padrão para as variáveis que compõem o ISTO.



Fonte: CETESB (2014)

As faixas de variação de qualidade - q_i , refletem as seguintes condições de qualidade da água bruta destinada ao abastecimento público:

- **Valor medido \leq LI:** águas adequadas para o consumo humano. Atendem aos padrões de potabilidade da Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011) em relação às variáveis avaliadas.
- **LI < Valor medido \leq LS:** águas adequadas para tratamento convencional ou avançado. Atendem aos padrões de qualidade para águas doces da classe 3 da Resolução CONAMA 357/05 em relação às variáveis determinadas.
- **Valor medido > LS:** águas que não devem ser submetidas apenas a tratamento convencional. Não atendem aos padrões de qualidade para águas doces da classe 3 da Resolução CONAMA 357/05 em relação às variáveis avaliadas.

Na Tabela 5 são apresentadas as variáveis que compõe o ISTO e seus respectivos limites inferiores e superiores, do grupo de substâncias tóxicas e organolépticas.

Tabela 5 - Limites inferiores e superiores das variáveis do ISTO

Grupo	Variáveis	Unidade	Limite inferior	Limite superior
Tóxicos	Cádmio	mg L ⁻¹	0,005	0,010
	Chumbo	mg L ⁻¹	0,010	0,033
	Cromo Total	mg L ⁻¹	0,050	0,059
	Níquel	mg L ⁻¹	0,020	0,025
	Mercúrio	mg L ⁻¹	0,001	0,002
	PFTHM(*)	µg L ⁻¹	373	461
Organolépticas	Alumínio dissolvido(*)	mg L ⁻¹	0,2	2,0
	Cobre dissolvido	mg L ⁻¹	2,0	8,0
	Ferro dissolvido(*)	mg L ⁻¹	0,3	5,0
	Manganês(*)	mg L ⁻¹	0,1	0,5
	Zinco	mg L ⁻¹	5,0	5,9

(*) Variáveis obrigatórias para o cálculo do ISTO.

Fonte: CETESB (2014)

A taxação do teste de Ames - q_{TA} , é realizado conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Valor/Faixa referente ao teste de Ames e a taxação correspondente para o cálculo do ISTO

Níveis	Taxação (q_{TA})
0 < Revertentes L ⁻¹ < 100	0,50
100 < Revertentes L ⁻¹ < 10.000	1 - (0,25 x Log(revertentes L ⁻¹))
100 < Revertentes L ⁻¹ < 10.000	0,00

Fonte: CETESB (2008)

Em ambientes lânticos e semi-lânticos, a presença das algas/cianobactérias são características importantes para serem considerados na avaliação da qualidade da água para fins de abastecimento, devido ao aumento inadvertido dos riscos à saúde associados à produção de cianotoxinas.

Devido à atualização das legislações - Resolução CONAMA 357/05 e Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2005; BRASIL, 2011), que estabeleceram a obrigatoriedade do monitoramento da clorofila *a* e ocorrência de cianobactérias, além de avaliação da toxicidade, o número de células de cianobactérias foi incluída no grupo do ISTO (CETESB, 2016).

A taxação adotada para o número de células de cianobactérias - q_{NCC} está apresentada na Tabela 7.

Tabela 7 - Níveis de número de células de cianobactérias e a taxação para o cálculo do ISTO

Níveis	Taxação (q_{NCC})
Nº. de células = 20.000	1,00
20.000 < Nº. de células = 50.000	0,80
50.000 < Nº. de células = 100.000	0,70
100.000 < Nº. de células = 200.000	0,60
200.000 < Nº. de células = 500.000	0,50
Nº. de células > 500.000	0,35

Fonte: CETESB (2014)

A ponderação do grupo de Substâncias Tóxicas - ST é obtida pela multiplicação dos dois valores mínimos (mais críticos) do grupo de variáveis que indicam a presença dessas substâncias na água, conforme equação 2.

$$ST = M\acute{i}n_1 \cdot M\acute{i}n_2 \quad (2)$$

Em que:

$M\acute{i}n_1$: valor mínimo dentre as variáveis do grupo ($q_{TA}; q_{THMFP}; q_{Cd}; q_{Cr}; q_{Pb}; q_{Ni}; q_{Hg}; q_{NCC}$);
 $M\acute{i}n_2$: segundo valor mínimo dentre as variáveis do grupo ($q_{TA}; q_{THMFP}; q_{Cd}; q_{Cr}; q_{Pb}; q_{Ni}; q_{Hg}; q_{NCC}$);

A ponderação do grupo de Substâncias Organolépticas - SO é obtida pela equação 3, que corresponde à média aritmética das qualidades padronizadas - q_i das variáveis pertencentes a este grupo.

$$SO = Média Aritmética (q_{Al}; q_{Cu}; q_{Zn}; q_{Fe}; q_{Mn}) \quad (3)$$

Por fim, o cálculo do ISTO é resultante do produto dos grupos de substâncias tóxicas e as que alteram a qualidade organoléticas da água, como descrito na equação 4:

$$ISTO = ST.SO \quad (4)$$

O Índice de Qualidade da Água Bruta para fins de Abastecimento Público- IAP é calculado pelo produto da ponderação dos resultados do IQA e do ISTO, conforme a equação 5 e a classificação correspondente é apresentada na Tabela 8.

$$IAP = IQA.ISTO \quad (5)$$

Tabela 8 - Classificação do Índice de Qualidade da Água Bruta para fins de Abastecimento Público- IAP

Categoria	Ponderação
Ótima	$79 < IAP \leq 100$
Boa	$51 < IAP \leq 79$
Regular	$36 < IAP \leq 51$
Ruim	$19 < IAP \leq 36$
Péssima	$IAP \leq 19$

Fonte: CETESB (2014)

Vale ressaltar que em áreas de amostragem situadas em ambientes lânticos/semi-lânticos e utilizados para abastecimento público, o número de células de cianobactérias é variável obrigatória para o cálculo do IAP (CETESB, 2014).

3.1.1.3 Índice do Estado Trófico - IET

O Índice de Estado Trófico - IET tem como objetivo classificar os corpos d'água conforme seu grau de trofia, isto é, avaliar a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas ou macrófitas aquáticas (VON SPERLING, 2007).

O IET sofreu diversas adaptações ao longo do tempo. O índice inicialmente proposto era calculado em função dos valores de clorofila *a*, fósforo total e transparência (disco de Secchi). Atualmente o cálculo não leva em consideração a transparência da água, pois esta pode ser afetada pela elevada turbidez decorrente

de material em suspensão não sendo representativas para o estado de trofia (CETESB, 2014).

As equações utilizadas pela CETESB para o cálculo do IET são as propostas por Lamparelli (2004), tanto para ambientes lóticos quanto para lênticos, sendo calculadas a partir das concentrações de clorofila *a* e fósforo total conforme equações apresentadas a seguir:

Rios:

$$IET (CL) = 10x \left(6 - \frac{0,7 - 0,6x(\ln CL)}{\ln 2} \right) - 20 \quad (6)$$

$$IET (PT) = 10x \left(6 - \frac{0,42 - 0,36x(\ln PT)}{\ln 2} \right) - 20 \quad (7)$$

Reservatórios:

$$IET (CL) = 10x \left(6 - \frac{0,92 - 0,34x(\ln CL)}{\ln 2} \right) \quad (8)$$

$$IET (PT) = 10x \left(6 - \frac{1,77 - 0,42x(\ln PT)}{\ln 2} \right) \quad (9)$$

Em que:

PT ($\mu\text{g L}^{-1}$): concentração de fósforo total medida à superfície da água;

CL ($\mu\text{g L}^{-1}$): concentração de clorofila *a* medida à superfície da água;

ln: logaritmo natural.

Os resultados referentes ao fósforo devem ser compreendidos como uma medida do potencial de eutrofização, uma vez que este nutriente atua como o agente causador do processo. Os resultados clorofila *a*, por sua vez, deve ser considerada como uma medida da resposta do corpo hídrico ao agente causador, indicando de forma adequada o nível de crescimento de algas (CETESB, 2016).

O IET será a média aritmética simples, com arredondamento da primeira casa decimal, dos índices relativos ao fósforo total e a clorofila a, segundo a equação:

$$IET = \frac{IET (PT) + IET (CL)}{2} \quad (10)$$

O índice poderá ser calculado considerando apenas o resultado de fósforo ou clorofila a, devendo constar uma observação junto ao resultado, informando que somente uma das variáveis foi utilizada (VON SPERLING, 2007).

O estado trófico do corpo hídrico será classificado em função dos valores de IET, fósforo total - PT ou clorofila a - CL, conforme a Tabela 9 para rios e Tabela 10 para reservatórios.

Tabela 9 - Classificação do Estado trófico para rios

Categoria	Ponderação	Fósforo Total - P (mg.m³)	Clorofila a (mg.m³)
Ultraoligotrófico	IET ≤ 47	P ≤ 13	CL ≤ 0,74
Oligotrófico	47 < IET ≤ 52	13 < P ≤ 35	0,74 < CL ≤ 1,31
Mesotrófico	52 < IET ≤ 59	35 < P ≤ 137	1,31 < CL ≤ 2,96
Eutrófico	59 < IET ≤ 63	137 < P ≤ 296	2,96 < CL ≤ 4,70
Supereutrófico	63 < IET ≤ 67	296 < P ≤ 640	4,70 < CL ≤ 7,46
Hipereutrófico	IET > 67	640 < P	7,46 < CL

Fonte: CETESB (2014)

Tabela 10 - Classificação do Estado trófico para reservatórios

Categoria	Ponderação	Secchi - S (m)	Fósforo Total - P (mg.m³)	Clorofila a (mg.m³)
Ultraoligotrófico	IET ≤ 47	S ≤ 2,4	P ≤ 8	CL ≤ 1,17
Oligotrófico	47 < IET ≤ 52	2,4 < S ≤ 1,7	8 < P ≤ 19	1,17 < CL ≤ 3,24
Mesotrófico	52 < IET ≤ 59	1,7 < S ≤ 1,1	19 < P ≤ 52	3,24 < CL ≤ 11,03
Eutrófico	59 < IET ≤ 63	1,1 < S ≤ 0,8	52 < P ≤ 120	11,03 < CL ≤ 30,55
Supereutrófico	63 < IET ≤ 67	0,8 < S ≤ 0,6	120 < P ≤ 233	30,55 < CL ≤ 69,05
Hipereutrófico	IET > 67	0,6 > S	233 < P	69,05 < CL

Fonte: CETESB (2014)

Segundo Lamparelli (2004), a nova metodologia não altera de forma significativa a distribuição das classificações anteriormente propostas. Porém, apresenta uma maior sensibilidade, ampliando a abrangência das classificações tróficas.

3.1.1.4 Índice de Variáveis Mínimas para a Preservação da Vida Aquática - IPMCA e Índice de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e da Comunidades Aquáticas - IVA

O Índice de Variáveis Mínimas para a Preservação da Vida Aquática - IPMCA é composto por dois grupos de variáveis (CETESB, 2010):

- **VE - Grupo de variáveis essenciais:** oxigênio dissolvido - OD, pH e toxicidade;
- **ST - Grupo de substâncias tóxicas:** cobre, zinco, chumbo, cromo, mercúrio, níquel, cádmio, surfactantes e fenóis. Podendo ser incluídas novas variáveis consideradas importantes para a avaliação da qualidade das águas, de forma a atender as possíveis demandas específicas regionais.

As variáveis que compõe o IPMCA são classificadas em três diferentes níveis de qualidade, com ponderações numéricas variando de 1 a 3 que correspondente aos limites máximos permissíveis de substâncias químicas na água, a fim de evitar efeitos de toxicidade crônica e aguda à biota aquática.

Esses níveis refletem as seguintes condições de qualidade de água:

- **Nível A (ponderação 1):** Águas com características desejáveis para manter a sobrevivência e a reprodução dos organismos aquáticos. Atende aos padrões de qualidade da Resolução CONAMA 357/2005 para as águas doces classe 1 e 2 (BRASIL, 2005).
Exceto o OD cujo limite mínimo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces classe 1 é de 6,0 mg L⁻¹ para determinação do IPMCA considera-se a ponderação 1 para concentração mínima de 5,0 mg L⁻¹.
- **Nível B (ponderação 2):** Águas com características desejáveis para a sobrevivência dos organismos aquáticos, podendo, a longo prazo, afetar a reprodução dos organismos, de acordo com os padrões das legislações americana (USEPA, 1991) e francesa (Code Permanent: Environnement et Nuisances, 1986), que estabelecem limites máximos permissíveis de substâncias químicas na água, com o propósito de evitar efeitos de toxicidade crônica e aguda à biota aquática.

- **Nível C (ponderação 3):** Águas com características que podem comprometer a sobrevivência dos organismos aquáticos, de acordo com os padrões das legislações americana (USEPA, 1991) e francesa (Code Permanent: Environnement et Nuisances, 1986).

Na Tabela 11 são apresentadas as variáveis que compõem o IPMCA e suas respectivas ponderações (1, 2 e 3) de acordo com os três níveis de qualidade (A, B e C).

Tabela 11 - Variáveis componentes do IPMCA e suas ponderações

Grupo	Variáveis	Níveis	Faixa de variação	Ponderação
Variáveis Essenciais - VE	OD (mg L ⁻¹)	A	≥ 5,0	1
		B	3,0 a 5,0	2
		C	< 3,0	3
	pH (Sörensen)	A	6,0 a 9,0	1
		B	5,0 a < 6,0 e > 9,0 a 9,5	2
		C	< 5,0 e > 9,5	3
Toxicidade	A	Não Tóxico	1	
	B	Efeito Crônico	2	
	C	Efeito Agudo	3	
Substâncias Tóxicas - ST	Cádmio (mg L ⁻¹)	A	≤ 0,001	1
		B	> 0,001 a 0,005	2
		C	> 0,005	3
	Cromo (mg L ⁻¹)	A	≤ 0,05	1
		B	> 0,05 a 1,0	2
		C	> 1,00	3
	Cobre dissolvido (mg L ⁻¹)	A	= 0,009	1
		B	> 0,009 a 0,05	2
		C	> 0,05	3
	Chumbo total (mg L ⁻¹)	A	≤ 0,01	1
		B	>0,01 a 0,08	2
		C	> 0,08	3
Mercúrio (mg L ⁻¹)	A	≤ 0,0002	1	
	B	> 0,0002 a 0,001	2	
	C	> 0,001	3	
Níquel (mg L ⁻¹)	A	≤ 0,025	1	
	B	> 0,025 a 0,160	2	
	C	> 0,160	3	
Fenóis ^a Totais (mg L ⁻¹)	A	≤ 1,0	1	
	B	> 1,0 a 7,5	2	
	C	> 7,5	3	
Surfactantes ^b (mg L ⁻¹)	A	≤ 0,5	1	
	B	> 0,5 a 1,0	2	
	C	> 1,0	3	
Zinco (mg L ⁻¹)	A	≤ 0,18	1	
	B	> 0,18 a 1,0	2	
	C	> 1,0	3	

a = Substâncias que reagem com 4 aminoantipirina

b = Substâncias tensoativas que reagem com azul de metileno

Fonte: CETESB (2010)

O IPMCA é calculado pelo produtório da ponderação dos grupos de variáveis essenciais e de substâncias tóxicas conforme a equação 11.

$$IPMCA = VE \times ST \quad (11)$$

Em que:

VE: Maior valor da ponderação do grupo de variáveis essenciais;

ST: Valor médio das três maiores ponderações do grupo de substâncias tóxicas.

Este valor é um número inteiro devendo ser adotado o seguinte critério: valores inferiores a 0,5 devem ser arredondados para baixo e superiores ou iguais a 0,5, para cima.

O valor resultante do cálculo do IPMCA é um número inteiro entre 1 a 9, sendo classificando em quatro faixas de qualidade das águas para proteção da vida aquática, conforme a Tabela 12.

Tabela 12 - Classificação do IPMCA

Categoria	Ponderação
Boa	1
Regular	2
Ruim	3 e 4
Péssima	≥ 6

Fonte: CETESB (2014)

O Índice de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e da Comunidades Aquáticas - IVA visa avaliar a qualidade das águas para fins de proteção da fauna e flora em geral, sendo considerado o mais adequado, pois leva em consideração, a presença e concentração de contaminantes e seus efeitos (toxicidade) (CETESB, 2014).

O IVA é a integração dos valores do Índice de Estado Trófico - IET e do Índice de Parâmetros Mínimos para a Preservação da Vida Aquática - IPMCA, fornecendo informações sobre a qualidade da água em termos ecotoxicológicos e também sobre o seu grau de trofia (CETESB, 2016). O IVA foi proposto por Zagatto *et al.* (1999) e desde 2002 vem sendo utilizado pela CETESB para o monitoramento da qualidade das águas superficiais.

A Tabela 13 apresenta os valores de ponderação do IET utilizados para o cálculo do IVA, padronizado por CETESB (2014).

Tabela 13 - Valores de ponderação do IET utilizados para o cálculo do IVA

Categoria	Ponderação
Ultraoligotrófico	0,5
Oligotrófico	1
Mesotrófico	2
Eutrófico	3
Supereutrófico	4
Hipereutrófico	5

Fonte: CETESB (2014)

O IVA pode ser calculado pela equação 12 ou determinado pela Tabela 14.

$$IVA = (IPMCA \cdot 1,2) + IET \quad (12)$$

Tabela 14 - Cálculo do IVA integrando os valores do IET e do IPMCA

		IPMCA				
IET	Ponderação	1	2	3	4	5 - 9
		0,5	1,7	2,9	4,1	5,3
	1	2,2	3,4	4,6	5,8	8,2 - 11,8
	2	3,2	4,4	5,6	6,8	9,2 - 12,8
	3	4,2	5,4	6,6	7,8	10,2 - 13,8
	4	5,2	6,4	7,6	8,8	11,2 - 14,8
	5	6,2	7,4	8,6	9,8	12,2 - 15,8

Classificação: [] Ótima [] Boa [] Regular [] Ruim [] Péssima

Fonte: CETESB (2014)

O resultado do cálculo do IVA será um número entre 1,7 e 15,8, que será comparado à Tabela 15, para a classificação da qualidade da água a ser avaliada.

Tabela 15 - Classificação do IVA

Categoria	Ponderação
Ótima	$IVA \leq 2,5$
Boa	$2,6 \leq IVA \leq 3,3$
Regular	$3,4 \leq IVA \leq 4,5$
Ruim	$4,6 \leq IVA \leq 6,7$
Péssima	$6,8 \leq IVA$

Fonte: CETESB (2014)

O índice é baseado em legislações vigentes visando a proteção das comunidades aquáticas está prevista apenas para os corpos d'água enquadrados nas classes 1, 2 e 3, devendo, portanto, ser aplicado somente para esses ambientes.

3.1.1.5 Índice de Qualidade da Água de Reservatórios - IQAR

O Índice de Qualidade da Água de Reservatórios - IQAR foi desenvolvido pelo Instituto Ambiental do Paraná - IAP em 1996 com o objetivo de avaliar a degradação da qualidade da água de reservatórios. Para isso, foi desenvolvido uma matriz contendo os intervalos de classe dos parâmetros mais relevantes, considerando reservatórios com diferentes características tróficas, morfométricas e hidrológicas. As variáveis foram submetidas a análises estatísticas multivariadas para selecionar as mais relevantes para caracterização da qualidade da água de reservatórios (IAP, 2009).

As variáveis selecionadas para compor este índice foram: déficit de oxigênio dissolvido - OD; fósforo total, nitrogênio inorgânico total, clorofila *a*, transparência (disco de Secchi), demanda química de oxigênio - DQO, cianobactérias, tempo de residência e profundidade.

De acordo com IAP (2009) a matriz desenvolvida é composta por seis classes de qualidade da água, definidas em função do nível de relevância, a partir de percentuais de 10, 25, 50, 75 e 90%. A classificação é apresentada na Tabela 16. Sendo a classe 1 de melhor qualidade e assim sucessivamente.

Tabela 16 - Classes de qualidade em relação a concentrações das variáveis

Variáveis	Classes de qualidade					
	1	2	3	4	5	6
Déficit de OD (%)	≤5	6 - 20	21 - 35	36 - 50	51 - 70	>70
Clorofila <i>a</i> (µg L ⁻¹)	≤1,5	1,5 - 3,0	3,1 - 5,0	5,1 - 10,0	11,0 - 32,0	>32,0
Fósforo total (mg L ⁻¹)	≤0,010	0,011- 0,025	0,026 -0,040	0,041-0,085	0,086-0,210	>0,210
Transparência (m)	≥3	3,0 - 2,3	2,2 - 1,2	1,1 - 0,6	0,5 - 0,3	<0,3
DQO (mg L ⁻¹)	≤3	3-5	6-8	9-14	15-30	>30
Tempo de residência (dias)	≤10	11-40	41-120	121-365	366-550	>550

Fonte: IAP (2009)

Para a coleta de dados e amostragem de reservatórios o método recomenda o uso de três profundidades, a saber:

Profundidade I - Camada da zona eufótica com incidência de 40% de luz. Determinada utilizando a equação 13.

$$Prof I = Z_{ds} \cdot 0,54 \quad (13)$$

Em que:

Z_{ds} (m): profundidade Secchi;

0,54: fator para calcular 40% de luz incidente.

Profundidade II - Camada correspondente a metade da zona afótica, calculada pela média entre a profundidade máxima da estação de amostragem e a zona eufótica, como descrita na equação 14.

$$Prof II = \frac{Z_{max} \cdot Z_{eu}}{2} \quad (14)$$

Em que:

Z_{max} : profundidade máxima (m), na estação de amostragem;

Z_{eu} : zona eufótica (profundidade Secchi x 3);

3: fator correspondente a cerca de 1% da luz incidente na superfície da água

Profundidade III - quando houver zona anóxica e esta não coincidir com a profundidade II, recomenda-se a coleta de mais uma amostra na porção intermediária dessa camada.

A qualidade da água em reservatórios é calculada de acordo com a seguinte equação:

$$IQAR = \frac{\sum(w_i \cdot q_i)}{\sum w_i} \quad (25)$$

Em que:

w_i : pesos calculados para as variáveis "i";

q_i : classe de qualidade de água em relação a variável "i", variando de 1 a 6.

Os pesos das variáveis são atribuídos em função do seu nível de importância para a avaliação da qualidade da água do reservatório e estão apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 - Peso atribuído a cada parâmetro de cálculo do IQAR, de acordo com o IAP

PARÂMETRO	PESO (wi)
Déficit de Oxigênio Dissolvido (%) ⁽¹⁾	17
Fósforo total (mg L ⁻¹) ⁽²⁾	12
Nitrogênio Inorgânico Total (mg L ⁻¹) ⁽²⁾	08
Clorofila a (µg L ⁻¹) ⁽³⁾	15
Profundidade Secchi (m)	12
DQO (mg L ⁻¹) ⁽²⁾	12
Cianobactérias (cel. mL ⁻¹) ⁽³⁾	08
Tempo de Residência (dias)	10
Profundidade média (m)	06

(1) Média da coluna d'água.

(2) Média das prof. I e II.

(3) Concentração da prof. I.

Fonte: IAP (2009)

A Tabela 18 e Tabela 19 apresentam as qualificações das águas dos reservatórios de acordo com o resultado obtido no cálculo do índice e as definições das qualificações.

Tabela 18 - Classificação do IQAR

QUALIFICAÇÃO	VALORES DO IQAR
Classe I: Não impactado a muito pouco impactado	0 - 1,50
Classe II: Pouco degradado	1,51 - 2,50
Classe III: Moderadamente degradado	2,51 - 3,50
Classe IV: Criticamente degradado a poluído	3,51 - 4,50
Classe V: Muito poluído	4,51 - 5,50
Classe VI: Extremamente poluído	> 5,51

Fonte: ANA (2016)

Tabela 19 - Definição da classificação do IQAR

Qualificação	Definição
Classe I: Não Impactado a Muito Pouco Degradado	Apresenta corpos d'água saturados de oxigênio, baixa concentração de nutrientes, concentração de matéria orgânica muito baixa, alta transparência das águas, densidade de algas muito baixa, normalmente com pequeno tempo de residência das águas e/ou grande profundidade média. A qualidade de água é excelente/ótima
Classe II: Pouco Degradado	Apresenta corpos de água com pequeno aporte de nutrientes orgânicos/inorgânicos e matéria orgânica, pequena depleção de oxigênio dissolvido, transparência das águas relativamente alta, baixa densidade de algas, normalmente com pequeno tempo de residência das águas e/ou grande profundidade média. A qualidade de água é muito boa/boa.
Classe III: Moderadamente Degradado	Contém corpos de água com déficit considerável de oxigênio dissolvido na coluna de água, podendo ocorrer anoxia na camada de água próxima ao fundo, em determinados períodos. Apresenta médio aporte de nutrientes e matéria orgânica, grande variedade e/ou densidade de algas (sendo que algumas espécies podem ser predominantes), tendência moderada a eutrofização, tempo de residência das águas considerável. A qualidade de água é regular/aceitável.
Classe IV: Criticamente Degradado a Poluído	Apresenta corpos de água com entrada de matéria orgânica capaz de produzir uma depleção crítica nos teores de oxigênio dissolvido da coluna de água, aporte considerável de nutrientes, alta tendência a eutrofização, ocasionalmente com desenvolvimento maciço de populações de algas, ocorrência de reciclagem de nutrientes, baixa transparência das águas associada principalmente à alta turbidez biogênica. A partir desta classe, é possível a ocorrência de mortandade de peixes em determinados períodos de acentuado déficit de oxigênio dissolvido. A qualidade de água é crítica/ruim.
Classe V: Muito Poluído	Contém corpos de água com altas concentrações de matéria orgânica, geralmente com supersaturação de oxigênio dissolvido na camada superficial e depleção na camada de fundo. Apresenta grande aporte e alta reciclagem de nutrientes, corpos de água eutrofizados, com florações de algas que frequentemente cobrem grandes extensões da superfície da água, o que limita a sua transparência. A qualidade de água é muito ruim.
Classe VI: Extremamente Poluído	Contém corpos de água com condições bióticas seriamente restritas, resultantes de severa poluição por matéria orgânica ou outras substâncias consumidoras de oxigênio dissolvido. Ocasionalmente, ocorrem processos de anoxia em toda a coluna de água. Apresenta aporte e reciclagem de nutrientes muito alto, corpos de água hipereutrificados, com intensas florações de algas cobrindo todo o espelho d'água e eventual presença de substâncias tóxicas. A qualidade de água é péssima

Fonte: IAP (2009)

3.1.2 Ecotoxicidade

A ecotoxicologia é uma área especializada da toxicologia ambiental, podendo ser definida como a ciência que estuda a contaminação dos corpos d'água principalmente pela degradação, bioacumulação e compostos tóxicos (ZAGATTO; BERTOLETTI, 2006; MAGALHÃES; FERRÃO FILHO, 2008).

Devido à complexibilidade e a variabilidade de compostos que podem estar presentes no corpo hídrico, recomenda-se a realização de teste de toxicidade. Atualmente estes testes são considerados análises indispensáveis para obter de uma forma mais abrangente as fontes de poluição das águas. Através dos ensaios toxicidade é possível determinar o potencial tóxico de um determinado contaminante, sendo mensurados pela resposta de organismos-teste (SILVA, 2002).

Os ensaios de ecotoxicidade são uma ferramenta utilizada para avaliar a qualidade das águas. Pois apenas as análises físico-químicas não são capazes de distinguir as substâncias que afetam a biota aquática e as que são inertes no ambiente, sendo insuficientes para avaliar o potencial de risco ambiental dos contaminantes. Os efeitos adversos dos contaminantes sobre a função biológica podem ser quantificados por diversos critérios, a saber: número de mortandade, taxa de reprodução, comprimento e massa corpórea, número de anomalias ou incidência de tumores, alterações fisiológicas, densidade e diversidade de espécies numa determinada comunidade biológica, entre outras (ZAGATTO; BERTOLETTI, 2006; COSTA *et al.*, 2008).

Segundo Costa *et al.* (2008), os ensaios de ecotoxicidade podem ser classificados em agudos e crônicos, sendo diferenciados pelo tempo de exposição dos organismos-teste aos contaminantes e pela forma em que as respostas finais serão medidas. Os ensaios de ecotoxicidade agudos avaliam os efeitos de agentes tóxicos sobre espécies aquáticas durante um curto período de tempo em relação ao período de vida do organismo-teste, como a mortalidade e/ou imobilidade de 50% dos organismos expostos. De modo geral, o objetivo dos ensaios de ecotoxicidade agudos é estimar a dose ou concentração que um agente tóxico é capaz de produzir a um organismo-teste ou população, em um período de tempo relativamente curto, geralmente de 24 a 96 h. Já os ensaios de ecotoxicidade crônica avaliam os efeitos tóxicos que uma substância química é capaz de causar a um organismo-teste quando este é exposto por um longo período que pode abranger parte ou todo seu ciclo de

vida, em concentrações que permitem sua sobrevivência, entretanto, são capazes de alterar suas funções biológicas como: reprodução, crescimento, comportamento, entre outros;

Os resultados dos ensaios de ecotoxicidade podem ser expressos em (ABNT, 2009; ABNT,2010):

- Concentração efetiva mediana - CE50 que causa efeito a 50% dos organismos expostos
- Concentração de inibição - Clp que causa redução na reprodução dos organismos-teste
- Concentração de efeito não observado - CENO a maior concentração da amostra que não causa efeito deletério na sobrevivência e reproduções dos organismos;
- Concentração de efeito observado - CEO a menor concentração da amostra que não causa efeito deletério na sobrevivência e reproduções dos organismos

Os ensaios de ecotoxicidade consistem na exposição de organismos-teste representativos dos ambientes aquáticos que possibilitam estabelecer limites permissíveis de várias substâncias químicas para a proteção da vida aquática e avaliar o impacto que os poluentes causam a biota aquática (ZAGATTO; BERTOLETTI, 2006).

3.1.2.1 Organismos-teste

Diversas espécies de organismos vêm sendo empregadas em ensaios de ecotoxicidade, gerando subsídios importantes para uma melhor avaliação e caracterização dos efeitos agudos e crônicos de diversos agentes tóxicos e em corpos hídricos. Dentre os principais grupos de organismos utilizados em ensaios, destacam-se: microalgas, microcrustáceos, equinóides, poliquetas, oligoquetas, peixes e bactérias, representando os mais diversos ecossistemas e níveis tróficos (MAGALHÃES; FERRÃO FILHO, 2008).

De acordo com Arezon, Neto e Gerber, (2001), podem ser considerados quatro níveis tróficos: organismos produtores (algas), consumidores primários (microcrustáceos), consumidores secundários (peixes) e decompositores (bactérias).

Os organismos-teste, assim como qualquer outra espécie aquática, podem apresentar diferenças em sua sensibilidade às substâncias químicas. Os organismos-teste de níveis tróficos distintos podem apresentar diferentes graus de sensibilidade para um mesmo contaminante. Da mesma forma, também não é possível eleger um nível trófico que, genericamente, será sempre o mais afetado pela toxicidade do contaminante (AREZON; NETO; GERBER, 2011).

Os microcrustáceos de água doce da ordem Cladocera e do gênero *Daphnia* e *Ceriodaphnia*, os quais são vulgarmente conhecidos como pulgas d'água, medem de 0,1 a 5,0 mm de comprimento e possuem carapaça transparente bivalve. Estes alimentam-se basicamente de algas, bactérias, protozoários e de detritos orgânicos capturados através de seu sistema de filtragem. Sua reprodução em condições normais ocorre por partenogênese, ou seja, assexuadamente. Os ovos diplóides partenogenéticos eclodem dando origem a fêmeas, podendo uma única fêmea produzir uma sucessão de gerações. Os microcrustáceos são muito utilizados em ensaios de ecotoxicidade, pois são amplamente distribuídos nos corpos de água doce, possuem um ciclo de vida relativamente curto e são facilmente cultivados em laboratórios (CESAR; SILVA; SANTOS, 1997).

O crustáceo de água salgada *Artemia salina* também é uma espécie bastante utilizada em testes de toxicidade. A utilização dessa espécie é interessante porque seus ovos resistem à secagem e estocagem por longos períodos de tempo. Quando incubados os ovos eclodem dentro de 1 ou 2 dias, estando prontos para serem utilizados nos ensaios de ecotoxicidade. A utilização de *Artemia salina* é interessante quando se pretende avaliar a toxicidade de amostras que apresentam alta salinidade e condutividade, uma vez que estes parâmetros são desfavoráveis para espécies de água doce (COSTA *et al.*, 2008).

Diversos estudos retratam o uso de organismos-teste para avaliar a qualidade da água, Brentano, Buzzi e Henrique (2010), avaliaram a toxicidade aguda da água do rio Papaquara, no município de Florianópolis - SC, utilizando o organismo-teste *Daphnia Magna*. Para a realização do estudo foram selecionados três pontos isentos da contribuição de cunha salina para coletas de amostras. Observou-se que as amostradas de água do rio Papaquara em todos os períodos de coleta não apresentaram efeito tóxico agudo sobre o organismo-teste.

Em estudo realizado visando o monitoramento da qualidade da água da bacia do rio Ipojuca - PE através de ensaios de ecotoxicidade aguda utilizando os

organismos-teste *Vibrio sicheri* e *Daphnia magna* entre os anos de 2002 e 2004, foi observado que, apenas 12% das amostras apresentaram toxicidade aguda, sendo as amostras com maiores fatores de toxicidade localizadas à jusante do município de Belo Jardim e Caruaru. Os resultados obtidos, ressaltaram a importância da inclusão de ensaios ecotoxicológicos na avaliação da qualidade das águas superficiais, contribuindo na orientação de medidas de controle a serem adotadas (MENDONÇA, 2005).

