

CORRELAÇÃO DA EVOLUÇÃO TEMPORAL DO USO DA TERRA E A QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DA BACIA DO RIO BAQUIRIVU-GUAÇU, NOS MUNICÍPIOS DE ARUJÁ E GUARULHOS (SP)*CORRELATION OF TEMPORAL EVOLUTION OF LAND USE AND WATER QUALITY OF THE BAQUIRIVU-GUAÇU WATERSHED, IN THE CITIES OF ARUJÁ AND GUARULHOS*Sandra Emi SATO¹, Marcio Roberto Magalhães de ANDRADE²

Resumo: O objetivo central deste trabalho é descrever a correlação temporal entre o uso da terra e a qualidade da água da Bacia Hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu, nos municípios de Arujá e Guarulhos. Para tanto, utilizou-se o Índice de Qualidade da Água – IQA calculados pela CETESB e para o processamento digital das imagens de satélite e a geração dos mapas de uso da terra, foram utilizadas ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), com auxílio do aplicativo computacional ENVI 4.3, SPRING 5.1.7 e ArcGIS 9.3.

Palavras-chave: Análise temporal. Uso da terra. Qualidade da água. Bacia do Rio Baquirivu-Guaçu

Abstract: The main aim of this study were to describe the temporal correlation between land use and water quality of the Baquirivu-Guaçu watershed, in the cities of Arujá and Guarulhos. So that, it was used the Water Quality Index calculated by CETESB and digital processing of satellite images and the generation of maps of land use, it has used Geographical Information Systems (GIS) tools, with the aid of computer application ENVI 4.3, 5.1.7 and ArcGIS 9.3.

Keywords: Temporal analysis. Land use. Water quality. Baquirivu-Guaçu watershed.

1 - Universidade Guarulhos (UnG). E-mail: sasato@prof.ung.br2 -Programa de Pós-Graduação em Análise Geoambiental - Universidade Guarulhos (UnG). E-mail: mmandrade@prof.ung.br

INTRODUÇÃO

A qualidade de vida da população das cidades está comprometida devido a forma de apropriação do espaço e os níveis de consumo dessa sociedade, ocasionando a degradação ambiental.

Atualmente, a discussão sobre os recursos hídricos vem ganhando cada vez mais importância, já que a água está presente em praticamente todas as atividades humanas. Nesse sentido, os problemas relacionados à forma de apropriação deste recurso natural são também discutidos, tendo em vista os processos de industrialização, avanço técnico, urbanização e a intensidade com a qual se desenvolvem as atividades humanas que alteram o ciclo hidrológico e levam à degradação das águas (PIASENTIN, 2009).

Neste sentido, o estudo da dinâmica de uso da terra é fundamental para o entendimento dos processos ocorridos no ambiente urbano. A compreensão dos padrões de mudanças, relacionadas com as interações entre fatores socioeconômicos e fisiográficos, suas causas e consequências socioambientais, conduzem ao aprimoramento da capacidade de prever as dinâmicas e estabelecer ações para o gerenciamento local.

O método de análise temporal do uso da terra identifica, espacializa, caracteriza e quantifica as classes de uso. Para isso, emprega tecnologias de sensoramento remoto e geoprocessamento que permite efetuar análises visando o acompanhamento e o monitoramento dos processos de mudanças espaços-temporais, através de comparações e cálculos do percentual de variação (ANDRADE e OLIVEIRA, 2004).

Segundo Bertazi et al. (2011), a análise das interferências ocasionadas pela ação antrópica no cenário natural permite avaliar a distribuição espacial dos distintos impactos ambientais e relacioná-los aos conflitos da expansão urbana sobre o ambiente. Neste contexto, a análise de cartas e mapas de uma bacia hidrográfica apresenta-se como uma satisfatória ferramenta na percepção ambiental, pois, a partir desta base de dados, pode-se construir abordagens que auxiliam na compreensão dos impactos ambientais.

A bacia hidrográfica vem sendo cada vez mais adotada como unidade de gerenciamento, não só de recursos hídricos, mas também como unidade de planejamento do uso da terra e de gestão ambiental (TUNDISI, 2003). Ela pode ser considerada um sistema

físico, onde não só pode ser analisado o balanço hídrico, mas também todos os processos comandados pela dinâmica da água na bacia, como erosão, assoreamento, enchentes etc., numa abordagem sistêmica que examina relações de causa e efeito dos processos ambientais do meio físico (QUEIROZ, 2005).

De acordo com Piasentin (2009), a bacia hidrográfica tem sido adotada como unidade de estudo, planejamento e gestão para análise do meio ambiente, procedimento estimulado pela regulamentação da Política Nacional de Recursos Hídricos, que prevê a criação de comitês com a participação de todos os setores da sociedade.

A área de estudo dessa pesquisa compreende a Bacia Hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu. Esta bacia possui 34,3 Km de extensão, abrange parte dos municípios de Guarulhos e Arujá, ambas localizados na Região Metropolitana de São Paulo, conforme Figura 1, e faz parte da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) do Alto Tietê.

No município de Guarulhos, a Bacia Hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu ocupa uma área de 149 km², correspondendo a 46,6% do território. No município de Arujá a área da bacia equivale a 19,5 km² (19,96%), totalizando uma área de 168,5 km² para a bacia.

A CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, é a agência do Governo do Estado responsável pelo controle, fiscalização, monitoramento e licenciamento de atividades geradoras de poluição, com a preocupação fundamental de preservar e recuperar a qualidade das águas, do ar e do solo (CETESB, 2012).

Esta companhia estabeleceu três pontos de controle da qualidade de água na Bacia Hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu (Figura 2), uma no próprio leito do rio, no limite entre os municípios de Arujá e Guarulhos (BQGU03200), em área tipicamente urbana; e outro no ponto de captação do Reservatório Tanque Grande (TGDE0090), localizado na zona rural de Guarulhos. A partir de 2011, com o intuito de avaliar a qualidade da água bruta que recebe esgotos de Guarulhos, um novo ponto de análise no rio passou a compor a rede de monitoramento (BQGU03850), localizado na ponte da Rua José Marques Prata, à jusante da Penitenciária de Guarulhos.

Segundo Moraes (2001), ao analisar as características físicas, químicas e biológicas dos recursos hídricos, verifica-se uma relação destas com os tipos de usos da bacia hidrográfica, o que faz com que o compar-

timento água seja representativo das diversas atividades humanas desenvolvidas na bacia.

Devido a sua localização estratégica, a Bacia Hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu vem sofrendo mudança do uso da terra e o reflexo dessas ocupações foi analisado por meio dos índices de qualidade da água

disponibilizados pela CETESB.

Com isso, podemos definir que o objetivo desta pesquisa é correlacionar a evolução temporal do uso da terra e o índice da qualidade da água da bacia do rio Baquirivu-Guaçu, nos municípios de Arujá e Guarulhos, ao longo do período compreendido entre 1983 e 2012.

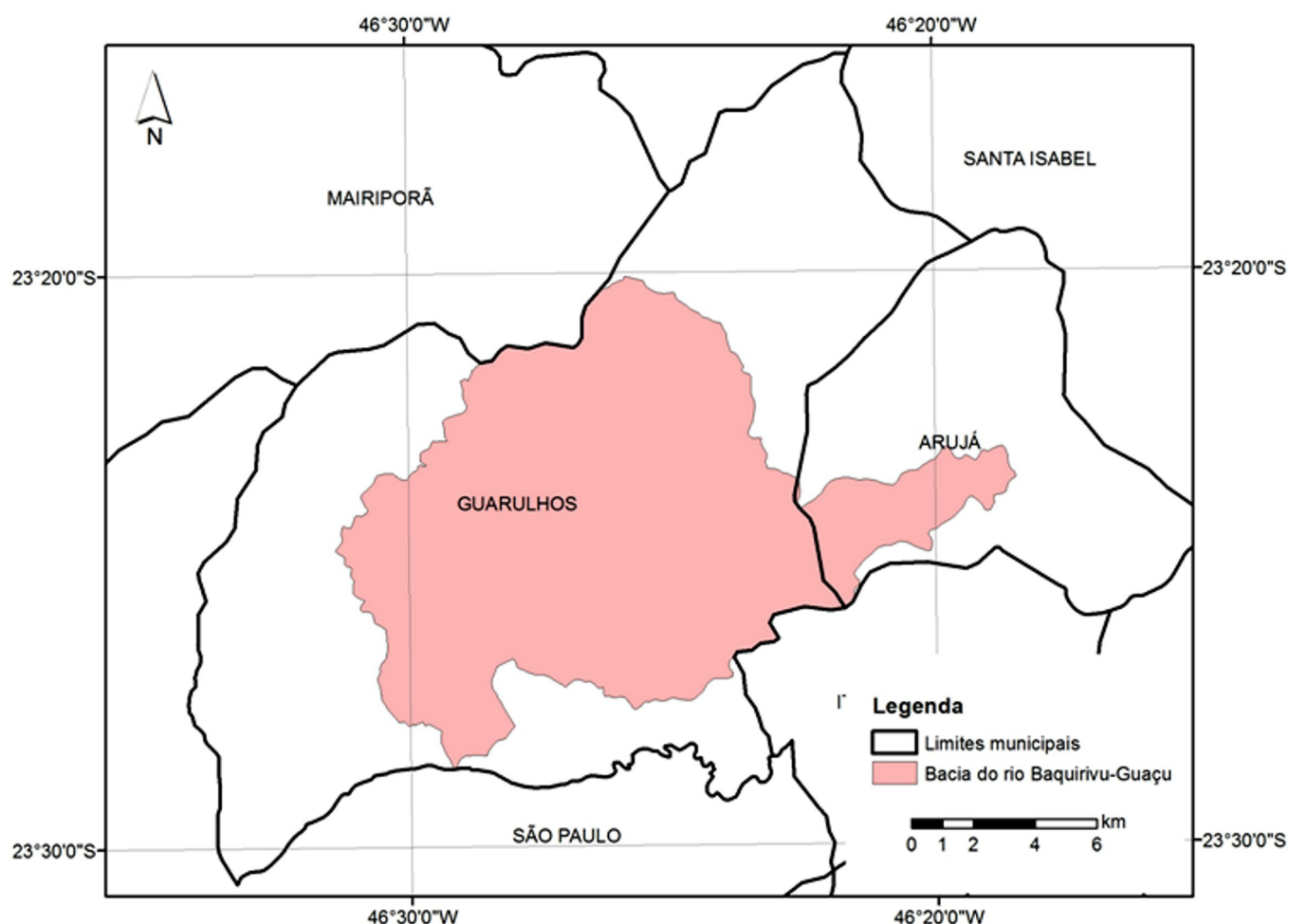


Figura 1: Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu nos municípios de Guarulhos e Arujá. Fonte: Laboratório de Geoprocessamento / UnG.

