

VI-137 - DIAGNÓSTICO TEMPORAL DA QUALIDADE DA ÁGUA E DO USO E COBERTURA DO SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TIBAGI

Emily Giany Assunção ⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade do Oeste Paulista (UNOESTE). Mestre em Engenharia de Edificações e Saneamento pela Universidade Estadual de Londrina (UEL). Doutoranda em Engenharia Civil pela UEL.

Mariane Libório Cardoso

Engenheira Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Mestranda em Engenharia de Edificações e Saneamento pela Universidade Estadual de Londrina (UEL).

Adriana Castreghini de Freitas Pereira

Engenheira Cartográfica pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita (UNESP). Mestre em Ciências Geodésicas pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Doutora em Ciências Cartográficas pela UNESP.

Josemarque Lima da Rosa

Engenheiro Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Mestre em Engenharia de Edificações e Saneamento pela Universidade Estadual de Londrina (UEL).

Emília Kiyomi Kuroda

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos Universidade de São Paulo (EESC/USP). Mestre em Hidráulica e Saneamento pela EESC/USP. Doutora em Hidráulica e Saneamento pela EESC/USP. Pós Doutora pela Mijeo University. Professora do Departamento de Construção Civil em Engenharia Civil da UEL.

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Construção Civil - Rod. Celso Garcia Cid PR445 Km380 Campus Universitário Cx Postal 10.011 - Bairro Perobal – Londrina – PR - CEP 86057-970 – Brasil - Tel: (43) 3371-5826 e-mail:emily.ega@hotmail.com

RESUMO

O desenvolvimento de atividades antrópicas está intimamente relacionado ao uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica e impacta diretamente nos aspectos quali-quantitativos 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 e 2016. Para diagnóstico temporal da qualidade da água do Rio Tibagi foram obtidos dados de monitoramento de estações fluviométricas, localizadas à montante e à jusante da UHE Mauá e que apresentassem dados de qualidade de água suficientes para o cálculo do índice de qualidade das águas – IQA nos anos de 2006 e 2016. 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 qualidade da água pelo IQA obteve classificação boa e os mapas de uso e cobertura apresentaram aumento consistente da classe urbana e redução da classe vegetação rasteira entre os anos analisados. Os resultados dos índices de qualidade da água e dos mapas de uso e cobertura forneceram subsídios importantes para auxiliar a gestão da bacia hidrográfica do rio Tibagi.

PALAVRAS-CHAVE:Sensoriamento remoto, imagens de satélite, Índice de Qualidade da Água - IQA

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento urbano aliado ao aumento da densidade demográfica tem causado problemas de demanda de água sob os aspectos qualitativo e quantitativo, exigindo 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.

Assim, a qualidade da água está diretamente relacionada ao uso que se faz do ambiente. No caso do meio hídrico, a poluição das águas pode ser conceituada como a ocorrência de fenômenos que resultam na adição de substâncias ou de formas de energia que direta ou indiretamente alteram suas características e que inviabilizem seu uso para fins específicos (SPERLING, 2005).

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. Por isso, estas técnicas 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, o presente trabalho teve como objetivo realizar o diagnóstico temporal da qualidade da água utilizando dados de séries históricas e do uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do rio Tibagi - BHT com imagens de sensoriamento remoto, a fim de subsidiar futuras tomadas de decisão em questões importantes para promoção do bem-estar da sociedade e proteção ambiental.

MATERIAIS E MÉTODOS

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.

Foram utilizadas imagens de satélite da série LANDSAT para os anos de 2006 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 1 relaciona as datas das imagens selecionadas, os satélites imageadores e as respectivas bandas multiespectrais utilizadas para a composição colorida, a fim de viabilizar o diagnóstico do uso e cobertura do solo da bacia.

Tabela 1: Dados das imagens de satélite utilizadas.

| 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 |
| 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 |

Os mapas foram elaborados utilizando o software ArcGIS que é 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 cores primárias (vermelho - R, verde - G e azul - B). 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), procedeu-se o recorte e elaboração do mosaico, utilizando-se a ferramenta *extension extract by mask*.

Com o mosaico elaborado, seguiu-se com a classificação supervisionada das imagens empregando o algoritmo classificador de Máxima Verossimilhança - MAXVER. Para a classificação, considerou-se características como textura (rugosidade), cor, 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.

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.