Malgarin (2016) realizou um estudo para avaliar a qualidade da água do rio Itapocuzinho utilizando ensaios de ecotoxicidade aguda e crônica com os organismos-teste *Daphnia magna* e *Scenedesmus subspicatus*, em três pontos amostrais, da nascente até a foz, nas quatro estações do ano. No estudo foi possível observar que as amostras não apresentaram efeitos tóxicos agudos para o microcrustáceo *Daphnia magna*.

Os índices de qualidade das águas são instrumentos viáveis para o monitoramento das águas superficiais e para auxiliar na gestão das bacias hidrográficas. No entanto, apesar dos índices abrangerem vários parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, estes são laboriosos, requerem pessoal técnico qualificado, demandam tempo relativamente longo para análise e apresentam custos elevados. Considerando que a alteração da qualidade da água está intimamente relacionada à forma de uso e ocupação da bacia, tem-se como ferramenta técnica alternativa de monitoramento e controle dos sistemas aquáticos, a aquisição de dados por geotecnologia.

3.2 Sensoriamento remoto

O sensoriamento remoto, pode ser definido como a tecnologia que obtém, através da captação e registro de energia refletida ou emitida pela superfície terrestre, imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre, sem o contato direto entre eles (FLORENZANO, 2002).

Novo (2010) define sensoriamento remoto como a utilização da tecnologia de sensores e equipamentos para processamento e transmissão de dados e etc., com o objetivo de estudar a superfície terrestre através de análise e registro das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta terra e suas manifestações.

A radiação eletromagnética que é a fonte de energia utilizada em sensoriamento remoto, se propaga em forma de ondas eletromagnéticas com a velocidade da luz ($300.000 \text{ km.s}^{-1}$). Esta energia é medida em frequência (hertz - Hz) e comprimento de onda (metros - m) (FLORENZANO, 2002).

O termo "sensoriamento" refere-se à obtenção dos dados, e "remoto" significa distante, ou seja, sem o contato físico entre o sensor e a superfície terrestre (FLORENZANO, 2002). O processo é ilustrado pela Figura 3.

Figura 3 - Processo ilustrativo da obtenção de imagens por sensoriamento remoto

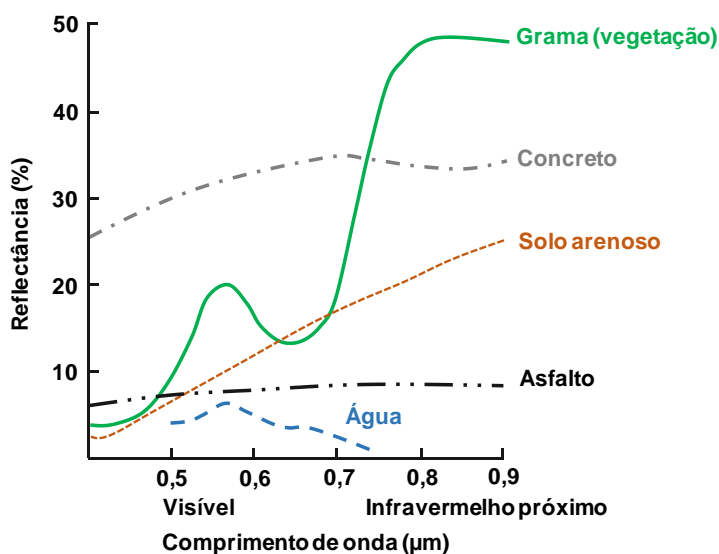


Fonte: FLORENZANO (2002)

O princípio do sensoriamento remoto baseia-se na premissa de que os alvos da superfície terrestre se diferem quanto ao comportamento espectral, ou seja, cada alvo reflete a energia de uma maneira diferente (MOREIRA, 2003).

Um dos principais objetivos do sensoriamento remoto é o de distinguir e identificar as composições de diferentes materiais superficiais, sejam eles tipos de vegetação, padrões de uso do solo, rochas e outros. Essa distinção e identificação torna-se possível devido ao fato dos componentes da superfície terrestre terem comportamentos específicos ao longo do espectro eletromagnético, como pode ser observado na Figura 4 (CRÓSTA, 1992).

Figura 4 - Curvas de reflectância obtidas para diferentes tipos de alvos contidos dentro do ângulo de visada do sensor



Fonte: FLORENZANO (2002), adaptado

Segundo Novo (2010), os sensores remotos são equipamentos capazes de transformar a energia proveniente dos objetos em um registro na forma de imagem ou gráfico que permite associar a distribuição de radiância, emitância, ou retroespalhamento com suas propriedades físicas, químicas, biológicas ou geométricas.

Os sensores podem ser classificados em passivos e ativos, onde os ativos possuem uma fonte de radiação, isto é, não depende de uma fonte externa para irradiar o alvo, já os passivos detectam a radiação solar refletida ou emitida pelos objetos da superfície. (MOREIRA, 2003).

De acordo com Novo (2010), os sistemas sensores podem ainda ser classificados como sensores não-imageadores, ou seja, que não fornecem uma imagem da superfície sensorizada e os sensores imageadores que fornecem como resultado uma imagem da superfície observada.

Os diferentes sistemas sensores são caracterizados por alguns elementos básico. Dentre as características dos sistemas sensores, desatacam-se as resoluções: espacial, espectral e radiométrica. A resolução espacial permite distinguir os objetos da superfície terrestre presentes em uma imagem de satélite, a resolução espectral, relacionada à medida da largura das faixas espectrais e da sensibilidade do sensor em diferenciar dois níveis de intensidade do sinal de retorno; e a resolução radiométrica refere-se a sua habilidade de distinguir a variação da energia refletida, emitida ou retroespalhada pelo alvo (NOVO, 2010).

Segundo Crósta (1992), as imagens de satélite digitais ou discretas são constituídas por um arranjo de elemento sob a forma de uma malha ou grid. A localização do grid é definida em um sistema de coordenadas cartesianas onde “x” representa a linha e “y” a coluna e por conversão, a origem do grid é sempre no canto superior esquerdo.

Essas imagens possuem também um atributo numérico “z”, que indica o nível de cinza da imagem, variando do preto ao branco. O nível de cinza representa a intensidade da energia eletromagnética refletida ou emitida medida pelo sensor, para cada área imageada correspondente ao tamanho do pixel (CRÓSTA, 1992).

3.2.1 Satélites

Os satélites podem ser definidos como um objeto que se desloca em círculos, em torno de outro objeto, podendo ser naturais como a lua ou artificiais construídos pelo homem, que também giram em torno da Terra (FLORENZANO, 1992).

Os satélites artificiais vêm se tornando cada vez mais parte do nosso dia-a-dia. Sendo estes equipados com sensores de alta tecnologia. Alguns tipos de satélites artificiais são: satélites de comunicação, televisão, científicos, espões ou para fins militares, meteorológicos e de recursos terrestres (MOREIRA, 2003; CRÓSTA, 1992; FLORENZANO, 2002).

3.2.1.1 LANDSAT

A série LANDSAT foi desenvolvida e lançada pela National Aeronautics and Space Administration - NASA com o nome inicial de Earth Resource Technology Satellite -ERST, lançado em julho 1972. O ERST-1 foi o primeiro satélite desenvolvido para observar os recursos terrestres. Em janeiro de 1975 o satélite passou a se chamar Land Remote Sensing Satellite -LANDSAT (NOVO, 2010).

As imagens obtidas a partir dos satélites LANDSAT são as mais conhecidas, acessíveis e utilizadas em nosso país, e representa, no atual estado da arte, a fonte de dados de sensoriamento remoto com maior potencial de continuidade ao longo do tempo (FLORENZANO, 2002).

Atualmente a série LANDSAT é composto por 8 satélites. Dentre estes o único operando é o LANDSAT Data Continuity Mission - LDCM ou LANDSAT-8, lançado em

fevereiro de 2013. O LANDSAT 8 leva a bordo os sensores Operational Land Imager - OLI e Thermal Infrared Sensor - TIRS. O sensor OLI dará continuidade aos produtos gerados a partir dos sensores Thematic Mapper - TM e Enhanced Thematic Mapper Plus - ETM+. O sensor TIRS inclui duas novas bandas espectrais, projetadas para estudos de áreas costeiras e detecção de nuvens tipo cirrus (EMBRAPA, 2016).

A Tabela 20 apresenta algumas características da série LANDSAT tais como data de lançamento, situação atual, órbita, altitude, inclinação e sensores.

Tabela 20 - Principais características da série LANDSAT

Satélite	LANDSAT 1	LANDSAT 2	LANDSAT 3	LANDSAT 4	LANDSAT 5	LANDSAT 6	LANDSAT 7	LANDSAT 8
Ano do Lançamento	1972	1975	1978	1982	1984	1993	1999	2013
Situação Atual	Inativo (1978)	Inativo (1982)	Inativo (1983)	Interrompido em 1993	Inativo (2011)	Inativo (05/10/1993)	Ativo (Interrompo a recepção no Brasil em 2003)	Ativo
Órbita	Polar, helios-síncrona	Polar, helios-síncrona	Polar, helios-síncrona	Polar, helios-síncrona	Polar, helios-síncrona	Polar, helios-síncrona	Polar, helios-síncrona	Circular
Altitude	917 km	917 km	917 km	705 km	705 km	705 km	705 km	705 km
Inclinação	99,2°	99,2°	99,2°	98,20°	98,20°	98,20°	98,2°	98,2°
Instrumentos Sensores	RBV e MSS	RBV e MSS	RBV e MSS	MSS e TM	MSS e TM	ETM	ETM+	OLI e TIRS

Fonte: FLORENZANO (2002); MOREIRA (2003); NOVO (2010); EMBRAPA (2016)

Na Tabela 21 são apresentadas as bandas e resoluções espectrais, espaciais e temporais dos sensores da série LANDSAT.

Tabela 21 - Características dos sensores da série LANDSAT

Sensor	Resolução espectral (μm)	Bandas espectrais	Resolução espacial (m)	Resolução temporal (dias)
RBV (Retur Bean Vicicon)	0.475 - 0.575	(B1) Azul/Verde	80	185
	0.580 - 0.680	(B2) Verde/Vermelho		
	0.690 - 0.830	(B3) Vermelho/IV Próximo		
MSS (Multispectral Scanner System)	0.500 - 0.600	(B4) Verde	80	185
	0.600 - 0.700	(B5) Vermelho		
	0.700 - 0.800	(B6) IV Próximo		
	0.800 - 1.100	(B7) IV Próximo		
	10.410 - 12.600	(B8) IV Termal		
TM (Thematic Mapper)	0.450 - 0.520	(B1) Azul	30	185
	0.520 - 0.600	(B2) Verde		
	0.630 - 0.690	(B3) Vermelho		
	0.760 - 0.900	(B4) IV Próximo		
	1.550 - 1.750	(B5) IV Médio	120	
	10.400 - 12.500	(B6) IV Termal	30	
	2.080 - 2.350	(B7) IV Médio		
ETM (Enhanced Thematic Mapper)	0.450 - 0.520	(B1) Azul	30	184
	0.520 - 0.600	(B2) Verde		
	0.630 - 0.690	(B3) Vermelho		
	0.760 - 0.900	(B4) IV Próximo		
	1.550 - 1.750	(B5) IV Médio		
	10.400 - 12.500	(B6) IV Termal	120	
	2.080 - 2.350	(B7) IV Médio	30	
	0.520 - 0.900	(B8) Pancromático	15	
ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus)	0.45-0.515	(B1) Azul	30	184
	0.525-0.605	(B2) Verde		
	0.63 - 0.69	(B3) Vermelho		
	0.76 - 0.90	(B4) IV Próximo		
	1.55 - 1.75	(B5) IV Médio		
	10.400 - 12.500	(B6) IV Termal	60	
	2.090 - 2.350	(B7) IV Médio	30	
	0.520 - 0.900	(B8) Pancromático	15	
OLI (Operational Land Imager)	0.433 - 0.453	(B1) Costal	30	185
	0.450 - 0.515	(B2) Azul		
	0.525 - 0.600	(B3) Verde		
	0.630 - 0.680	(B4) Vermelho		
	0.845 - 0.885	(B5) IV Próximo		
	1.560 - 1.660	(B6) IV Médio		
	2.100 - 2.300	(B7) IV Médio		
	0.500 - 0.680	(B8) Pancromático	15	
	1.360 - 1.390	(B9) Cirrus	30	
TIRS (Thermal Infrared Sensor)	10.300 - 11.300	(B10) Lwir - 1	100	185
	11.500 - 12.500	(B11) Lwir - 2		

IV - Infravermelho

* Em funcionamento a partir do LANDSAT 3

Fonte: FLORENZANO (2002); MOREIRA (2003); NOVO (2010); EMBRAPA (2016)

Cada banda espectral do satélite LANDSAT possui uma indicação para a análise de alvo. A Tabela 22 apresenta as principais características e aplicações das bandas dos sensores TM e ETM, e servem para auxiliar no processamento da imagem para o estudo de determinado objeto.

Tabela 22 - Principais características e aplicações das bandas TM e ETM

Banda	Intervalo espectral (μm)	Principais características e aplicações das bandas TM e ETM dos satélites LANDSAT 5 e 7
1	0,45 - 0,52	Grande penetração em corpos de água, com elevada transparência, permitindo estudos batimétricos. Sofre absorção pela clorofila <i>a</i> e pigmentos fotossintéticos auxiliares (carotenóides). Apresenta sensibilidade a plumas de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial. Pode apresentar atenuação pela atmosfera.
2	0,52 - 0,60	Grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos de água.
3	0,63 - 0,69	A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação (ex.: solo exposto, estradas e áreas urbanas). Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (ex.: campo, cerrado e floresta). Permite análise da variação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal. Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata galeria e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana, incluindo identificação de novos loteamentos. Permite a identificação de áreas agrícolas.
4	0,76 - 0,90	Os corpos de água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos de água. A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens. Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal). Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Serve para análise e mapeamento de feições geológicas e estruturais. Serve para separar e mapear áreas ocupadas com <i>pinus</i> e <i>eucalipto</i> . Serve para mapear áreas ocupadas com vegetação que foram queimadas. Permite a visualização de áreas ocupadas com macrófitas aquáticas (ex.: aguapé). Permite a identificação de áreas agrícolas.
5	1,55 - 1,75	Apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite.
6	10,40 - 12,50	Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.
7	2,08 - 2,35	Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo obter informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Esta banda serve para identificar minerais com ions hidroxilas. Potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal.

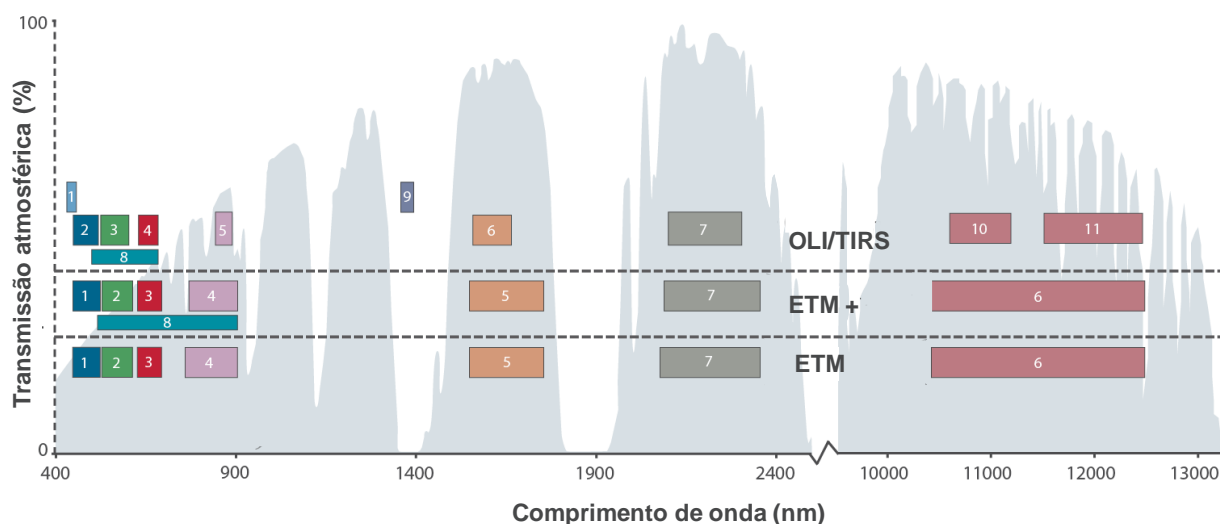
Fonte: INPE (2016)

Na realização do processamento da imagem, a análise pode ser feita separadamente para cada faixa espectral, quando o objetivo é um resultado mais específico, ou combiná-las, formando imagens coloridas.

A composição colorida (RGB) mais usual para determinar a hidrografia e vegetação era criada utilizando as bandas 5, 4 e 3 para imagens do LANDSAT 5 e LANDSAT 7. No entanto, pelo fato do LANDSAT 8 trazer bandas espectrais adicionais, as combinações para composições coloridas foram modificadas para as

bandas 6, 5 e 4. A Figura 5 apresenta uma comparação dos comprimentos de onda dos instrumentos sensores dos satélites LANDSAT 5 (TM), 7 (ETM +) e 8 (OLI e TIRS).

Figura 5 - Comprimentos de onda dos satélites LANDSAT 5, 7 e 8



3.2.2 Mapeamento de uso e cobertura do solo

Os mapas de uso e cobertura do solo, são instrumentos que auxiliam no planejamento, ordenação, gestão e monitoramento de fenômenos ligados à superfície terrestre (ROSA, 2003). Estes representam de forma reduzida e selecionada a superfície da terra, de forma parcial e através de símbolos (FLORENZANO, 2002).

Para realizar o mapeamento de uma determinada área é necessário classificar os objetos da superfície terrestre em classes temáticas. Para tal, procura-se rotular os *Picture Element* - Pixels de acordo com a cobertura do solo, utilizando programas apropriados, denominados algoritmos de classificação ou classificadores. A classificação pode ser supervisionada ou não-supervisionada, dependendo do algoritmo utilizado, envolvendo duas fases distintas: o treinamento e a classificação propriamente dita (MOREIRA, 2003).

Na classificação supervisionada o usuário identifica algumas amostras das classes de interesse para serem utilizadas como treinamento dos pixels e, posteriormente, o programa irá localizar por análise comparativa os demais pixels pertencentes àquelas classes (CRÓSTA, 1992; NOVO, 2010).

A classificação não-supervisionada, de imagens de sensoriamento remoto, baseia-se no princípio de que o programa decide as classes a serem separadas e quais pixels correspondem a cada uma delas. O autor ressalta que o principal problema da classificação não-supervisionada é o alto nível de simplicidade em relação à enorme complexidade existente em uma cena de satélite (CRÓSTA, 1992).

Dentre os algoritmos supervisionados, o comumente empregado é o método da máxima verossimilhança - MAXVER que considera a ponderação das distâncias das médias utiliza parâmetros estatísticos. Para realizar a classificação pelo algoritmo MAXVER é necessário a seleção de um número razoável de amostras de áreas para o treinamento, permitindo uma base segura para tratamento estatístico (CROSTA, 1992; MOREIRA, 2003).

No momento da aquisição do conjunto de pixels para que o classificador possa obter as estatísticas sobre uma determinada classe, deve-se selecionar amostras de áreas mais representativas possíveis da classe em questão. Entretanto, devido à similaridade de respostas espectrais entre duas ou mais classes, embora tomando todas as precauções, o conjunto de pontos (*pixels*) obtidos para uma classe pode gerar uma curva de distribuição de frequência que cruza com a curva determinada para outra classe (MOREIRA, 2003).

É possível traçar curvas de probabilidade em que os números atribuídos a cada contorno representam a probabilidade, em porcentagem, de um *pixel* desconhecido pertencer a uma dada classe, com base nos parâmetros estatísticos das áreas de treinamento, ou seja, a chance de um *pixel* ser atribuído àquela classe, por se encaixar em parâmetros pré-definidos. Essas curvas de probabilidade permitem classificar os *pixels* desconhecidos que são bastante semelhantes à média de uma classe, escolhendo-se o limite de decisão que coincide com o contorno mais próximo da média, cuja distância é normalmente fixada como um desvio padrão a partir da média (CRÓSTA, 1992).

A utilização de mapas para analisar o uso e cobertura do solo vem sendo cada vez mais empregada. A seguir são apresentados alguns trabalhos realizados com ênfase na avaliação multitemporais do uso e cobertura do solo.

O estudo realizado por Costa e Lopes (2013) avaliou as modificações da cobertura e uso do solo resultante das atividades antrópicas na sub-bacia do córrego São Domingos no Pará entre os anos de 1973 e 2011, utilizando imagens dos satélites LANDSAT 1, 2 e 5. Estes observaram que a vegetação nativa teve um decréscimo

nos anos analisados, já as áreas destinadas à agropecuária verificaram-se um crescimento acelerado desde a década de 70, além de uma expansão considerável da zona urbana.

O estudo realizado por Castro *et al.* (2014) visou avaliar o processo do uso do solo no arquipélago Mutum-Porto Rico, entre os estados do Paraná e Mato Grosso do Sul, para os anos de 2000, 2005 e 2010. Para entender o processo os autores utilizaram como base outro estudo semelhante realizado no arquipélago nos anos de 1952 a 1996. Para análise do quadro atual foram utilizadas as imagens do satélite LANDSAT-5 (TM). A partir do levantamento foi possível observar que as modificações no arquipélago ocorreram por diversos eventos durante os anos, mas atualmente está em processo de recuperação da vegetação.

Na análise do uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite - GO, Oliveira e Ferreira (2015) utilizaram imagens do satélite LANDSAT-5 entre 1985 e 2011, com o intuito de elaborar um diagnóstico ambiental. No estudo realizado foi possível observar um decréscimo na área de remanescentes de vegetação nativa. De modo geral durante os anos analisados a bacia sofreu oscilação no uso e na cobertura do solo nas classes de pastagem e agricultura estando associado provavelmente à variação do perfil econômico dos municípios contidos na bacia.

Paungarten, Bordalo e Lima (2016) realizaram a análise da alteração da paisagem da bacia hidrográfica do rio Benfica nos anos de 1984, 1993, 1999 e 2009. Os resultados do estudo apresentaram uma expressiva expansão urbana nos últimos trinta anos e demonstraram que a consolidação o crescimento das áreas de uso e cobertura do solo tem propiciado alteração ambiental da bacia em questão, uma vez que boa parte de seus cursos d'água está sofrendo alteração nos seus aspectos quali e quantitativos, além de impactos provenientes da exploração mineral e ocupações espontâneas sobre as áreas de várzea e de preservação permanente.

3.2.2.1 Correlação do uso e cobertura do solo com a qualidade da água

Vários estudos têm sido realizados visando avaliar a relação entre o uso e cobertura do solo e a qualidade da água. Cornelli *et al.* (2016) avaliaram a influência do uso e ocupação do solo sobre a qualidade da água de duas sub-bacias hidrográficas a do rio Piaí e do Tega no município de Caxias do Sul utilizando índices de qualidade da água e imagens do satélite LANDSAT 8 entre o período de

setembro/2012 e julho/2014, no estudo realizado foi possível observar que a baixa qualidade da água em alguns pontos do rio Piaí e Tega é reflexo do uso e ocupação do solo e lançamento de efluentes cujo tratamento não é suficiente para atender os padrões de lançamento previstos pela legislação, concluindo que o uso e ocupação do solo podem influenciar diretamente na qualidade e na disponibilidade dos recursos hídricos devido a acelerada urbanização e agricultura.

Em estudo realizado por Pellizaro *et al.* (2008) visando analisar a evolução do uso e ocupação do solo utilizando imagens dos satélites LANDSAT 5, 7 e CBERS e a qualidade da água por meio do Índice de Qualidade das Águas - IQA, foi possível constatar que as sub-bacias com melhores índices de qualidade da água correspondem àquelas com baixa interferência antrópica. Concluindo que o conhecimento das características de ocupação, das relações socioambientais e das suas influências é imprescindível no processo de planejamento e a gestão do uso e ocupação do solo, bem como das suas consequências sobre a qualidade de vida da população e o equilíbrio ambiental da área, em especial para a conservação de áreas de mananciais hídricos de abastecimento público.

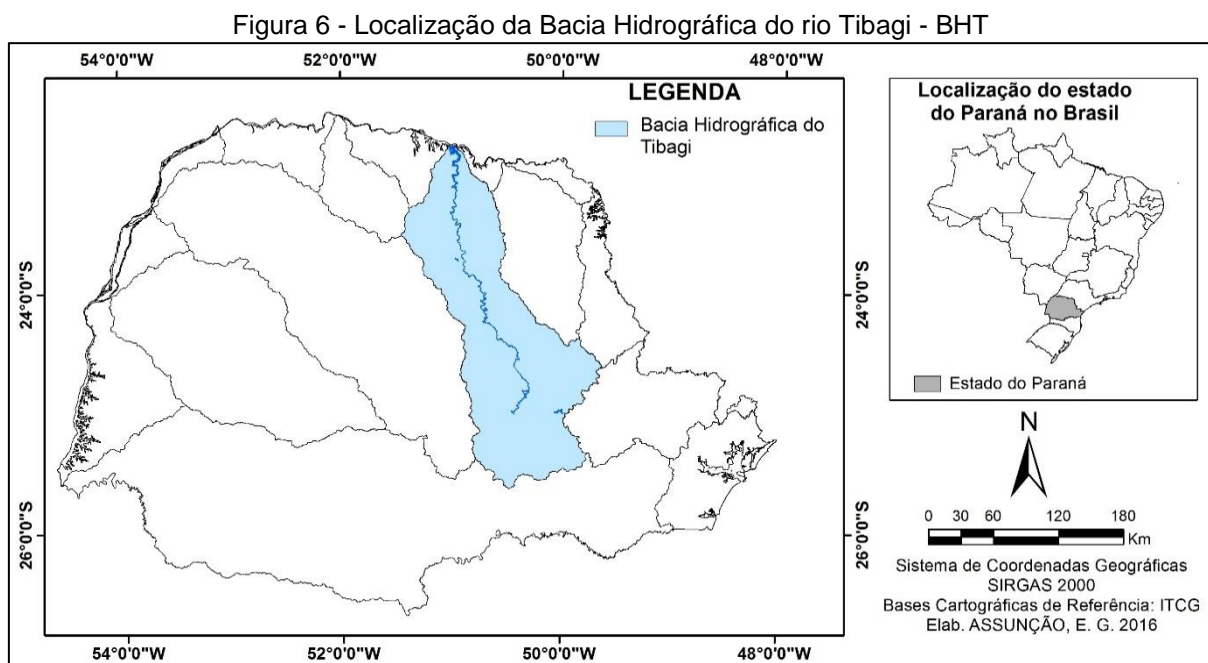
Dalmas *et al.* (2015) realizaram estudos para analisar a qualidade das águas e o uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio Embu-Guaçu. Para tanto, foram utilizados índices de qualidade das águas no período de 2009 a 2013 e imagens dos satélites LANDSAT 7 e 8 para os anos de 1999, 2008 e 2014. Os resultados apresentaram que a ocupação urbana, próximo ao reservatório, compromete a qualidade e a quantidade de suas águas. No entanto as classes de uso e ocupação do solo predominante na bacia hidrográfica são as matas, campos/capoeiras e reflorestamento, que auxilia na qualidade da água e minimiza os efeitos causados pelas ocupações urbanas.

3.3 Bacia Hidrográfica do rio Tibagi - BHT

A Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi - BHT está situada no nordeste do estado do Paraná entre os paralelos de 22° 30' e 25° 30' S e 49° 30' e 51° 30' W. O rio Tibagi nasce na Serra de Furnas, entre os municípios de Ponta Grossa e Palmeiras e deságua no reservatório da Usina Hidrelétrica de Capivara no Rio Paranapanema, com uma extensão média de 320 km e largura de 78 km. Limita-se ao sul com a bacia

do rio Iguaçu, a leste com as bacias dos rios Cinzas e Itararé, a sudeste com a bacia do rio Ribeira, a oeste com a bacia do rio Ivaí, a noroeste com a bacia do rio Pirapó e ao norte com as bacias denominadas Paranapanema II e Paranapanema III.

A BHT está dividida em duas Unidades Hidrográficas de Gestão de Recursos Hídricos: Alto Tibagi e Baixo Tibagi. A BHT possui uma área aproximada de 25.000 km², correspondente a cerca de 13% do território do estado do Paraná. A área da bacia abrange 49 municípios do estado e uma população de 2,1 milhões de habitantes em 2016. Entre as principais cidades da BHT, destacam-se Londrina, Ponta Grossa, Apucarana, Arapongas e Cambé, que juntas correspondem a 60% da população da BHT. (MEDRI *et al.*, 2002; IBGE 2016). Na Figura 6 é apresentado a localização da BHT no estado do Paraná.



Fonte: A autora

A principal atividade econômica da BHT é a agropecuária, sendo ainda relativamente industrializada e ocupada por uma das maiores indústrias de celulose do país, localizada no município de Telêmaco Borba.

A disponibilidade hídrica dos corpos superficiais da BHT é de cerca de 111 000 L s⁻¹. O valor demandado dos corpos superficiais é de aproximadamente 8 mil L s⁻¹, representando apenas 7% do total disponível em corpos superficiais na bacia (SEMA, 2013).

Em 2008 foi iniciada a construção da Usina Hidrelétrica Mauá - UHE Mauá no Rio Tibagi, entre Telêmaco Borba e Ortigueira, sendo inaugurada em 2012. O represamento da usina alterou significativamente a hidrografia da região, gerando o alagamento de uma área de quase dez mil hectares. Destes, 8010 ha eram propriedades rurais e 40 ha de área urbana (CNEC, 2004).

A UHE Mauá é uma usina de médio porte com capacidade de 363 MW, suficiente para atender ao consumo de aproximadamente um milhão de pessoas. A usina é controlada pelo Consórcio Energético Cruzeiro do Sul - CECS, com participação societária de 51% da Copel e 49% da Eletrosul (CECS, 2016).

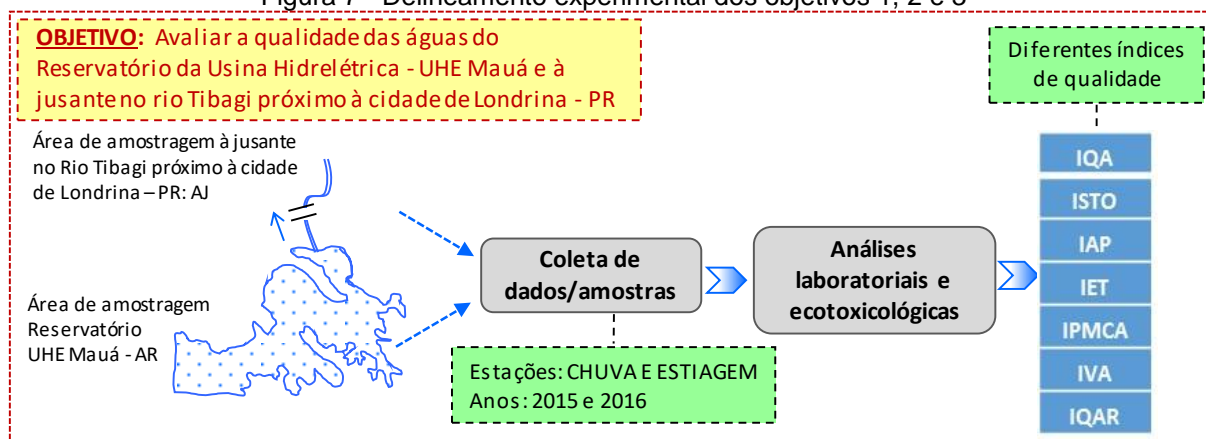
Considerando a alteração da hidrografia e o alagamento de uma parcela da área da bacia hidrográfica do rio Tibagi - BHT com o represamento do rio, faz-se necessária a realização de diagnósticos e investigações sobre a qualidade da água e os possíveis fatores intervenientes relacionados ao uso e cobertura do solo a fim de subsidiar futuras tomadas de decisão em questões importantes para promoção do bem-estar da sociedade e proteção ambiental.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Delineamento experimental

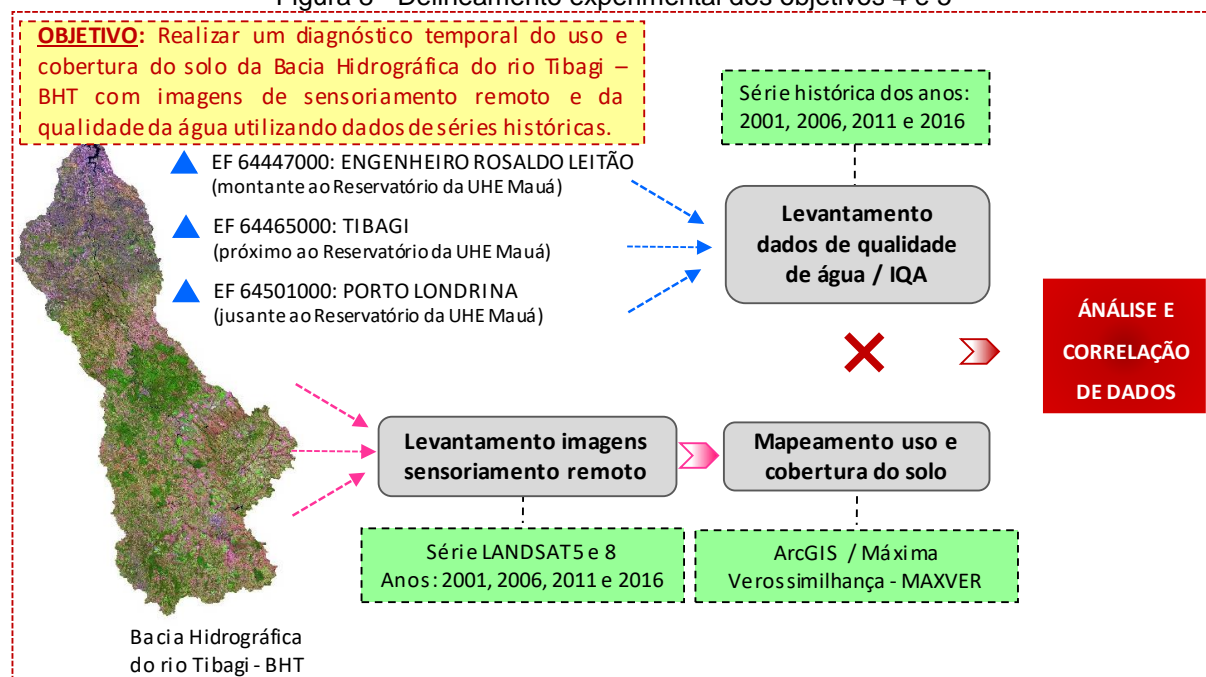
Nas Figuras 7 e 8 são apresentados os delineamentos experimentais correspondentes aos objetivos específicos deste trabalho.