Figure 1: Location of Baquirivu-Guaçu River Basin in the Guarulhos and Arujá cities. Source: Laboratório de Geoprocessamento / UnG.

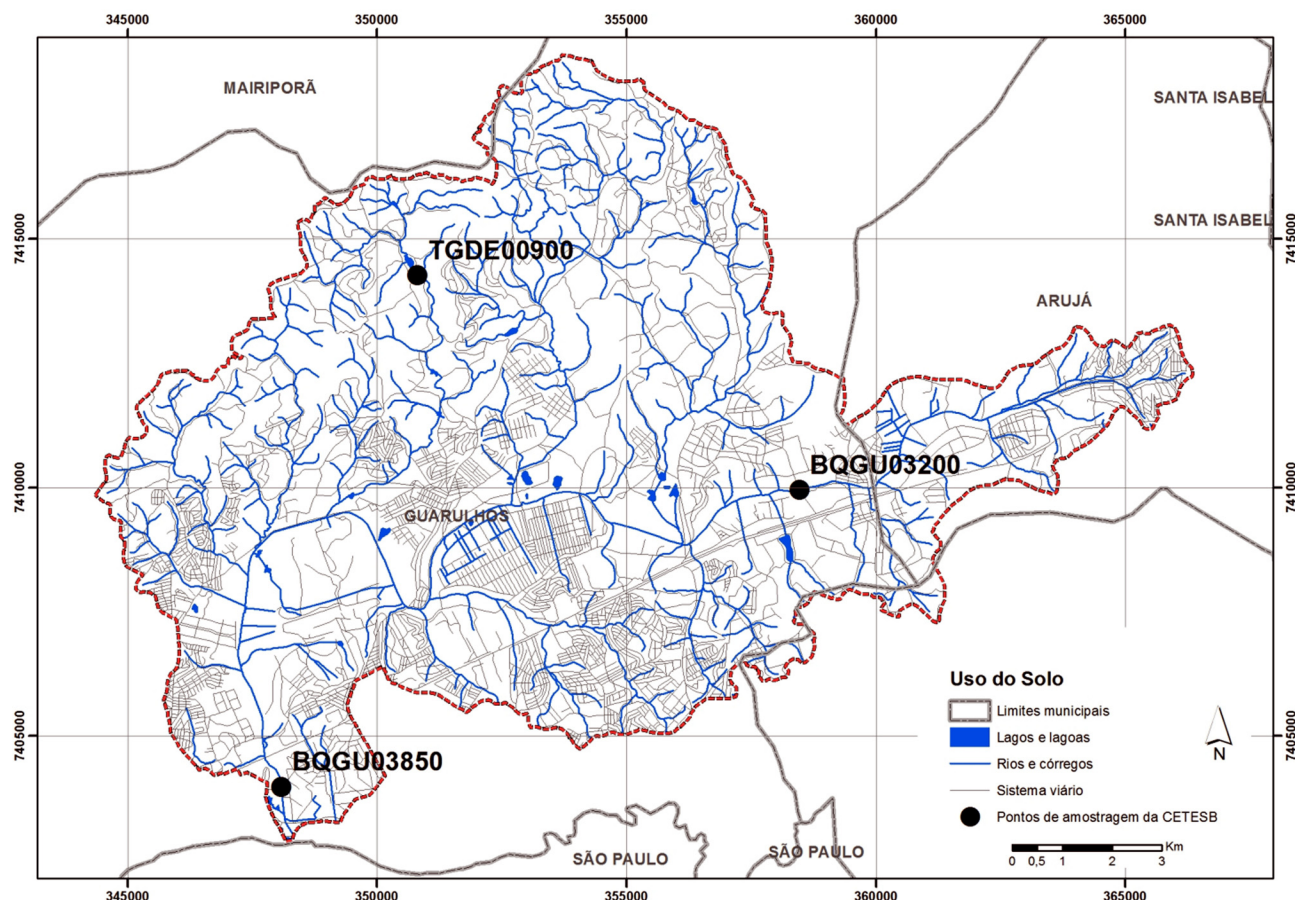


Figura 2: Localização dos pontos de amostragem estabelecidos pela CETESB na Bacia Hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu.

Figure 2: Location of the sampling points established by the CETESB in the Baquirivu-Guaçu River Basin.

CARACTERÍSTICAS GEOAMBIENTAIS DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia em termos climáticos com base na classificação Köppen e estudos de Alvares et al. (2013), apresenta um clima do tipo Cfb, oceânico sem estação seca com verão temperado. Para o município de Guarulhos tem-se uma pluviosidade média anual de 1448 mm, sendo as temperaturas máxima de 21,5°C no mês de fevereiro e mínima de 14,6°C no mês de julho.

De modo geral, a Bacia do Rio Baquirivu Guaçu é composta por dois conjuntos geológicos: as rochas cristalinas pré-cambrianas e um pacote sedimentar. As rochas cristalinas estão presentes, predominantemente, na porção norte da bacia, margem direita, coincidente com altitudes mais elevadas e altas declividades. A vertente esquerda, por sua vez, é caracterizada por altitudes não muito superiores a 800 m e declividades menos acentuadas.

Oliveira et al. (2009), baseado em Andrade (1999) e Ponçano et al. (1981) descreve a Bacia do Rio Baquirivu Guaçu formada de norte a sul por sistemas de relevo da seguinte maneira: montanhas e morros com cotas superiores a 1000 m; montanhas e morros e morrotes com cotas superiores a 900 m; morros médios com cotas abaixo de 900 m; morros baixos e morrotes; colinas pequenas; colinas grandes; planícies amplas e planícies restritas.

A região onde predominam os morros e montanhas ao norte, integra o domínio do Planalto Mantiqueira. Ao sul, onde predominam as colinas e planícies aluviais, tem-se o Planalto Paulistano/Alto Tietê (ROSS; MOROZ, 1997).

A rede de drenagem, especialmente na vertente da margem direita coincidentes com as rochas cristalinas, é caracterizada por um padrão de drenagem dendrítico e denso, com canais encaixados e fortemente condicio-

nados por estruturas tectônicas, com uma tendência à concentração, com altas energias de escoamento até a bacia sedimentar, onde passam a ter um padrão menos denso de drenagem subparalela, com vales amplos e menor energia de escoamento em função da baixa declividade dos canais.

A observação do mapeamento de uso e ocupação do solo elaborado pela EMPLASA (2002) permite notar a existência de uma paisagem predominantemente rural ao norte. Por outro lado, ao sul, encontra-se parte da proeminente área urbana densamente ocupada da metrópole paulistana, com rodovias (Presidente Dutra, Ayrton Senna e Hélio Smidt) e o Aeroporto Internacional André Franco Montoro.

As áreas rurais predominam na margem direita nas porções norte desses municípios. As principais coberturas permitiu definir as seguintes classes de uso da terra: mata, reflorestamento, capoeira, campo, mineração, hortifrutigranjeiros e área urbanizada, essa última com baixa porcentagem em relação às demais categorias, estando nesse setor às áreas de proteção de mananciais do Tanque Grande e demais áreas especialmente protegidas.

A zona urbana tem grande expressão nessa bacia hidrográfica. Nela predominam as ocupações residencial, industrial, aeroportuária, rodovias, pequenas áreas com vegetação e agricultura familiar e três estações de trata-

mento de esgoto (ETE), uma localizada no município de Arujá e duas em Guarulhos.

Os dados geológicos, geomorfológicos e pedológicos permitem considerar que a bacia hidrográfica na sua porção formada por rochas cristalinas apresenta baixa permeabilidade e retenção da água pela infiltração no solo, tendo predominância os processos de escoamento das águas pluviais nas encostas. Por outro lado, a região sedimentar apresenta condição pouco melhor de permeabilidade e infiltração.

Tais aspectos associados à impermeabilização do solo pela urbanização resultam numa maior vulnerabilidade à poluição das águas superficiais por poluição difusa, que contribui para o comprometimento dos índices de qualidade das águas do Rio Baquirivu-Guaçu.

MÉTODOS E PROCEDIMENTOS

Para esta pesquisa foram utilizados dados dos relatórios de qualidade da água da CETESB, dados mensais de pluviometria e imagens do satélite LANDSAT-5 equivalentes ao período entre 1983 a 2012, obtidas gratuitamente a partir do *site* do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.

O método adotado é apresentado na forma de etapas de trabalho, conforme Tabela 1.

Tabela 1: Etapas de trabalho.

Table 1: Working Steps.

CETESB	1. Aquisição dos dados da qualidade da água dos dois pontos de amostragem da bacia;
Síte do INPE	2. Seleção e aquisição de imagens de satélite LANDSAT-5;
Pré-processamento (Software ENVI)	3. Correção geométrica e registro de imagens de satélite;
Processamento (Software SPRING)	4. Composição colorida; 5. Aumento de contraste; 6. Interpretação preliminar; 7. Definição de classes de uso da terra; 8. Aplicação da técnica de classificação supervisionada; 9. Revisão na matriz de confusão;
Análise do Uso da terra (Software ArcGIS)	10. Converter <i>raster</i> para vetor; 11. Aplicar as cores padrão para cada classe de uso da terra; 12. Inserir no mapa os pontos de amostragem da qualidade da água definido pela CETESB; 13. Layout dos mapas;
Correlação	14. Correlacionar os mapas de uso da terra com os dados da qualidade da água da CETESB para cada período.

FORMAS DE TRATAMENTO DOS DADOS E DE ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DAS INFORMAÇÕES

Aquisição dos dados da qualidade da água de dois pontos de amostragem da bacia

No site da CETESB estão disponíveis os relatórios de qualidade das águas superficiais do Estado de São Paulo a partir do ano 2000. Dessa maneira, realizou-se o download desses relatórios e compilados os dados da qualidade da água dos pontos de monitoramentos BQGU03200 e BQGU03850. As informações anteriores a 2000 foram adquiridas por meio de visitas na sede da CETESB – Guarulhos.