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, a fim de garantir a preservação do ambiente aquático e minimizar os riscos à saúde pública. Assim, foram selecionadas as estações fluviométricas representadas na Figura 1 e especificadas na Tabela 2, localizadas à montante e à jusante da Usina Hidrelétrica - UHE Mauá e que apresentassem dados de qualidade de água nos anos de 2006 e 2016, analisados preferencialmente pelo mesmo laboratório e suficientes para o cálculo do Índice de Qualidade da Água.

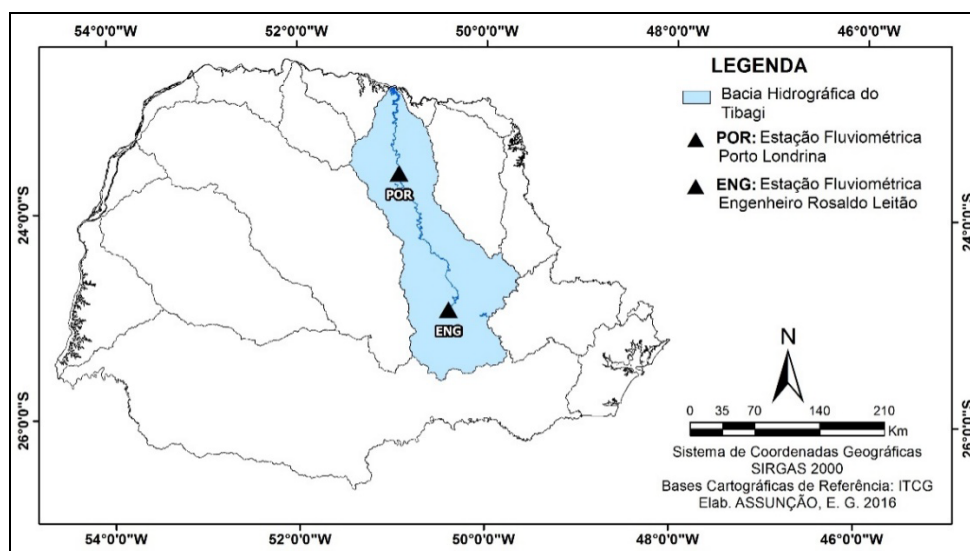


Figura 1: Localização espacial das estações fluviométricas selecionadas

Tabela 2: 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 |
| 64501000 | Porto Londrina | POR | São Jerônimo da Serra | PR | 23°38'14" | 50°55'23" | 400 |

ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA – IQA

O cálculo do Índice de Qualidade da Água - IQA foi realizado de acordo com método proposto pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB do estado de São Paulo, adaptado do IQA desenvolvido pela National Sanitation Foundation - NSF dos Estados Unidos da América. O IQA foi calculado pelo produto ponderado dos fatores de qualidade das variáveis que integram o índice, de acordo com:

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

em que:

IQA = índice de qualidade da água, número de 0 a 100;

N = número de parâmetros;

q_i = qualidade do i -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida e;

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

Os pesos atribuídos pela CETESB correspondentes a cada parâmetro estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Peso atribuído a cada parâmetro de cálculo do IQA

| PARÂMETRO | PESO (w) |
|----------------------------|----------|
| 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 |
| Oxigênio dissolvido | 0,17 |

Fonte: CETESB (2004)

Na Tabela 4 são apresentadas as faixas de classificação de qualidade para o método proposto pela CETESB.

Tabela 4: Faixa de 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)

RESULTADOS

ANÁLISE TEMPORAL MAPA DE USO E COBERTURA DO SOLO

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 Figuras 2 e 3 a seguir apresentam os mapas de uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do rio Tibagi – BHT para os anos de 2006 (à esquerda) e 2016 (à direita), respectivamente.