Figura 7 - Delineamento experimental dos objetivos 1, 2 e 3



Fonte: A autora

Figura 8 - Delineamento experimental dos objetivos 4 e 5



Fonte: A autora

4.2 Amostragem

Para a avaliação da qualidade da água foram realizadas 4 campanhas para coleta de dados de campo e de amostras de águas, nos períodos de chuva e de estiagem nos anos de 2015 e 2016 em pontos das áreas de amostragem: Reservatório da Usina Hidrelétrica - UHE Mauá - AR e à jusante, no rio Tibagi próximo à cidade de Londrina-PR - AJ de acordo com a Tabela 23.

Tabela 23 - Data da coleta de dados e de amostras das águas para cada área de amostragem e período de coleta

Área de amostragem	Período de chuva	Período de estiagem
Reservatório da Usina Hidrelétrica - UHE Mauá - AR	18/12/2015	09/08/2016
Jusante do Reservatório UHE Mauá próximo à cidade de Londrina-PR - AJ	06/03/2015	10/08/2016

Fonte: A autora

Com o intuito de se obter uma representação mais abrangente da qualidade da água das áreas de amostragem, e não apenas pontual, optou-se por constituir, à cada trabalho de campo, uma amostra “composta”, contendo 400 mL de cada uma das amostras coletadas à profundidade de Secchi.

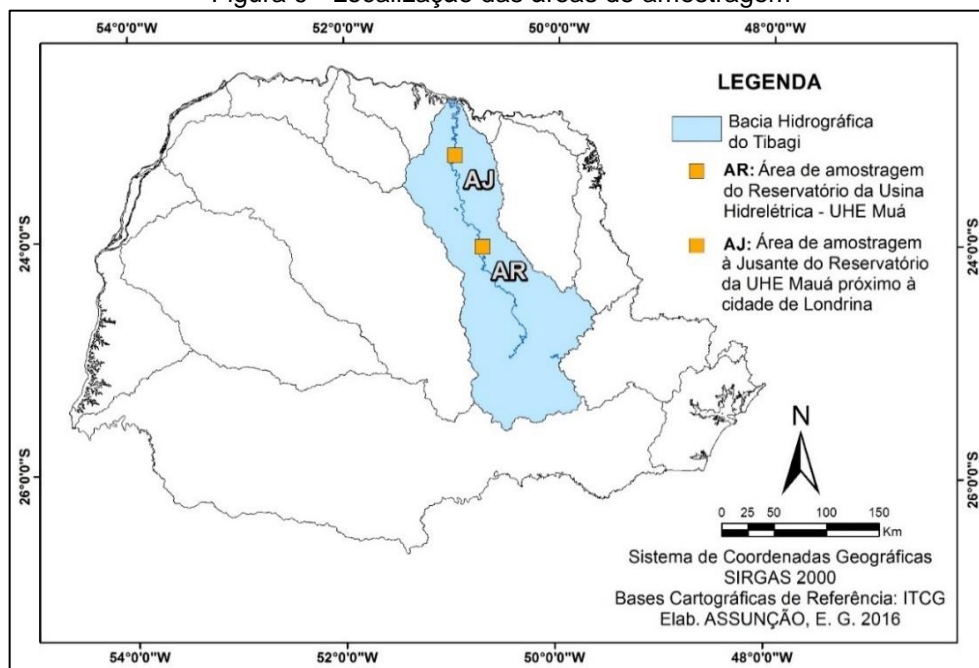
A definição dos pontos de amostragem foi objeto de estudo do doutorando Paulo Henrique Marques de Castro do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Estadual de Londrina, cuja metodologia utilizada baseou-se na criação de 12 círculos concêntricos distanciados de 500 metros, a partir do ponto central da área de amostragem, de onde foram coletadas duas amostras de cada círculo, totalizando 24 e 20 amostras das áreas AR e AJ, respectivamente, destacadas na Figura 9.

Além disso, para cada área de amostragem, foram coletadas, à 30 cm de profundidade - Z1, amostras dos pontos “centrais” (ponto 8 para a AR e ponto 18 para a AJ), selecionados por estarem localizados mais distante das margens sendo, portanto, menos influenciados por eventuais contaminações (pontual/difusa e/ou natural/antrópica) que pudessem afetar suas representatividades.

Segundo recomendações do IAP (2004) para amostragem em reservatórios, a coleta teria que ser realizada, além da profundidade Z1 (à 30 cm da superfície), na Prof. II, calculada como a média entre as profundidades máxima no ponto de amostragem e da zona eufótica. No entanto, como a profundidade máxima neste ponto é de 65 m (LACTEC, 2011) e a profundidade da zona eufótica foi de 1,10 m, a

Prof. II resultaria maior que 34 m. Infelizmente, devido ao alcance da garrafa de Van Dorn, a coleta foi realizada a 22 m de profundidade (alcance máximo), denominada neste trabalho de Z2 e ainda caso houvesse zona anóxica e esta não coincidissem com a Prof. II deveria ser coletada mais uma amostra na Prof. III na porção intermediária dessa camada que não veio ser o caso deste trabalho.

Figura 9 - Localização das áreas de amostragem



Fonte: A autora

Assim, estabeleceu-se o seguinte padrão para denominação dos diferentes tipos de amostra, representadas também na Tabela 24:

AA_{zzz}, em que:

AA - área de amostragem: AR (Reservatório da Usina Hidrelétrica - UHE Mauá) e AJ (ponto à jusante no rio Tibagi próximo à cidade de Londrina-PR);

zzz - profundidade de coleta: z1 (30 cm da superfície), z2 (22 cm da superfície) e COMP (composta com amostragem de cada ponto coletada à profundidade de Secchi);

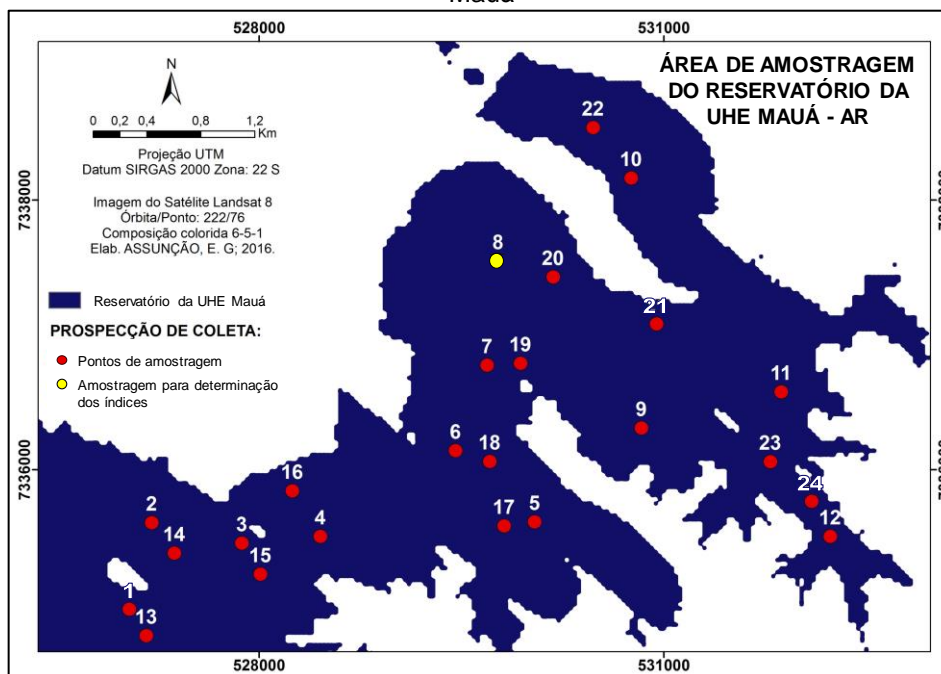
Tabela 24 - Denominações dos diferentes tipos de amostra

Área de amostragem	Sigla	COMP	Z1	Z2
Reservatório da Usina Hidrelétrica - UHE Mauá	AR	AR _{COMP}	AR _{Z1}	AR _{Z2}
Ponto à jusante no rio Tibagi próximo à cidade de Londrina-PR	AJ	AJ _{COMP}	AJ _{Z1}	-

Fonte: A autora

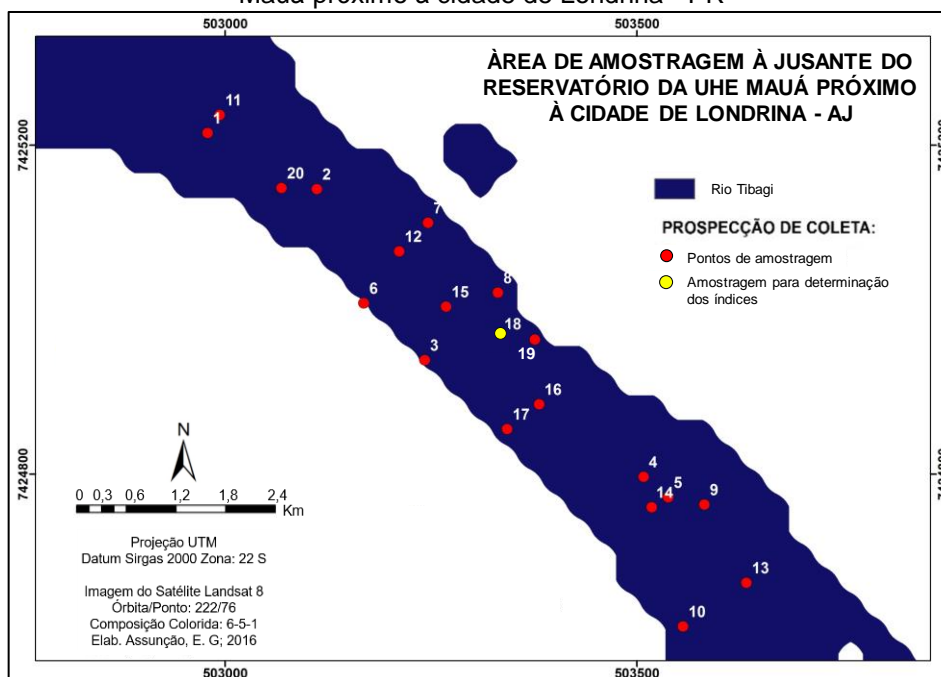
As áreas de amostragem com os respectivos pontos de coleta são apresentadas na Figura 10 e na Figura 11.

Figura 10 - Localização dos 24 pontos de amostragem e coleta de dados do reservatório da UHE Mauá



Fonte: A autora

Figura 11 - Localização dos 20 pontos de amostragem e coleta do á jusante do reservatório da UHE Mauá próximo à cidade de Londrina - PR



Fonte: A autora

Em campo, utilizou-se um equipamento de Sistema de posicionamento global - GPS (Marca Garmin e modelo GPS map 76CSx), devidamente alimentado com as coordenadas geográficas, para orientação do barco ao local exato de amostragem. Em seguida, anotou-se na folha de campo observações adicionais em relação à incidência de vento, sol ou chuva, cobertura de nuvens, presença de macrófitas ou qualquer outro possível interferente na análise das amostras de água.

A amostragem foi realizada à profundidade do disco de Secchi com auxílio da garrafa de Van Dorn, conforme fotos tiradas em campo nas Figura 12 e 13.

Figura 12 - Foto de amostragem utilizando a garrafa de Van Dorn



Fonte: A autora

Figura 13 - Foto da localização do ponto utilizando o GPS e a medição de OD



Fonte: A autora

De cada ponto foram coletados 3 L, distribuídos em 03 frascos plásticos novos com batoque e tampa roscável e capacidade de 1 L, devidamente rotulados e mantidos sob refrigeração em caixa térmica com gelo rígido reutilizável até chegada no laboratório para análise.

Após a coleta da amostra, foram realizadas medições em campo dos parâmetros: pH, temperatura e oxigênio dissolvido - OD de acordo com métodos e equipamentos apresentados na Tabela 25. Após chegada ao laboratório, as amostras foram mantidas sob refrigeração a 4° C até o momento de análise, para evitar alterações das características químicas e biológicas das amostras, os parâmetros DBO, coliformes totais e *Escherichia coli* foram analisados no prazo máximo de 24 horas após a coleta.

4.3 Análises laboratoriais

Os métodos e equipamentos utilizados para a determinação de cada um dos parâmetros utilizados no cálculo dos diferentes índices de qualidade da água (clorofila a, *Escherichia coli*, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, fenóis totais, fósforo total, metais, nitrogênio total, fitoplâncton, oxigênio dissolvido, pH, série de sólidos, surfactantes, temperatura, turbidez) estão apresentados na Tabela 25. As análises de metais e de identificação e contagem fitoplanctônica foram realizadas por laboratórios de prestação de serviço devidamente credenciados.

Tabela 25 - Parâmetros, métodos e equipamentos utilizados para análise de qualidade da água

Parâmetro	Ref. APHA, AWWA, WEF (2012)	Método	Equipamento (Modelo/marca)
pH	4500	Método potenciométrico	pHmetro: Digimed DM-2P Agitador: FISATOM 761
Temperatura (°C)	2550 B	Termômetro eletrônico	Oxímetro: Hach HQ 30d
Série de sólidos (mg L ⁻¹)	2540 B, C, D e E	Método gravimétrico	Membranas 1,2 Mufla 550° C: FORNITEC 1940 Estufa 103° C: LUFERCO
Turbidez (NTU)	2130 B	Método Nefolométrico	Turbidímetro: Hach 2100Q
Condutividade	2510 B	Método eletrométrico	Condutivímetro: Digimed DM-3P
Oxigênio dissolvido (mg L ⁻¹)	4500-O G	Eletrodo de luminescência	Oxímetro: Hach HQ 30d
Nitrogênio total (mg L ⁻¹)	DIN EN ISO 11 905-1 (*)	Método espectrofotométrico	Espectrofotômetro: Macherey-Nagel - MN Nanocolor vis 919150
Fósforo total (mg L ⁻¹)	4500-P J	Método do Persulfato	Espectrofotômetro: Macherey-Nagel - MN Nanocolor vis 919150
Demanda bioquímica de oxigênio (mg L ⁻¹)	5210 B	Método DBO 5 dias a 20°C / Eletrodo de luminescência	Oxímetro: Hach HQ 30d Incubadora BOD Tecnal TE371
Demanda química de oxigênio (mg L ⁻¹)	5220 D	Método do refluxo fechado	Bloco digestor COD ReactorHach Espectrofotômetro: Macherey-Nagel - MN Nanocolor vis 919150
Clorofila a (mg L ⁻¹)	10200 H	Espectrofotometro com extração em acetona 90%	Espectrofotômetro: Macherey-Nagel - MN Nanocolor vis 919150
Fitoplâncton (cél mL ⁻¹)	Método de Utermöhl (1958) (*)		Microscópio: OPTON Microscópio invertido: LEICA - DMIL
<i>Escherichia coli</i> (NMP 100 mL ⁻¹)	9223 B	Contagem de poços/cartela	Seladora Quanti-Tray
Surfactantes (mg L ⁻¹)	5540 C	Método espectrofotométrico com o azul de metileno	Espectrofotômetro MERK - PHARO
Metais: Alumínio dissolvido (mg L ⁻¹), Cádmio total (µg L ⁻¹), Chumbo total (µg L ⁻¹), Cobre dissolvido (mg L ⁻¹), Cromo total (µg L ⁻¹), Ferro dissolvido (mg L ⁻¹), Manganês total (µg L ⁻¹), Mercúrio total (µg L ⁻¹), Níquel total (µg L ⁻¹) e Zinco total (µg L ⁻¹)	3125 B	Espectrometria de Massa com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-MS)	Cromatógrafo Iônico (ICP - MS) Agilent 770
PFTHM	5710 B	Potencial de formação de subprodutos da oxidação e Cromatografia gasosa com detector de captura de elétrons	pHmetro: Digimed DM-2P Cromatógrafo gasoso (GC-ECD) Agilent 7820 Colorímetro HACH 890
Ensaio de ecotoxicidade	NBR 12648 (ABNT, 2011) NBR 13373 (ABNT, 2010) / NBR 12713 (ABNT, 2009) N 2588 (PETROBRÁS, 1996) (*)	Teste de toxicidade crônica / Teste de toxicidade aguda	pHmetro: Digimed DM-2P Oxímetro: Hach HQ 30d Incubadora BOD Tecnal TE371 Dozador: METROHM

(*) Outras referências.

Fonte: A autora

4.4 Determinação dos índices de qualidade da água

A determinação dos diferentes índices de qualidade da água foi realizada utilizando as fórmulas e classificações conforme a Tabela 26, baseados nos resultados das análises de qualidade (Tabela 25).

Tabela 26 - Parâmetros, fórmulas e classificações utilizadas para determinação dos índices de qualidade da água

Índices	Parâmetros	Fórmula	Classificação da qualidade
IQA	Coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo total, nitrogênio total, oxigênio dissolvido, pH, sólidos totais, temperatura e turbidez	$IQA = \prod_{i=1}^N q_i^{w_i}$	Tabela 4
ISTO	Alumínio dissolvido, cádmio total, chumbo total, cobre dissolvido, cromo total, ferro dissolvido, manganês total, mercúrio total, níquel total, número de células, potencial de formação de trihalometanos e zinco total.	$ISTO = ST \cdot SO$	Não há classificação
IAP	Alumínio dissolvido, cádmio total, chumbo total, cobre dissolvido, coliformes termotolerantes, cromo total, demanda bioquímica de oxigênio, ferro dissolvido, fósforo total, manganês total, mercúrio total, níquel total, nitrogênio total, número de células, oxigênio dissolvido, potencial de formação de trihalometanos, pH, sólidos totais, temperatura, turbidez e zinco total	$IAP = IQA \cdot ISTO$	Tabela 8
IET	Clorofila a e fósforo total	$IET = \frac{IET (PT) + IET (CL)}{2}$	Tabela 9 para rios Tabela 10 para reservatórios
IPMCA	Cádmio total, chumbo total, cobre dissolvido, cromo total, fenóis totais, mercúrio total, níquel total, oxigênio dissolvido, pH, surfactantes, toxicidade e zinco total.	$IPMCA = VE \cdot ST$	Tabela 12
IVA	Cádmio total, chumbo total, clorofila a, cobre dissolvido, cromo total, fenóis totais, fósforo total, mercúrio total, níquel total, oxigênio dissolvido, pH, surfactantes, toxicidade e zinco total.	$IVA = IPMCA \cdot IET$	Tabela 15
IQAR	Cianobactérias, clorofila a, déficit de oxigênio dissolvido, disco de secchi, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo total, nitrogênio inorgânico total, profundidade média e tempo de residência.	$IQAR = \frac{\sum(w_i \cdot q_i)}{\sum w_i}$	Tabela 18

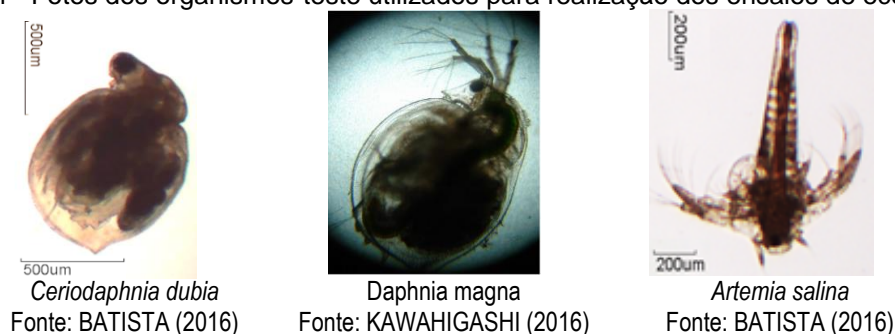
Fonte: A autora

4.5 Ensaios de ecotoxicidade

Foram realizados ensaios de ecotoxicidade agudos em *Ceriodaphnia dubia*, *Daphnia Magna* e *Artemia salina*. Os ensaios de ecotoxicidade foram realizados com as amostras COMP, Z1 e Z2 para as áreas de amostragem do Reservatório da Usina Hidrelétrica - UHE Mauá - AR e à jusante, no rio Tibagi próximo à cidade de Londrina-PR - AJ. As amostras foram mantidas refrigeradas até a realização dos ensaios.

Os organismos-teste utilizados para os ensaios de ecotoxicidade foram: *Ceriodaphnia dubia*, *Daphnia magna* e *Artemia salina* e são ilustrados na Figura 14.

Figura 14 - Fotos dos organismos-teste utilizados para realização dos ensaios de ecotoxicidade



As cepas de *Ceriodaphnia dubia* e *Daphnia magna* foram doadas pelo Laboratório de Ecotoxicologia do Departamento de Ecologia e Biologia Evolutiva da Universidade Federal de São Carlos - UFSCar e pelo Centro de Energia Nuclear na Agricultura - CENA da Universidade de São Paulo - USP.

4.5.1 *Ceriodaphnia dubia* (NBR 13373 - ABNT, 2010)

4.5.1.1 Manutenção e cultivo de *Ceriodaphnia dubia*

A cepa de *Ceriodaphnia dubia* foi mantida à temperatura controlada de 25° C, iluminação de 35 µE m⁻² s⁻¹ e fotoperíodo de 16 h d⁻¹ em incubadora BOD (Tecnal - TE371). Seu cultivo foi realizado seguindo normas padronizadas (ABNT, 2010) em água reconstituída com adição de soluções específicas para atender às seguintes características: pH 7,0 - 7,6 e dureza entre 40 e 48 mg CaCO₃ L⁻¹, seguida de aeração por um período de pelo menos 12 h antes da sua utilização, para solubilização dos sais, saturação do oxigênio dissolvido e estabilização do pH. A renovação da água de cultivo das culturas estoque e a alimentação foram realizadas 2 vezes por semana. A

manutenção e repique dos microcrustáceos foram realizadas com auxílio de pipetas Pasteur de diâmetro adequado e ponta arredondada, mantendo os organismos na proporção de 70 org L⁻¹. A Tabela 27 apresenta a composição da água reconstituída para *Ceriodaphnia dubia*.

Tabela 27 - Composição da água reconstituída para cultivo e diluição das amostras no ensaio com *Ceriodaphnia dubia*

Solução estoque	Constituinte	Concentração (g L ⁻¹)
A	CaSO ₄	1,5
B	KCl	0,2
	NaHCO ₃	4,8
	MgSO ₄ .7H ₂ O	6,1

Para 1 L de água reconstituída diluiu-se 20 mL de A e 10 mL B.

Fonte: ABNT (2010)

Os organismos foram alimentados com uma suspensão algácea de *Pseudokirchneriella subcapitata* concentrados na fase exponencial de crescimento considerando a concentração de 3x10⁵ cél mL⁻¹ org L⁻¹ e alimento composto constituído de levedura (fermento biológico seco dissolvido em água deionizada) e ração de peixe Tetramim fermentada (na proporção de 1:1) para uma concentração de 1 mL L⁻¹.

4.5.1.2 Ensaios de ecotoxicidade em *Ceriodaphnia dubia*

Os ensaios de ecotoxicidade utilizando *Ceriodaphnia dubia* consistiram na exposição de 5 neonatas com idade entre 6 e 24 h, obtidas a partir de fêmea com idade entre 7 e 21 dias, para diferentes diluições das amostras em água reconstituída para volume total de 10 mL em placas de cultivo celular em polipropileno (TPP). Para cada concentração da amostra, controle negativo (água reconstituída) e controle positivo (dicromato de potássio 0,2 g L⁻¹) foram feitas 4 réplicas. Os experimentos foram mantidos na temperatura controlada de 25° C, com fotoperíodo de 16 h de luz difusa com os recipientes cobertos e sem alimentação. No início e fim dos ensaios foram realizadas as medidas dos parâmetros de pH, oxigênio dissolvido - OD e dureza a fim de garantir as mínimas condições de sobrevivência (pH entre 5,0 e 9,0 e OD não inferior a 3 mg L⁻¹)

Após os períodos de exposição de 24 e 48 h foi realizada a contagem dos organismos imóveis e mortos em esteroscópico (Motic - SMZ140 FBLED). Em caso positivo os resultados foram expressos como concentração efetiva mediana da

amostra que causou efeito a 50% da população exposta após 24 h - CE50_{24h} e 48 h - CE50_{48h} obtidas por cálculo estatístico usando o programa Trimmed Spearman-Kärber com intervalo de confiança de 95% (Hamilton *et al.* 1977). O ensaio foi validado quando a porcentagem de organismos imóveis ou mortos no controle negativo resultou inferior a 10% (ABNT, 2010).

4.5.2 *Daphnia magna* (NBR 12713 - ABNT, 2009)

4.5.2.1 Manutenção e cultivo de *Daphnia magna*

A cepa de *Daphnia magna* foi mantida à temperatura controlada de 25° C e iluminação de 35 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ com fotoperíodo de 16 h d⁻¹ em incubadora BOD (Tecnal - TE371). Seu cultivo foi realizado seguindo normas padronizadas (ABNT, 2009) em água de cultivo meio M4 (Tabela 28) com adição de soluções específicas para atender às seguintes características: pH 7,6 - 8,0, dureza entre 175 - 225 mg CaCO₃ L⁻¹, seguida de aeração por um período de pelo menos 12 h antes da sua utilização para solubilização dos sais, saturação do oxigênio dissolvido e estabilização do pH. A renovação da água de cultivo das culturas estoque e a alimentação foram realizadas 2 vezes por semana. A manutenção e repique dos microcrustáceos foram realizadas com auxílio de pipetas Pasteur de diâmetro adequado e ponta arredondada. A Tabela 28 apresenta a composição do meio de cultivo M4 para *Daphnia magna*.

Tabela 28 - Composição do meio de cultivo no Meio M4 para *Daphnia magna*

Solução estoque	Produto químico	Concentração (g L ⁻¹)
A	CaCl ₂ .2H ₂ O	73,52
B	MgSO ₄ .7H ₂ O	123,3
C	KCl	5,8
D	NaHCO ₃	64,8
E	MnCl ₂ .4H ₂ O	7,21
	LiCl	6,12
	RbCl	1,42
	SrCl ₂ .6H ₂ O	3,04
	CuCl ₂ .2H ₂ O	0,335
	ZnCl ₂	0,260
	CoCl ₂ .2H ₂ O	0,2
F	H ₃ BO ₃	5,719
	NaBr	0,032
	Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	0,126
	KI	0,0065
	Na ₂ SeO ₃	0,00438
	NH ₄ VO ₃	0,00115
	NaNO ₃	0,548
G	Na ₂ SiO ₃	0,021465
H	FeSO ₄ .7H ₂ O	0,1991
	Na ₂ EDTA.2H ₂ O	0,500
I	KH ₂ PO ₄ .4H ₂ O	0,286
	K ₂ HPO ₄	0,368
J	Hidrocloreto de tiamina	0,750
	Cianocobalamina (B12)	0,01
	Biotina	0,075

Fonte: ABNT (2009)

Para preparação de 1L de meio de cultura M4 deve-se diluir 4 mL de A, 1 mL de B, 1 mL de C, 1 mL de D, 0,1 mL de E, 0,5 mL de F, 0,2 mL de G, 5 mL de H, 0,5 mL de I e 0,1 mL de J. Modo de preparo das soluções: G: dissolver e diluir a 1000 mL com água destilada, deixando em agitação até o clareamento da solução. H: preparar as soluções separadamente, cada uma em balão volumétrico de 500 mL de água destilada. Misturar as duas soluções e autoclavar a 121° C por 15 minutos. J: dissolver e diluir a 1000 mL com água destilada. Armazenar em frasco em geladeira para usar no preparo do meio de cultivo. Congelar o restante em frascos para ir descongelando aos poucos.

Os organismos foram alimentados com uma suspensão algácea de *Pseudokirchneriella subcapitata* concentrados na fase exponencial de crescimento considerando a concentração de 3×10^5 cél mL⁻¹ org L⁻¹ e alimento composto constituído de levedura (fermento biológico seco dissolvido em água deionizada) e ração de peixe Tetramim fermentada (na proporção de 1:1) para uma concentração de 1 mL L⁻¹.

4.5.2.2 Ensaio de ecotoxicidade em *Daphnia magna*

Os ensaios de ecotoxicidade com *Daphnia magna* consistiram na exposição de 5 neonatas com idade entre 6 e 24 h, obtidas a partir de fêmea com idade entre 7 e 21 dias, para diferentes diluições das amostras com água de cultivo (meio M4) para volume total de 10 mL em placas de cultivo celular em polipropileno (TPP). Para cada concentração da amostra e controle negativo (água de cultivo meio M4) e controle positivo (dicromato de potássio 0,2 g L⁻¹) foram feitas 4 réplicas. Os experimentos foram mantidos na temperatura controlada de 25 °C, com fotoperíodo de 16 h de luz difusa com os recipientes cobertos e sem alimentação. No início e fim dos ensaios foram realizadas as medidas dos parâmetros de pH, oxigênio dissolvido - OD e dureza a fim de garantir as mínimas condições de sobrevivência (pH entre 5,0 e 9,0 e OD não inferior a 3 mg L⁻¹).

Após o período de exposição de 24h e 48h foi realizada a contagem dos organismos imóveis ou mortos em estereoscópio (Motic - SMZ140 FBLED) e em caso positivo seus resultados foram expressos como concentração efetiva mediana da amostra que causa efeito a 50% da população exposta após 24 h - CE50_{24h} e 48 h - CE50_{48h} obtidas por cálculo estatístico usando o programa Trimmed Spearman-Kärber com intervalo de confiança de 95% (Hamilton et al, 1977). O ensaio foi validado se a porcentagem de organismos imóveis ou mortos no controle negativo resultasse inferior a 10% (ABNT, 2009).

4.5.3 *Artemia salina* (N 2588 - PETROBRÁS, 1996)

4.5.3.1 Testes preliminares para determinação das condições de ensaio em *Artemia salina*

Devido à inexistência de um protocolo padronizado para ensaio de ecotoxicidade em *Artemia salina* e em função de resultados de testes preliminares, baseado na N 2588 (Petrobrás 1996) houve a necessidade de investigar o comportamento desse organismo em função da variação de alguns parâmetros e condições e assim implementar um protocolo específico para o ensaio em *A. salina*. Foram realizados testes preliminares para:

- Avaliação da influência da variação do pH das amostras realizada em solução salina com valores de pH ajustados para faixa entre 3,0 - 9,0 utilizando-se soluções de HCl e NaOH.
- De acordo com os resultados obtidos foi verificado que ocorreu mortalidade dos organismos para valores de pH entre 3,0 - 7,0, podendo-se estabelecer que o ensaio para este organismo deve ser realizado com o ajuste do pH da amostra para valores entre 8,0 e 9,0.
- Avaliou-se ainda o efeito da porcentagem de amostra e condição de salinidade a ser mantida.

De acordo com os resultados obtidos foi observado que não ocorreu mortalidade dos organismos somente nas porcentagens inferiores a 90% de água ultra pura, comprovando que os ensaios com este organismo devem ser realizados mantendo-se pelo menos 10% de solução salina - condição mínima de salinidade para que não houvesse comprometimento na interpretação dos resultados em relação à ecotoxicidade da amostra testada.

4.5.3.2 Ensaio de ecotoxicidade em *Artemia salina*

Os ovos de *Artemia salina* (de alta eclosão da Maramar Aquacultura Com. Imp. Exp. Ltda - ME), foram incubados por 48 horas em solução salina artificial com pH entre 8 e 9 e à temperatura de 25 a 30 °C com iluminação constante de 60 - 100 w. Para isso, foi utilizada uma caixa plástica compartimentada por divisória contendo orifícios (da ordem de 2 mm) uniformemente distribuídos, de forma a permitir a passagem de náuplios de *Artemia salina*, por fototropismo, após impedimento de passagem de luz em um dos compartimentos com papel alumínio.

A solução salina para eclosão dos ovos de *Artemia salina* foi preparada com os compostos relacionados na Tabela 29.

Tabela 29 - Composição da solução salina artificial para *Artemia salina*

Produto químico	Concentração (g L ⁻¹)
NaCl	24,0
CaCl ₂ .2H ₂ O	1,5
KBr	0,1
KCl	0,7
Na ₂ SO ₄	4,0
NaHCO ₃	0,2
MgCl ₂ .6H ₂ O	11,0

Fonte: PETROBRÁS (1996), adaptado

Os ensaios de ecotoxicidade utilizando *Artemia salina* consistiram na exposição de 10 náuplios, para diferentes diluições das amostras em água reconstituída para volume total de 5 mL em tubos de ensaio de 10 mL. Para cada concentração da amostra, controle negativo (solução salina) e controle positivo (0,2 g L⁻¹ dicromato de potássio em solução salina) foram feitas 3 réplicas. Os experimentos foram mantidos na temperatura controlada de 25° C a 30° C e sob iluminação. No início dos ensaios foram realizadas as medidas dos parâmetros de pH, oxigênio dissolvido - OD a fim de garantir as mínimas condições de sobrevivência.