Para o ponto BQGU03200, os valores do IQA publicados abrangem o período de 1983 a 2012, enquanto que, para o ponto BQGU03850 somente a partir de 2011.

Os dados referentes ao ponto TGDE0090 não foram considerados devido a sua localização, que fica na barragem do reservatório do Tanque Grande, na

zona rural do município de Guarulhos, em uma Unidade de Conservação Ambiental. Portanto, não há muitas alterações no uso da terra e, consequentemente, na qualidade da água.

Como o IQA é calculado pelo produtório ponderado das qualidades de água correspondentes a 9 parâmetros.

No caso de não se dispor do valor de algum deles, o cálculo do IQA é inviabilizado, como ocorreu em alguns meses do ponto BQGU03200.

Além disso, nesse mesmo ponto, entre os anos de 1987 e 1989 apenas os valores do IQA dos meses pares estavam disponíveis, por isso não foram considerados.

Para selecionar as imagens de satélite, o critério utilizado foi a mudança no índice da qualidade da água ao longo do tempo. A partir daí, os valores do IQA foram separados por períodos e elaborados gráficos para visualizar o ano mais marcante que ocorreram mudanças significativas.

Assim, no ponto BQGU03200, entre 1983 a 1986, o ano selecionado foi 1986, devido a presença de quatro meses com a média ruim (Figura 3).

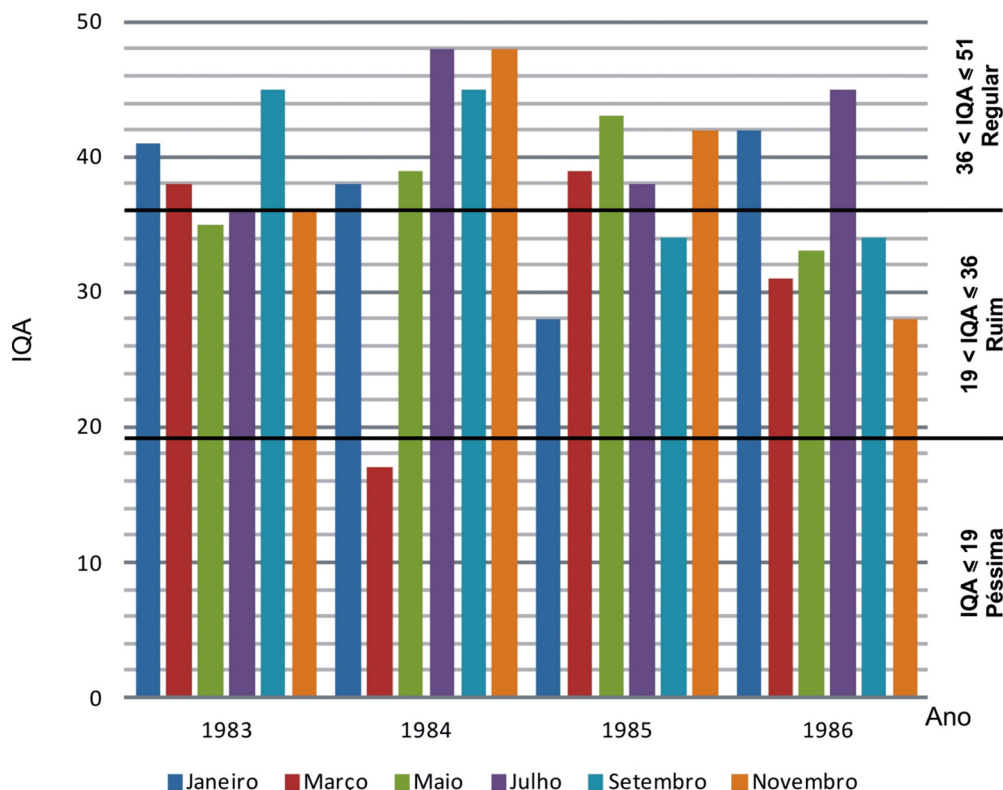


Figura 3: Índice de Qualidade da Água do ponto BQGU03200 entre os anos 1983 - 1986 (CETESB, 2012).
Figure 3: Water Quality Index to point BQGU03200 between the years 1983-1986 (CETESB, 2012).

No período entre 1990 e 1999, no ponto BQGU03200, vários anos não possuem informações completas. Assim, o ano de 1999 foi selecionado em virtude de sua média estar abaixo dos outros anos, além de possuir um mês com o valor do IQA péssimo, conforme verificado na Figura 4.

A Figura 5 mostra o período entre os anos 2000 a 2009 do ponto BQGU03200. O ano de 2006 foi selecionado devido a presença de dois meses (setembro e novembro) com índices péssimos, apesar do ano de 2003

apresentar a média mais baixa.

A última imagem de satélite selecionada corresponde ao ano de 2011, apesar da Figura 6 demonstrar que o ano de 2010 possui os piores índices de qualidade da água no período entre 2010 e 2012 para o ponto BQGU03200. Já a Figura 7 representa os valores do IQA do ponto BQGU03850, incluído em 2011 pela CETESB. Apesar da queda na qualidade da água entre 2011 e 2012, no ano de 2012 não há imagem de satélite, devido à desativação do satélite LANDSAT-5.

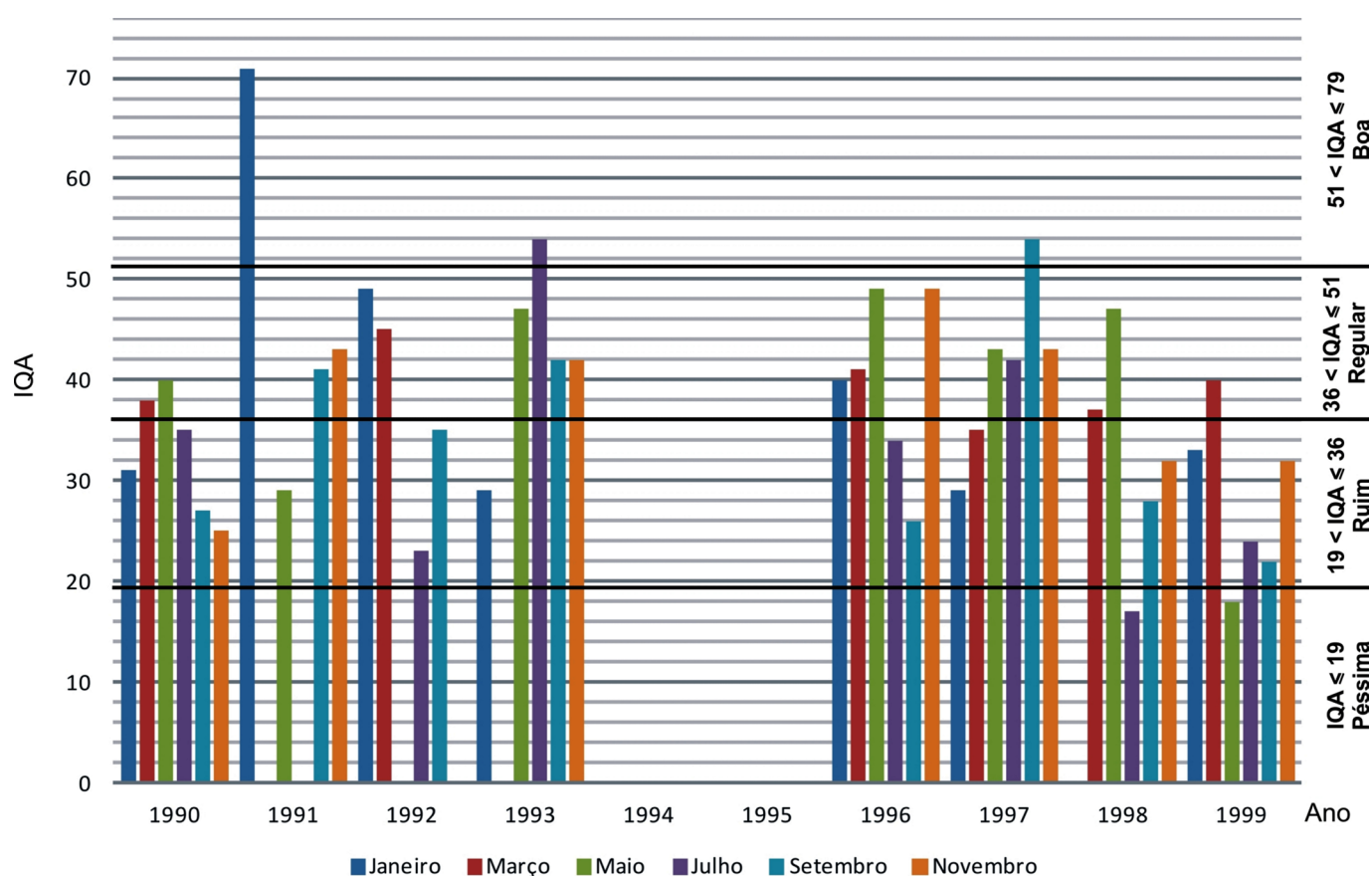


Figura 4: Índice de Qualidade da Água do ponto BQGU03200 entre os anos 1990 - 1999 (CETESB, 2012).
Figure 4: Water Quality Index to point BQGU03200 between the years 1990-1999 (CETESB, 2012).