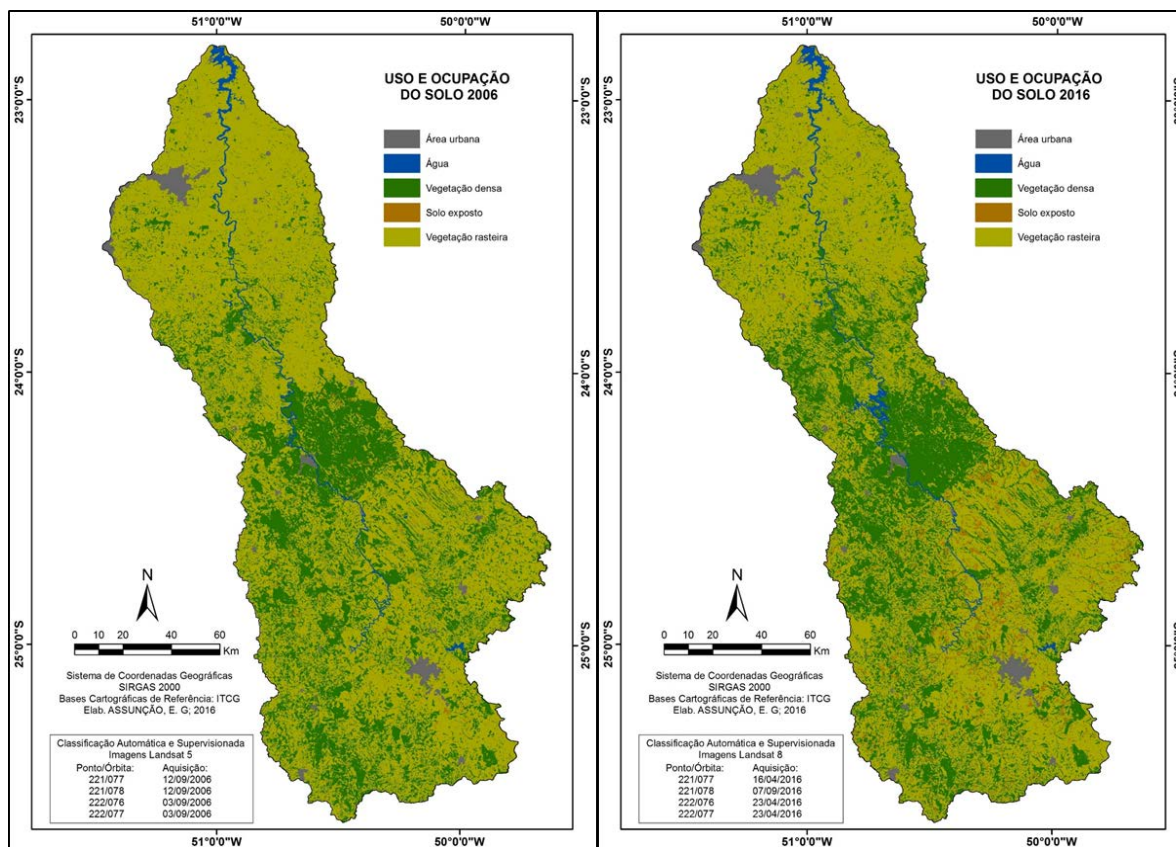


Figura 2 e 3: Mapa de uso e cobertura do solo da BHTem 2006 e 2016

A Tabela 5 apresenta as áreas e porcentagens correspondentes à cada classe temática de uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do rio Tibagi – BHT para os anos de 2006 e 2016.

Tabela 5: Áreas e porcentagens correspondentes à cada classe temática de uso e cobertura do solo da BHT em 2006 e 2016

| Classes | 2006 | | 2016 | |
|--------------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------|
| | Área (km ²) | Porcentagem (%) | Área (km ²) | Porcentagem (%) |
| Água | 163,76 | 0,66 | 234,95 | 0,94 |
| Área urbana | 386,77 | 1,55 | 417,79 | 1,68 |
| Solo exposto | 336,81 | 1,35 | 870,99 | 3,49 |
| Vegetação rasteira | 16610,02 | 66,64 | 15394,48 | 61,76 |
| Vegetação densa | 7428,54 | 29,8 | 8007,70 | 32,13 |

Analisando os mapas de uso e cobertura da Bacia Hidrográfica do rio Tibagi - BHT na série temporal abordada neste estudo, verificou-se um aumento na área de água, de aproximadamente 71,2 km², cerca de 0,28% da área total da bacia (Tabela 5), 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 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 Tabela 5 observa-se que a área urbana apresentou crescimento entre os anos analisados, representando 1,55% da área total em 2006 e 1,68% em 2016.

A classe de solo exposto apresentou um aumento de 1,35% para 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 mesmo de colheita.

A BHT durante os anos avaliados é predominantemente coberta pela classe de vegetação rasteira que apresentou percentual de 66,64% em 2006 e 61,76% em 2016. A classe de vegetação densa é a segunda maior área ocupada da bacia com um percentual de 29,80% em 2006 e 32,13% em 2016.

É importante ressaltar que os classificadores automáticos podem apresentar problemas nas classificações e algumas áreas não corresponder ao real uso do solo, pelo fato das imagens de LANDSAT possuírem resolução espacial de 30x30 m, e conseqüentemente, não possibilitar 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 de 8007,70 km², sendo a maior concentração de áreas de vegetação densa localizadas na região de Telêmaco Borba e Ortigueira (24°12' S; 50°55' O) próximos ao centro da BHT região onde encontra-se uma das maiores indústrias de celulose do país (SEMA, 2013).