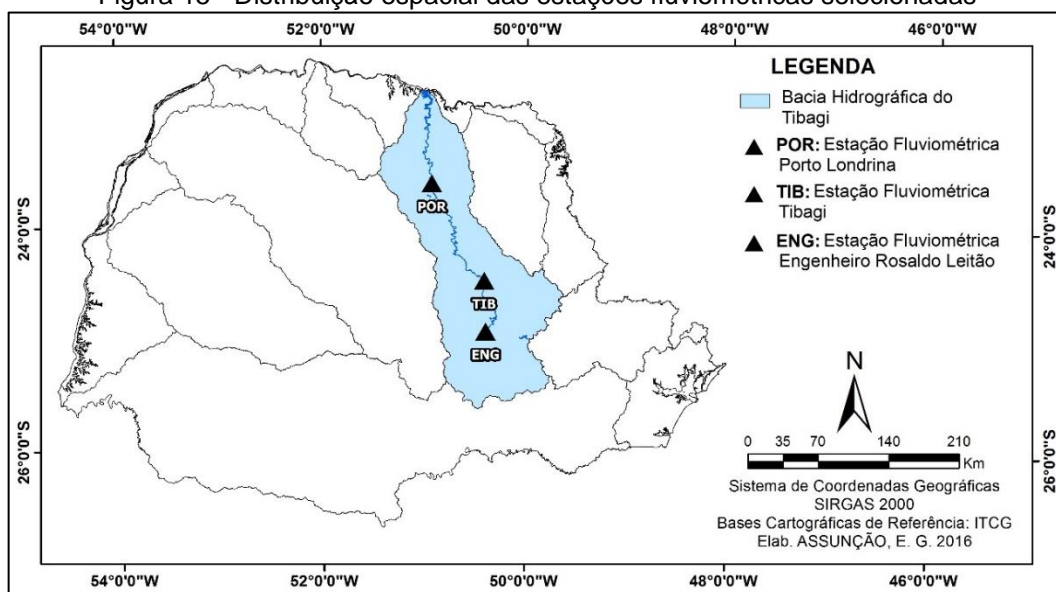
Após o período de exposição de 24 e 48 h foi realizada a contagem dos organismos imóveis ou mortos em cada tubo de ensaio e em casos positivos seus resultados foram expressos como concentração efetiva mediana da amostra que causa efeito a 50% da população exposta após 24 h - CE50_{24h} e 48 h - CE50_{48h} obtidas por cálculo estatístico usando o programa Trimmed Spearman-Kärber com intervalo de confiança de 95% (Hamilton et al, 1977). O ensaio foi validado se a porcentagem de organismos imóveis ou mortos no controle negativo resultasse inferior a 10%.

4.6 Coleta de dados para diagnóstico da qualidade do rio Tibagi

Para diagnóstico temporal da qualidade da água do Rio Tibagi foram obtidos dados de monitoramento nos sites do Instituto das Águas do Paraná e da Agência Nacional das Águas - ANA.

Foram selecionadas estações fluviométricas representadas na Figura 15 e especificadas na Tabela 30, localizadas à montante, à jusante e próxima à área da UHE Mauá e que apresentassem dados de qualidade de água espaçadas de 5 anos para período entre 2006 e 2016 (2006, 2011, 2016), analisados preferencialmente pelo mesmo laboratório e suficientes para o cálculo do IQA.

Figura 15 - Distribuição espacial das estações fluviométricas selecionadas



Fonte: A autora

Tabela 30 - Estações fluviométricas selecionadas para o diagnóstico temporal da qualidade da água do Rio Tibagi.

Código	Nome	Sigla	Município	Estado	Latitude	Longitude	Altitude (m)
64447000	Engenheiro Rosaldo Leitão	ENG	Ponta Grossa	PR	24°57'55"	50°23'37"	780
64465000	Tibagi	TIB	Tibagi	PR	24°30'36"	50°24'36"	750
64501000	Porto Londrina	POR	São Jerônimo da Serra	PR	23°38'14"	50°55'23"	400

Fonte: A autora

4.7 Elaboração do mapa de uso e cobertura do solo

Para a elaboração dos mapas de uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do rio Tibagi - BHT foram utilizadas imagens de sensores multiespectrais referentes aos últimos dez anos, disponibilizadas gratuitamente no banco de dados do Catálogo de Imagens da Divisão de Geração de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - DGI-INPE e do Earth Explorer da United States Geological Survey - USGS (Pesquisas Geológicas dos EUA).

Foram utilizadas imagens da série LANDSAT para os anos de 2006, 2011 e 2016, permitindo o diagnóstico temporal do uso e cobertura do solo. As imagens foram selecionadas preferencialmente para o mesmo período do ano e que apresentassem a mínima presença de nuvens possível.

A Tabela 31 relaciona as datas das imagens selecionadas, os satélites imageadores e as respectivas bandas multiespectrais utilizadas para a composição colorida, a fim facilitar o diagnóstico do uso e cobertura do solo.

Tabela 31- Imagens de satélite utilizadas para elaboração do mapa de uso e cobertura do solo

Data	Satélite	Sensor	Ponto/órbita	Bandas
12/09/2006	LANDSAT 5	Thematic Mapper - TM	077 / 221	B3, B4, B5
12/09/2006	LANDSAT 5	Thematic Mapper - TM	078 / 221	B3, B4, B5
03/09/2006	LANDSAT 5	Thematic Mapper - TM	077 / 222	B3, B4, B5
03/09/2006	LANDSAT 5	Thematic Mapper - TM	076 / 222	B3, B4, B5
05/05/2011	LANDSAT 5	Thematic Mapper - TM	077 / 221	B3, B4, B5
05/05/2011	LANDSAT 5	Thematic Mapper - TM	078 / 221	B3, B4, B5
16/08/2011	LANDSAT 5	Thematic Mapper - TM	077 / 222	B3, B4, B5
16/08/2011	LANDSAT 5	Thematic Mapper - TM	076 / 222	B3, B4, B5
16/04/2016	LANDSAT 8	Operational Land Imager - OLI	077 / 221	B4, B5, B6
07/09/2016	LANDSAT 8	Operational Land Imager - OLI	078 / 221	B4, B5, B6
23/04/2016	LANDSAT 8	Operational Land Imager - OLI	077 / 222	B4, B5, B6
23/04/2016	LANDSAT 8	Operational Land Imager - OLI	076 / 222	B4, B5, B6

Fonte: A autora

Os mapas foram elaborados utilizando o software ArcGIS que consiste em um Sistema de Informações Geográficas- SIG para visualização, gestão, criação e análise de dados geográficos.

Após seleção e aquisição das imagens e respectivas bandas espectrais, criou-se um banco de dados, no qual foram definidas as composições coloridas que consistem na seleção de três bandas espectrais e atribuição de uma das cores primárias (vermelho - R, verde - G e azul - B) para cada uma delas. Desta forma, a elaboração da composição colorida foi realizada utilizando as bandas B5 - R, B4 - G e B3 - B do LANDSAT 5 de sensor TM e B6 - R, B5 - G e B4 - B do LANDSAT 8 de sensor OLI.

Em seguida, com as imagens geradas na composição colorida e a máscara (arquivo vetorial do polígono da bacia) referente ao delineamento da área da BHT em formato *shapefile* - *.shp adquirida gratuitamente no site do Instituto de Terras, Cartografia e Ciências - ITCG, procedeu-se o recorte e elaboração do mosaico, utilizando-se a ferramenta *extension extract by mask* do programa ArcGIS.

Com o mosaico elaborado, seguiu-se com a classificação supervisionada, devido a disponibilidade de imagens da área no Google Earth que apresentassem resolução espacial superior às da série LANDSAT, facilitando assim o diagnóstico do uso e cobertura do solo, além de dados obtidos em trabalho de campo próximo ao Reservatório da Usina Hidrelétrica - UHE Mauá que contribuíram para o reconhecimento da área.




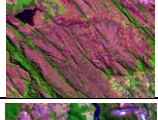
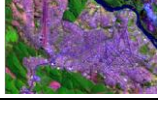
Para a classificação considerou-se o algoritmo classificador Máxima Verossimilhança - MAXVER e levou-se em consideração características como textura

(rugosidade), cor, tonalidade, forma, tamanho, localização e contexto, resultando em cinco classes temáticas de uso e cobertura do solo: área urbana, água, vegetação densa, vegetação rasteira e solo exposto. Após concluída a classificação foi gerado um mapa de classes temáticas, a fim de viabilizar o diagnóstico e alterações do uso e cobertura da BHT ao longo do tempo.

Para auxiliar na definição das classes temáticas, foram analisadas imagens da área no Google Earth, uma vez que o mesmo apresenta ferramentas que facilitam o diagnóstico e apresentam resolução espacial das imagens melhores que as da série LANDSAT. Como complemento, foi realizado um trabalho de campo próximo ao Reservatório da Usina Hidrelétrica - UHE Mauá, o que contribuiu para o reconhecimento da área.

A Tabela 32 apresenta o modelo de chave de interpretação utilizada nessa etapa do trabalho para mapear o uso e cobertura do solo da BHT referente ao ano de 2006. As tabelas de chave interpretação para todas as bandas e cenas das imagens utilizadas estão apresentadas com mais detalhes no Apêndice I.

Tabela 32- Características das amostras utilizada para o mapeamento da imagem do LANDSAT 5 (TM), Ponto 077, Órbita 221, Data 12/09/2006

Unidade de mapeamento	Padrões característicos de interpretação no terreno	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo numa composição colorida (R-5, G-4, B-3)
Água	Área alagada, podendo apresentar vegetação aquática	Padrão de cor: azul Textura: lisa Forma: irregular	
Vegetação Densa	Área constituída por espécies nativas ou floresta implementada apresentando todo tipo de vegetação arbórea	Padrão de cor: verde escuro Textura: rugosa Forma: irregular	
Vegetação Rasteira	Área formada por vegetação rasteira contendo algumas árvores de pequeno porte	Padrão de cor: verde claro Textura: levemente rugosa Forma: levemente irregular	
Solo Exposto	Área desprovida de revestimento vegetal	Padrão de cor: rosa claro Textura: lisa Forma: regular ou irregular	
Área urbana	Áreas construídas, seja por edificações de multipavimentos, lotes com construções residenciais, comerciais ou industriais.	Padrão de cor: magenta Textura: rugosa Forma: irregular	

Fonte: A autora

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Avaliação da qualidade das águas do Reservatório da Usina Hidrelétrica - UHE Mauá e à jusante próximo à cidade de Londrina-PR

Os dados de coleta bem como os resultados das análises de cada ponto em relação aos parâmetros turbidez, sólidos suspensos totais, clorofila *a*, pH e condutividade não apresentaram variações expressivas entre os pontos para cada área de amostragem (24 pontos para AR e 20 pontos para AJ), dados os pequenos valores de desvio padrão, estes são apresentados com detalhes no Apêndice II e de forma resumida, na Tabela 33

Tabela 33 - Valor médio e desvio padrão das análises físico químicas de amostras de água coletadas nas áreas de amostragem do Reservatório da Usina Hidrelétrica Mauá - AR e à jusante no rio Tibagi próximo a cidade de Londrina - AJ

Parâmetros	Chuva		Estiagem	
	AR	AJ	AR	AJ
	valor médio	valor médio	valor médio	valor médio
pH	7,34 ± 0,14	6,80 ± 0,11	6,62 ± 0,21	6,75 ± 0,17
Temperatura (°C)	27,85 ± 0,86	26,28 ± 0,18	19,33 ± 0,82	17,09 ± 0,18
SST (mg L ⁻¹)	6,10 ± 0,80	21,50 ± 1,8	3,10 ± 0,6	6,90 ± 0,70
OD (mg L ⁻¹)	7,99 ± 0,12	7,64 ± 0,04	7,73 ± 0,28	9,08 ± 0,06
Turbidez (NTU)	16,60 ± 1,36	42,87 ± 2,54	6,77 ± 0,28	13,45 ± 0,62
Condutividade (µs cm ⁻¹)	46,89 ± 0,43	56,99 ± 0,73	54,00 ± 0,59	56,50 ± 0,74
Clorofila <i>a</i> (µg L ⁻¹)	13,30 ± 1,2	5,90 ± 0,20	9,40 ± 4,4	3,40 ± 0,10
Profundidade de Secchi (m)	0,92 ± 0,05	-	1,05 ± 0,08	-

Fonte: A autora

Na área de amostragem AJ, não foi possível determinar a profundidade de Secchi em cada ponto, devido à presença de elevada turbulência e forte correnteza. Assim, para esta área de amostragem, as coletas pontuais foram realizadas somente à profundidade de 30 cm - Z1 e por consequência, a amostra composta, utilizada para a determinação do IQA, foi constituída por alíquotas destas amostras.

A amostragem para os períodos de chuva e seca foi realizada, considerando a estação e a resolução temporal (16 dias) do satélite preestabelecida. Infelizmente, na semana de amostragem, ocorreram eventos oposto ao esperado para o período, ou seja, não choveu por 5 a 7 dias antes da coleta programada para o período de chuva e choveu de 1 a 2 dias antes da coleta programada para o período de estiagem. Este ocorrido refletiu especialmente nas concentrações de clorofila *a*, que deveriam se apresentar mais elevadas no período de estiagem do que no de chuva.

Comparando-se a qualidade das águas em relação ao período de coleta, pode-se constatar, como esperado, a melhoria da qualidade ocorrida para os parâmetros analisados (especialmente SST e turbidez) na estiagem para ambas áreas de amostragem. Este fato pode estar associado à estabilidade da coluna líquida, o que favorece a sedimentação de partículas/impurezas, aliada à ausência de contribuição por escoamento superficial.

Por outro lado, tradicionalmente, sabe-se que a transparência do meio aquático, predominante no período de estiagem, favorece o aparecimento de florações de algas e cianobactérias, por possibilitar o processo de fotossíntese. No entanto, os valores médios de clorofila *a* das águas coletadas no período de estiagem foram inferiores aos obtidos no período chuvoso para as duas áreas de amostragem. Uma possível explicação, pode ser a baixa temperatura ocorrida nas coletas do período de estiagem (entre 17,1 e 19,3 °C), uma vez que temperaturas mais amenas, pode inibir o crescimento e proliferação destes microrganismos.

Em relação às áreas de amostragem, observa-se que, para ambos os períodos de coleta, a água da AR apresenta melhor qualidade em relação à da AJ para todos os parâmetros analisados, com exceção à clorofila *a*, devido aos fatores físicos inerentes ao ambiente semi-lêntico que favorecem a ocorrência de florações de algas e cianobactérias.

5.1.1 Índice de Qualidade das Águas - IQA

Na Tabela 34 são apresentados os resultados dos parâmetros de qualidade analisados e os valores obtidos na determinação do IQA com as respectivas classificações, para cada área de amostragem, período de coleta e profundidade.

Tabela 34 - Valores dos parâmetros para determinação do IQA e classificação das águas para cada área de amostragem e período de coleta

Parâmetros	Chuva					Estiagem				
	AR			AJ		AR			AJ	
	COMP	Z1	Z2	COMP	Z1	COMP	Z1	Z2	COMP	Z1
pH	7,41	7,37	7,05	6,54	6,54	6,53	6,60	6,49	6,64	6,64
Temperatura (°C)	27,8 ^(*)	27,9	24,3	26,3 ^(*)	26,3	19,3 ^(*)	18,5	16,0	17,1 ^(*)	17,3
Sólidos totais (mg L ⁻¹)	61,0	61,0	78,5	92,0	83,5	51,2	51,2	67,5	102,5	66,9
Turbidez (N.T.U)	13,70	14,45	34,80	36,87	31,50	5,24	5,54	12,87	7,49	7,93
OD (mg L ⁻¹)	8,00 ^(*)	8,16	6,02	7,64 ^(*)	7,64	7,73 ^(*)	8,15	8,17	9,08 ^(*)	9,00
Nitrogênio Total (mg L ⁻¹)	0,8	0,8	1,3	1,2	1,2	0,9	1	1,1	0,9	1,1
Fósforo Total (mg L ⁻¹)	0,061	0,052	0,071	0,113	0,112	0,027	0,025	0,057	0,038	0,050
DBO (mg L ⁻¹)	1,4	1,1	0,9	1,2	1,2	1,4	0,7	0,8	0,9	0,8
<i>E. coli</i> (NMP 100mL ⁻¹)	2	0	3	407	372	3	1	13	226	131
Índice de Qualidade da Água - IQA	88	90	82	69	70	88	91	82	77	78

Legenda: [80-100] ótima (80-100) [52-79] boa (52-79)

Amostra AR_{COMP}: constituída com amostras pontuais coletadas à profundidade de Secchi;

Amostra AJ_{COMP}: constituída com amostras pontuais coletadas à profundidade Z1 (30 cm da superfície);

(*) Média das amostras pontuais.

Fonte: A autora

Comparando-se os valores dos parâmetros da Tabela 34 para as amostras do reservatório em diferentes profundidades, pode-se observar que, independente do período (chuva ou estiagem) de coleta, os processos que ocorrem naturalmente nas águas superficiais tais como incidência da radiação solar, troca gasosa, fotossíntese e biodegradação aeróbia, influíram nos valores dos parâmetros temperatura, OD, pH e DBO das amostras coletadas à profundidade Z2 com valores inferiores quando comparadas às demais amostras do reservatório. Por outro lado, os valores de *E. coli*, nitrogênio, fósforo, turbidez e sólidos totais aumentaram com a profundidade, devido provavelmente, aos efeitos da ação da gravidade sob o material em suspensão acentuados pelo ambiente semi-lêntico da área de amostragem.

De forma geral, a variação da profundidade de coleta influenciou na qualidade da água em relação aos parâmetros analisados, tendo apresentado resultados e consequentemente, valores de IQA em ordem crescente de qualidade para as amostras coletadas às profundidades Z2 (para a AR), COMP e Z1. Para as condições de estudo, as variações observadas, em função da profundidade de coleta, não

chegaram a alterar a classificação das águas pois a maioria dos valores de IQA resultou próximo ao ponto médio de cada faixa de classificação. No entanto, dependendo do caso, a adoção da coleta apenas em um ponto e à 30 cm de profundidade poderia apresentar resultados diferentes e não representativos, especialmente se forem próximos aos limites da faixa de classificação.

Para ambas áreas de amostragem, pode-se observar que as amostras coletadas no período de chuva apresentaram valores, para a maioria dos parâmetros, incrementados ou muito próximos às amostras coletadas no período de estiagem. No entanto, da mesma forma, as variações observadas, em função do período de coleta, não resultaram na alteração da classificação das águas.

Além disso, comparando os valores obtidos de IQA, é possível constatar que diferentemente do ocorrido na área de amostragem AJ, o ambiente semi-lêntico da AR atenuou os efeitos da precipitação, resultando em valores semelhantes para ambos períodos de coleta, entre 82-90 (ótima) para o período de chuva e entre 82-91 (ótima) para o de estiagem, para as amostras Z2 e Z1, respectivamente. Já para a área de amostragem AJ, os valores de IQA foram bem distintos para os dois períodos de coleta e resultaram entre 69-70 (boa) para o período de chuva e entre 77-78 (boa) para o de estiagem, para as amostras COMP e Z1, respectivamente. Este fato pode indicar a necessidade de se aumentar a área de mata ciliar na margem do rio como medida de proteção e controle da qualidade da água do rio.

Comparando-se os resultados obtidos para as duas áreas de amostragem, pode-se constatar que, independentemente do período de coleta, a água da AJ apresentou qualidade inferior com IQA entre 69 (AJ_{COM} período chuvoso) e 78 (AJ_{Z2} período de estiagem) (boa) em relação à água da AR, com IQA entre 82 e 91 (ótima), especialmente para os parâmetros *E. coli* e fósforo, decorrente das possíveis interferências causadas por atividade antrópicas. Os valores mais elevados de OD para a água coletada no período de estiagem da AJ devem-se provavelmente à menor temperatura na ocasião e aos efeitos de turbulência devido ao fluxo.

Comparando-se os resultados da Tabela 34 com os valores limites de enquadramento para águas doces de classe 2 (classe de enquadramento do rio Tibagi) estabelecidos pela Resolução CONAMA 357 / 2005 da Tabela 1, pode-se observar que, com exceção do fósforo total (entre 0,025 e 0,113 mg L⁻¹), apesar da perda de qualidade e vulnerabilidade observada na água da AJ, todas as amostras, independentemente da área de amostragem e período de coleta, atenderam aos

valores limites estabelecidos pela referida resolução. Ressalta-se que as concentrações de fósforo total das amostras resultaram levemente superiores aos valores limites prescritos (de 0,05 e de 0,1 mg L⁻¹ para ambientes semi-lêntico e lótico, respectivamente) no período chuvoso. Assim, apesar do efeito de diluição do corpo hídrico, o carreamento/lixiviação, possivelmente associados ao uso inadequado de fertilizantes na agricultura, parece ter contribuído de forma mais expressiva para a poluição em relação a este parâmetro.

Ferreira (2009) avaliou a qualidade da água do rio Tibagi e alguns tributários entre os anos de 1987 a 2007 utilizando dados históricos de 11 estações fluviométricas instaladas na BHT. Nos anos analisados, o IQA resultou em valores variando entre 47 a 89 (1987) a 51 a 89 (2007) correspondentes à classificação entre ruim e boa, conforme apresentado na Tabela 35.

Tabela 35 - Faixa de valores e classificação de IQA da água do rio Tibagi entre os anos de 1987 a 2007

Ano	Faixa de valores de IQA	Classificação
1987	47 a 82	Ruim - Boa
1991	69 a 81	Regular - Boa
1997	64 a 89	Regular - Boa
2001	62 a 86	Regular - Boa
2007	51 a 89	Regular - Boa

Fonte: FERREIRA (2009)

Considerando somente as estações fluviométricas instaladas no rio Tibagi, os valores de IQA resultaram entre 51 (Estação Fluviométrica – EF Porto Londrina em 2007) e 87 (EF Telêmaco Borba em 2001) correspondentes às classificações entre regular e boa, respectivamente (Tabela 36). De forma geral, pode-se perceber que nos últimos anos de monitoramento (2001 e 2007), a qualidade das águas foram mantidas ou melhoradas somente para as estações Tibagi, Telêmaco Borba e Uvaia e que nas demais estações o rio teve sua qualidade deteriorada. Vale ressaltar que não foram encontrados dados de monitoramento de qualidade do rio publicados após 2007, que possibilitem o cálculo de IQA.

Tabela 36 - Valores de IQA das águas de estações fluviométricas do rio Tibagi entre os anos de 1987 a 2007

Código	Estação Fluviométrica	1987	1991	1997	2001	2007
64444000	Uvaia	73	72	64	66	75
64447000	Engenheiro Rosaldo Leitão	74	76	75	80	73
64465000	Tibagi	75	81	70	78	79
64482000	Telêmaco Borba	84	80	74	87	86
64491000	Barra Ribeirão das Antas	76	79	73	-	-
64501000	Porto Londrina	79	81	78	62	51
64507000	Jataizinho ANA/CESP	72	73	73	83	68

Fonte: FERREIRA (2009)

5.1.2 Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas - ISTO e Índice de qualidade das águas brutas para fins de Abastecimento Público - IAP

As Tabelas 37 e 38 apresentam os resultados dos parâmetros de substâncias tóxicas e organolépticas e valores obtidos na determinação dos Índices de Substâncias Tóxicas e Organolépticas - ISTO, de qualidade da água - IQA e de Qualidade das Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público - IAP, para as águas da AR com as respectivas classificações e períodos de coleta.

Tabela 37 - Resultado das análises dos parâmetros, valor do ISTO e IAP e classificação das águas das áreas de amostragem AR e AJ para o período de chuva

Parâmetro	LQ	Chuva							
		AR				AJ			
		COMP		Z1		COMP		Z1	
		Valor	qi	Valor	qi	Valor	qi	Valor	qi
Cádmio ($\mu\text{g L}^{-1}$)	1,0	<LQ	1,00	<LQ	1,00	<LQ	1,00	<LQ	1,00
Chumbo ($\mu\text{g L}^{-1}$)	1,0	<LQ	1,00	<LQ	1,00	2,9	1,00	2,1	1,00
Cromo Total ($\mu\text{g L}^{-1}$)	1,0	1,1	1,00	1,5	1,00	1,2	1,00	1,8	1,00
Níquel ($\mu\text{g L}^{-1}$)	1,0	97,6	0,50	23,5	0,62	<LQ	1,00	<LQ	1,00
Mercúrio ($\mu\text{g L}^{-1}$)	0,1	<LQ	1,00	<LQ	1,00	<LQ	1,00	<LQ	1,00
PFTHM ($\mu\text{g L}^{-1}$)	-	323,1	1,00	349,5	1,00	340,4	1,00	337,5	1,00
Nº Cel (cél mL ⁻¹)	-	6414	1,00	14205	1,00	0*	1,00	0*	1,00
Substâncias Tóxicas - ST		0,50		0,62		1,00		1,00	
Alumínio dissolvido ($\mu\text{g L}^{-1}$)	5,0	110,0	1,00	112,0	1,00	91,1	1,00	76,6	1,00
Cobre dissolvido ($\mu\text{g L}^{-1}$)	1,0	2,2	1,00	<LQ	1,00	<LQ	1,00	<LQ	1,00
Ferro dissolvido ($\mu\text{g L}^{-1}$)	1,0	25,5	1,00	32,4	1,00	277,0	1,00	186,0	1,00
Manganês ($\mu\text{g L}^{-1}$)	1,0	7,7	1,00	7,3	1,00	75,2	1,00	82,2	1,00
Zinco ($\mu\text{g L}^{-1}$)	1,0	67,1	1,00	40,9	1,00	11,8	1,00	12,1	1,00
Substâncias Organolépticas - SO		1,00		1,00		1,00		1,00	
Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas - ISTO		0,50		0,62		1,00		1,00	
Índice de Qualidade da Água - IQA		88		90		69		70	
Índice de Qualidade das Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público - IAP		44		55		69		70	

Classificação IQA: [] ótima (80-100)

Classificação IAP: [] ótima (80-100) [] boa (52-79) [] regular (37-51)

LQ: Limite mínimo de Quantificação

Fonte: A autora

Tabela 38 - Resultado das análises dos parâmetros, valor do ISTO e IAP e classificação das águas das áreas de amostragem AR e AJ para o período de estiagem

Parâmetro	LQ	Estiagem							
		AR				AJ			
		COMP		Z1		COMP		Z1	
		Valor	qi	Valor	qi	Valor	qi	Valor	qi
Cádmio ($\mu\text{g L}^{-1}$)	1,0	<LQ	1,00	<LQ	1,00	<LQ	1,00	<LQ	1,00
Chumbo ($\mu\text{g L}^{-1}$)	1,0	<LQ	1,00	<LQ	1,00	<LQ	1,00	<LQ	1,00
Cromo Total ($\mu\text{g L}^{-1}$)	1,0	<LQ	1,00	<LQ	1,00	<LQ	1,00	2,1	1,00
Níquel ($\mu\text{g L}^{-1}$)	1,0	64,7	0,50	<LQ	1,00	<LQ	1,00	<LQ	1,00
Mercurio ($\mu\text{g L}^{-1}$)	0,1	<LQ	1,00	1,0	1,00	<LQ	1,00	1,0	1,00
PFTHM ($\mu\text{g L}^{-1}$)	-	225,0	1,00	275,8	1,00	278,6	1,00	243,1	1,00
N° Cel (cél mL ⁻¹)	-	380	1,00	0	1,00	0	1,00	0	1,00
Substâncias Tóxicas - ST		0,50		1,00		1,00		1,00	
Alumínio dissolvido ($\mu\text{g L}^{-1}$)	5,0	168,0	1,00	192,0	1,00	150,0	1,00	67,6	1,00
Cobre dissolvido ($\mu\text{g L}^{-1}$)	1,0	<LQ	1,00	<LQ	1,00	<LQ	1,00	<LQ	1,00
Ferro dissolvido ($\mu\text{g L}^{-1}$)	1,0	110,0	1,00	172,0	1,00	223,0	1,00	54,0	1,00
Manganês ($\mu\text{g L}^{-1}$)	1,0	15,2	1,00	7,4	1,00	26,9	1,00	95,3	1,00
Zinco ($\mu\text{g L}^{-1}$)	1,0	37,6	1,00	<LQ	1,00	60,2	1,00	78,9	1,00
Substâncias Organolépticas - SO		1,00		1,00		1,00		1,00	
Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas - ISTO		0,50		1,0		1,00		1,00	
Índice de Qualidade da Água - IQA		88		91		77		78	
Índice de Qualidade das Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público - IAP		44		91		77		78	

Classificação IQA: boa (80-100)Classificação IAP: boa (52-79)

LQ: Limite mínimo de Quantificação

* Considerou-se a mesma densidade celular de cianobactérias no período de estiagem (N° Cel = 0 cél mL⁻¹) pois trata-se da estação mais propensa a sua ocorrência e não foi possível viabilizar a análise deste parâmetro. Além disso, valores inferiores ou iguais a 20.000 cél mL⁻¹ não alteraria a taxação para o cálculo do ISTO.

Fonte: A autora

Para determinação do ISTO, verificou-se que as substâncias organolépticas corresponderam à nota máxima em todas as amostras, e apenas o parâmetro níquel do grupo das substâncias tóxicas contribuiu para a redução do índice, apenas para as amostras da área de amostragem AR e especialmente no período de chuva.

A profundidade de coleta também influenciou negativamente no cálculo do ISTO, uma vez que mesmo no período de estiagem, a amostra AR_{COMP} (coletada em profundidades superiores a 30 cm) apresentou concentração de níquel igual a 64,7 $\mu\text{g L}^{-1}$ no período de estiagem e 97,6 $\mu\text{g L}^{-1}$ no período chuvoso (superior ao LS de 25 $\mu\text{g L}^{-1}$), conferindo para o ISTO o valor de 0,50.

Os valores resultantes do cálculo do ISTO para a área de amostragem AR variaram entre 0,50 e 1,00, tendo resultado para as amostras da AR_{COMP} e AR_{Z1}: em 0,50 e 0,52 para as amostras coletadas no período chuvoso, e em 0,50 e 1,00 para as amostras coletadas no período de estiagem, respectivamente. Já para a área de amostragem AJ todas as amostras apresentaram valor máximo igual a 1,00.

Comparando os resultados dos parâmetros de substâncias tóxicas e organolépticas (Tabela 37 e 38) com os limites estabelecidos pela resolução CONAMA 357/05 (Tabela 1) foi possível observar que para as amostras analisadas, apenas as concentrações de alumínio e níquel não atenderam aos limites de $0,025 \text{ mg L}^{-1}$ e $0,1 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente, para águas doces de classe 2, estabelecidos pela Resolução CONAMA 357 / 2005 de acordo com a Tabela 1.

Em função dos valores de ISTO e da nota do IQA (entre 88 e 91 com classificação ótima para AR e entre 70 e 78 classificadas como boa para AJ) foi realizado a determinação do IAP que variou entre 44 e 91 para as amostras coletadas da área de amostragem AR e entre 70 e 78 para as amostras coletadas na área de amostragem AJ.

Vale considerar que as amostras da área de amostragem AR coletadas no período de chuva AR_{COMP} e AR_{Z1} e no período de estiagem AR_{COMP} apresentaram classificação ótima para o IQA com valores de 88, 90 e 88, respectivamente. No entanto, as mesmas amostras apresentaram valores de ISTO de 0,50; 0,62 e 0,50 devido às elevadas concentrações de níquel (superiores ao LS de $25 \mu\text{g L}^{-1}$), ultrapassando o valor limite da Resolução CONAMA 357/05 para águas doces de classe 2, indicando a necessidade de tratamento complementar ao ciclo completo para produção de águas para abastecimento. Esta divergência deve-se à limitação dos parâmetros utilizados para o cálculo do IQA, que refletem originalmente, a contaminação dos corpos hídricos ocasionada principalmente pelo lançamento de esgotos domésticos.

Assim, apesar do IQA ser o índice mais utilizado no Brasil para avaliar a qualidade da água, o IAP mostrou ser um índice mais abrangente e adequado para avaliar a qualidade da água bruta para fins de abastecimento público, por considerar compostos específicos com efeito potencial nocivo para a saúde pública.

5.1.3 Índice de Estado Trófico - IET

A Tabela 39 apresenta os resultados dos parâmetros de qualidade analisados e os valores obtidos na determinação do IET com as respectivas classificações, para cada área de amostragem e período de coleta.

Tabela 39 - Valores dos parâmetros de qualidade para determinação do IET e classificação das águas para cada área de amostragem e período de coleta

Parâmetro	Chuva				Estiagem			
	AR		AJ		AR		AJ	
	COMP	Z1	COMP	Z1	COMP	Z1	COMP	Z1
Clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g L}^{-1}$)	12,8	12,8	5,9	6,4	8,7	5,5	3,2	3,3
Fósforo ($\mu\text{g L}^{-1}$)	61,0	52,0	20,7	20,3	27,0	25,0	3,8	5,0
IET Clorofila <i>a</i>	59	59	55	56	57	55	52	53
IET Fósforo	59	58	53	53	54	54	43	44
IET	59	59	54	54	56	55	47	48

Legenda: [] ultraoligotrófico (0 a 47) [] oligotrófico (48 a 52) [] mesotrófico (53 a 59)

(*) Média das amostras pontuais.