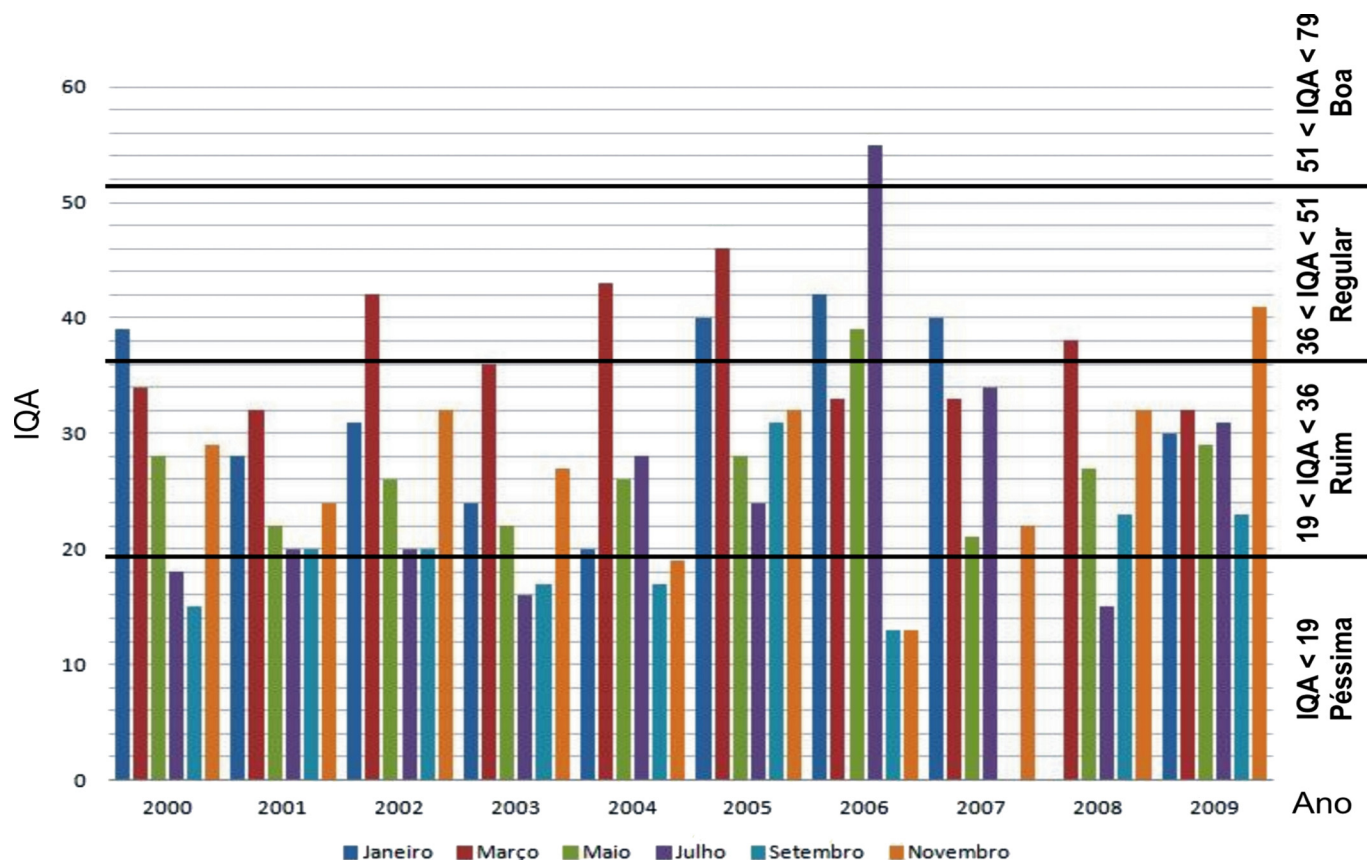


Figura 5: Índice de Qualidade da Água do ponto BQGU03200 entre os anos 2000 - 2009 (CETESB, 2012).
Figure 5: Water Quality Index to point BQGU03200 between the years 2000-2009 (CETESB, 2012).

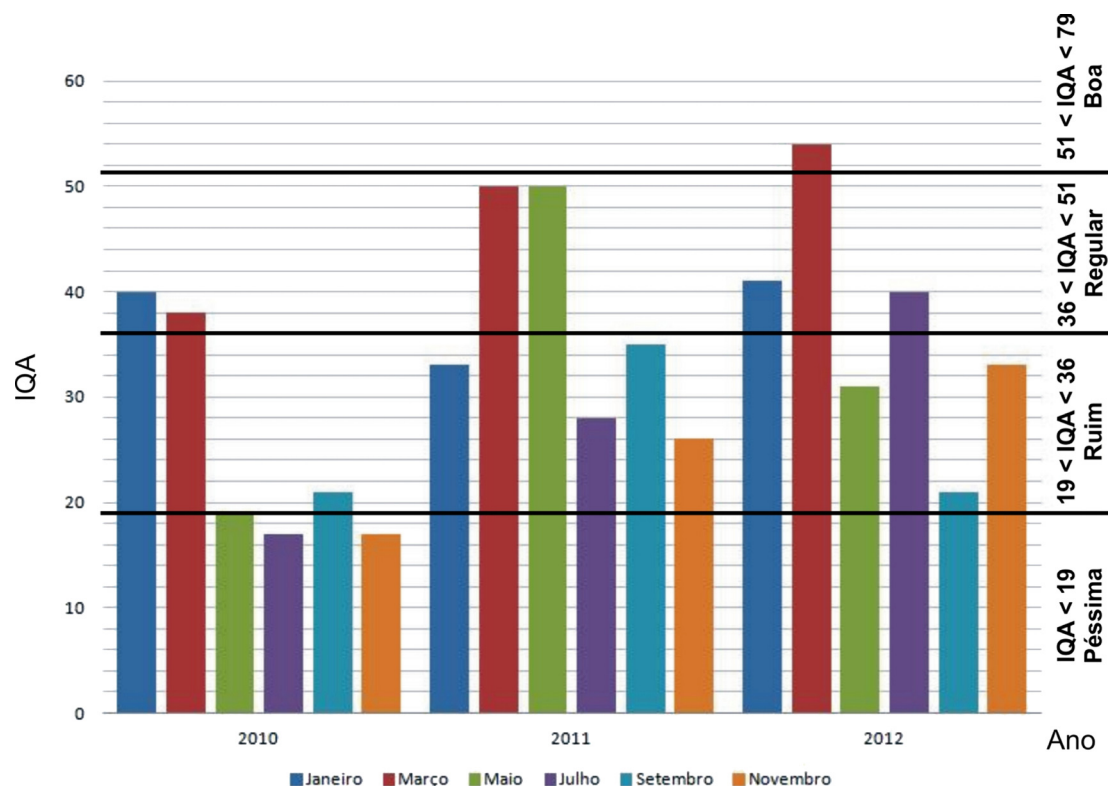


Figura 6: Índice de Qualidade da Água do ponto BQGU03200 (2010 - 2012) (CETESB, 2012).
Figure 6: Water Quality Index to point BQGU03200 (2010-2012) (CETESB, 2012).

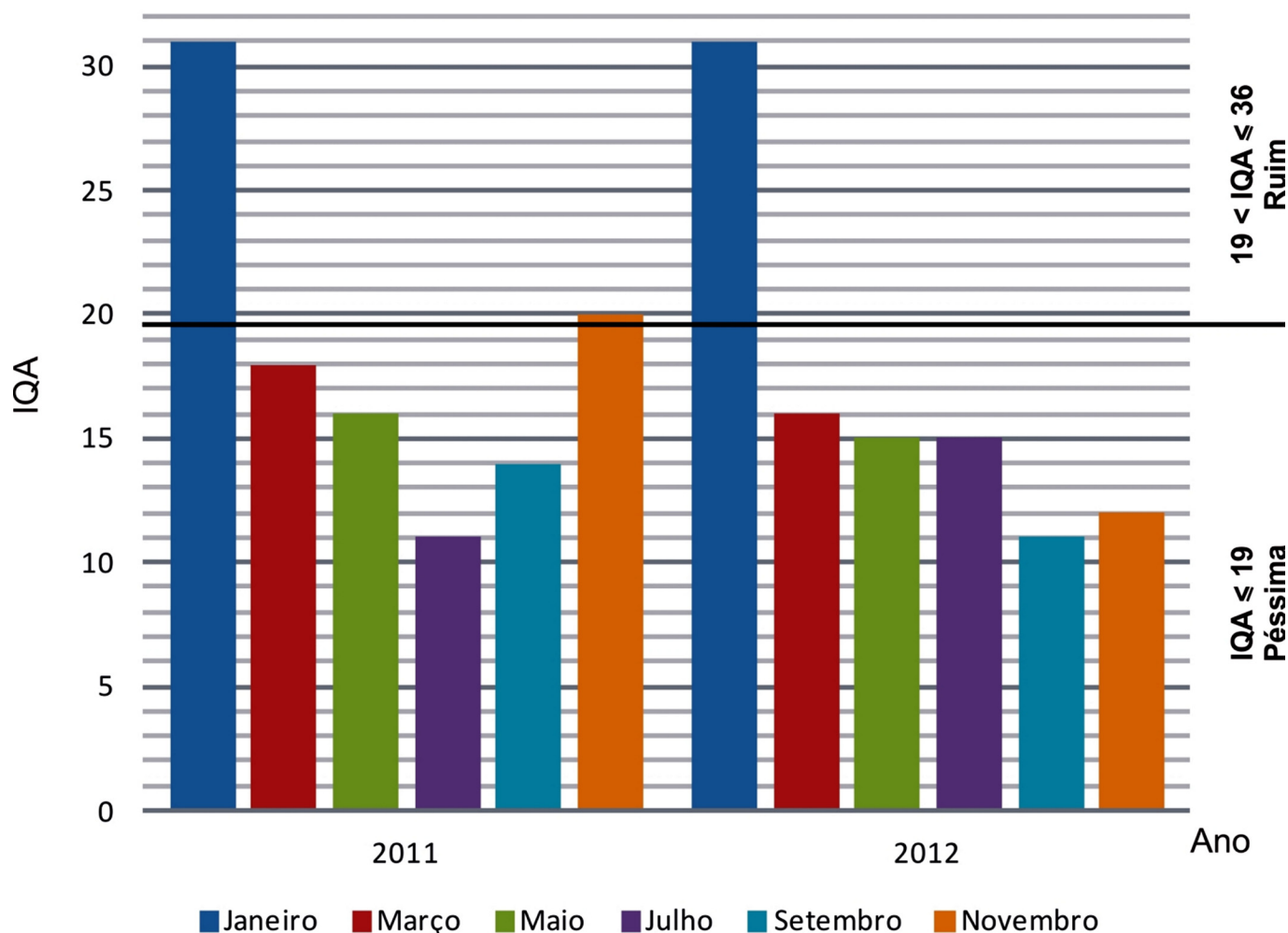


Figura 7: Índice de Qualidade da Água do ponto BQGU03850 entre os anos 2011 - 2012 (CETESB, 2012).
Figure 7: Water Quality Index to point BQGU03850 between the years 2011 - 2012 (CETESB, 2012).

Seleção e aquisição de imagens de satélite LANDSAT-5

As imagens de satélite LANDSAT-5 estão sendo utilizada devido a sua gratuidade, a disponibilidade de cenas que abrange todo o período analisado e por ser destinada às várias aplicações de pesquisa de recursos naturais.