DIAGNÓSTICO TEMPORAL DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO TIBAGI

Os dados de monitoramento das estações fluviométricas (ENG e POR) instaladas no rio Tibagi com valores dos parâmetros de qualidade para determinação do IQA dos anos de 2006 e 2016 estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Dados de monitoramento, valores e classificação do IQA das águas das estações fluviométricas - EF (ENG e POR) instaladas no rio Tibagi

| Ano | 2006 | | 2016 | |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | EF-ENG | EF-POR | EF-ENG | EF-POR |
| Estação | | | | |
| Altitude (m) | 780 | 400 | 780 | 400 |
| pH | 7,4 | 7,9 | 6,85 | 6,56 |
| Temperatura (°C) | 14 | 20 | 21 | 18 |
| Sólidos totais (mg L ⁻¹) | 41 | 28 | 58 | 62 |
| Turbidez (N.T.U) | 20,0 | 7,0 | 12,0 | 15,0 |
| OD (mg L ⁻¹) | 7,9 | 7,5 | 9,4 | 9,05 |
| Nitrogênio total (mg L ⁻¹) | 0,21 | 0,64 | 0,98 | 1,56 |
| Fósforo total (mg L ⁻¹) | 0,130 | 0,033 | 0,043 | 0,052 |
| DBO (mg L ⁻¹) | 2,3 | 2,9 | 3,0 | 3,0 |
| Coliformes fecais (NMP.100m L ⁻¹) | 3000 | 8000 | 210 | 100 |
| Índice de Qualidade da Água - IQA | 64 | 63 | 74 | 76 |

Legenda: boa (52 a 79)

De acordo com a Tabela 3, as concentrações de fósforo total e coliformes fecais apresentaram em 2006, valores superiores aos limites de enquadramento de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ e $2000 \text{ NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$, respectivamente, para águas doces de classe 2 (classe de enquadramento do rio Tibagi) estabelecidos pela Resolução CONAMA 357 / 2005.

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, 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.

De uma forma geral, pode-se observar que nos anos analisados a variação da qualidade da água nas duas estações fluviométricas ao longo do rio não foi significativa, tendo resultado em valores de IQA com classificação ótima, indicando que a qualidade da água do rio Tibagi apresentou-se praticamente homogênea no trecho estudado.

Comparando os anos de estudo pode-se constatar que no ano de 2016, houve uma melhoria na qualidade da água para as ambas estações fluviométricas, mantendo sua classificação (ótima), devido principalmente a redução do coliformes fecais, fato que pode estar relacionado à melhoria no tratamento de esgoto ao longo do tempo.

A estação Engenheiro Rosaldo Leitão fica próximo às áreas de agricultura, vegetação rasteira e urbana (Ponta Grossa). Já na região da estação Porto Londrina encontra-se a maior mancha urbana (região metropolitana de Londrina) e a atividade preponderante é a agricultura.

CONCLUSÕES

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

A determinação do Índice de Qualidade da Água - IQA do rio Tibagi utilizando dados de série histórica permitiu avaliar a qualidade da água nos anos de 2006 e 2016, sendo possível identificar uma melhora considerável em 2016.

Omapeamento do uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do rio Tibagi possibilitou acompanhar a dinâmica das modificações do uso do solo, identificando a redução da área percentual de vegetação rasteira em detrimento do aumento percentual das áreas correspondentes às demais classes temáticas: área urbana, água, vegetação densa e solo exposto, ao longo dos anos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. 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.
2. CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo. São Paulo: CETESB, 2004.
3. FLORENZANO, T. G. Imagens de satélites para estudos ambientais. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.
4. INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Os satélites LANDSAT 5 e 7. 2016a. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/Suporte/files/Cameras-LANDSAT57_PT.php>. Acesso em: 01 nov. 2016.
5. INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Catálogo de imagens. 2016b. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/catalogo>>. Acesso em: 01 nov. 2016.
6. NOVO, E. M. L. de M. Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. São Paulo: Edgar Blucher, 1992.
7. ROSA, R.. A utilização de imagens TM/Landsat em levantamento de uso do solo. Universidade Federal de Uberlândia. Departamento de Geografia. 2003.

8. SEMA - SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. Bacias Hidrográficas do Paraná. 2ª ed., v. I, Curitiba: 2013.
9. SPERLING, Marcos Von. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3ª Edição. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Editora da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG – Belo Horizonte, 2005.