Fonte: A autora

Observa-se na Tabela 39 que para ambas áreas de amostragem, não houve diferenças substanciais para as águas coletadas em diferentes profundidades (COMP e Z1). No entanto, as amostras coletadas no período chuvoso, apresentaram as maiores concentrações de clorofila *a* e fósforo total. Conforme já discutido no item 5.1, contrariando a expectativa, os menores valores de clorofila *a* nas amostras do período de estiagem podem ser explicados pela baixa temperatura ocorrida nas coletas (entre 17,1 e 19,3 °C), uma vez que temperaturas mais amenas, pode inibir o crescimento e proliferação de microrganismos fotossintetizantes.

As concentrações de fósforo total nas amostras AR_{COMP} e AR_{Z1} no período chuvoso foram de 61 e 52 $\mu\text{g L}^{-1}$ e ultrapassaram o limite (até 0,05 mg L^{-1} em ambientes semi-lênticos) estabelecido pela resolução CONAMA 357/05 para águas doces de classe 2, conforme também já discutido no tópico 5.1.1.

O Índice de Estado Trófico classifica os corpos d'água em relação à disponibilidade de nutrientes correlacionada à concentração de fósforo, e em relação à densidade de organismos autotróficos correlacionada à concentração de clorofila *a*.

Independentemente do período, bem como da profundidade de coleta, os valores de IET para as águas da AR variaram entre 55 e 59, o que correspondeu ao estado mesotrófico.

De forma similar, as amostras coletadas à jusante do Reservatório da UHE Mauá apresentaram no período chuvoso, IET de 54 para as duas profundidades de coleta, sendo também classificado como mesotrófico. No período de estiagem, o grau de trofia das águas da AJ foi amenizado para valores de IET de 47 e 48 correspondendo às classificações de ultraoligotrófico e oligotrófico para as águas da AJ_{COMP} e AJ_{Z1}, respectivamente.

É importante ressaltar que o aumento da carga de nutrientes no corpo hídrico pode provocar o crescimento exagerado de algas e plantas aquáticas, acarretando a mortandade de peixes, floração de algas potencialmente tóxicas entre outras mudanças que comprometem a utilização do manancial para diversos fins, incluindo o de abastecimento público.

Prado e Novo (2007), avaliaram a qualidade da água do reservatório de Barra Bonita entre os anos de 1990 e 2002 utilizando o Índice de Estado Trófico - IET. No ano de 1990 o reservatório apresentou classificação mesotrófica e em 2002 oligotrófica, demonstraram um incremento expressivo do nível trófico da água ao longo dos anos. Considerando que a qualidade da água na área de amostragem AR apresenta classificação mesotrófica com valores próximos ao limite superior da faixa de classificação do índice podendo com pequenas variações ser alterada para eutrófico, há necessidade de se monitorar e investigar as possíveis causas do incremento dos parâmetros clorofila-a e fósforo total a fim de controlar/reduzir as concentrações desses parâmetros no ambiente aquático.

5.1.4 Índice de Variáveis Mínimas para a Preservação da Vida Aquática - IPMCA e Índices de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e da Comunidades Aquáticas - IVA

Nas Tabelas 40 e 41 são apresentados os resultados dos parâmetros de variáveis essenciais e de substâncias tóxicas e os valores obtidos na determinação dos Índices de Variáveis Mínimas para a Preservação da Vida Aquática - IPMCA, de Estado Trófico - IET e de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e da Comunidades Aquáticas - IVA

Tabela 40 - Resultado das análises dos parâmetros, valor do IPMCA e IVA e classificação das águas das áreas de amostragem AR e AJ para o período de chuva

Parâmetro	LQ	Chuva							
		AR				AJ			
		COMP		Z1		COMP		Z1	
		Valor	Ponderação	Valor	Ponderação	Valor	Ponderação	Valor	Ponderação
OD (mg L ⁻¹)	0,100	8,1	1	8,2	1	6,5	1	6,5	1
pH	-	7,4	1	7,4	1	7,6	1	7,6	1
Toxicidade	-	NT	1	NT	1	NT	1	NT	1
Variáveis Essenciais - VE		1		1		1		1	
Cádmio (mg L ⁻¹)	0,001	<LQ	1	<LQ	1	<LQ	1	<LQ	1
Cromo(mg L ⁻¹)	0,001	0,001	1	0,001	1	0,001	1	0,002	1
Cobre dissolvido (mg L ⁻¹)	0,001	0,002	1	<LQ	1	<LQ	1	<LQ	1
Chumbo total (mg L ⁻¹)	0,001	<LQ	1	<LQ	1	0,003	1	0,002	1
Mercurio (mg L ⁻¹)	0,0001	<LQ	1	<LQ	1	<LQ	1	<LQ	1
Níquel (mg L ⁻¹)	0,001	0,098	2	0,024	1	<LQ	1	<LQ	1
Fenóis totais (mg L ⁻¹)	0,001	<LQ	1	<LQ	1	<LQ	1	<LQ	1
Surfactantes (mg L ⁻¹)	0,200	<LQ	1	<LQ	1	<LQ	1	<LQ	1
Zinco (mg L ⁻¹)	0,001	0,067	1	0,041	1	0,012	1	0,012	1
Substâncias Tóxicas - ST		1		1		1		1	
Índice de Variáveis Mínimas para a Preservação da Vida Aquática - IPMCA		1		1		1		1	
Índice do Estado Trófico - IET		59	2	54	2	54	2	55	2
Índice de Qualidade das Águas para Proteção da Vida e de Comunidades Aquáticas - IVA		3,2		3,2		3,2		3,2	

Classificação IPMCA: 1 boa (1)

Classificação IET: 59 mesotrófico (53 a 59)

Classificação IVA: 3,2 boa (2,9 e 3,2)

Fonte: A autora

Tabela 41 - Resultado das análises dos parâmetros, valor do IPMCA e IVA e classificação das águas das áreas de amostragem AR e AJ para o período de estiagem

Parâmetro	LQ	Estiagem							
		AR				AJ			
		COMP		Z1		COMP		Z1	
		Valor	Ponderação	Valor	Ponderação	Valor	Ponderação	Valor	Ponderação
OD (mg L ⁻¹)	0,100	7,7	1	8,2	1	9,1	1	9,0	1
pH	-	6,5	1	6,6	1	6,6	1	6,6	1
Toxicidade	-	NT	1	NT	1	NT	1	NT	1
Variáveis Essenciais - VE		1		1		1		1	
Cádmio (mg L ⁻¹)	0,001	<LQ	1	<LQ	1	<LQ	1	<LQ	1
Cromo(mg L ⁻¹)	0,001	<LQ	1	<LQ	1	<LQ	1	0,002	1
Cobre dissolvido (mg L ⁻¹)	0,001	<LQ	1	<LQ	1	<LQ	1	<LQ	1
Chumbo total (mg L ⁻¹)	0,001	<LQ	1	<LQ	1	<LQ	1	<LQ	1
Mercúrio (mg L ⁻¹)	0,0001	<LQ	1	<LQ	1	<LQ	1	<LQ	1
Níquel (mg L ⁻¹)	0,001	0,065	2	<LQ	1	<LQ	1	<LQ	1
Fenóis totais (mg L ⁻¹)	0,001	<LQ	1	<LQ	1	<LQ	1	<LQ	1
Surfactantes (mg L ⁻¹)	0,200	<LQ	1	<LQ	1	<LQ	1	<LQ	1
Zinco (mg L ⁻¹)	0,001	0,038	1	<LQ	1	0,060	1	0,079	1
Substâncias Tóxicas - ST		1		1		1		1	
Índice de Variáveis Mínimas para a Preservação da Vida Aquática - IPMCA		1		1		1		1	
Índice do Estado Trófico - IET		56	2	55	2	47	0,5	48	1
Índice de Qualidade das Águas para Proteção da Vida e de Comunidades Aquáticas - IVA		3,2		3,2		1,7		2,2	

Classificação IPMCA: boa (1)
Classificação IET: ultraoligotrófico (0 a 47) oligotrófico (48 a 52) mesotrófico (53 a 59)
Classificação IVA: ótima (1,7 e 2,2) boa (2,9 e 3,2)

Fonte: A autora

Analisando as Tabelas 40 e 41 verificou-se que, para determinação do IPMCA todas as amostras obtiveram nota máxima para as variáveis essenciais e substâncias tóxicas. Entre os parâmetros analisados apenas as amostras da área de amostragem AR coletadas no período de chuva apresentaram valores de ponderação do parâmetro níquel (Ponderação 2) superiores que os demais do grupo das substâncias tóxicas. No entanto, este fato não influenciou a nota do índice.

De modo geral, a profundidade e período de coleta não influenciaram no cálculo do IPMCA. As notas do IPMCA apresentaram nota máxima (igual a 1,00) para ambas as amostras, sendo classificadas como boa. Vale ressaltar que atualmente a CETESB (2016) não utiliza o parâmetro fenóis totais para o cálculo do IPMCA. Neste trabalho, a exclusão deste parâmetro para determinação do índice não alteraria sua classificação.

Comparando os resultados dos grupos de parâmetros de variáveis essenciais e substâncias tóxicas (Tabelas 40 e 41) com os limites estabelecidos pela resolução CONAMA 357/05 (Tabela 1) foi possível observar que entre os parâmetros analisados,

apenas as concentrações de níquel não atenderam aos limites estabelecidos pela resolução para águas doces de classe 2. Conforme já discutido no tópico 5.1.2.

Moreno et al. (2014), monitoraram da qualidade da água bruta dos reservatórios do sistema da Cantareira – SP entre maio e agosto de 2014 em 6 pontos de coleta utilizando o Índice de Qualidade das Águas Brutas para fins de Abastecimento Público – IAP e o Índice de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e da Comunidades Aquáticas – IVA. Observaram que no período analisado, o IAP obteve notas variando entre 55 e 91 e classificações entre boa e ótima, já o IVA variou entre 1,7 e 5,6 com classificações entre ruim e ótima.

Neste trabalho, apesar dos valores de IPMCA terem resultado iguais para todas as amostras, as notas do IVA apresentaram variações em relação às áreas de amostragem e o período de coleta da AJ. Essa variação ocorreu devido aos valores do IET (discutido no tópico 0) que contribuíram para a melhoria da qualidade da água na área de amostragem AJ. Conseqüentemente, o cálculo do IVA resultou em notas de 3,2 (boa) para todas as amostras da área de amostragem AR e entre 1,7 e 2,2 (ótima) para as amostras da área de amostragem AJ.

Ressalta-se a importância e necessidade de avaliação da qualidade de águas de sistemas aquáticos destinados ao abastecimento com aplicação dos índices reportados.

5.1.5 Índice de Qualidade da Água de Reservatórios - IQAR

A Tabela 42 apresenta os resultados dos parâmetros analisados, as características do Reservatório da Usina Hidrelétrica - UHE Mauá e os valores obtidos na determinação do Índice de Qualidade da água de Reservatórios - IQAR, para as águas do AR com as respectivas classificações e períodos de coleta.

Tabela 42 - Valores dos parâmetros para determinação do IQAR e classificação

Parâmetros	Chuva				Estiagem			
	AR _{COMP}		AR _{Z1}		AR _{COMP}		AR _{Z1}	
	valor	classe	valor	classe	valor	classe	valor	classe
Déficit de oxigênio dissolvido (%)	6,75	2	6,3	2	11,4	2	14,55	2
Nitrogênio inorgânico total (mg L ⁻¹)	1,05 ^{(1) (2)}	4	1,05 ⁽²⁾	4	1,00 ^{(1) (2)}	4	1,05 ⁽²⁾	4
Fósforo total (mg L ⁻¹)	0,066 ⁽¹⁾	4	0,062	4	0,042 ⁽¹⁾	4	0,041	4
DQO (mg L ⁻¹)	16,95 ⁽¹⁾	5	19,50	5	12,05 ⁽¹⁾	4	14,40	5
Clorofila a (µg L ⁻¹)	12,8	5	12,8	5	8,7	4	5,5	4
Cianobactérias (cel mL ⁻¹)	6414	3	14205	3	380	1	0	1
Profundidade do disco de Secchi (m)	0,9	4	1,1	4	1,05	4	1,0	4
Tempo de residência (dias)	88,7	3	88,7	3	88,7	3	88,7	3
Profundidade média (m)	24,56	2	24,56	2	24,56	2	24,56	2
Índice de Qualidade da Água de Reservatórios - IQAR	3,63		3,63		3,20		3,32	

Legenda: Classe III: moderadamente degradado (2,51 a 3,50) Classe IV: criticamente degradado a poluído (3,51 a 4,50)

⁽¹⁾ média entre a AR_{COMP} e AR_{Z2}

⁽²⁾ Devido ao limite de quantificação do método, não foi possível quantificar o parâmetro nitrogênio inorgânico total, sendo utilizado para o cálculo do IQAR os valores de nitrogênio total.

Fonte: A autora

Comparando-se os valores dos parâmetros da Tabela 42, pode-se observar que, a profundidade de coleta influenciou na qualidade da água em relação aos parâmetros analisados, principalmente para a densidade de cianobactérias, tendo apresentado resultados superiores para as amostras coletadas à profundidade Z1.

Verificou-se que entre os períodos de coleta apenas os parâmetros clorofila a, DQO e cianobactérias apresentaram valores que alteraram a classificação do índice, favorecendo a qualidade da água estimada pelo IQAR no período de estiagem.

Os valores obtidos no cálculo do IQAR resultaram próximos para ambos períodos de coleta, sendo de 3,63 (Classe IV: criticamente degradado a poluído) para as duas amostras do período chuvoso e de 3,20 e 3,32 (Classe III: moderadamente degradado) para as amostras coletadas no período de estiagem, AR_{COMP} e AR_{Z1}, respectivamente. Apesar da proximidade dos valores de IQAR, as amostras apresentaram classificações diferentes pois os valores obtidos no cálculo resultaram próximos aos limites de cada faixa de classificação.

Comparando os resultados da Tabela 42 com os limites estabelecidos pela resolução CONAMA 357/05 (Tabela 1) pode-se observar que para as amostras analisadas, apenas o valor de fósforo total (0,066 mg L⁻¹) da amostra AR_{COM} no período chuvoso não atendeu ao limite estabelecido pela resolução para águas doces de classe 2 (de 0,05 mg L⁻¹ para ambiente semi-lêntico) no período chuvoso. Conforme já discutido no tópico 5.1.1.

Os resultados de IQAR obtidos neste trabalho indicam, pela classificação obtida, tendência de moderada a alta à eutrofização o que evidencia a necessidade de se controlar os aportes de nutrientes e monitorar a qualidade da água destes ambientes.

5.2 Avaliação da Ecotoxicidade

A Tabela 43 apresenta as diluições utilizadas para cada organismos-teste para a realização dos ensaios de ecotoxicidade aguda, sendo que os detalhes e os resultados dos ensaios são apresentados no Apêndice III, IV e V.

Tabela 43 - Diluições utilizadas para cada organismo-teste nos ensaios de ecotoxicidade

Amostras do período de chuva e de estiagem (AR _{COMP} , AR _{Z1} , AR _{Z2} , AJ _{COMP} , AJ _{Z1})			
	<i>Ceriodaphnia dubia</i>	<i>Daphnia magna</i>	<i>Artemia salina</i>
Diluições (%)	50, 75 e 100	50, 75 e 100	90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99 e 100
Efeito (%)	ND	ND	ND

Efeito: letalidade/imobilidade

ND: efeito não observado

Fonte: A autora

Analisando-se os resultados dos ensaios de ecotoxicidade realizados para os organismos-teste *Ceriodaphnia dubia*, *Daphnia magna* e *Artemia salina* para as amostras das áreas de amostragem AR e AJ no período de chuva e de estiagem, verificou-se que para todas as amostras os efeitos de toxicidade aguda mensurada pela ocorrência de mortalidade/letalidade resultaram inferiores ou iguais a 10%, valor este utilizado como referência para validação do controle negativo de acordo com as normas N 2588 (PETROBRÁS, 1996) e NBR 12713 (ABNT, 2009). Dessa forma, pode-se constatar que todas as amostras não apresentaram toxicidade aguda para estes organismos aquáticos.

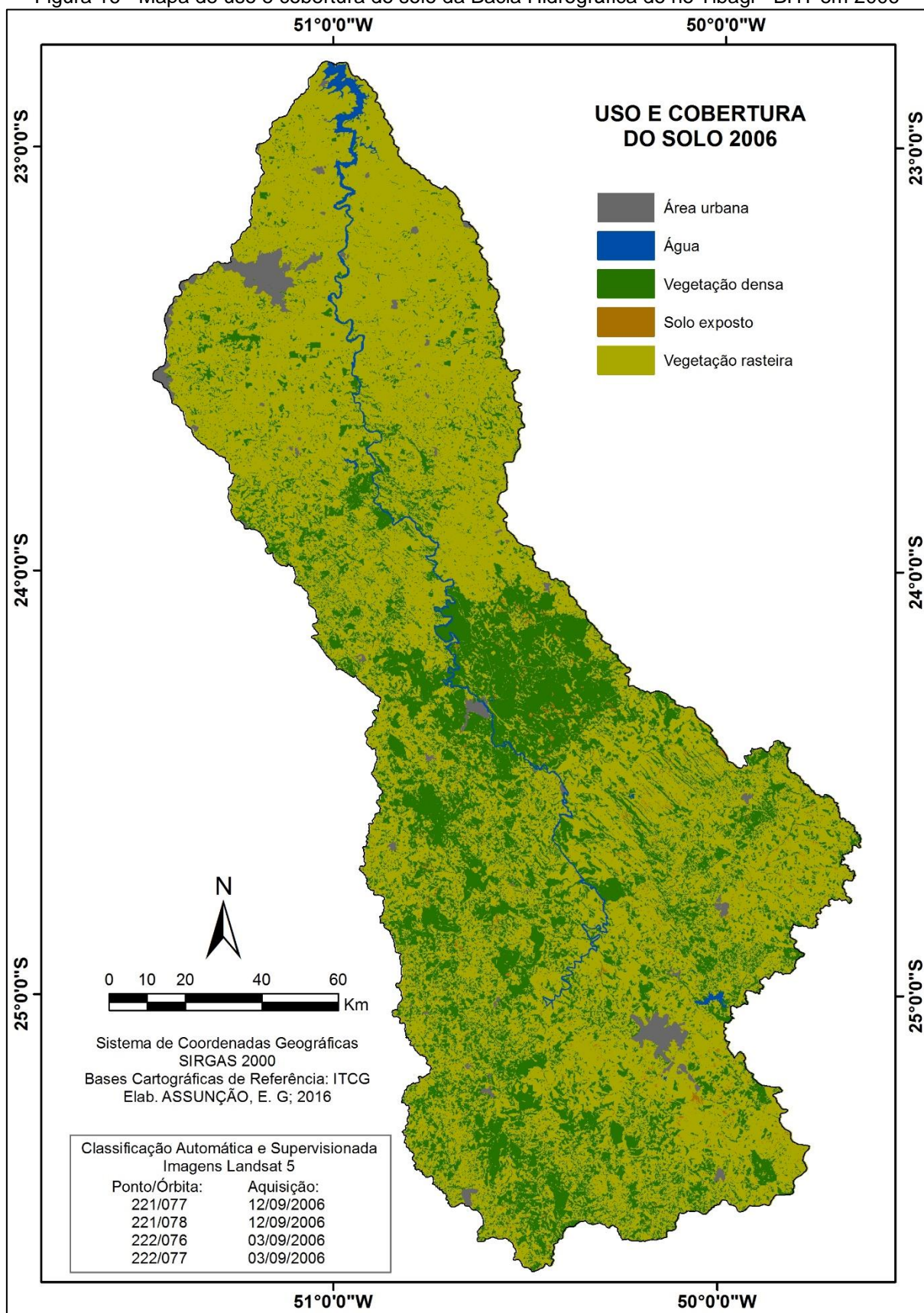
5.3 Diagnóstico temporal do uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do rio Tibagi - BHT e da qualidade da água.

5.3.1 Diagnóstico temporal do uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do rio Tibagi - BHT

As técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto utilizando imagens dos satélites LANDSAT 5 e 8 permitiram a elaboração dos mapas para classificação do uso e cobertura do solo para os anos analisados de 2006, 2011 e 2016.

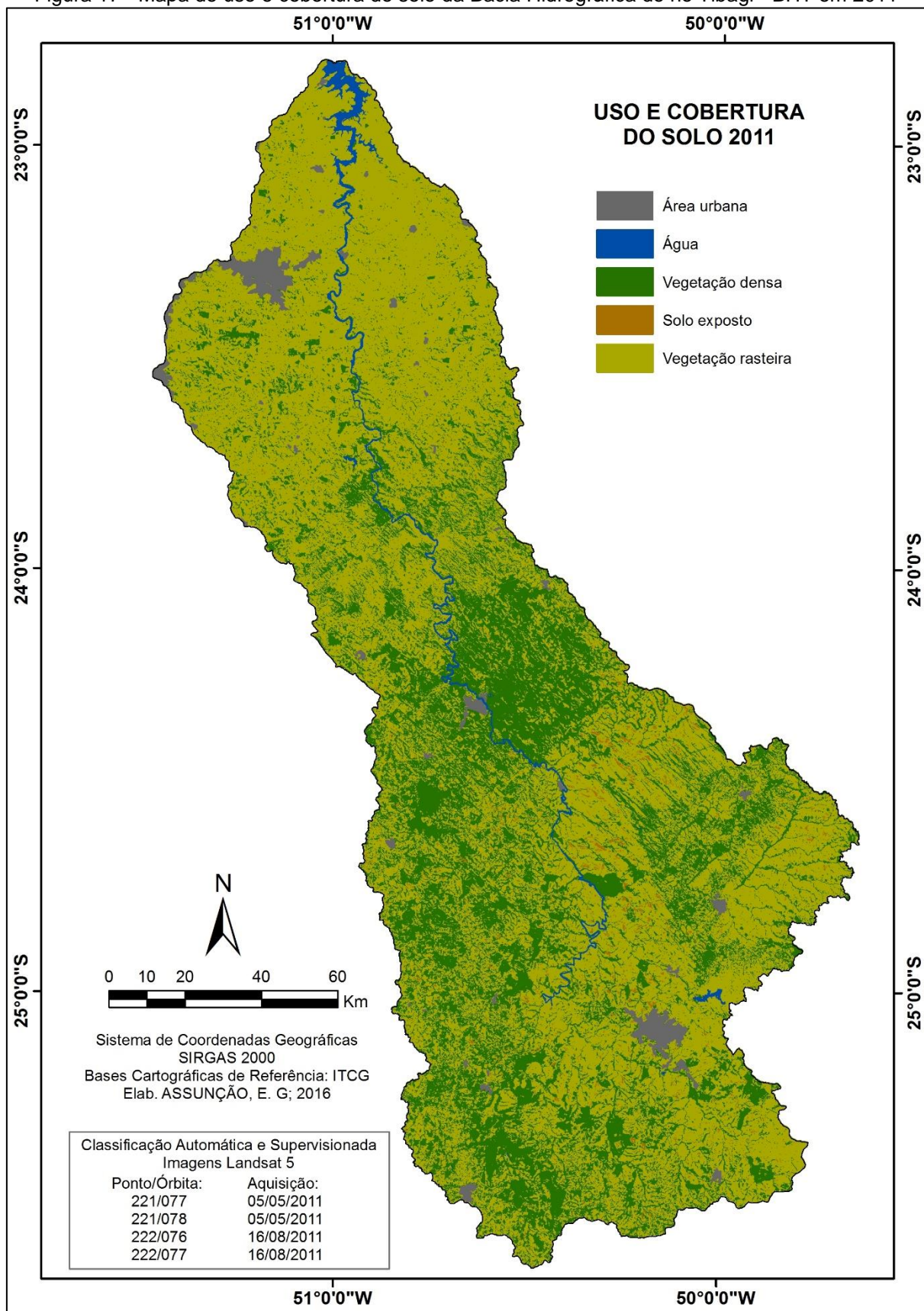
A partir dos mapas de uso e cobertura do solo gerados foi possível analisar a evolução do uso do solo e quantificar as áreas ocupadas por cada classe temática ao longo do tempo. As Figura 16, 17 e 18 a seguir apresentam os mapas de uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do rio Tibagi - BHT para os anos de 2006, 2011 e 2016, respectivamente.

Figura 16 - Mapa de uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do rio Tibagi - BHT em 2006



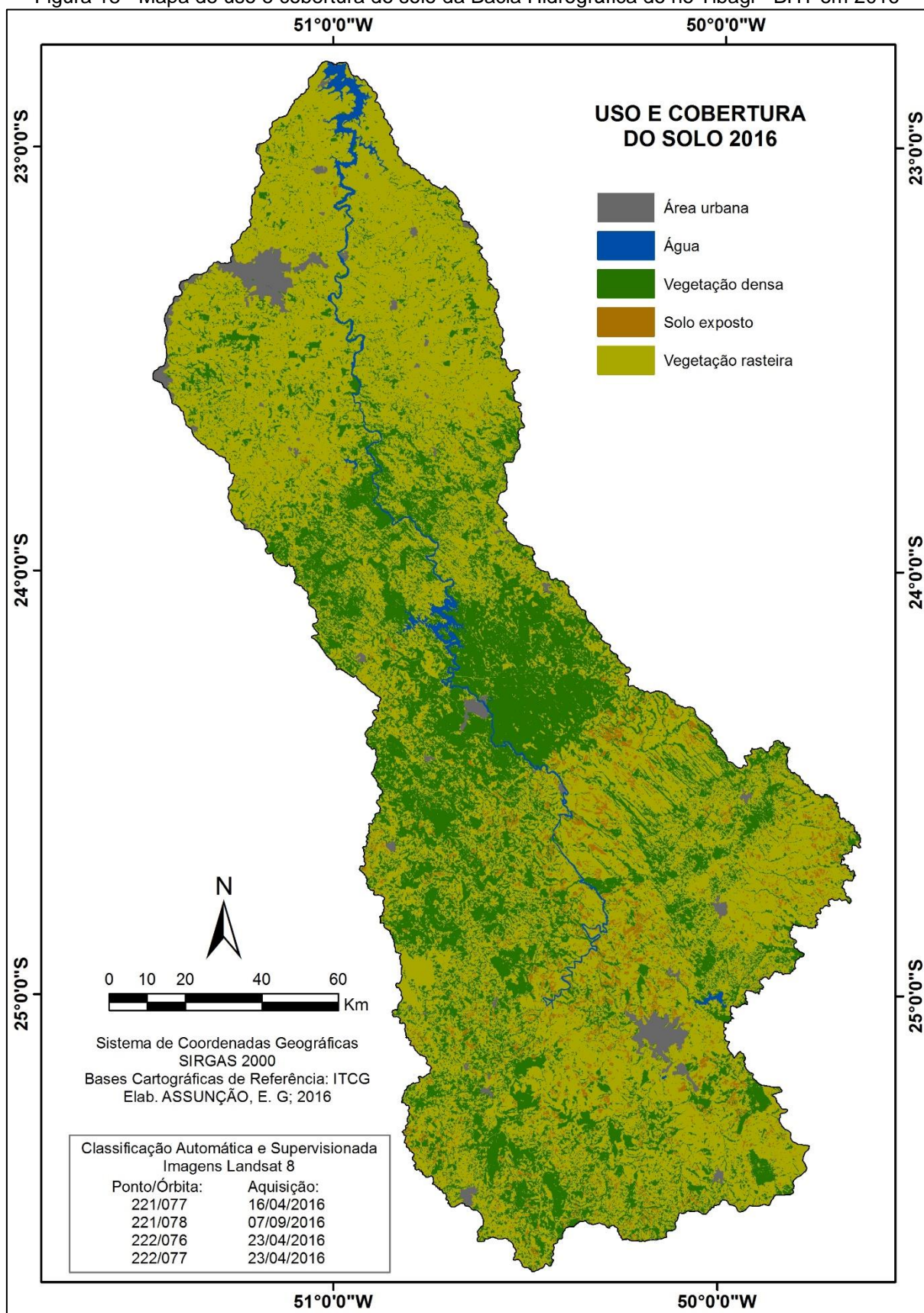
Fonte: A autora

Figura 17 - Mapa de uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do rio Tibagi - BHT em 2011



Fonte: A autora

Figura 18 - Mapa de uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do rio Tibagi - BHT em 2016



Fonte: A autora

A Tabela 44 apresenta as áreas correspondentes à cada classe temática de uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do rio Tibagi - BHT para os anos de 2006, 2011 e 2016.

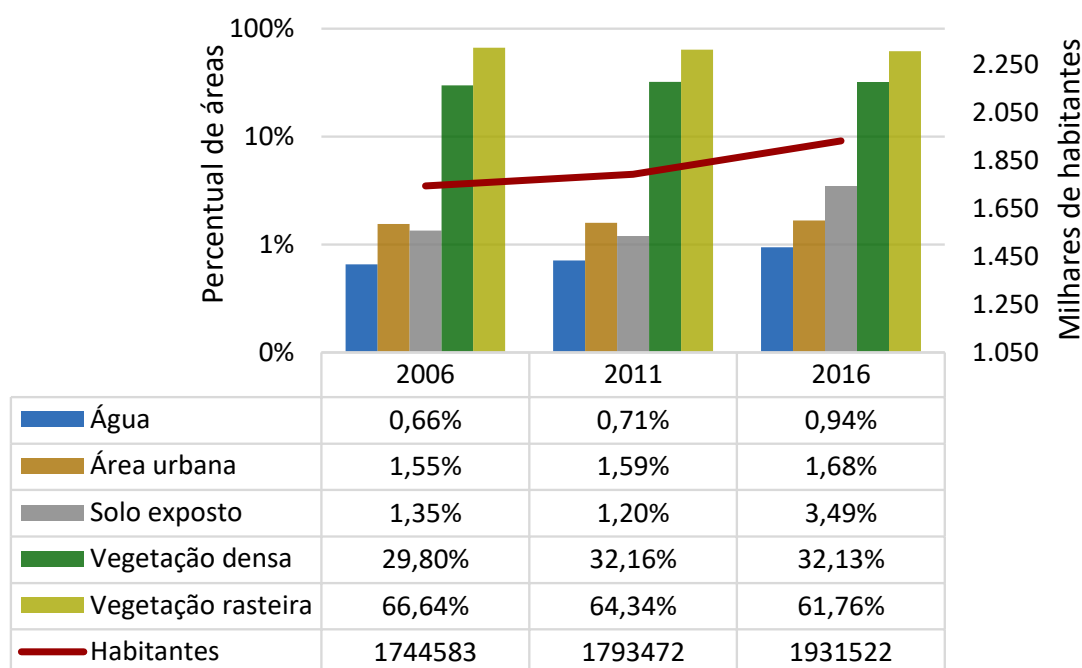
Tabela 44 - Áreas correspondentes a cada classe temática de uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do rio Tibagi - BHT para os anos de 2006, 2011 e 2016

Classes	Área de uso e cobertura da BHT (km ²)		
	2006	2011	2016
Área urbana	386,77	396,45	417,79
Água	163,76	176,80	234,95
Vegetação densa	7428,54	8016,15	8007,70
Solo exposto	336,81	298,92	870,99
Vegetação rasteira	16610,02	16037,58	15394,48

Fonte: A autora

A Figura 19 apresenta o percentual das áreas ocupadas da BHT correspondentes a cada classe temática de uso e cobertura para cada ano analisado.

Figura 19 - Áreas de uso e cobertura e crescimento populacional da BHT.



Fonte: A autora

Analisando os mapas de uso e cobertura da BHT na série temporal abordada neste estudo, verificou-se que entre os anos de 2011 e 2016 houve aumento da área de água, de aproximadamente 58 km², cerca de 0,23% da área total da bacia (Figura 19), provavelmente devido à implantação da Usina Hidrelétrica - UHE Mauá na região de Telêmaco Borba (24°19' S; 50°37' O), uma vez que a área correspondente ao reservatório da Usina Hidrelétrica - UHE Mauá é da ordem de 0,34%.

Comparando os mapas pode-se ainda observar um aumento gradativo das áreas urbanas, em especial das regiões metropolitanas de Londrina (23°18' S; 51°10' O) e Ponta Grossa (25°06' S; 50°09' O). Na Figura 19 observa-se que a área urbana apresentou crescimento entre os anos analisados, representando 1,55% da área total em 2006; 1,59% em 2011 e 1,68% em 2016. Tal fato corrobora com o crescimento populacional publicado pela IBGE conforme apresentado na Figura 19 demonstrando que o aumento da área da urbana ocorreu simultaneamente ao crescimento populacional das cidades.

As porcentagens referentes à classe de solo exposto variaram entre 1,20% a 3,49%, concentrada nos mapas, principalmente na região de mudança de planalto e entre vegetações rasteiras, podendo corresponder a um período temporário sem vegetação em processo de rotatividade de culturas ou colheita.

A BHT durante os anos avaliados é predominantemente coberta pela classe de vegetação rasteira que apresentou percentual decrescente no período analisado passando de 66,64% em 2006 para 61,76% em 2016. A classe de vegetação densa tem aumentado gradativamente durante o período de estudo sendo a segunda maior área ocupada da bacia passando de 29,80% em 2006 para 32,13% em 2016. No estudo realizado por Ferreira (2009) na BHT também foi constatado um decréscimo da área de vegetação rasteira, passando de 71,2% em 1987 para 64,6% em 2007 e um aumento de 3,1% entre 1997 e 2007 da classe de vegetação densa.

É importante ressaltar que os classificadores automáticos podem apresentar problemas nas classificações automáticas e algumas áreas classificadas não corresponder ao real uso do solo, pelo fato das imagens LANDSAT possuírem resolução espacial de 30x30 m, e conseqüentemente, não possibilitar ao satélite, a percepção/identificação de objetos com área inferior a 900 m².