A Figura 08 mostra que a Bacia Hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu envolve a cena (órbita/ponto) 219/76.

Conforme relatado no item anterior, a escolha das imagens de satélite foi baseada nos índices de qualidade

da água que estavam em piores condições. Além disso, a cobertura de nuvem sobre a área de estudo também foi considerada. Assim, a Tabela 2 mostra a relação de imagens de satélite adquirida para o desenvolvimento dessa pesquisa.

As imagens do satélite LANDSAT-5 adquiridas gratuitamente pelo site do INPE encontram-se previamente georreferenciadas a partir de dados efeméricos e para melhorar a precisão cartográfica quanto ao posicionamento dos objetos, superfícies ou fenômenos foi necessário realizar a correção geométrica e registro dessas imagens.

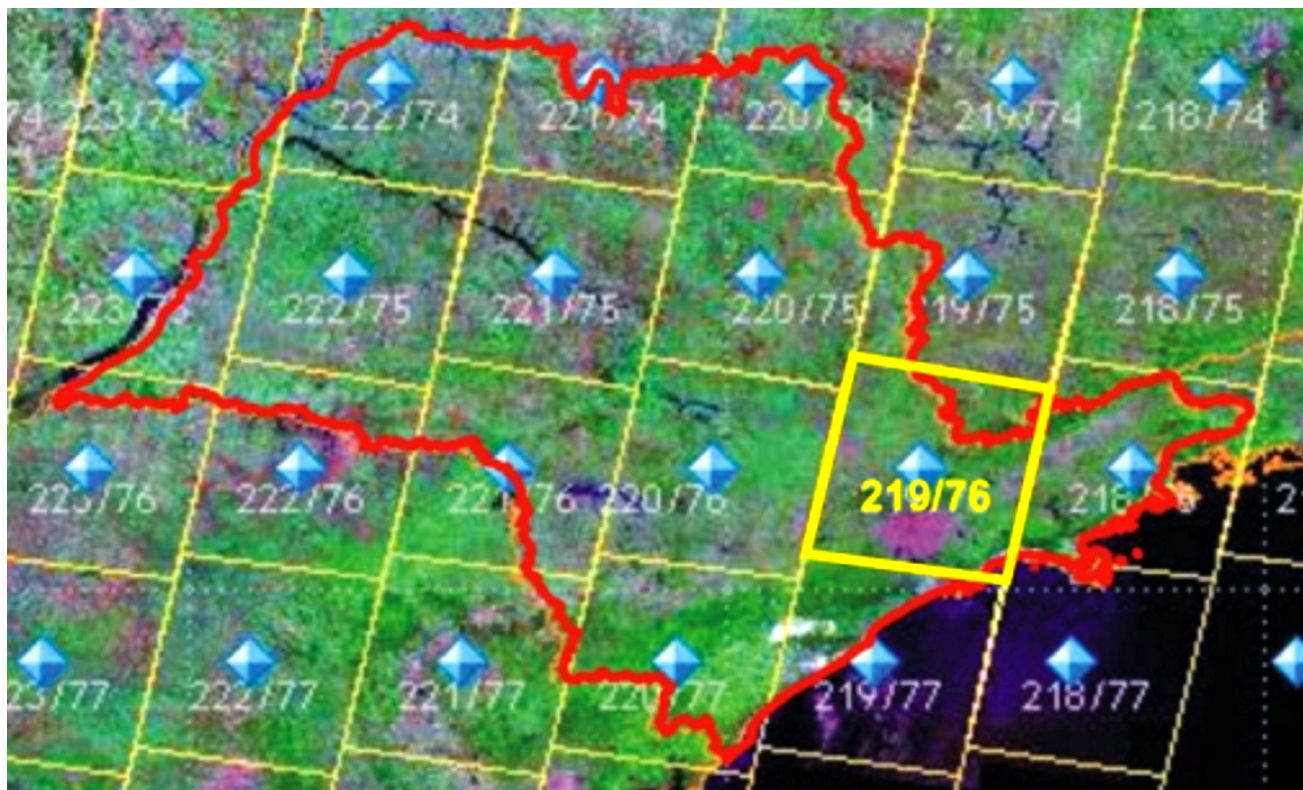


Figura 8: Localização da cena que envolve a Bacia Hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu (INPE, 2012).

Figure 8: Location of the scene involving the Baquirivu-Guaçu River Basin (INPE, 2012).

Tabela 2: Relação das imagens de satélite adquiridas por década.

Table 2: Relationship of satellite images acquired by decade.

LANDSAT-5 TM / Cena (219/76)			
Período			
1983 - 1989	1990 - 1999	2000 - 2009	2010 - 2012
19/06/1986	26/08/1999	14/09/2006	26/07/2011

Pré-processamento das imagens de satélite

No *software* ENVI 4.3 foram realizadas as correções geométricas e o registro das imagens de forma manual em toda a bacia, através da definição de pontos de controle no terreno identificados em arquivos vetores e na imagem. Os cruzamentos dos eixos viários e às curvas dos principais rios foram estratégicos como pontos de controle. Para cada cena, previamente recortadas a uma distância de 2 km do limite da bacia, foram necessários 500 pontos de controle.

Após este processo, a imagem é retificada e salva em formato TIFF/GeoTIFF para ser utilizada no *software* SPRING na etapa de processamento.

Processamento das imagens de satélite

No *software* SPRING 5.1.7, os parâmetros cartográficos utilizados no projeto foram UTM para Sistemas, WGS84 para Modelos da Terra, Zona 23 e Hemisfério Sul.

Após importar as imagens de satélite LANDSAT-5, esta pesquisa optou pela composição colorida 5-4-3 (RGB), por ter uma representação visual parecida com a da realidade, além de ser mais indicada para a classificação automática da cobertura da terra. E, para melhorar a visualização e realçar a imagem foi aplicado o contraste.

Para a geração do mapa de uso da terra foram

levantadas as informações temáticas, ou seja, as classes de uso da terra para composição dos mapas, sendo obtidas a partir da interpretação visual por meio de técnicas de fotointerpretação, onde os fatores analisados foram textura e tonalidade.

Dessa maneira, as classes de uso da terra foram definidas por meio de um esquema de classificação visual considerando a resolução espacial das imagens e as características espectrais dos alvos (Tabela 3).

Tabela 3: Critérios para cada classes de uso da terra (IBGE, 2006 - adaptado).

Table 3: Criteria for each class of land use (IBGE, 2006 - adapted).

Classe	Critério
Área urbana	Compreendem áreas de uso intensivo, estruturadas por edificações e sistema viário. Estão incluídas nesta categoria as metrópoles, cidades, vilas, áreas de rodovias, serviços e transporte, energia, comunicações e terrenos associados, áreas ocupadas por indústrias, complexos industriais e comerciais e instituições que podem em alguns casos encontrar-se isolados das áreas urbanas.
Formação arbórea	No caso desta pesquisa incluem-se as áreas de Floresta Densa e plantio ou formação de maciços com espécies exóticas (eucaliptos e pinus).
Campo antrópico ou agricultura	Locais destinados a plantio e pastagem, incluem todas as terras cultivadas caracterizadas pelo delineamento de áreas cultivadas ou em descanso.
Solo exposto	Locais de solo aparente e sem vegetação. Neste caso, inclui áreas de extração de substâncias minerais.

Os métodos de classificação são usados para mapear área da superfície terrestre que apresentam um mesmo significado em imagens digitais. Para esta análise foi utilizada o classificador "pixel a pixel", que usa apenas a informação espectral, isoladamente, de cada pixel para achar regiões homogêneas. Todo esse processo foi feito de forma automática por meio de amostras de cada classe de uso da terra baseadas no tamanho da sua área na imagem.

A análise das amostras permitiu verificar o desempenho médio de cada classe de uso da terra, bem como de cada amostra. Dessa maneira, para esta pesquisa, a amostra que teve matriz de confusão abaixo de 80% foi descartada, assim o método, procedimentos e resultados obtidos podem ser considerados aceitáveis. Para um melhor resultado, a imagem resultante da classificação foi submetida a uma pós-classificação, ou seja, ao uso de um filtro para a eliminação de resíduos na imagem.

Após esta etapa, cada imagem processada foi exportada em formato TIFF/GeoTIFF.

No *software* ArcGIS 9.3 foi necessário vetorizar as imagens processadas por meio da extensão *3D Analyst*. Assim, foi possível quantificar cada classe de uso da terra

e comparar os resultados obtidos para cada ano.

Após essa identificação foi inserido o limite da Bacia Hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu.

Cada mapa de uso da terra foi configurado em uma folha A4 na escala 1:100.000, com as coordenadas UTM, o norte, escala gráfica e legenda. Para finalizar, os mapas de uso da terra foram salvos em formato mxd, jpeg e pdf.

Correlação dos dados da qualidade da água da CETESB com os mapas de uso da terra para cada período

A correlação foi efetuada de forma gráfica cartesiana cruzando as informações referentes ao IQA e índices do uso da terra.

Para melhor visualização e interpretação dos resultados alcançados, os parâmetros que compõem o IQA que ficaram fora do padrão CONAMA 357/05 e o próprio IQA foram tratados na forma de histogramas, que contempla o valor médio ao longo dos meses ímpares, dentro de cada período considerado, dos pontos de monitoramento BQGU03200 e BQGU03580.

Com relação média do IQA do ponto BQGU03200 (Figura 9), existem dois cenários em termos das condições de qualidade da água: o primeiro, nas décadas de 80 e 90, em que os valores das variáveis estão em níveis indicadores de melhores condições (regular) e o segundo,

de 2000 a 2012, em que houve piora na qualidade da água (ruim).

A Figura 10 mostra que no ponto BQGU03850, os dois anos analisados, a média anual do IQA encontra-se péssima.