A limitação da resolução espacial impossibilitou a abrangência de outras classes de uso e cobertura do solo neste estudo, tendo sido priorizadas as classes de maior importância e fácil distinção. Assim, não foi possível ser empregada a classificação da vegetação rasteira separadamente da classe de agricultura, pois a precisão não era suficiente para se classificar com confiabilidade pixels específicos, causando conflito entre as classes.

A vegetação rasteira, que inclui: pastagens, agricultura e campos gerais foi a mais abrangente nos anos analisados, o que era esperado uma vez que a agropecuária é a principal atividade econômica desenvolvida na BHT (SEMA, 2013).

No entanto, durante os anos analisados percebe-se que a área da vegetação rasteira vem diminuindo gradativamente, apresentando em 2016 uma redução de 4,88% da sua área dando espaço à vegetação densa, possivelmente proveniente do reflorestamento e ao crescimento urbano.

Não foi possível também diferenciar floresta e reflorestamento. A vegetação densa teve um pequeno aumento de 2,33% nos anos analisados, com uma área atual 8007,70 km², sendo a maior concentração de áreas de vegetação densa localizadas na região de Telêmaco Borba e Ortigueira (24°12' S; 50°550' O) próximos ao centro da BHT região onde encontra-se uma das maiores indústrias de celulose do país (SEMA, 2013).

5.3.2 Diagnóstico temporal da qualidade da água do rio Tibagi

Os dados de monitoramento das estações fluviométricas instaladas no rio Tibagi dos anos de 2006, 2011 e 2016 foram obtidos nos sites do Águas Paraná e da Agência Nacional das Águas - ANA e os valores dos parâmetros de qualidade para determinação do IQA das águas das três estações fluviométricas (ENG, TIB e POR) para os anos de 2006, 2011, 2016 estão apresentados na Tabela 45.

Tabela 45 - Valores dos parâmetros para determinação do IQA para águas das três estações fluviométricas (ENG, TIB e POR) para os anos de 2006, 2011 e 2016

Ano	2006			2011			2016			
	Estação	EF-ENG	EF-TIB	EF-POR	EF-ENG	EF-TIB	EF-POR	EF-ENG	EF-TIB	EF-POR
Altitude (m)		780	750	400	780	750	400	780	750	400
pH		7,4	8,3	7,9	6,8	6,35	7,01	6,85	6,46	6,56
Temperatura (°C)		14	19	20	14	13	18	21	14	18
Sólidos totais (mg L ⁻¹)		41	77	28	78	30	111	58	47	62
Turbidez (N.T.U)		20,0	8,0	7,0	37,0	26,0	9,4	12,0	20,0	15,0
OD (mg L ⁻¹)		7,9	8,4	7,5	8,1	9,35	13,31*	9,4	7,33	9,05
Nitrogênio total (mg L ⁻¹)		0,21	0,26	0,64	0,29	0,46	0,58	0,98	1,38	1,56
Fósforo total (mg L ⁻¹)		0,130	0,052	0,033	0,051	0,120	0,039	0,043	0,061	0,052
DBO (mg L ⁻¹)		2,3	2,0	2,9	2,0	2,0	2,0	3,0	3,0	3,0
Coliformes fecais (NMP.100m L ⁻¹)		3000	14000	8000	110	330	2800	210	100	100
Índice de Qualidade da Água - IQA		63	61	62	73	70	68	74	72	75

Legenda: boa (52 a 79)

* Considerando a concentração de saturação de OD a 18 °C, para determinação do IQA foi adotada concentração de OD igual a 9,1 mg L⁻¹ para a amostra da EF-POR de 2011.

EF-ENG: Estação Fluviométrica Engenheiro Rosaldo Leitão

EF-TIB: Estação Fluviométrica Tibagi

EF-POR: Estação Fluviométrica Porto Londrina

FONTE: HIDROWEB (2016); ÁGUAS PARANÁ (2016)

De acordo com a Tabela 45 os valores de fósforo total (EF-ENG em 2006 e na EF-TIB em 2011) e as concentrações de coliformes fecais (EF-ENG em 2006 e 2016, EF-TIB em 2006 e 2011 e EF-POR 2011) apresentaram-se superiores aos limites de enquadramento de 0,1 mg L⁻¹ e 2000 NMP 100 mL⁻¹, respectivamente, para águas doces de classe 2 (classe de enquadramento do rio Tibagi) estabelecidos pela Resolução CONAMA 357 / 2005 de acordo com a Tabela 1.

Embora o enriquecimento da água com o fósforo não traga problemas diretos à saúde, pode causar o desequilíbrio dos sistemas aquáticos devido ao processo de eutrofização e favorecer a ocorrência de florações de algas e cianobactérias com graves consequências à saúde pública em mananciais destinados ao abastecimento (ESTEVES, 1998; FUNASA, 2003), como o rio Tibagi.

Além disso, é possível observar que as concentrações de nitrogênio total têm sido incrementadas ao longo do trecho analisado e com o tempo, evidenciando que o rio vem sofrendo impactos, provavelmente, provenientes de processos antropogênicos associados às atividades dos setores agropecuário e industrial.

Considerando a intervenção ocorrida em 2012 na bacia hidrográfica do rio Tibagi - BHT, com o represamento do rio entre Telêmaco Borba e Ortigueira para a instalação da Usina Hidrelétrica Mauá - UHE Mauá, há necessidade de se monitorar, controlar e investigar as causas e consequências associadas à poluição da BHT por nutrientes,

a fim de garantir a preservação do ambiente aquático e minimizar os riscos à saúde pública.

De uma forma geral, pode-se observar que para o ano de 2006 a variação da qualidade da água nas três estações fluviométricas ao longo do rio não foi expressiva, tendo apresentado valores de IQA entre 61 a 63 com classificação boa, indicando que a qualidade da água do rio Tibagi apresentou-se praticamente homogênea no trecho estudado.

Pode-se observar que para os anos de 2011 e 2016, houve uma melhora gradativa na qualidade da água para as mesmas estações fluviométricas, mantendo sua classificação (boa).

Considerando o uso e cobertura da BHT, verifica-se que próximo à estação Engenheiro Rosaldo Leitão a área é coberta de agricultura e vegetação rasteira e uma parcela de urbanização (Ponta Grossa). Na região próxima à estação Tibagi a concentração urbana é bem menor e a agricultura divide o espaço com a vegetação densa. Já na região da estação Porto Londrina encontra-se a maior mancha urbana (região metropolitana de Londrina) e a atividade preponderante é a agricultura.

Pellizaro *et al.* (2008) constatou que sub-bacias com baixa interferência antrópica apresentam melhores índices de qualidade da água. Durante o período analisado, a estação Engenheiro Rosaldo Leitão apresentou os melhores índices de qualidade da água (IQA = 63 e 74), provavelmente devido a estação estar localizada na cabeceira da BHT, sofrendo menor influência de impactos antrópicos.

Por outro lado, a estação Porto Londrina, por estar localizada à jusante de diversos municípios e sofrer com o acúmulo das cargas de poluição difusa apresentou os menores valores de IQA comparado com as demais estações (IQA = 62 e 68) ocasionado pelas altas concentrações de coliformes fecais e de nitrogênio total. No entanto, percebe-se uma expressiva redução das concentrações de coliformes fecais (variando de 14000 em 2006 a 100 em 2016) nos últimos anos, fato que pode estar relacionado à melhoria no sistema de saneamento. Por outro lado, apesar das concentrações de nitrogênio total atenderem aos limites estabelecidos na legislação Conama 357/05 para as águas doces classe 2, observa-se de forma generalizada que houve um incremento expressivo destas para as três estações com decorrer do tempo, provavelmente decorrentes de atividades antrópicas o que requer a adoção de medidas de prevenção e controle em relação a este parâmetro.

A redução da qualidade da água devido ao lançamento de efluentes em rios foi também constatado por Cornelli *et al.* (2016). Outro fator que compromete a qualidade da água da estação Porto Londrina é estar localizada próxima a maior área urbana da BHT, visto que a ocupação urbana compromete a qualidade das águas superficiais conforme constatado por Dalmas *et al.* (2015).

Conforme mapeamento do uso do solo e cobertura da área em questão, as possíveis influências das atividades antrópicas estariam associadas predominantemente às atividades agropecuária (de 66,64% em 2006 e 61,76% em 2016) e de reflorestamento (de 29,8% em 2006 e 32,13% em 2016), devido às atividades rurais terem sido o suporte da economia da BHT no período (CNEC, 2014).

5.4 Considerações finais

Apesar do IQA ser o índice mais utilizado no Brasil para avaliar a qualidade da água, a aplicação de diferentes índices, alguns mais abrangentes e outros mais específicos para determinado fim, resultou em níveis de qualidade diferenciados, de acordo com a Tabela 46.

Tabela 46 - Valores e classificação dos índices de qualidade das águas para as amostras coletadas à profundidade Z1 (30 cm de profundidade)

Índices	Chuva		Estiagem	
	AR _{Z1}	AJ _{Z1}	AR _{Z1}	AJ _{Z1}
IQA	90	70	91	78
IAP	55	70	91	78
IET	59	54	55	48
IPMCA	1	1	1	1
IVA	3,2	3,2	3,2	2,2

Classificação

IQA: [] ótima (80-100) [] boa (80-100)

IAP: [] ótima (80-100) [] boa (52-79)

IET: [] oligotrófico (48 a 52) [] mesotrófico (53 a 59)

IPMCA: [] boa (1)

IVA: [] ótima (1,7 e 2,2) [] boa (2,9 e 3,2)

Fonte: A autora

Além disso, no desenvolvimento deste trabalho ocorreram eventos (chuva e estiagem) contrários aos previstos na semana de amostragem, o que interferiu na avaliação da qualidade da água. Estes fatos evidenciam a necessidade de se estabelecer um regulamento mandatório com a implantação de programas de monitoramento dos sistemas aquáticos com aplicação de índices específicos em

função dos usos previstos, especialmente os relacionados a riscos diretos para a saúde pública como o caso de mananciais destinados ao abastecimento. Ademais, a ausência de dados sistemáticos da literatura referente aos índices utilizados dificultou sobremaneira a viabilização de análise comparativa e discussão dos resultados.

Assim como constatado neste trabalho, dados da literatura indicam que o barramento de rios interfere na qualidade da água, tornando-a susceptível ao aumento do nível trófico da água ao longo dos anos (Sanches, 2015; Prado e Novo, 2007), especialmente pelo aporte de nutrientes provocado por atividades antrópicas. Neste caso, o processo de eutrofização pode favorecer a ocorrência de florações de algas e cianobactérias introduzindo potenciais riscos à saúde associados à produção de cianotoxinas (ESTEVES, 1998; FUNASA, 2003), tornando-se imperativa que a avaliação da qualidade de águas de mananciais destinados ao abastecimento seja realizada por índices mais específicos como Índice de Qualidade da Água Bruta para fins de Abastecimento Público- IAP.

Apesar dos dados de monitoramento das três estações fluviométricas posicionadas à montante (ENG), à jusante (POR) e próxima à área da UHE Mauá (TIB) instaladas no rio Tibagi para os anos de 2006, 2011 e 2016 indicarem uma gradativa melhora na qualidade de água em relação ao valor de IQA com o tempo, mantendo sua classificação (boa), foi notório o aumento das concentrações de nitrogênio com provável relação aos processos antropogênicos, o que reafirma a necessidade de adoção de medidas de prevenção e controle da poluição neste sistema aquático.

CONCLUSÕES

Para as condições do estudo e resultados obtidos nesse trabalho pode-se concluir que:

- A qualidade da água avaliada pelos diferentes índices utilizados neste trabalho resultou em classificações distintas, confirmando a importância da utilização de índices específicos para os usos desejados;
- A avaliação da ecotoxicidade aguda para as amostras de água coletadas na área de amostragem do Reservatório da Usina Hidrelétrica - UHE Mauá e do rio Tibagi próximo à cidade de Londrina-PR, utilizando os organismos-teste *Ceriodaphnia dubia*, *Daphnia magna* e *Artemia salina* não apresentaram indícios de toxicidade;
- O mapeamento do uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do rio Tibagi para os anos de 2006, 2011 e 2016 permitiu identificar a redução da área percentual de vegetação rasteira em detrimento do aumento das áreas correspondentes às demais classes temáticas: área urbana, água, vegetação densa e solo exposto, ao longo dos anos;
- A avaliação do Índice de Qualidade da Água - IQA do rio Tibagi utilizando dados de série histórica indica que o rio vem sofrendo impactos, provavelmente, provenientes de processos antropogênicos associados às atividades dos setores agropecuário e industrial ao longo de seu percurso, devido principalmente, às concentrações de nitrogênio total e de coliformes fecais;
- Apesar dos dados do diagnóstico temporal da qualidade da água indicarem uma gradativa melhora em relação ao valor de IQA, mesmo com a intervenção ocorrida em 2012 com o represamento do rio para a instalação da Usina Hidrelétrica Mauá - UHE Mauá, mantendo sua classificação (boa), esta melhora está relacionada principalmente à redução de coliformes fecais, associada a possíveis melhorias no saneamento. No entanto, as concentrações de nutrientes representam potencial para eutrofização o que requer a adoção de medidas de prevenção e controle em relação a este parâmetro;
- De forma geral, a variação da profundidade de coleta bem como da composição da amostra influenciou na qualidade da água tendo a amostragem com coleta pontual a 30 cm de profundidade resultado em índices de qualidade mais elevados;

- Com exceção do fósforo total, alumínio dissolvido e níquel total, todas as amostras, independentemente da área de amostragem e período de coleta, atenderam aos valores limites de enquadramento para águas doces de classe 2 (classe de enquadramento do rio Tibagi) estabelecidos pela Resolução CONAMA 357 / 2005.

RECOMENDAÇÕES

Baseado nos resultados, recomenda-se:

- Dar continuidade ao monitoramento da qualidade da água do rio Tibagi empregando-se diversos índices e por um período de tempo maior;
- Realizar ensaios de ecotoxicidade abrangendo organismos-teste de diferentes níveis tróficos;
- Realizar o mapeamento do uso e cobertura do solo utilizando imagens de satélites com melhores resoluções e abrangendo outras classes temáticas.

6. BIBLIOGRAFIA

ÁGUAS PARANÁ. **Parâmetros de qualidade de água**. 2016. Disponível em: <<http://www.aguasparana.pr.gov.br/>>. Acesso em: 20 dez. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **HidroWeb - Sistema de Informações Hidrológicas**. 2016. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 20 dez; 2016.

ALVES, I. C. C.; EL-ROBRINI, M., SANTOS, M. L. S., MONTEIRO, S. M., BARBOSA. L. P. F., GUIMARÃES, J. T. F. Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do Rio Arari (Ilha de Marajó, norte do Brasil). **Acta Amazonica**. v 42. p 115 - 124. 2012.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Portal da qualidade das águas**. 2016. Disponível em: <<http://portalpnqa.ana.gov.br/>>. Acesso em: 13 junho 2016.

APHA, AWWA, WEF. **Standards Methods for the Examination of Water e Wastewater**, 22º ed. Washington. D.C., 2012.

AREZON, A.; NETO, T. J. P.; GERBER, W. **Manual sobre toxicidade em efluentes industriais**. Porto Alegre, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Ecotoxicologia aquática - Toxicidade aguda - Método de ensaio com *Daphnia spp* (Cladocera, Crustacea)**. NBR 12713. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Ecotoxicologia aquática - Toxicidade crônica - Método de ensaio com *Ceriodaphnia spp* (Crustacea, Cladocera)**. NBR 13373. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Ecotoxicologia aquática - Toxicidade crônica - Método de ensaio com algas (Chlorophyceae)**. NBR 12648. Rio de Janeiro, 2011.

BATISTA, A. D. **Tratamento e pós-tratamento de lixiviado de aterro sanitário por coagulação - floculação - sedimentação com diferentes coagulantes e auxiliares de floculação e avaliação ecotoxicológica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento). Universidade Estadual de Londrina, 2016.

BRASIL. Lei nº 6.938, 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 1981.

BRASIL. Lei nº 9.433, 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da União, Brasília, 1997.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 357, 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, 2005.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2011.

BRENTANO, D. M.; BUZZI, V.; HENRIQUE, F. L. Avaliação da toxicidade aguda da água do rio Papaquara, município de Florianópolis/SC, utilizando o organismo-teste *Daphnia magna*. Florianópolis: **Publicações do IF-SC**, 2010.

Kansas Collaborative Research. **Water Quality Index (WQI)**. Disponível em: <<http://www.pathfinderscience.net/stream/>> Acesso em: 22 de março de 2016.

CASTRO, P. H. M. de; CORREA, G. T.; VENDRAME, P. R. S.; PEREIRA NETO, O. C.; PINESE, J. P. P. Evolução do uso do solo no arquipélago Mutum-Porto Rico, Alto Rio Paraná, no período de 2000-2010. **Revista Brasileira de Geografia Física**. Recife, v. 7, n. 6, p. 1153-1164, 2014.

CESAR, A.; SILVA, S.L.R.; SANTOS, A.R. **Testes de toxicidade aquática no controle da poluição**. Universidade Santa Cecília - UNISANTA - Santos, São Paulo, 1997.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2004.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2007. **Anexo 3 - Índices de qualidade das águas**. São Paulo: CETESB 2008.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2010. **Apêndice B - Índices de qualidade das águas**. São Paulo: CETESB 2010.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2013. **Apêndice C - Índices de Qualidade das Águas**. São Paulo: CETESB 2014.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2015. **Apêndice C - Índices de Qualidade das Águas**. São Paulo: CETESB 2016.

CECS - Consultório energético cruzeiro do sul. **Á Usina**. 2016. Disponível em: <<http://www.consorcio Cruzeiro do Sul.com.br/a-usina>> Acesso em: 17 jul. 2016

CNEC. Estudos de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental da UHE Mauá - EIA / RIMA. 2004.

Code Permanent: Environnement et Nuisances. 1986. Éditions législatives et administratives. Paris, França. Vol. 1 e 2. 1784 p.

COPATI. **História do Rio Tibagi.** 2016. Disponível em: <<http://www.copati.org.br/index.php/copati/o-rio-tibagi/8-rio-tibagi.html>> Acesso em: 17 de jan. de 2016

CORNELLI, R., SCHNEIDER, V. E., BORTOLIN, T. A., CEMIN, G., SANTOS, G. M. Análise da Influência do Uso e Cobertura do Solo na Qualidade da Água de Duas Sub-Bacias Hidrográficas do Município de Caxias do Sul. **Scientia cum industria.** v. 4, n. 01, 2016.

COSTA, C.R.; OLIVI, P.; BOTTA, C.M.R.; ESPINDOLA, E.L.G. A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. **Química. Nova**, v.31, n.07, 2008.

COSTA, R. P., Avaliação multitemporal da dinâmica de ocupação e uso do solo na sub-bacia do córrego São Domingos, Pará. **Revista Eletrônica Georaguaiá.** Barra do Garça-MT. v. 3, n.02, 2013.

CRÓSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto.** Ed. Rev. - Campinas, SP: IG/UNICAMP, 1992.

DALMAS, F. B., VARGAS, R. R., SAAD, A. R., ANDRADE, R. M., ANDRADE, J. A., ARRUDA, R. O. M. Reflexo do uso e ocupação do solo na qualidade da água do rio Embu-Guaçu, região metropolitana de São Paulo. **Geociência**, v.34, n.01, 2015.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Satélites em Atividade.** 2016. Disponível em: <http://www.sat.cnpm.embrapa.br/conteudo/sensores_operantes.html>. Acessa em 01 nov. 2016.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélites para estudos ambientais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

HAMILTON, M.A.; RUSSO, R.C.; THURSTON, R.V. (1977). Trimmed Spearman-Kärber Method for Estimating Median Lethal Concentration in Toxicity Bioassays. **Environmental Science & Technology**, Easton, v.11, n.7, p.714-719.

IAP - INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. **Monitoramento da qualidade das águas dos reservatórios do Estado do Paraná, no período de 1999 a 2004.** Curitiba, 2004.

IAP - INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. **Monitoramento da qualidade das águas dos reservatórios do Estado do Paraná no período de 2005 a 2008.** Curitiba, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. SIDRA - **Sistema IBGE de Recuperação Automática.** 2016. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 27 Ago. 2016.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Os satélites LANDSAT 5 e 7.** 2016. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/Suporte/files/Cameras-LANDSAT57_PT.php>. Acesso em: 01 nov. 2016.

KAWAHIGASHI, F. **Aplicabilidade do pós-tratamento de lixiviados de aterro sanitário por adsorção em carvão ativado granular e avaliação ecotoxicológica.** 2012. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.

LAMPARELLI, M. C. **Graus de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: Avaliação dos métodos de monitoramento.** Tese (Doutorado em Ciências). Universidade São Paulo, 2004.

LACTEC - Instituto de Tecnologia Para o Desenvolvimento. **Previsão de Possíveis Impactos na Qualidade da Água do Rio Tibagi após a Construção da UHE Mauá. Modelagem da Qualidade da Água.** Curitiba - PR, 2009.

LACTEC - Instituto de Tecnologia Para o Desenvolvimento. **Plano de Supressão da Vegetação.** Curitiba - PR, 2012.

MAGALHÃES, D.P.; FERRÃO FILHO, A.S. A ecotoxicologia como ferramenta no biomonitoramento de ecossistemas aquáticos. **Oecol. Bras.** 12(3), p. 355-381, 2008.

MALGARIN, J. **Avaliação da qualidade da água do rio itapocuzinho utilizando ensaios ecotoxicológicos com *Daphnia magna* e *Scenedesmus subspicatus*.** Dissertação (Mestrado em Saúde e Meio Ambiente). Universidade da Região de Joinville. Joinville, 2016.

MENDES, C. F. **Avaliação da qualidade da água e análise de microcistina em pescado de tanque-redes em reservatório de abastecimento público.** Dissertação (Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental). Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande, 2013.

MENDONÇA, V. S.; **Aplicabilidade de teste de toxicidade aguda com *Daphnia magna* e *Vibrio fischeri*, no monitoramento da qualidade das águas da bacia hidrográfica: o caso do rio Ipojuca em Pernambuco.** Dissertação (Mestrado em Gestão e Políticas Ambientais). Universidade Federal de Pernambuco. Pernambuco, 2005.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação.** 2ªed. Viçosa: UFV, 2003.

MORENO, F. N., RUIZ, B. D., MIDAGLIA, C. L. V., MENEGÓN JR. N. Monitoramento da qualidade da água bruta do Sistema Cantareira. In: CONGRESSO RESAG ENQUALAB, 2014.

NASA - National Aeronautics And Space Administration. **Visual comparison of Landsat spectral bands.** 2016. Disponível em: <<http://landsat.gsfc.nasa.gov/about/technical-information/>>. Acesso em: 01 nov. 2016.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações.** 4ª ed. São Paulo: Edgar Blucher, 2010.

OLIVEIRA, W. N., FERREIRA, N. C. Avaliação multitemporal do uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite utilizando imagens LANDSAT 5. **RBCIAMB**. n.38, p 46 - 62, 2016.

OTT, W. R. 1978. **Environmental Indices: theory and practice**, Ann Arbor Science, Ann Arbor, Michigan, 371 p.

PACHECHO, A. K. F. **Avaliação preliminar da água e do sedimento na lagoa da Encantada, Balneário Dunas do Sul, Jaguaruna, SC**. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciencias Biológicas). Universidade do Extremo Sul Catarinense. Criciúma, 2013.

PAUNGARTTEN, S. P. L., BORDALO, C. A. L., LIMA, A. M. M. Análise evolutive da paisagem da bacia hidrográfica do rio Benfica (PA): Processos, dinâmica e tendências. **Ambiente & educação**. v.21, n02, 2016.

PELLIZZARO, P. C., HARDT, L. P. A., BOLLMANN, H. A., HARDT, C. Urbanização em áreas de mananciais hídricos: estudo de caso em Piraquara, Paraná. **Caderno Metrópole**. n. 19, p 221 - 243, 2008.

PETROBRÁS N-2588: Determinação da toxicidade aguda de agentes tóxicos em relação à *Artemia* sp. CONTEC - Comissão de normas técnicas, 1996.

PRADO, R. B., NOVO, E. M. L. M. Avaliação espaço-temporal da relação entre o estado trófico do reservatório de Barra Bonita (SP) e o potencial poluidor de sua bacia hidrográfica. *Sociedade & Natureza*. v 19. p 5 - 18. 2007.

ROCHA, M. S. **Qualidade das águas da bacia hidrográfica do alto Tietê (cabecceiras), nos municípios de Biritiba, Mirim, Mogi das Cruzes e Suzano (SP), relative ao período 1985 a 2012**. Dissertação (Mestrado em Análise Geoambiental). Universidade Guarulhos. Guarulhos, 2014.

ROSA, R. **A utilização de imagens TM/Landsat em levantamento de uso do solo**. Universidade Federal de Uberlândia. Departamento de Geografia. 2003.

SANCHES, I. S. **Evolução da qualidade da água no reservatório Cabuçu, Guarulhos, São Paulo, no período entre 2010 e 2012**. Dissertação (Mestrado em Análise Geoambiental). Universidade Guarulhos. Guarulhos, 2014.

SANTOS, J. R. **Análise da cobertura da terra da bacia hidrográfica do ribeirão Água Fria, no município de Palmas - TO, com ênfase nas áreas de preservação permanentes marginais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Tocantis, 2016.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS - SEMA. **Bacias Hidrográficas do Paraná**. 2ª ed., v. I, Curitiba, 2013.

SILVA, C. A. **Tratamento do percolado de aterro sanitário e avaliação da toxicidade do efluente bruto e tratado**. Tese (Pós-graduação em Engenharia). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2002.

USEPA - United States Environmental Protection Agency. 1991. Water Quality Criteria Summary (Poster). Office of Science and Technology, Health and Ecological Criteria Division. Ecological Risk Assessment Branch (WH-550-D). Washington, DC, May, 1991.

Utermöhl H., Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik, **Mitt. int. Verein. theor. angew. Limnol**, n. 9. 1958.

VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2ª ed., Belo Horizonte, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

ZAGATTO, P. A. e BERTOLETTI, E. **Ecotoxicologia Aquática - Princípios e aplicações**. São Carlos. Editora Rima: 2006.

ZAGATTO, P. A.; LORENZETTI, M. L.; LAMPARELLI, M. C.; SALVADOR, M. E. P; MENEGON JR., N.; BERTOLETTI, E. Aperfeiçoamento de um índice de qualidade da água. **Acta Limnologica Brasiliensia**. v. 11(2), p. 111-126, 1999.

APÊNDICES

APÊNDICE I - Chaves de interpretação das imagens dos satélites LANDSAT 5 (TM) e LANDSAT 8 (OLI).

Tabela 47 - Unidade de mapeamento - imagem LANDSAT 5 (TM), Ponto 077, Órbita 221, Data 12/09/2006

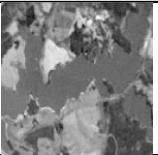
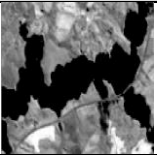
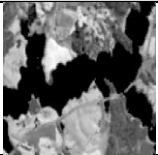
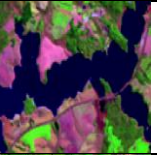
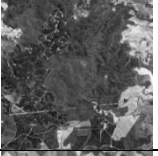
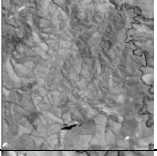
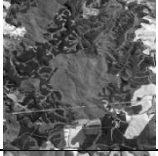

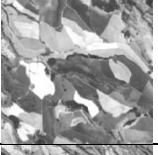
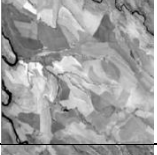
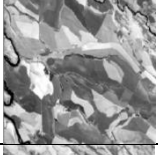
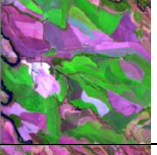
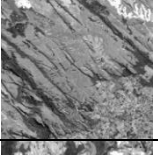
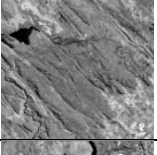
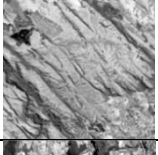

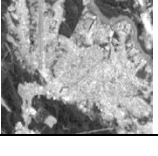
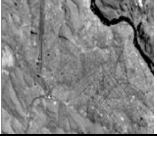
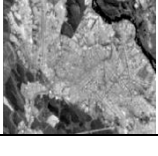
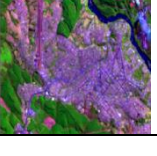
Classes temáticas	Padrões característicos de interpretação no terreno	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na Banda 3 (0.630-0690µm)	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na Banda 4 (0.760-0.900 µm)	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na Banda 5 (1.550-1.750µm)	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na composição colorida (R-5, G-4, B-3)
Água	Área alagada, podendo apresentar vegetação aquática.	Tonalidade: cinza médio Textura: lisa Forma: irregular		Tonalidade: cinza escuro Textura: lisa Forma: irregular		Tonalidade: cinza escuro Textura: lisa Forma: irregular		Cor: azul Textura: lisa Forma: irregular	
Vegetação Densa	Área constituída por espécies nativas ou floresta implementada apresentando todo tipo de vegetação arbórea.	Tonalidade: cinza médio Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza médio Textura: rugosa Forma: irregular		Cor: verde escuro Textura: rugosa Forma: irregular	
Vegetação Rasteira	Área formada por vegetação rasteira contendo algumas árvores de pequeno porte e utilizadas para fins de cultivo, como milho, soja, batata e etc.	Tonalidade: cinza médio Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular		Tonalidade: cinza médio Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular		Cor: verde claro Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular	
Solo Exposto	Área desprovida de revestimento vegetal.	Tonalidade: cinza médio Textura: lisa Forma: regular ou irregular		Tonalidade: cinza médio Textura: lisa Forma: regular ou irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: lisa Forma: regular ou irregular		Cor: rosa claro Textura: lisa Forma: regular ou irregular	
Área urbana	Áreas construídas, seja por edificações de multipavimentos, lotes com construções residenciais, comerciais ou industriais.	Tonalidade: cinza claro Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: rugosa Forma: irregular		Cor: magenta Textura: rugosa Forma: irregular	

Tabela 48 - Unidade de mapeamento - imagem LANDSAT 5 (TM), Ponto 078, Órbita 221, Data 12/09/2006

Classes temáticas	Padrões característicos de interpretação no terreno	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na Banda 3 (0.630-0690µm)	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na Banda 4 (0.760-0.900 µm)	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na Banda 5 (1.550-1.750µm)	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na composição colorida (R-5, G-4, B-3)
Água	Área alagada, podendo apresentar vegetação aquática.	Tonalidade: cinza médio Textura: lisa Forma: irregular		Tonalidade: cinza escuro Textura: lisa Forma: irregular		Tonalidade: cinza escuro Textura: lisa Forma: irregular		Cor: azul Textura: lisa Forma: irregular	
Vegetação Densa	Área constituída por espécies nativas ou floresta implementada apresentando todo tipo de vegetação arbórea.	Tonalidade: cinza médio Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza médio Textura: rugosa Forma: irregular		Cor: verde escuro Textura: rugosa Forma: irregular	
Vegetação Rasteira	Área formada por vegetação rasteira contendo algumas árvores de pequeno porte e utilizadas para fins de cultivo, como milho, soja, batata e etc.	Tonalidade: cinza médio Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular		Tonalidade: cinza médio Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular		Cor: verde claro Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular	
Solo Exposto	Área desprovida de revestimento vegetal.	Tonalidade: cinza médio Textura: lisa Forma: regular ou irregular		Tonalidade: cinza médio Textura: lisa Forma: regular ou irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: lisa Forma: regular ou irregular		Cor: rosa claro Textura: lisa Forma: regular ou irregular	
Área urbana	Áreas construídas, seja por edificações de multipavimentos, lotes com construções residenciais, comerciais ou industriais.	Tonalidade: cinza claro Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: rugosa Forma: irregular		Cor: magenta Textura: rugosa Forma: irregular	

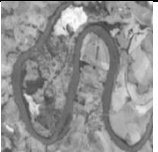



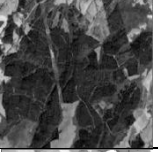
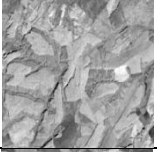
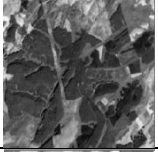



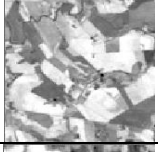


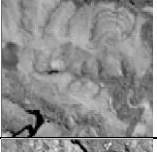
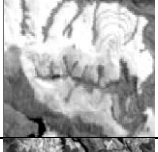

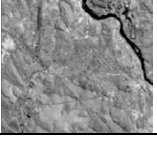
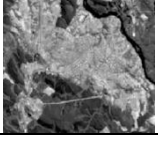
Fonte: A autora

Tabela 49 - Unidade de mapeamento - imagem LANDSAT 5 (TM), Ponto 077, Órbita 222, Data 03/09/2006

Classes temáticas	Padrões característicos de interpretação no terreno	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na Banda 3 (0.630-0690µm)	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na Banda 4 (0.760-0.900 µm)	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na Banda 5 (1.550-1.750µm)	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na composição colorida (R-5, G-4, B-3)
Água	Área alagada, podendo apresentar vegetação aquática.	Tonalidade: cinza médio Textura: lisa Forma: irregular		Tonalidade: cinza escuro Textura: lisa Forma: irregular		Tonalidade: cinza escuro Textura: lisa Forma: irregular		Cor: azul Textura: lisa Forma: irregular	
Vegetação Densa	Área constituída por espécies nativas ou floresta implementada apresentando todo tipo de vegetação arbórea.	Tonalidade: cinza médio Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza médio Textura: rugosa Forma: irregular		Cor: verde escuro Textura: rugosa Forma: irregular	
Vegetação Rasteira	Área formada por vegetação rasteira contendo algumas árvores de pequeno porte e utilizadas para fins de cultivo, como milho, soja, batata e etc.	Tonalidade: cinza médio Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular		Tonalidade: cinza médio Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular		Cor: verde claro Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular	
Solo Exposto	Área desprovida de revestimento vegetal.	Tonalidade: cinza médio Textura: lisa Forma: regular ou irregular		Tonalidade: cinza médio Textura: lisa Forma: regular ou irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: lisa Forma: regular ou irregular		Cor: rosa claro Textura: lisa Forma: regular ou irregular	
Área urbana	Áreas construídas, seja por edificações de multipavimentos, lotes com construções residenciais, comerciais ou industriais.	Tonalidade: cinza claro Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: rugosa Forma: irregular		Cor: magenta Textura: rugosa Forma: irregular	


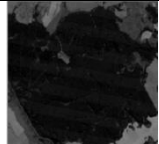
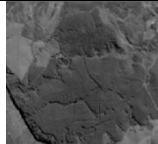
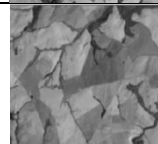
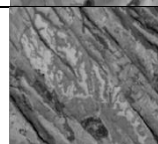
Fonte: A autora

Tabela 50 - Unidade de mapeamento - imagem LANDSAT 5 (TM), Ponto 076, Órbita 222, Data 03/09/2006

Classes temáticas	Padrões característicos de interpretação no terreno	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na Banda 3 (0.630-0690µm)	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na Banda 4 (0.760-0.900 µm)	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na Banda 5 (1.550-1.750µm)	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na composição colorida (R-5, G-4, B-3)
Água	Área alagada, podendo apresentar vegetação aquática.	Tonalidade: cinza médio Textura: lisa Forma: irregular		Tonalidade: cinza escuro Textura: lisa Forma: irregular		Tonalidade: cinza escuro Textura: lisa Forma: irregular		Cor: azul Textura: lisa Forma: irregular	
Vegetação Densa	Área constituída por espécies nativas ou floresta implementada apresentando todo tipo de vegetação arbórea.	Tonalidade: cinza médio Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza médio Textura: rugosa Forma: irregular		Cor: verde escuro Textura: rugosa Forma: irregular	
Vegetação Rasteira	Área formada por vegetação rasteira contendo algumas árvores de pequeno porte e utilizadas para fins de cultivo, como milho, soja, batata e etc.	Tonalidade: cinza médio Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular		Tonalidade: cinza médio Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular		Cor: verde claro Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular	
Solo Exposto	Área desprovida de revestimento vegetal.	Tonalidade: cinza médio Textura: lisa Forma: regular ou irregular		Tonalidade: cinza médio Textura: lisa Forma: regular ou irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: lisa Forma: regular ou irregular		Cor: rosa claro Textura: lisa Forma: regular ou irregular	
Área urbana	Áreas construídas, seja por edificações de multipavimentos, lotes com construções residenciais, comerciais ou industriais.	Tonalidade: cinza claro Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: rugosa Forma: irregular		Cor: magenta Textura: rugosa Forma: irregular	


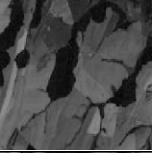
Fonte: A autora

Tabela 51 - Unidade de mapeamento - imagem LANDSAT 5 (TM), Ponto 077, Órbita 221, Data 05/08/2011

Classes temáticas	Padrões característicos de interpretação no terreno	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na Banda 3 (0.630-0690µm)	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na Banda 4 (0.760-0.900 µm)	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na Banda 5 (1.550-1.750µm)	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na composição colorida (R-5, G-4, B-3)
Água	Área alagada, podendo apresentar vegetação aquática.	Tonalidade: cinza médio Textura: lisa Forma: irregular		Tonalidade: cinza escuro Textura: lisa Forma: irregular		Tonalidade: cinza escuro Textura: lisa Forma: irregular		Cor: azul Textura: lisa Forma: irregular	
Vegetação Densa	Área constituída por espécies nativas ou floresta implementada apresentando todo tipo de vegetação arbórea.	Tonalidade: cinza médio Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza médio Textura: rugosa Forma: irregular		Cor: verde escuro Textura: rugosa Forma: irregular	
Vegetação Rasteira	Área formada por vegetação rasteira contendo algumas árvores de pequeno porte e utilizadas para fins de cultivo, como milho, soja, batata e etc.	Tonalidade: cinza médio Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular		Tonalidade: cinza médio Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular		Cor: verde claro Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular	
Solo Exposto	Área desprovida de revestimento vegetal.	Tonalidade: cinza médio Textura: lisa Forma: regular ou irregular		Tonalidade: cinza médio Textura: lisa Forma: regular ou irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: lisa Forma: regular ou irregular		Cor: rosa claro Textura: lisa Forma: regular ou irregular	
Área urbana	Áreas construídas, seja por edificações de multipavimentos, lotes com construções residenciais, comerciais ou industriais.	Tonalidade: cinza claro Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: rugosa Forma: irregular		Cor: magenta Textura: rugosa Forma: irregular	

Fonte: A autora

Tabela 52 - Unidade de mapeamento - imagem LANDSAT 5 (TM), Ponto 078, Órbita 221, Data 05/05/2011

Classes temáticas	Padrões característicos de interpretação no terreno	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na Banda 3 (0.630-0690µm)	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na Banda 4 (0.760-0.900 µm)	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na Banda 5 (1.550-1.750µm)	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na composição colorida (R-5, G-4, B-3)
Água	Área alagada, podendo apresentar vegetação aquática.	Tonalidade: cinza médio Textura: lisa Forma: irregular		Tonalidade: cinza escuro Textura: lisa Forma: irregular		Tonalidade: cinza escuro Textura: lisa Forma: irregular		Cor: azul Textura: lisa Forma: irregular	
Vegetação Densa	Área constituída por espécies nativas ou floresta implementada apresentando todo tipo de vegetação arbórea.	Tonalidade: cinza médio Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza médio Textura: rugosa Forma: irregular		Cor: verde escuro Textura: rugosa Forma: irregular	
Vegetação Rasteira	Área formada por vegetação rasteira contendo algumas árvores de pequeno porte e utilizadas para fins de cultivo, como milho, soja, batata e etc.	Tonalidade: cinza médio Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular		Tonalidade: cinza médio Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular		Cor: verde claro Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular	
Solo Exposto	Área desprovida de revestimento vegetal.	Tonalidade: cinza médio Textura: lisa Forma: regular ou irregular		Tonalidade: cinza médio Textura: lisa Forma: regular ou irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: lisa Forma: regular ou irregular		Cor: rosa claro Textura: lisa Forma: regular ou irregular	
Área urbana	Áreas construídas, seja por edificações de multipavimentos, lotes com construções residenciais, comerciais ou industriais.	Tonalidade: cinza claro Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: rugosa Forma: irregular		Cor: magenta Textura: rugosa Forma: irregular	

Fonte: A autora

Tabela 53 - Unidade de mapeamento - imagem LANDSAT 5 (TM), Ponto 076, Órbita 222, Data 16/08/2011

Classes temáticas	Padrões característicos de interpretação no terreno	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na Banda 3 (0.630-0690µm)	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na Banda 4 (0.760-0.900 µm)	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na Banda 5 (1.550-1.750µm)	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na composição colorida (R-5, G-4, B-3)
Água	Área alagada, podendo apresentar vegetação aquática.	Tonalidade: cinza médio Textura: lisa Forma: irregular		Tonalidade: cinza escuro Textura: lisa Forma: irregular		Tonalidade: cinza escuro Textura: lisa Forma: irregular		Cor: azul Textura: lisa Forma: irregular	
Vegetação Densa	Área constituída por espécies nativas ou floresta implementada apresentando todo tipo de vegetação arbórea.	Tonalidade: cinza médio Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza médio Textura: rugosa Forma: irregular		Cor: verde escuro Textura: rugosa Forma: irregular	
Vegetação Rasteira	Área formada por vegetação rasteira contendo algumas árvores de pequeno porte e utilizadas para fins de cultivo, como milho, soja, batata e etc.	Tonalidade: cinza médio Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular		Tonalidade: cinza médio Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular		Cor: verde claro Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular	
Solo Exposto	Área desprovida de revestimento vegetal.	Tonalidade: cinza médio Textura: lisa Forma: regular ou irregular		Tonalidade: cinza médio Textura: lisa Forma: regular ou irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: lisa Forma: regular ou irregular		Cor: rosa claro Textura: lisa Forma: regular ou irregular	
Área urbana	Áreas construídas, seja por edificações de multipavimentos, lotes com construções residenciais, comerciais ou industriais.	Tonalidade: cinza claro Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: rugosa Forma: irregular		Cor: magenta Textura: rugosa Forma: irregular	

Fonte: A autora

Tabela 54 - Unidade de mapeamento - imagem LANDSAT 5 (TM), Ponto 077, Órbita 222, Data 16/08/2011

Classes temáticas	Padrões característicos de interpretação no terreno	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na Banda 3 (0.630-0.690µm)	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na Banda 4 (0.760-0.900 µm)	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na Banda 5 (1.550-1.750µm)	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na composição colorida (R-5, G-4, B-3)
Água	Área alagada, podendo apresentar vegetação aquática.	Tonalidade: cinza médio Textura: lisa Forma: irregular		Tonalidade: cinza escuro Textura: lisa Forma: irregular		Tonalidade: cinza escuro Textura: lisa Forma: irregular		Cor: azul Textura: lisa Forma: irregular	
Vegetação Densa	Área constituída por espécies nativas ou floresta implementada apresentando todo tipo de vegetação arbórea.	Tonalidade: cinza médio Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza médio Textura: rugosa Forma: irregular		Cor: verde escuro Textura: rugosa Forma: irregular	
Vegetação Rasteira	Área formada por vegetação rasteira contendo algumas árvores de pequeno porte e utilizadas para fins de cultivo, como milho, soja, batata e etc.	Tonalidade: cinza médio Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular		Tonalidade: cinza médio Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular		Cor: verde claro Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular	
Solo Exposto	Área desprovida de revestimento vegetal.	Tonalidade: cinza médio Textura: lisa Forma: regular ou irregular		Tonalidade: cinza médio Textura: lisa Forma: regular ou irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: lisa Forma: regular ou irregular		Cor: rosa claro Textura: lisa Forma: regular ou irregular	
Área urbana	Áreas construídas, seja por edificações de multipavimentos, lotes com construções residenciais, comerciais ou industriais.	Tonalidade: cinza claro Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: rugosa Forma: irregular		Cor: magenta Textura: rugosa Forma: irregular	






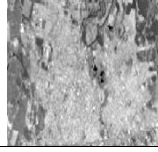
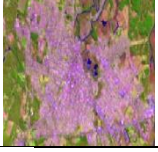
Fonte: A autora

Tabela 55 - Unidade de mapeamento - imagem LANDSAT 8 (OLI), Ponto 077, Órbita 221, Data 16/04/2016

Classes temáticas	Padrões característicos de interpretação no terreno	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na Banda 4 (0.630 - 0.680µm)	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na Banda 5 (0.845 - 0.885 µm)	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na Banda 6 (1.560 - 1.660 µm)	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na composição colorida (R-6, G-5, B-4)
Água	Área alagada, podendo apresentar vegetação aquática.	Tonalidade: cinza médio Textura: lisa Forma: irregular		Tonalidade: cinza escuro Textura: lisa Forma: irregular		Tonalidade: cinza escuro Textura: lisa Forma: irregular		Cor: azul Textura: lisa Forma: irregular	
Vegetação Densa	Área constituída por espécies nativas ou floresta implementada apresentando todo tipo de vegetação arbórea.	Tonalidade: cinza escuro Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza médio Textura: rugosa Forma: irregular		Cor: verde escuro Textura: rugosa Forma: irregular	
Vegetação Rasteira	Área formada por vegetação rasteira contendo algumas árvores de pequeno porte e utilizadas para fins de cultivo, como milho, soja, batata e etc.	Tonalidade: cinza médio Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular		Cor: verde claro Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular	
Solo Exposto	Área desprovida de revestimento vegetal.	Tonalidade: cinza médio Textura: lisa Forma: regular ou irregular		Tonalidade: cinza médio Textura: lisa Forma: regular ou irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: lisa Forma: regular ou irregular		Cor: rosa claro Textura: lisa Forma: regular ou irregular	
Área urbana	Áreas construídas, seja por edificações de multipavimentos, lotes com construções residenciais, comerciais ou industriais.	Tonalidade: cinza médio Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza médio Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: rugosa Forma: irregular		Cor: magenta Textura: rugosa Forma: irregular	

Fonte: A autora

Tabela 56 - Unidade de mapeamento - imagem LANDSAT 8 (OLI), Ponto 078, Órbita 221, Data 07/09/2016

Classes temáticas	Padrões característicos de interpretação no terreno	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na Banda 4 (0.630 - 0.680µm)	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na Banda 5 (0.845 - 0.885 µm)	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na Banda 6 (1.560 - 1.660 µm)	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na composição colorida (R-6, G-5, B-4)
Água	Área alagada, podendo apresentar vegetação aquática.	Tonalidade: cinza médio Textura: lisa Forma: irregular		Tonalidade: cinza escuro Textura: lisa Forma: irregular		Tonalidade: cinza escuro Textura: lisa Forma: irregular		Cor: azul Textura: lisa Forma: irregular	
Vegetação Densa	Área constituída por espécies nativas ou floresta implementada apresentando todo tipo de vegetação arbórea.	Tonalidade: cinza escuro Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza médio Textura: rugosa Forma: irregular		Cor: verde escuro Textura: rugosa Forma: irregular	
Vegetação Rasteira	Área formada por vegetação rasteira contendo algumas árvores de pequeno porte e utilizadas para fins de cultivo, como milho, soja, batata e etc.	Tonalidade: cinza médio Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular		Cor: verde claro Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular	
Solo Exposto	Área desprovida de revestimento vegetal.	Tonalidade: cinza médio Textura: lisa Forma: regular ou irregular		Tonalidade: cinza médio Textura: lisa Forma: regular ou irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: lisa Forma: regular ou irregular		Cor: rosa claro Textura: lisa Forma: regular ou irregular	
Área urbana	Áreas construídas, seja por edificações de multipavimentos, lotes com construções residenciais, comerciais ou industriais.	Tonalidade: cinza médio Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza médio Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: rugosa Forma: irregular		Cor: magenta Textura: rugosa Forma: irregular	


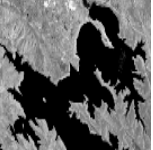


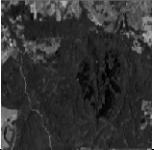
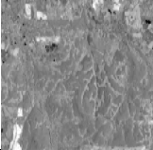
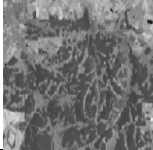

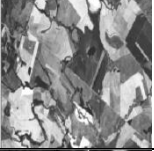
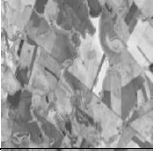
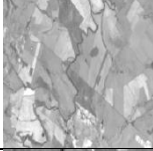
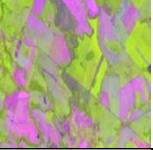

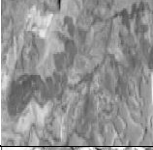


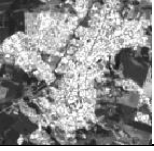
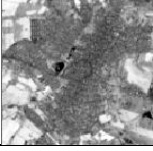

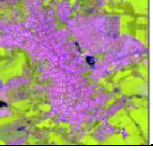
Fonte: A autora

Tabela 57 - Unidade de mapeamento - imagem LANDSAT 8 (OLI), Ponto 076, Órbita 222, Data 23/04/2016

Classes temáticas	Padrões característicos de interpretação no terreno	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na Banda 4 (0.630 - 0.680µm)	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na Banda 5 (0.845 - 0.885 µm)	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na Banda 6 (1.560 - 1.660 µm)	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na composição colorida (R-6, G-5, B-4)
Água	Área alagada, podendo apresentar vegetação aquática.	Tonalidade: cinza médio Textura: lisa Forma: irregular		Tonalidade: cinza escuro Textura: lisa Forma: irregular		Tonalidade: cinza escuro Textura: lisa Forma: irregular		Cor: azul Textura: lisa Forma: irregular	
Vegetação Densa	Área constituída por espécies nativas ou floresta implementada apresentando todo tipo de vegetação arbórea.	Tonalidade: cinza escuro Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza médio Textura: rugosa Forma: irregular		Cor: verde escuro Textura: rugosa Forma: irregular	
Vegetação Rasteira	Área formada por vegetação rasteira contendo algumas árvores de pequeno porte e utilizadas para fins de cultivo, como milho, soja, batata e etc.	Tonalidade: cinza médio Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular		Cor: verde claro Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular	
Solo Exposto	Área desprovida de revestimento vegetal.	Tonalidade: cinza médio Textura: lisa Forma: regular ou irregular		Tonalidade: cinza médio Textura: lisa Forma: regular ou irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: lisa Forma: regular ou irregular		Cor: rosa claro Textura: lisa Forma: regular ou irregular	
Área urbana	Áreas construídas, seja por edificações de multipavimentos, lotes com construções residenciais, comerciais ou industriais.	Tonalidade: cinza médio Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza médio Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: rugosa Forma: irregular		Cor: magenta Textura: rugosa Forma: irregular	

Fonte: A autora

Tabela 58 - Unidade de mapeamento - imagem LANDSAT 8 (OLI), Ponto 077, Órbita 222, Data 23/04/2016

Classes temáticas	Padrões característicos de interpretação no terreno	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na Banda 4 (0.630 - 0.680µm)	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na Banda 5 (0.845 - 0.885 µm)	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na Banda 6 (1.560 - 1.660 µm)	Padrões característicos de interpretação na imagem	Exemplo na composição colorida (R-6, G-5, B-4)
Água	Área alagada, podendo apresentar vegetação aquática.	Tonalidade: cinza médio Textura: lisa Forma: irregular		Tonalidade: cinza escuro Textura: lisa Forma: irregular		Tonalidade: cinza escuro Textura: lisa Forma: irregular		Cor: azul Textura: lisa Forma: irregular	
Vegetação Densa	Área constituída por espécies nativas ou floresta implementada apresentando todo tipo de vegetação arbórea.	Tonalidade: cinza escuro Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza médio Textura: rugosa Forma: irregular		Cor: verde escuro Textura: rugosa Forma: irregular	
Vegetação Rasteira	Área formada por vegetação rasteira contendo algumas árvores de pequeno porte e utilizadas para fins de cultivo, como milho, soja, batata e etc.	Tonalidade: cinza médio Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular		Cor: verde claro Textura: levemente rugosa Forma: regular ou levemente irregular	
Solo Exposto	Área desprovida de revestimento vegetal.	Tonalidade: cinza médio Textura: lisa Forma: regular ou irregular		Tonalidade: cinza médio Textura: lisa Forma: regular ou irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: lisa Forma: regular ou irregular		Cor: rosa claro Textura: lisa Forma: regular ou irregular	
Área urbana	Áreas construídas, seja por edificações de multipavimentos, lotes com construções residenciais, comerciais ou industriais.	Tonalidade: cinza médio Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza médio Textura: rugosa Forma: irregular		Tonalidade: cinza claro Textura: rugosa Forma: irregular		Cor: magenta Textura: rugosa Forma: irregular	

Fonte: A autora

APÊNDICE II - Valores dos parâmetros profundidade do disco de Secchi, turbidez, sólidos suspensos totais - SST, clorofila a, pH, temperatura, oxigênio dissolvido - OD e condutividade das amostras pontuais a jusante e no reservatório da UHE Mauá.

Tabela 59 - Coordenadas UTM, profundidade de Secchi e valores dos parâmetros das amostras do reservatório da UHE Mauá no período chuvoso

Pontos	Coordenadas		Secchi (m)	Turbidez (NTU)	SST (mg L ⁻¹)	Clorofila a (µg L ⁻¹)	pH	Temp. (°C)	OD (mg L ⁻¹)	Cond. (µs cm ⁻¹)
	E	N								
1	527035	7334963	0,85	14,70	6,20	13,56	7,51	26,8	8,18	47,00
2	527201	7335605	0,90	15,35	5,80	13,30	7,34	27	8,05	47,85
3	527869	7335453	0,90	16,25	5,00	11,80	7,14	26,8	7,90	47,10
4	528451	7335503	0,95	15,40	5,20	12,27	7,29	27,9	8,16	47,40
5	530039	7335611	0,95	15,15	8,20	12,36	7,38	26,6	8,22	47,00
6	529454	7336139	0,95	15,05	6,00	12,62	7,25	29,5	7,97	46,55
7	529687	7336774	0,85	16,50	5,20	12,92	7,35	29	8,02	47,10
8	529769	7337545	1,10	15,15	7,00	15,18	7,36	27,6	7,84	46,85
9	530831	7336307	1,00	14,50	6,20	13,99	7,67	29,3	7,91	46,65
10	530755	7338161	0,93	16,15	7,60	14,63	7,38	28,5	7,77	46,70
11	531868	7336576	0,85	16,90	6,00	14,71	7,72	27,2	7,87	47,25
12	532232	7335503	0,85	16,15	6,60	17,62	7,16	28,5	7,91	47,00
13	527161	7334767	0,90	14,60	5,00	12,62	7,13	26,5	8,29	46,90
14	527370	7335380	0,90	16,95	7,60	13,17	6,65	27,1	8,18	48,95
15	528008	7335223	0,95	16,20	4,00	11,72	7,53	26,8	7,98	47,35
16	528244	7335841	0,95	16,00	5,20	11,93	7,42	27,2	7,99	46,80
17	529813	7335581	1,00	19,15	4,40	11,50	7,33	26,6	8,21	46,80
18	529708	7336059	0,90	16,15	7,60	11,93	7,58	28,4	8,07	46,30
19	529935	7336788	0,90	16,60	7,00	13,64	7,35	29,8	7,90	46,25
20	530178	7337428	0,85	20,50	6,40	13,34	7,48	27,7	7,88	46,50
21	530944	7337079	1,00	21,65	6,00	13,56	7,23	28,1	7,73	46,60
22	530473	7338535	0,90	18,70	6,40	10,52	7,31	28,8	7,98	45,40
23	531788	7336057	0,90	16,05	6,00	15,82	7,27	28,2	7,85	46,25
24	532094	7335764	0,90	18,65	6,40	15,40	7,23	28,5	7,91	46,80
Faixa de valores	-	-	0,85 a 1,10	14,50 a 21,65	4,00 a 8,20	10,52 a 17,62	6,65 a 7,72	26,5 a 29,8	7,73 a 8,29	45,40 a 48,95

Fonte: A autora

Tabela 60 - Coordenadas UTM, profundidade de Secchi e valores dos parâmetros das amostras do reservatório da UHE Mauá no período de estiagem

Pontos	Coordenadas		Secchi (m)	Turbidez (NTU)	SST (mg L ⁻¹)	Clorofila a (µg L ⁻¹)	pH	Temp. (°C)	OD (mg L ⁻¹)	Cond. (µs cm ⁻¹)
	E	N								
1	526964	7335008	1,10	6,38	4,00	6,50	7,03	20,8	7,42	53,73
2	527113	7335716	1,05	6,95	5,80	8,08	7,10	19,2	7,51	52,13
3	527829	7335487	1,05	7,24	3,30	6,12	6,85	20,6	7,34	56,03
4	528389	7335620	1,10	6,42	3,10	5,13	6,87	19,8	7,78	52,93
5	530090	7335618	1,10	6,31	2,40	4,49	6,55	20,5	7,45	54,20
6	529458	7336162	1,00	7,14	3,80	20,91	6,61	18,2	8,19	54,23
7	529660	7336793	1,00	6,93	2,90	18,90	6,77	18,2	8,15	54,97
8	529747	7337592	1,00	6,84	3,30	17,19	6,71	18,1	8,15	54,20
9	530897	7336374	1,20	5,99	3,10	5,00	6,70	20,2	7,89	54,73
10	530864	7338229	1,10	6,57	2,40	10,65	6,71	18,3	7,83	54,10
11	531906	7336615	1,00	6,70	3,50	7,14	6,79	19,9	7,80	54,70
12	532274	7335447	1,05	6,83	2,20	4,75	6,79	19,9	7,16	54,57
13	526973	7334812	1,00	6,60	2,70	8,55	6,90	20,1	7,61	53,70
14	527324	7335496	1,10	7,08	2,10	7,10	6,73	19,5	7,43	54,07
15	528022	7335249	0,90	7,00	2,90	5,26	6,63	19,5	7,65	54,13
16	528217	7335950	1,10	7,16	2,90	6,46	6,38	19,6	7,70	53,87
17	529729	7335536	0,80	7,25	3,00	5,13	6,37	19,7	7,05	53,30
18	529674	7336096	0,90	6,92	3,40	18,82	6,35	18,1	7,91	53,50
19	529921	7336900	1,10	7,07	3,90	12,83	6,38	18,7	8,06	52,80
20	530160	7337472	1,05	6,66	2,40	14,07	6,39	18	8,02	53,27
21	530923	7337140	1,00	7,02	3,20	14,11	6,30	17,9	8,00	53,63
22	530395	7338619	1,20	6,63	3,20	10,73	6,30	18,8	8,05	54,67
23	531736	7336134	1,20	6,23	2,60	4,53	6,29	20,3	7,95	54,13
24	532166	7335760	1,20	6,62	1,40	3,89	6,31	20,1	7,32	54,30
Faixa de valores	-	-	0,80 a 1,20	5,99 a 7,25	1,40 a 5,80	3,89 a 20,91	6,29 a 7,10	17,9 a 20,8	7,05 a 8,19	52,13 a 56,03

Fonte: A autora

Tabela 61 - Coordenadas UTM, profundidade de Secchi e valores dos parâmetros das amostras da jusante do reservatório da UHE Mauá no período chuvoso

Pontos	Coordenadas		Turbidez (NTU)	SST (mg L ⁻¹)	Clorofila a (µg L ⁻¹)	pH	Temp. (°C)	OD (mg L ⁻¹)	Cond. (µs cm ⁻¹)
	E	N							
1	592978	7425215	35,47	26,0	6,2	7,07	26,0	7,71	56,55
2	503111	7425147	42,67	19,6	6,0	6,99	26,3	7,63	55,95
3	503242	7424939	37,17	23,0	6,5	7,06	26,7	7,51	56,20
4	503508	7424797	43,07	22,0	5,9	6,83	26,5	7,60	56,95
5	503538	7424772	44,77	23,2	5,3	6,82	26,1	7,69	57,15
6	503168	7425008	44,60	22,2	5,5	6,83	26,3	7,61	57,35
7	503246	7425106	44,43	21,6	5,8	6,81	26,1	7,67	59,90
8	503331	7425021	39,03	19,0	5,9	6,92	26,0	7,71	58,35
9	503582	7424763	41,90	20,2	6,1	6,93	26,4	7,67	56,50
10	503556	7424615	44,83	21,0	5,8	6,70	26,5	7,63	56,55
11	502993	742537	43,80	26,8	6,0	6,70	25,9	7,71	55,25
12	503211	7425971	40,77	20,2	6,3	6,82	26,3	7,66	55,85
13	503633	7424668	39,23	23,0	6,3	6,78	26,2	7,64	57,25
14	503518	7424760	42,87	19,2	6,0	6,65	26,7	7,55	56,85
15	503268	7425004	49,30	19,2	5,6	6,69	26,0	7,71	57,10
16	503381	7424885	48,30	23,0	5,9	6,65	26,3	7,63	56,80
17	503342	7424855	46,43	22,6	5,7	6,67	26,5	7,66	57,25
18	503332	7424965	42,20	18,0	5,9	6,72	26,3	7,64	56,35
19	503376	7424964	42,03	20,2	5,8	6,69	26,4	7,56	58,90
20	503068	7425148	44,60	20,0	5,9	6,71	26,1	7,67	56,80
Faixa de valores	-	-	35,47 a 49,30	18,0 a 26,8	5,3 a 6,5	6,65 a 7,07	25,9 a 26,7	7,51 a 7,71	55,25 a 59,90

Fonte: A autora

Tabela 62 - Coordenadas UTM, profundidade de Secchi e valores dos parâmetros das amostras da jusante do reservatório da UHE Mauá no período de estiagem

Pontos	Coordenadas		Turbidez (NTU)	SST (mg L ⁻¹)	Clorofila a (µg L ⁻¹)	pH	Temp. (°C)	OD (mg L ⁻¹)	Cond. (µs cm ⁻¹)
	E	N							
1	502934	7425532	13,47	6,0	3,5	6,65	17,1	9,11	55,87
2	503012	7425336	12,70	7,3	3,3	6,52	17,4	9,04	54,73
3	503126	7425124	12,83	5,4	3,3	6,46	17,3	8,95	55,73
4	503361	7424944	12,87	6,6	3,3	6,45	17,2	8,99	56,50
5	503639	7424742	14,50	7,1	3,3	6,49	16,7	9,21	56,47
6	503027	7425196	14,70	6,3	3,4	6,48	17,4	8,96	56,90
7	503097	7425294	13,73	6,0	3,3	6,59	17,1	9,10	56,00
8	503206	7425191	13,17	7,0	3,3	6,70	17,0	9,11	56,30
9	503514	7424895	12,00	5,6	3,4	6,67	16,9	9,14	56,17
10	503575	7424663	14,13	6,9	3,4	6,78	17,2	9,16	57,47
11	502900	7425491	12,87	6,0	3,5	6,89	17,4	9,06	55,40
12	503049	7425235	12,13	8,6	3,2	6,90	17,1	9,04	55,63
13	503634	7424829	13,80	8,4	3,5	6,92	16,5	9,26	56,47
14	503442	7424873	13,80	7,6	3,3	6,95	16,8	9,09	56,20
15	503177	7425160	13,63	7,1	3,4	6,97	17,0	9,06	55,60
16	503283	7425020	14,43	7,4	3,4	6,94	17,1	9,05	56,83
17	503320	7424927	13,33	6,0	3,2	6,92	17,0	9,03	57,60
18	503270	7425053	12,97	7,6	3,5	6,93	17,3	9,00	59,67
19	503267	7425126	14,47	6,4	3,4	6,87	17,0	9,14	57,40
20	502960	7425448	13,37	8,1	3,5	6,92	17,3	9,09	57,03
Faixa de valores	-	-	12,00 a 14,70	5,4 a 8,6	3,2 a 3,5	6,45 a 6,97	16,5 a 17,4	8,95 a 9,26	54,73 a 59,67

Fonte: A autora

APÊNDICE III - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com organismos testes *Ceriodaphnia dubia* para as amostras COMP, Z1 e Z2 das áreas de amostragem do Reservatório da Usina Hidrelétrica - UHE Mauá - AR e à jusante, no rio Tibagi próximo à cidade de Londrina-PR - AJ

Tabela 63 - Resultados do ensaio de ecotoxicidade agudo com *Ceriodaphnia dubia* para a amostra Composta da área de amostragem do Reservatório da UHE Mauá - AR_{COMP} no período de chuva

Amostra: AR _{COMP} no período de chuva																								
Diluição (%)	Tempo de exposição 24 h								Tempo de exposição 48 h								pH		OD (mg L ⁻¹)		Dureza (mg L ⁻¹)			
	Replicatas				Efeito (%)	Replicatas				Efeito (%)														
	1		2			3		4			1		2		3		4							
	V	M	V	M		V	M	V	M		V	M	V	M	V	M	V	M	inicial	final	inicial	final	inicial	final
100	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,96	7,57	7,95	7,96	18,7	14,4
75	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	4	1	5	7,75	7,42	7,91	7,94	26,0	19,6
50	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	4	1	4	1	10	7,73	7,35	7,86	7,97	34,0	26,6
Controle positivo	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,36	7,73	7,75	7,86	49,0	48,5
Controle negativo	0	5	0	5	0	5	0	5	100	0	5	0	5	0	5	0	5	100	-	-	-	-	-	-

V: número de organismos vivos

M: número de organismos imóveis/mortos

Efeito: letalidade/imobilidade

Fonte: A autora

Tabela 64 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com *Ceriodaphnia dubia* para a amostra Composta da área de amostragem do Reservatório da UHE Mauá - AR_{COMP} no período de estiagem

Amostra: AR _{COMP} no período de estiagem																								
Diluição (%)	Tempo de exposição 24 h								Tempo de exposição 48 h								pH		OD (mg L ⁻¹)		Dureza (mg L ⁻¹)			
	Replicatas				Efeito (%)	Replicatas				Efeito (%)														
	1		2			3		4			1		2		3		4							
	V	M	V	M		V	M	V	M		V	M	V	M	V	M	V	M	inicial	final	inicial	final	inicial	final
100	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,79	7,74	8,30	7,77	16,8	16,6
75	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,55	7,53	8,33	7,76	24,4	25,8
50	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,60	7,54	8,09	7,74	33,8	33,6
Controle positivo	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,36	7,73	7,75	7,86	49,0	48,5
Controle negativo	0	5	0	5	0	5	0	5	100	0	5	0	5	0	5	0	5	100	-	-	-	-	-	-

V: número de organismos vivos

M: número de organismos imóveis/mortos

Efeito: letalidade/imobilidade

Fonte: A autora

Tabela 65 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com *Ceriodaphnia dubia* para a amostra Z1 da área de amostragem do Reservatório da UHE Mauá - AR_{Z1} no período de chuva