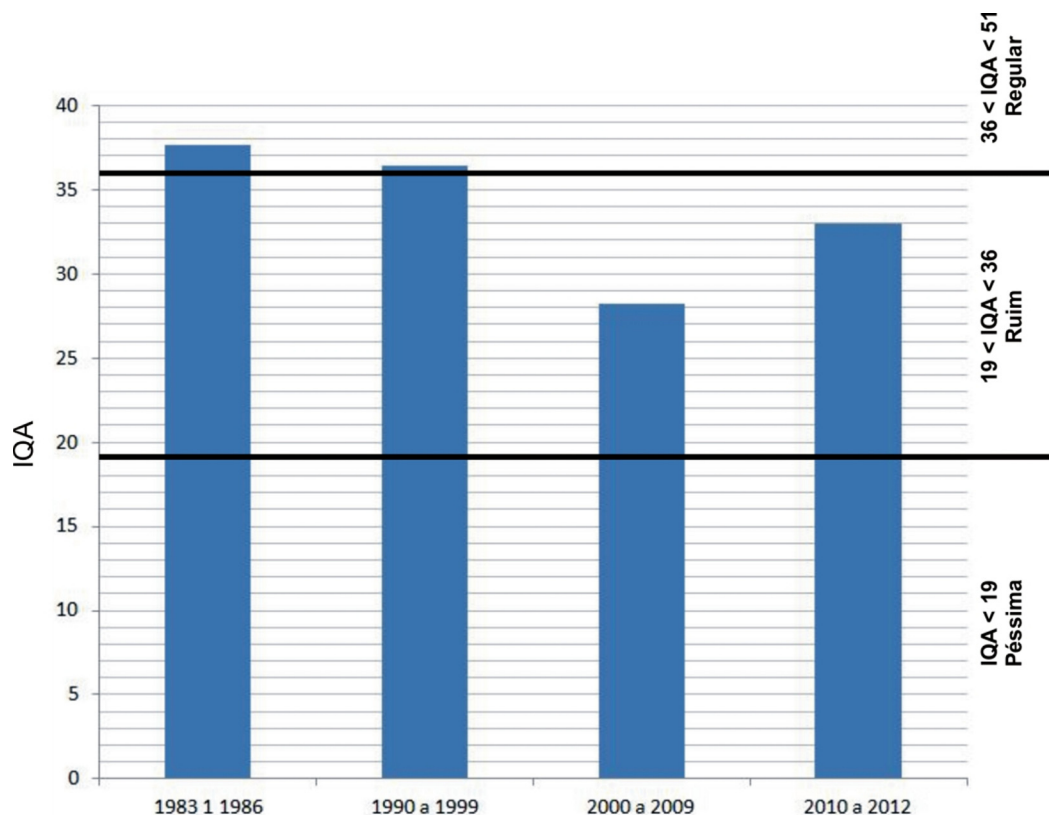


Figura 9: Média do Índice de Qualidade da Água por período do ponto BQGU03200.

Figure 9: Average Water Quality Index for the period to point BQGU03200.

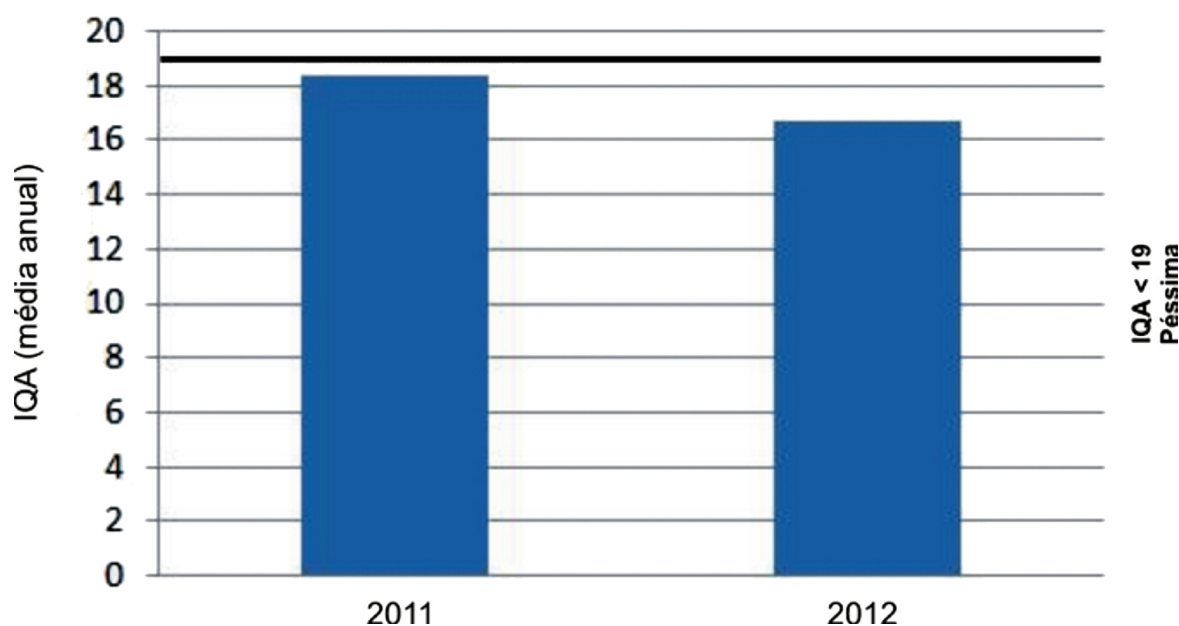


Figura 10: Média anual do Índice de Qualidade da Água do ponto BQGU03850.

Figure 10: Average annual Water Quality Index BQGU03850 point.

Nos dois pontos de monitoramento da CETESB demonstram que os parâmetros que mais contribuíram para atingir essa performance foram o coliformes termotolerantes, a demanda bioquímica de oxigênio e o fósforo total.

As Figuras 11 e 12 representam o histograma dos Coliformes Termotolerantes dos pontos BQGU03200

e BQGU03850, respectivamente. Eles indicam que em todos os períodos esse parâmetro está acima do padrão máximo permitido, demonstrando que há poluição por esgoto doméstico e a existência de microorganismos patogênicos que são responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica (ex: desintéria bacilar, febre tifóide, cólera).

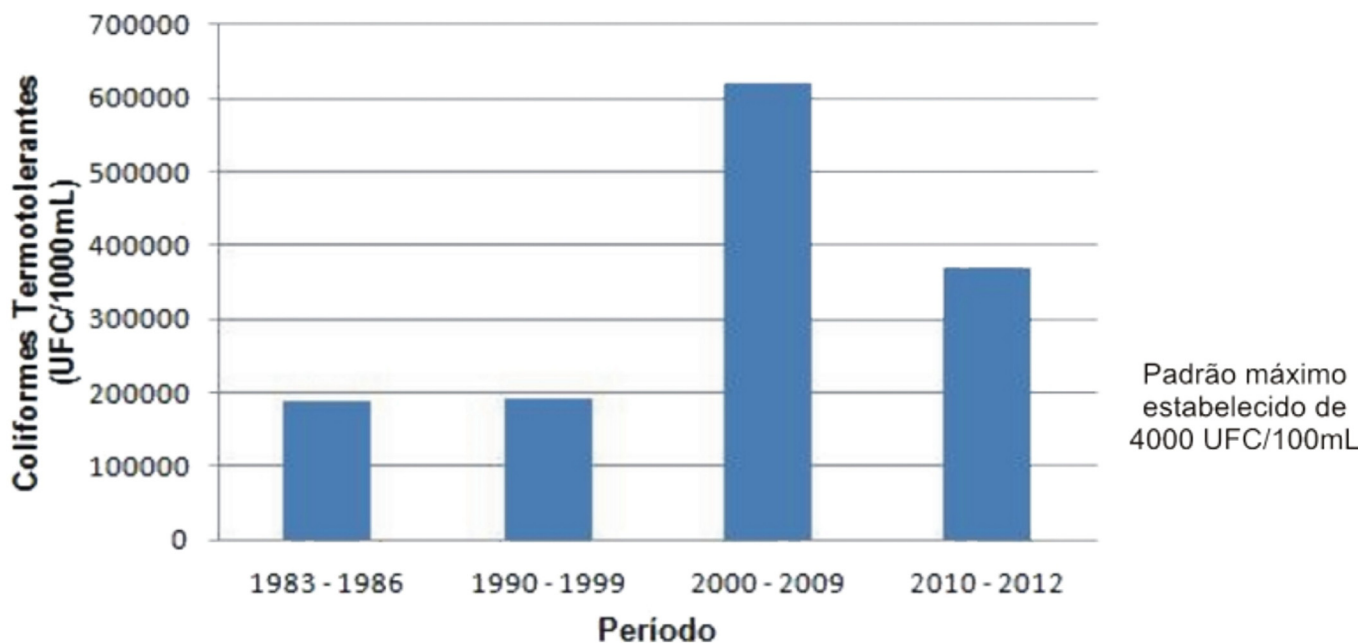


Figura 11: Coliformes termotolerantes por período do ponto BQGU03200.

Figure 11: Thermotolerant coliforms per time to point BQGU03200.

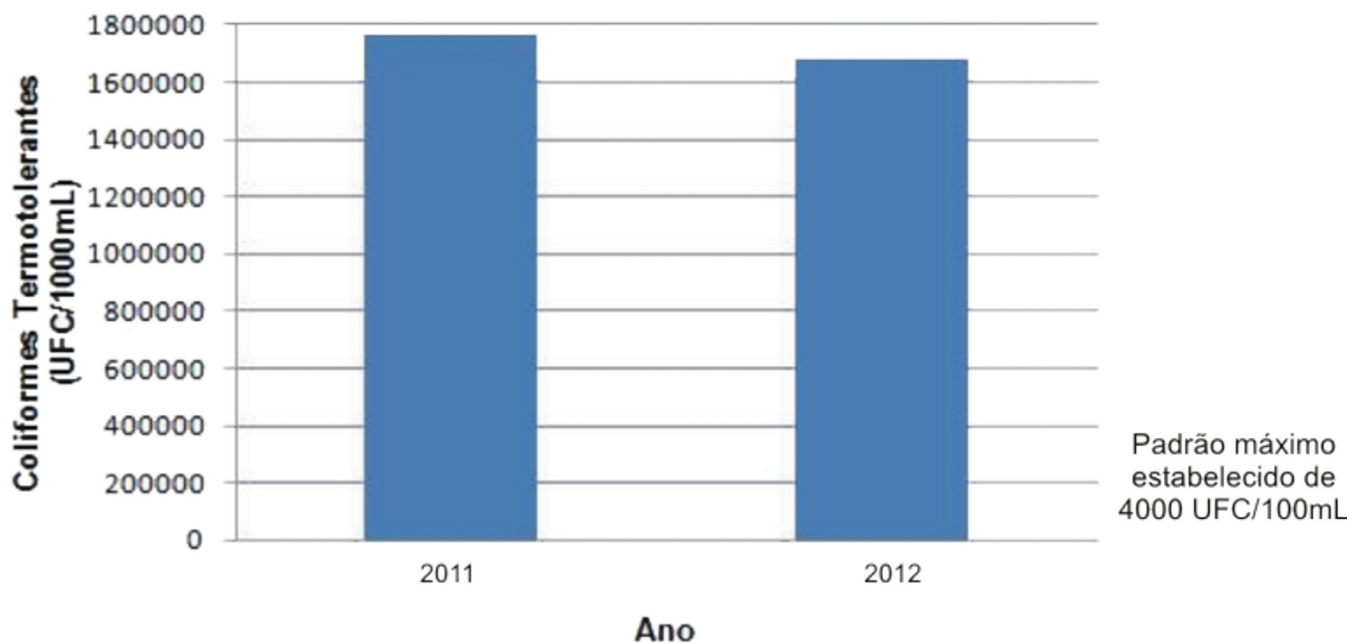


Figura 12: Média anual de Coliformes Termotolerantes do ponto BQGU03850.