Amostra: AR _{Z1} no período de chuva																								
Diluição (%)	Tempo de exposição 24 h								Tempo de exposição 48 h								pH		OD (mg L ⁻¹)		Dureza (mg L ⁻¹)			
	Replicatas				Efeito (%)	Replicatas				Efeito (%)														
	1		2			3		4			1		2		3		4							
	V	M	V	M		V	M	V	M		V	M	V	M	V	M	V	M	inicial	final	inicial	final	inicial	final
100	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,66	7,54	7,97	7,95	16,2	13,6
75	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	4	1	5	7,67	7,47	7,91	7,93	25,4	23,0
50	5	0	5	0	5	0	5	0	0	4	1	5	0	5	0	5	0	5	7,67	7,47	7,88	7,96	31,2	30,0
Controle positivo	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,36	7,73	7,75	7,86	49,0	48,5
Controle negativo	0	5	0	5	0	5	0	5	100	0	5	0	5	0	5	0	5	100	-	-	-	-	-	-

V: número de organismos vivos

M: número de organismos imóveis/mortos

Efeito: letalidade/imobilidade

Fonte: A autora

Tabela 66 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com *Ceriodaphnia dubia* para a amostra Z1 da área de amostragem do Reservatório da UHE Mauá - AR_{Z1} no período de estiagem

Amostra: AR _{Z1} no período de estiagem																								
Diluição (%)	Tempo de exposição 24 h								Tempo de exposição 48 h								pH		OD (mg L ⁻¹)		Dureza (mg L ⁻¹)			
	Replicatas				Efeito (%)	Replicatas				Efeito (%)														
	1		2			3		4			1		2		3		4							
V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	inicial	final	inicial	final	inicial	final	
100	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	8,31	7,57	8,30	7,74	18,4	17,8
75	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,98	7,68	8,22	7,74	26,2	27,0
50	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,90	7,71	8,07	7,77	33,0	33,8
Controle positivo	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,36	7,73	7,75	7,86	49,0	48,5
Controle negativo	0	5	0	5	0	5	0	5	100	0	5	0	5	0	5	0	5	100	-	-	-	-	-	-

V: número de organismos vivos

M: número de organismos imóveis/mortos

Efeito: letalidade/imobilidade

Fonte: A autora

Tabela 67 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com *Ceriodaphnia dubia* para a amostra Z2 da área de amostragem do Reservatório da UHE Mauá - AR_{Z2} no período de chuva

Amostra: AR _{Z2} no período de chuva																								
Diluição (%)	Tempo de exposição 24 h								Tempo de exposição 48 h								pH		OD (mg L ⁻¹)		Dureza (mg L ⁻¹)			
	Replicatas				Efeito (%)	Replicatas				Efeito (%)														
	1		2			3		4			1		2		3		4							
V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	inicial	final	inicial	final	inicial	final	
100	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,60	7,81	7,97	8,06	16,8	17,4
75	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,55	7,68	8,05	7,91	21,4	22,8
50	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,47	7,60	8,07	7,87	27,8	29,6
Controle positivo	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,36	7,73	7,75	7,86	49,0	48,5
Controle negativo	0	5	0	5	0	5	0	5	100	0	5	0	5	0	5	0	5	100	-	-	-	-	-	-

V: número de organismos vivos

M: número de organismos imóveis/mortos

Efeito: letalidade/imobilidade

Fonte: A autora

Tabela 68 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com *Ceriodaphnia dubia* para a amostra Z2 da área de amostragem do Reservatório da UHE Mauá - AR_{Z2} no período de estiagem

Amostra: AR _{Z2} no período de estiagem																								
Diluição (%)	Tempo de exposição 24 h								Tempo de exposição 48 h								pH		OD (mg L ⁻¹)		Dureza (mg L ⁻¹)			
	Replicatas				Efeito (%)	Replicatas				Efeito (%)														
	1		2			3		4			1		2		3		4							
V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	inicial	final	inicial	final	inicial	final	
100	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,59	7,84	7,99	8,11	10,8	13,6
75	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,41	7,72	8,01	8,17	21,2	23,2
50	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,48	7,70	7,94	8,10	32,6	34,4
Controle positivo	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,36	7,73	7,75	7,86	49,0	48,5
Controle negativo	0	5	0	5	0	5	0	5	100	0	5	0	5	0	5	0	5	100	-	-	-	-	-	-

V: número de organismos vivos

M: número de organismos imóveis/mortos

Efeito: letalidade/imobilidade

Fonte: A autora

Tabela 69 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com *Ceriodaphnia dubia* para a amostra Composta da área de amostragem à Jusante, no rio Tibagi próximo à cidade de Londrina-PR - AJ_{COMP} no período de chuva

Amostra: AJ _{COMP} no período de estiagem																							
Diluição (%)	Tempo de exposição 24 h								Tempo de exposição 48 h								pH		OD (mg L ⁻¹)		Dureza (mg L ⁻¹)		
	Replicatas				Efeito (%)	Replicatas				Efeito (%)													
	1		2			3		4			1		2		3		4		inicial	final	inicial	final	inicial
V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M						
100	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	7,49	7,63	8,16	7,92	21,6	16,6
75	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	7,31	7,51	8,18	7,87	27,4	27,4
50	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	7,43	7,55	8,08	7,89	32,8	33,2
Controle positivo	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	7,36	7,73	7,75	7,86	49,0	48,5
Controle negativo	0	5	0	5	0	5	0	5	100	0	5	0	5	0	5	0	5	-	-	-	-	-	-

V: número de organismos vivos

M: número de organismos imóveis/mortos

Efeito: letalidade/imobilidade

Fonte: A autora

Tabela 70 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com *Ceriodaphnia dubia* para a amostra Composta da área de amostragem à Jusante, no rio Tibagi próximo à cidade de Londrina-PR - AJ_{COMP} no período de estiagem

Amostra: AJ _{COMP} no período de estiagem																							
Diluição (%)	Tempo de exposição 24 h								Tempo de exposição 48 h								pH		OD (mg L ⁻¹)		Dureza (mg L ⁻¹)		
	Replicatas				Efeito (%)	Replicatas				Efeito (%)													
	1		2			3		4			1		2		3		4		inicial	final	inicial	final	inicial
V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M						
100	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	7,61	7,59	8,12	8,23	19,0	19,2
75	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	7,47	7,66	8,16	8,14	26,8	28,4
50	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	7,53	7,67	8,01	8,31	33,4	34,4
Controle positivo	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	7,36	7,73	7,75	7,86	49,0	48,5
Controle negativo	0	5	0	5	0	5	0	5	100	0	5	0	5	0	5	0	5	-	-	-	-	-	-

V: número de organismos vivos

M: número de organismos imóveis/mortos

Efeito: letalidade/imobilidade

Fonte: A autora

Tabela 71 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com *Ceriodaphnia dubia* para a amostra Z1 da área de amostragem à Jusante, no rio Tibagi próximo à cidade de Londrina-PR - AJ_{Z1} no período de chuva

Amostra: AJ _{Z1} no período de chuva																							
Diluição (%)	Tempo de exposição 24 h								Tempo de exposição 48 h								pH		OD (mg L ⁻¹)		Dureza (mg L ⁻¹)		
	Replicatas				Efeito (%)	Replicatas				Efeito (%)													
	1		2			3		4			1		2		3		4		inicial	final	inicial	final	inicial
V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M						
100	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	7,47	7,68	8,09	8,28	19,6	20,0
75	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	7,41	7,60	8,07	8,21	24,4	25,6
50	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	7,47	7,64	8,05	8,10	31,4	36,2
Controle positivo	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	7,36	7,73	7,75	7,86	49,0	48,5
Controle negativo	0	5	0	5	0	5	0	5	100	0	5	0	5	0	5	0	5	-	-	-	-	-	-

V: número de organismos vivos

M: número de organismos imóveis/mortos

Efeito: letalidade/imobilidade

Fonte: A autora

Tabela 72 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com *Ceriodaphnia dubia* para a amostra Z1 da área de amostragem à Jusante, no rio Tibagi próximo à cidade de Londrina-PR - AJ_{Z1} no período de estiagem

Amostra: AJ _{Z1} no período de estiagem																								
Diluição (%)	Tempo de exposição 24 h								Tempo de exposição 48 h								pH		OD (mg L ⁻¹)		Dureza (mg L ⁻¹)			
	Replicatas				Efeito (%)	Replicatas				Efeito (%)														
	1		2			3		4			1		2		3		4		inicial	final	inicial	final	inicial	final
V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M							
100	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,58	7,56	8,08	8,30	19,4	20,0
75	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,54	7,59	8,05	8,21	25,6	25,8
50	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,59	7,59	8,04	8,21	33,0	34,2
Controle positivo	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,36	7,73	7,75	7,86	49,0	48,5
Controle negativo	0	5	0	5	0	5	0	5	100	0	5	0	5	0	5	0	5	100	-	-	-	-	-	-

V: número de organismos vivos

M: número de organismos imóveis/mortos

Efeito: letalidade/imobilidade

Fonte: A autora

APÊNDICE IV - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com organismos testes *Daphnia magna* para as amostras COMP, Z1 e Z2 das áreas de amostragem do Reservatório da Usina Hidrelétrica - UHE Mauá - AR e à jusante, no rio Tibagi próximo à cidade de Londrina-PR - AJ

Tabela 73 - Resultados do ensaio de ecotoxicidade agudo com *Daphnia magna* para a amostra Composta da área de amostragem do Reservatório da UHE Mauá - AR_{COMP} no período de chuva

Amostra: AR _{COMP} no período de chuva																								
Diluição (%)	Tempo de exposição 24 h								Tempo de exposição 48 h								pH		OD (mg L ⁻¹)		Dureza (mg L ⁻¹)			
	Replicatas				Efeito (%)	Replicatas				Efeito (%)														
	1		2			3		4			1		2		3		4							
	V	M	V	M		V	M	V	M		V	M	V	M	V	M	V	M	inicial	final	inicial	final	inicial	final
100	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	4	1	5	0	5	0	5	7,96	7,28	7,95	7,58	18,7	26,4
75	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	3	2	5	0	10	7,80	7,29	7,56	7,58	51,8	70,8
50	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	4	1	4	1	10	7,69	7,36	7,61	7,60	96,4	108,2
Controle positivo	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,75	7,44	7,75	7,72	194,0	149,6
Controle negativo	0	5	0	5	0	5	0	5	100	0	5	0	5	0	5	0	5	100	-	-	-	-	-	-

V: número de organismos vivos

M: número de organismos imóveis/mortos

Efeito: letalidade/imobilidade

Fonte: A autora

Tabela 74 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com *Daphnia magna* para a amostra Composta da área de amostragem do Reservatório da UHE Mauá - AR_{COMP} no período de estiagem

Amostra: AR _{COMP} no período de estiagem																								
Diluição (%)	Tempo de exposição 24 h								Tempo de exposição 48 h								pH		OD (mg L ⁻¹)		Dureza (mg L ⁻¹)			
	Replicatas				Efeito (%)	Replicatas				Efeito (%)														
	1		2			3		4			1		2		3		4							
	V	M	V	M		V	M	V	M		V	M	V	M	V	M	V	M	inicial	final	inicial	final	inicial	final
100	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,79	7,70	8,30	7,61	16,8	24,8
75	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	6,98	7,66	8,32	7,58	55,2	62,4
50	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,17	7,55	8,10	7,65	101,2	107,6
Controle positivo	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,75	7,44	7,75	7,72	194,0	149,6
Controle negativo	0	5	0	5	0	5	0	5	100	0	5	0	5	0	5	0	5	100	-	-	-	-	-	-

V: número de organismos vivos

M: número de organismos imóveis/mortos

Efeito: letalidade/imobilidade

Fonte: A autora

Tabela 75 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com *Daphnia magna* para a amostra Z1 da área de amostragem do Reservatório da UHE Mauá - AR_{Z1} no período de chuva

Amostra: AR _{Z1} no período de chuva																								
Diluição (%)	Tempo de exposição 24 h								Tempo de exposição 48 h								pH		OD (mg L ⁻¹)		Dureza (mg L ⁻¹)			
	Replicatas				Efeito (%)	Replicatas				Efeito (%)														
	1		2			3		4			1		2		3		4							
	V	M	V	M		V	M	V	M		V	M	V	M	V	M	V	M	inicial	final	inicial	final	inicial	final
100	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,66	8,11	7,97	7,79	16,2	20,9
75	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,81	7,62	7,46	7,74	53,4	60,
50	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,67	7,43	7,34	7,76	97,8	104,0
Controle positivo	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,75	7,44	7,75	7,72	194,0	149,6
Controle negativo	0	5	0	5	0	5	0	5	100	0	5	0	5	0	5	0	5	100	-	-	-	-	-	-

V: número de organismos vivos

M: número de organismos imóveis/mortos

Efeito: letalidade/imobilidade

Fonte: A autora

Tabela 76 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com *Daphnia magna* para a amostra Z1 da área de amostragem do Reservatório da UHE Mauá - AR_{Z1} no período de estiagem

Amostra: AR _{Z1} no período de estiagem																								
Diluição (%)	Tempo de exposição 24 h								Tempo de exposição 48 h								pH		OD (mg L ⁻¹)		Dureza (mg L ⁻¹)			
	Replicatas				Efeito (%)	Replicatas				Efeito (%)														
	1		2			3		4			1		2		3		4							
V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	inicial	final	inicial	final	inicial	final	
100	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	8,31	7,87	8,30	7,80	18,4	24,6
75	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,67	7,42	7,71	7,75	56,4	67,27
50	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,64	7,33	7,54	7,69	98,9	105,6
Controle positivo	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,75	7,44	7,75	7,72	194,0	149,6
Controle negativo	0	5	0	5	0	5	0	5	100	0	5	0	5	0	5	0	5	100	-	-	-	-	-	-

V: número de organismos vivos

M: número de organismos imóveis/mortos

Efeito: letalidade/imobilidade

Fonte: A autora

Tabela 77 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com *Daphnia magna* para a amostra Z2 da área de amostragem do Reservatório da UHE Mauá - AR_{Z2} no período de chuva

Amostra: AR _{Z2} no período de chuva																								
Diluição (%)	Tempo de exposição 24 h								Tempo de exposição 48 h								pH		OD (mg L ⁻¹)		Dureza (mg L ⁻¹)			
	Replicatas				Efeito (%)	Replicatas				Efeito (%)														
	1		2			3		4			1		2		3		4							
V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	inicial	final	inicial	final	inicial	final	
100	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,60	7,64	7,97	7,57	16,8	16,4
75	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,70	7,41	7,48	7,54	70,0	68,2
50	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,66	7,42	7,40	7,54	98,0	108,4
Controle positivo	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,75	7,44	7,75	7,72	194,0	149,6
Controle negativo	0	5	0	5	0	5	0	5	100	0	5	0	5	0	5	0	5	100	-	-	-	-	-	-

V: número de organismos vivos

M: número de organismos imóveis/mortos

Efeito: letalidade/imobilidade

Fonte: A autora

Tabela 78 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com *Daphnia magna* para a amostra Z2 da área de amostragem do Reservatório da UHE Mauá - AR_{Z2} no período de estiagem

Amostra: AR _{Z2} no período de estiagem																								
Diluição (%)	Tempo de exposição 24 h								Tempo de exposição 48 h								pH		OD (mg L ⁻¹)		Dureza (mg L ⁻¹)			
	Replicatas				Efeito (%)	Replicatas				Efeito (%)														
	1		2			3		4			1		2		3		4							
V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	inicial	final	inicial	final	inicial	final	
100	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	4	1	5	7,59	7,67	7,99	7,63	10,8	20,2
75	5	0	5	0	4	1	5	0	5	5	0	5	0	4	1	5	0	5	7,70	7,41	7,42	7,69	58,8	63,4
50	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,61	7,68	7,28	7,74	99,0	109,2
Controle positivo	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,75	7,44	7,75	7,72	194,0	149,6
Controle negativo	0	5	0	5	0	5	0	5	100	0	5	0	5	0	5	0	5	100	-	-	-	-	-	-

V: número de organismos vivos

M: número de organismos imóveis/mortos

Efeito: letalidade/imobilidade

Fonte: A autora

Tabela 79 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com *Daphnia magna* para a amostra Composta da área de amostragem à Jusante, no rio Tibagi próximo à cidade de Londrina-PR - AJ_{COMP} no período de chuva

Amostra: AJ _{COMP} no período de estiagem																								
Diluição (%)	Tempo de exposição 24 h								Tempo de exposição 48 h								pH		OD (mg L ⁻¹)		Dureza (mg L ⁻¹)			
	Replicatas				Efeito (%)	Replicatas				Efeito (%)														
	1		2			3		4			1		2		3		4							
	V	M	V	M		V	M	V	M		V	M	V	M	V	M	V	M	inicial	final	inicial	final	inicial	final
100	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,49	7,70	8,16	7,65	21,6	22,8
75	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,51	7,41	8,16	7,70	58,8	65,4
50	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,55	7,39	8,02	7,67	100,8	105,2
Controle positivo	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,75	7,44	7,75	7,72	194,0	149,6
Controle negativo	0	5	0	5	0	5	0	5	100	0	5	0	5	0	5	0	5	100	-	-	-	-	-	-

V: número de organismos vivos

M: número de organismos imóveis/mortos

Efeito: letalidade/imobilidade

Fonte: A autora

Tabela 80 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com *Daphnia magna* para a amostra Composta da área de amostragem à Jusante, no rio Tibagi próximo à cidade de Londrina-PR - AJ_{COMP} no período de estiagem

Amostra: AJ _{COMP} no período de estiagem																								
Diluição (%)	Tempo de exposição 24 h								Tempo de exposição 48 h								pH		OD (mg L ⁻¹)		Dureza (mg L ⁻¹)			
	Replicatas				Efeito (%)	Replicatas				Efeito (%)														
	1		2			3		4			1		2		3		4							
	V	M	V	M		V	M	V	M		V	M	V	M	V	M	V	M	inicial	final	inicial	final	inicial	final
100	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,61	7,79	8,12	7,66	19,0	22,4
75	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,55	7,56	8,13	7,67	59,4	65,4
50	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,52	7,52	7,86	7,72	100,0	106,6
Controle positivo	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,75	7,44	7,75	7,72	194,0	149,6
Controle negativo	0	5	0	5	0	5	0	5	100	0	5	0	5	0	5	0	5	100	-	-	-	-	-	-

V: número de organismos vivos

M: número de organismos imóveis/mortos

Efeito: letalidade/imobilidade

Fonte: A autora

Tabela 81 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com *Daphnia magna* para a amostra Z1 da área de amostragem à Jusante, no rio Tibagi próximo à cidade de Londrina-PR - AJ_{Z1} no período de chuva

Amostra: AJ _{Z1} no período de chuva																								
Diluição (%)	Tempo de exposição 24 h								Tempo de exposição 48 h								pH		OD (mg L ⁻¹)		Dureza (mg L ⁻¹)			
	Replicatas				Efeito (%)	Replicatas				Efeito (%)														
	1		2			3		4			1		2		3		4							
	V	M	V	M		V	M	V	M		V	M	V	M	V	M	V	M	inicial	final	inicial	final	inicial	final
100	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,47	7,75	8,09	7,69	19,6	25,0
75	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,52	7,54	7,94	7,66	69,6	101,0
50	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,45	7,50	7,86	7,67	101,0	107,8
Controle positivo	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,75	7,44	7,75	7,72	194,0	149,6
Controle negativo	0	5	0	5	0	5	0	5	100	0	5	0	5	0	5	0	5	100	-	-	-	-	-	-

V: número de organismos vivos

M: número de organismos imóveis/mortos

Efeito: letalidade/imobilidade

Fonte: A autora

Tabela 82 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com *Daphnia magna* para a amostra Z1 da área de amostragem à Jusante, no rio Tibagi próximo à cidade de Londrina-PR - AJ_{Z1} no período de estiagem

Amostra: AJ _{Z1} no período de estiagem																								
Diluição (%)	Tempo de exposição 24 h								Tempo de exposição 48 h								pH		OD (mg L ⁻¹)		Dureza (mg L ⁻¹)			
	Replicatas				Efeito (%)	Replicatas				Efeito (%)														
	1		2			3		4			1		2		3		4							
	V	M	V	M		V	M	V	M		V	M	V	M	V	M	V	M	inicial	final	inicial	final	inicial	final
100	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,58	7,73	8,08	7,69	19,4	22,8
75	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	3	2	5	0	10	7,63	7,61	7,93	7,64	58,2	64,6
50	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,54	7,52	7,83	7,65	100,2	105,6
Controle positivo	5	0	5	0	5	0	5	0	0	5	0	5	0	5	0	5	0	0	7,75	7,44	7,75	7,72	194,0	149,6
Controle negativo	0	5	0	5	0	5	0	5	100	0	5	0	5	0	5	0	5	100	-	-	-	-	-	-

V: número de organismos vivos

M: número de organismos imóveis/mortos

Efeito: letalidade/imobilidade

Fonte: A autora

APÊNDICE V - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com organismos testes *Artemia Salina* para as amostras COMP, Z1 e Z2 das áreas de amostragem à jusante e no reservatório da UHE Mauá.

Tabela 83 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com *Artemia Salina* para a amostra Composta da área de amostragem do Reservatório da UHE Mauá - AR_{COMP} no período de chuva

Amostra: AR _{COMP} no período de chuva																
Diluição (%)	Tempo de exposição 24 h						Efeito (%)	Tempo de exposição 48 h						pH inicial	OD (mg L ⁻¹) inicial	
	Replicatas							Replicatas								
	1		2		3			1		2		3				Efeito (%)
	V	M	V	M	V	M		V	M	V	M	V	M			
100	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	9	1	3	7,95	9,11
99	9	1	9	1	10	0	7	9	1	9	1	10	0	7	-	-
98	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	7,95	9,20
97	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	-	-
96	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	7,94	9,09
95	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	-	-
94	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	8,00	8,40
93	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	-	-
92	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	9	1	3	7,96	8,86
91	10	0	9	1	10	0	3	9	1	10	0	10	0	3	-	-
90	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	8	2	7	7,95	8,85
Controle positivo	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	7,90	8,50
Controle negativo	0	10	0	10	0	10	100	0	10	0	10	0	10	100	-	-

V: número de organismos vivos

M: número de organismos imóveis/mortos

Efeito: letalidade/imobilidade

Fonte: A autora

Tabela 84 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com *Artemia Salina* para a amostra Composta da área de amostragem do Reservatório da UHE Mauá - AR_{COMP} no período de estiagem

Amostra: AR _{COMP} no período de estiagem																
Diluição (%)	Tempo de exposição 24 h						Efeito (%)	Tempo de exposição 48 h						pH inicial	OD (mg L ⁻¹) inicial	
	Replicatas							Replicatas								
	1		2		3			1		2		3				Efeito (%)
	V	M	V	M	V	M		V	M	V	M	V	M			
100	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	7,91	8,99
99	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	-	-
98	10	0	10	0	10	0	0	8	2	10	0	10	0	7	7,93	8,80
97	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	-	-
96	9	1	10	0	10	0	3	9	1	10	0	10	0	3	7,93	8,94
95	10	0	10	0	10	0	0	9	1	10	0	10	0	3	-	-
94	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	7,95	8,82
93	10	0	10	0	10	0	0	9	1	10	0	10	0	3	-	-
92	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	7,94	8,87
91	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	-	-
90	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	7,92	9,32
Controle positivo	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	7,90	8,50
Controle negativo	0	10	0	10	0	10	100	0	10	0	10	0	10	100	-	-

V: número de organismos vivos

M: número de organismos imóveis/mortos

Efeito: letalidade/imobilidade

Fonte: A autora

Tabela 85 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com *Artemia Salina* para a amostra Z1 da área de amostragem do Reservatório da UHE Mauá - AR_{Z1} no período de chuva

Amostra: AR _{Z1} no período de chuva																
Diluição (%)	Tempo de exposição 24 h						Efeito (%)	Tempo de exposição 48 h						pH inicial	OD (mg L ⁻¹) inicial	
	Replicatas							Replicatas								
	1		2		3			1		2		3				
	V	M	V	M	V	M		V	M	V	M	V	M			
100	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	7,96	9,03
99	10	0	10	0	10	0	0	8	2	10	0	10	0	7	-	-
98	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	9	1	3	8,00	8,83
97	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	8	2	7	-	-
96	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	9	1	3	7,99	8,85
95	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	9	1	3	-	-
94	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	7,97	8,97
93	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	-	-
92	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	7,91	8,94
91	9	1	10	0	10	0	3	9	1	10	0	10	0	3	-	-
90	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	9	1	3	7,91	8,89
Controle positivo	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	7,90	8,50
Controle negativo	0	10	0	10	0	10	100	0	10	0	10	0	10	100	-	-

V: número de organismos vivos

M: número de organismos imóveis/mortos

Efeito: letalidade/imobilidade

Fonte: A autora

Tabela 86 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com *Artemia Salina* para a amostra Z1 da área de amostragem do Reservatório da UHE Mauá - AR_{Z1} no período de estiagem

Amostra: AR _{Z1} no período de estiagem																
Diluição (%)	Tempo de exposição 24 h						Efeito (%)	Tempo de exposição 48 h						pH inicial	OD (mg L ⁻¹) inicial	
	Replicatas							Replicatas								
	1		2		3			1		2		3				
	V	M	V	M	V	M		V	M	V	M	V	M			
100	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	7,93	8,84
99	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	-	-
98	10	0	10	0	10	0	0	10	0	9	1	9	1	7	7,86	9,41
97	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	-	-
96	9	1	10	0	10	0	3	9	1	10	0	10	0	3	7,93	8,76
95	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	-	-
94	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	7,90	8,90
93	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	-	-
92	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	7,96	8,92
91	9	1	10	0	10	0	3	9	1	10	0	10	0	3	-	-
90	9	1	10	0	10	0	3	9	1	10	0	10	0	3	7,90	8,71
Controle positivo	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	7,90	8,50
Controle negativo	0	10	0	10	0	10	100	0	10	0	10	0	10	100	-	-

V: número de organismos vivos

M: número de organismos imóveis/mortos

Efeito: letalidade/imobilidade

Fonte: A autora

Tabela 87 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com *Artemia Salina* para a amostra Z2 da área de amostragem do Reservatório da UHE Mauá - AR_{Z2} no período de chuva

Amostra: AR _{Z2} no período de chuva																
Diluição (%)	Tempo de exposição 24 h						Efeito (%)	Tempo de exposição 48 h						pH inicial	OD (mg L ⁻¹) inicial	
	Replicatas							Replicatas								
	1		2		3			1		2		3				
	V	M	V	M	V	M		V	M	V	M	V	M			
100	9	1	10	0	10	0	3	9	1	9	1	10	0	7	7,95	8,60
99	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	-	-
98	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	9	1	3	7,95	8,65
97	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	-	-
96	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	9	1	3	7,93	8,56
95	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	-	-
94	9	1	10	0	10	0	3	9	1	8	2	10	0	10	7,95	8,60
93	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	-	-
92	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	7,98	8,59
91	9	1	10	0	10	0	3	9	1	10	0	10	0	3	-	-
90	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	7,92	8,59
Controle positivo	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	7,90	8,50
Controle negativo	0	10	0	10	0	10	100	0	10	0	10	0	10	100	-	-

V: número de organismos vivos

M: número de organismos imóveis/mortos

Efeito: letalidade/imobilidade

Fonte: A autora

Tabela 88 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com *Artemia Salina* para a amostra Z2 da área de amostragem do Reservatório da UHE Mauá - AR_{Z2} no período de estiagem

Amostra: AR _{Z2} no período de estiagem																
Diluição (%)	Tempo de exposição 24 h						Efeito (%)	Tempo de exposição 48 h						pH inicial	OD (mg L ⁻¹) inicial	
	Replicatas							Replicatas								
	1		2		3			1		2		3				
	V	M	V	M	V	M		V	M	V	M	V	M			
100	10	0	10	0	10	0	0	9	1	10	0	10	0	3	8,09	8,89
99	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	-	-
98	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	8,14	8,48
97	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	-	-
96	10	0	10	0	10	0	0	10	0	9	1	10	0	3	7,99	8,62
95	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	-	-
94	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	9	1	3	8,02	8,63
93	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	-	-
92	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	7,45	8,51
91	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	-	-
90	9	1	10	0	10	0	3	9	1	10	0	9	1	7	7,47	8,39
Controle positivo	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	7,90	8,50
Controle negativo	0	10	0	10	0	10	100	0	10	0	10	0	10	100	-	-

V: número de organismos vivos

M: número de organismos imóveis/mortos

Efeito: letalidade/imobilidade

Fonte: A autora

Tabela 89 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com *Artemia Salina* para a amostra Composta da área de amostragem à Jusante do Reservatório da UHE Mauá - AJ_{COMP} no período de chuva

Amostra: AJ _{COMP} no período de chuva																
Diluição (%)	Tempo de exposição 24 h						Efeito (%)	Tempo de exposição 48 h						pH inicial	OD (mg L ⁻¹) inicial	
	Replicatas							Replicatas								
	1		2		3			1		2		3				
	V	M	V	M	V	M		V	M	V	M	V	M			
100	10	0	10	0	10	0	0	10	0	9	1	10	0	3	7,78	9,47
99	9	1	10	0	10	0	3	9	1	10	0	10	0	3	-	-
98	10	0	10	0	10	0	0	10	0	8	2	9	1	10	7,78	9,21
97	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	9	1	3	-	-
96	10	0	10	0	10	0	0	9	1	10	0	10	0	3	7,73	8,83
95	10	0	10	0	10	0	0	9	1	9	1	10	0	7	-	-
94	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	7,78	8,91
93	10	0	10	0	9	1	3	10	0	10	0	9	1	3	-	-
92	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	7,81	8,88
91	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	-	-
90	10	0	10	0	9	1	3	10	0	10	0	9	1	3	7,74	9,15
Controle positivo	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	7,90	8,50
Controle negativo	0	10	0	10	0	10	100	0	10	0	10	0	10	100	-	-

V: número de organismos vivos

M: número de organismos imóveis/mortos

Efeito: letalidade/imobilidade

Fonte: A autora

Tabela 90 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com *Artemia Salina* para a amostra Composta da área de amostragem à Jusante do Reservatório da UHE Mauá - AJ_{COMP} no período de estiagem

Amostra: AJ _{COMP} no período de estiagem																
Diluição (%)	Tempo de exposição 24 h						Efeito (%)	Tempo de exposição 48 h						pH inicial	OD (mg L ⁻¹) inicial	
	Replicatas							Replicatas								
	1		2		3			1		2		3				
	V	M	V	M	V	M		V	M	V	M	V	M			
100	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	7,84	8,81
99	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	-	-
98	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	7,91	8,56
97	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	-	-
96	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	7,86	8,60
95	10	0	10	0	10	0	0	9	1	10	0	10	0	3	-	-
94	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	7,88	8,54
93	10	0	10	0	10	0	0	9	1	10	0	10	0	3	-	-
92	10	0	10	0	10	0	0	9	1	10	0	10	0	3	7,86	8,58
91	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	-	-
90	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	7,82	8,78
Controle positivo	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	7,90	8,50
Controle negativo	0	10	0	10	0	10	100	0	10	0	10	0	10	100	-	-

V: número de organismos vivos

M: número de organismos imóveis/mortos

Efeito: letalidade/imobilidade

Fonte: A autora

Tabela 91 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com *Artemia Salina* para a amostra Z1 da área de amostragem à Jusante do Reservatório da UHE Mauá - AJ_{Z1} no período de chuva

Amostra: AJ _{Z1} no período de chuva																
Diluição (%)	Tempo de exposição 24 h						Efeito (%)	Tempo de exposição 48 h						pH inicial	OD (mg L ⁻¹) inicial	
	Replicatas							Replicatas								
	1		2		3			1		2		3				
V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	Efeito (%)				
100	10	0	10	0	10	0	0	10	0	8	2	10	0	7	7,92	9,40
99	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	9	1	3	-	-
98	10	0	10	0	10	0	0	10	0	9	1	10	0	3	7,78	9,06
97	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	8	2	7	-	-
96	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	7,78	8,86
95	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	9	1	3	-	-
94	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	7,77	8,90
93	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	9	1	3	-	-
92	10	0	10	0	9	1	3	10	0	9	1	9	1	7	7,76	8,75
91	10	0	10	0	10	0	0	8	2	9	1	10	0	10	-	-
90	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	7,72	9,06
Controle positivo	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	7,90	8,50
Controle negativo	0	10	0	10	0	10	100	0	10	0	10	0	10	100	-	-

V: número de organismos vivos

M: número de organismos imóveis/mortos

Efeito: letalidade/imobilidade

Fonte: A autora

Tabela 92 - Resultados dos ensaios de ecotoxicidade agudo com *Artemia Salina* para a amostra Z1 da área de amostragem à Jusante do Reservatório da UHE Mauá - AJ_{Z1} no período de estiagem

Amostra: AJ _{Z1} no período de estiagem																
Diluição (%)	Tempo de exposição 24 h						Efeito (%)	Tempo de exposição 48 h						pH inicial	OD (mg L ⁻¹) inicial	
	Replicatas							Replicatas								
	1		2		3			1		2		3				
V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	V	M	Efeito (%)				
100	9	1	10	0	10	0	3	9	1	10	0	10	0	3	7,82	8,98
99	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	-	-
98	9	1	10	0	10	0	3	9	1	10	0	10	0	3	7,87	8,84
97	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	-	-
96	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	7,81	8,76
95	8	2	10	0	10	0	7	8	2	10	0	10	0	7	-	-
94	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	7,86	8,73
93	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	-	-
92	9	1	10	0	10	0	3	9	1	10	0	10	0	3	7,84	8,59
91	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	9	1	3	-	-
90	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	9	1	3	7,80	8,80
Controle positivo	10	0	10	0	10	0	0	10	0	10	0	10	0	0	7,90	8,50
Controle negativo	0	10	0	10	0	10	100	0	10	0	10	0	10	100	-	-

V: número de organismos vivos

M: número de organismos imóveis/mortos

Efeito: letalidade/imobilidade

Fonte: A autora