Figure 12: Average annual Coliforms Thermotolerant to point BQGU03850.

Valores altos de Demanda Bioquímica de Oxigênio nos dois pontos de monitoramento, conforme visto nas Figuras 13 e 14, são provocados geralmente pelo lançamento de cargas orgânicas, principalmente esgotos

domésticos. A ocorrência de altos valores deste parâmetro causa uma diminuição dos valores de oxigênio dissolvido na água, o que pode provocar mortandades de peixes e eliminação de outros organismos aquáticos.

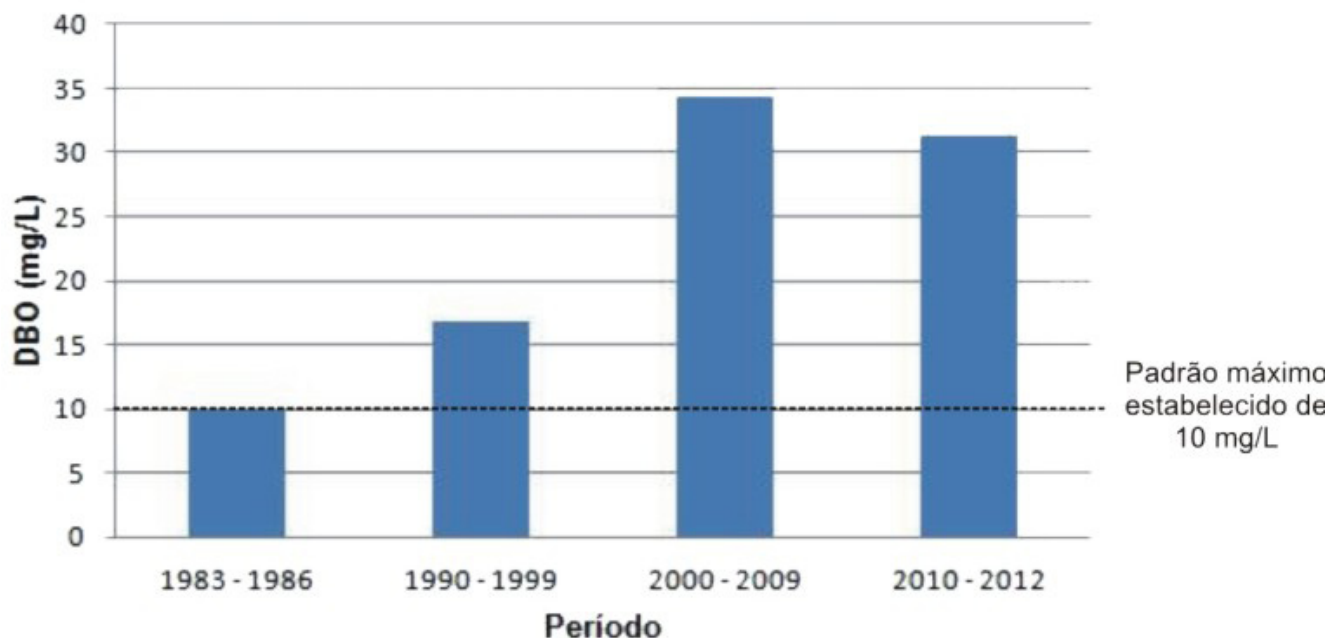


Figura 13: Média da Demanda Bioquímica de Oxigênio por período do ponto BQGU03200.
Figure 13: Average Biochemical Oxygen Demand per period to point BQGU03200.

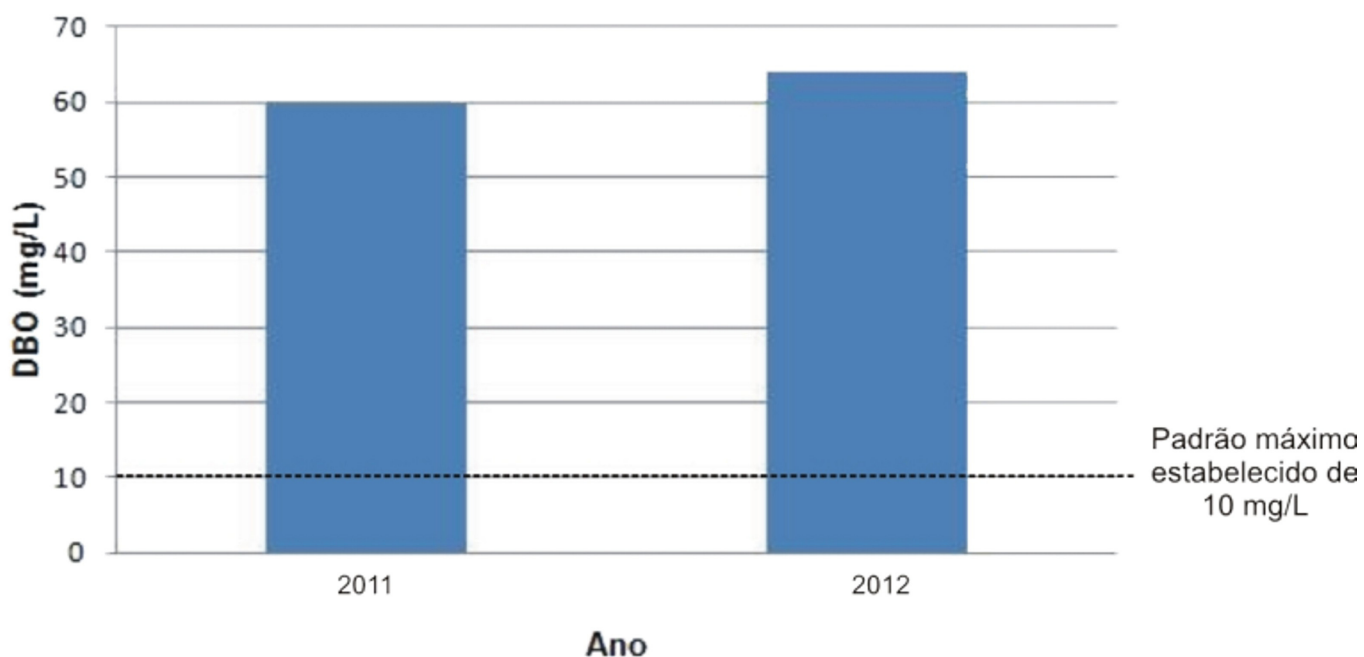


Figura 14: Média anual da Demanda Bioquímica de Oxigênio do ponto BQGU03850.
Figure 14: Average annual Biochemical Oxygen Demand to point BQGU03850.

Os pontos BQGU03200 e BQGU03850 possuem a média anual de concentração de Fósforo (Figura 15 e 16) índices que extrapolaram o padrão máximo permitido em todos os períodos.

Entre as fontes de fósforo no curso d' água destacam-se os esgotos domésticos. Além disso, é sabido

que as águas do rio Baquirivu-Guaçu são utilizadas na irrigação de culturas existentes ao longo de sua bacia, que também é uma fonte significativa de fósforo. Entre os efluentes industriais destacam-se os das indústrias de fertilizantes, alimentícias, laticínios, frigoríficos e abatedouros.

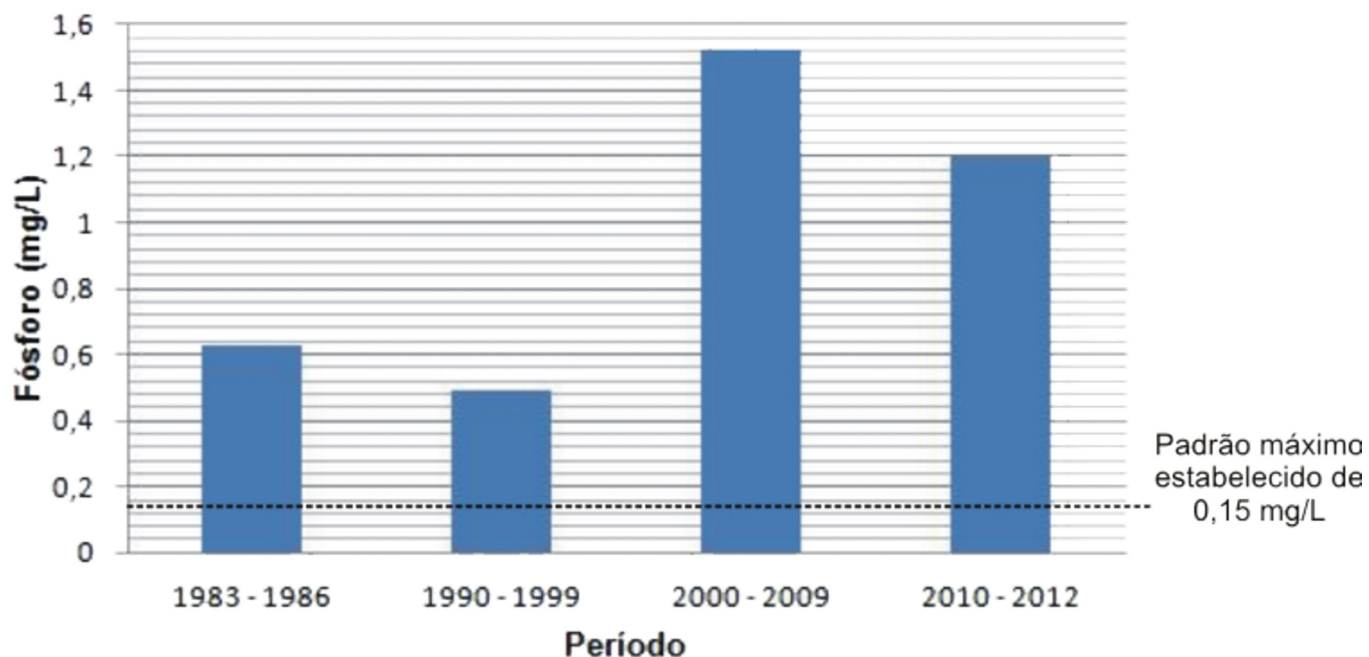


Figura 15: Média de concentração de Fósforo por período do ponto BQGU03200.

Figure 15: Average concentration of phosphorus per period to point BQGU03200.

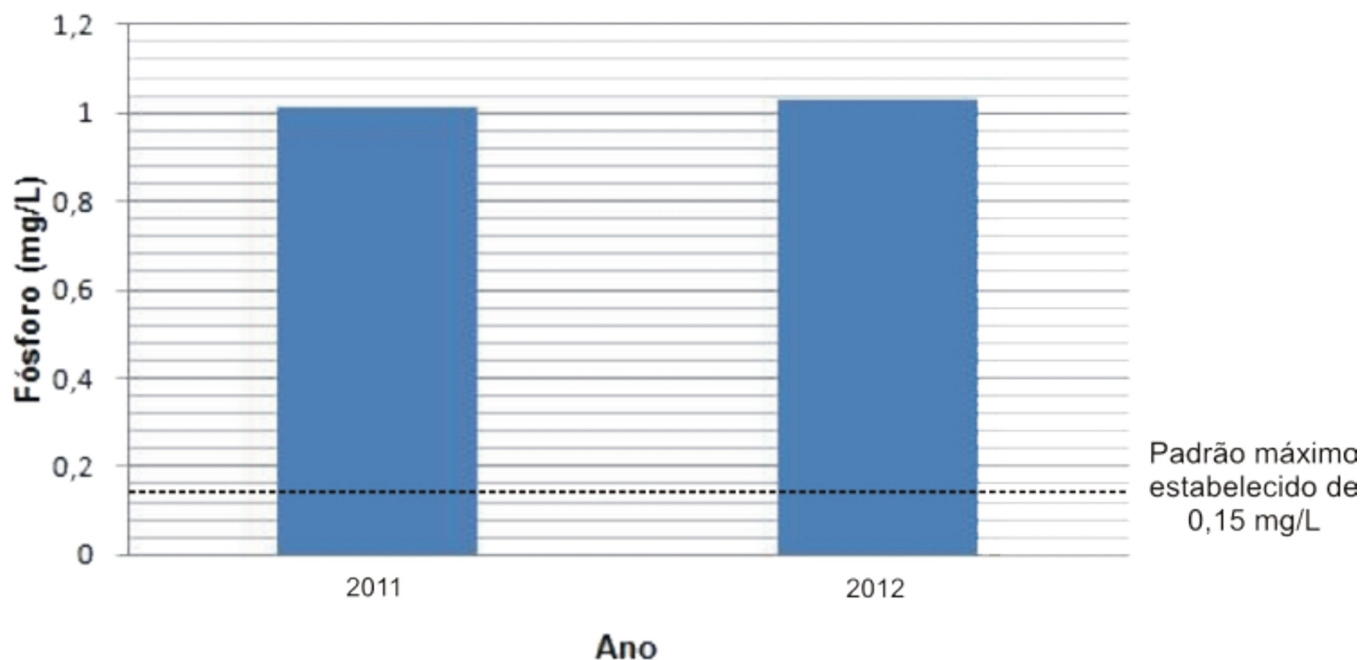


Figura 16: Média anual de concentração de Fósforo do ponto BQGU03850.

Figure 16: Annual average concentration of phosphorus to point BQGU03850.

A causa da degradação da água está associada à intensa expansão urbana na Bacia Hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu ao longo dos anos, sem o devido planejamento em termos de saneamento básico nos municípios de Arujá e Guarulhos.

Um dos aspectos mais relevantes nesta pesquisa diz respeito ao uso da terra, por isso foram elaborados estudos que contemplam quatro diferentes cenários: 1986, 1999, 2006 e 2011, com o objetivo de acompanhar a evolução do uso da terra.

Na Figura 17, mapa de uso da terra de 1986, percebe-se uma grande área de formação arbórea a norte e noroeste da bacia, mas também áreas de solo exposto. A área urbana se concentra na parte sudoeste

(Guarulhos) com pequenas manchas ao longo da rodovia Dutra e no município de Arujá. Já a classe campo predomina no centro-sul da bacia. O Figura 18 representa a área, em porcentagem, de cada classe de uso da terra deste ano.

A Figura 19 mostra que no ano de 1999 a área urbana aumentou consideravelmente na parte central, principalmente no entorno do aeroporto, gerando o aumento de áreas de solo exposto.

Como consequência desse processo, a área de formação arbórea diminuiu, perdendo espaço para o campo.

A Figura 20 representa a porcentagem das áreas de cada classe de uso da terra deste ano.

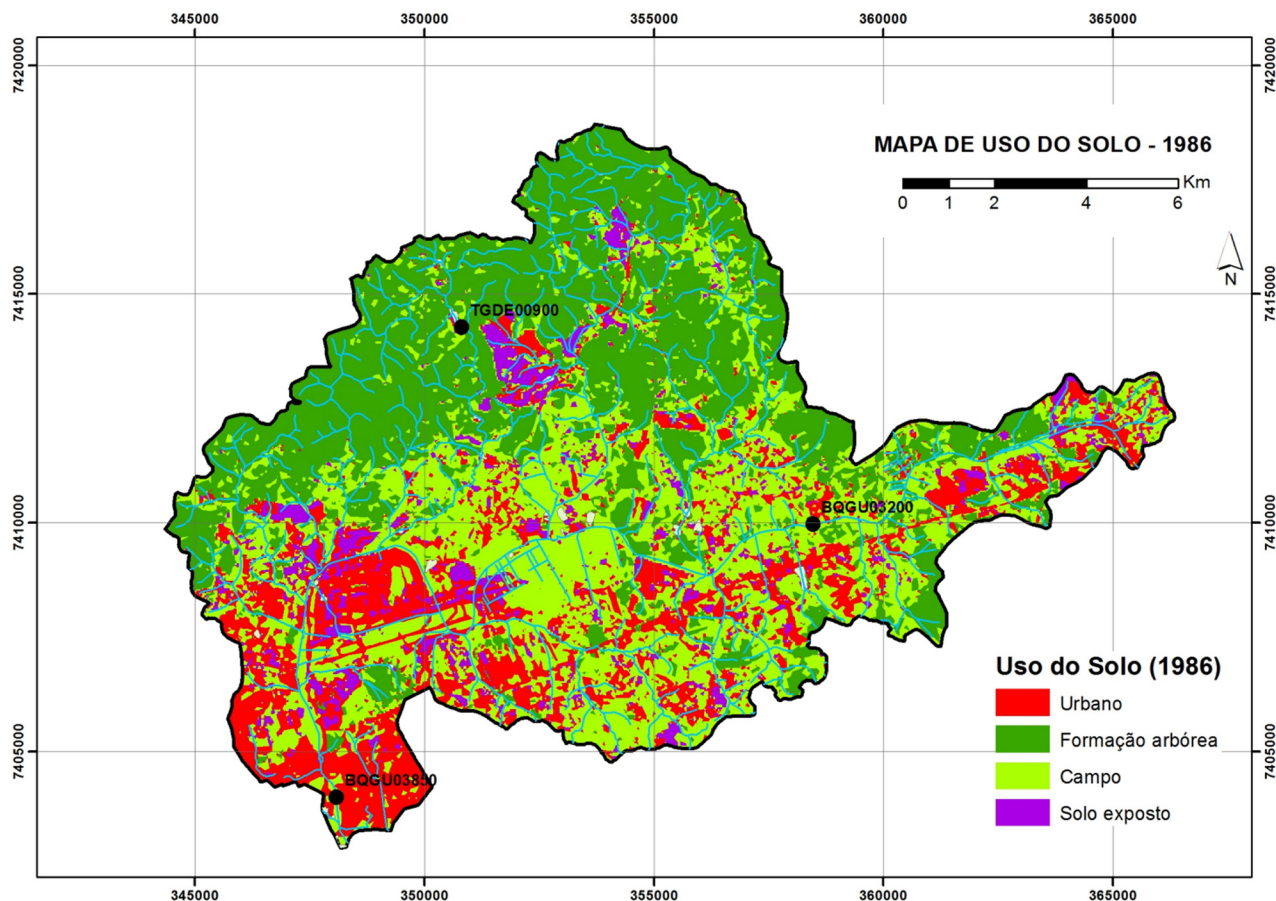


Figura 17: Mapa de uso da terra, em 1986, da Bacia Hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu.
Figure 17: Map of land use in 1986, of the Baquirivu-Guaçu River Basin.

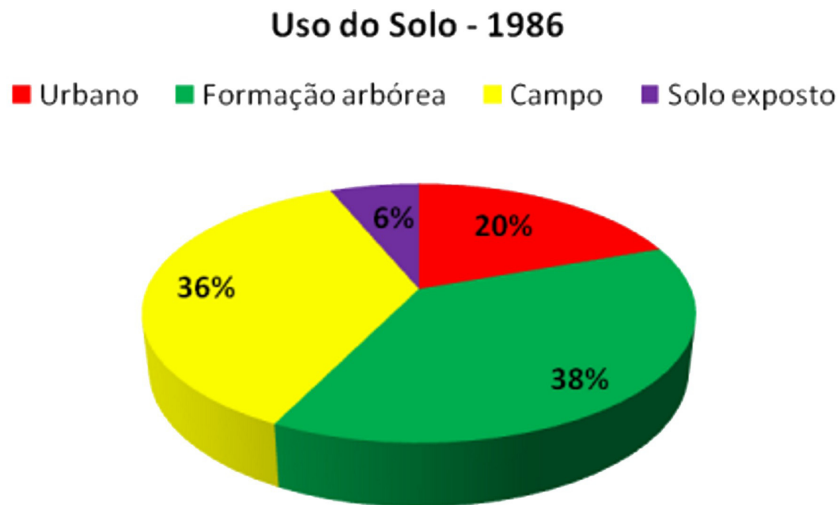


Figura 18: Gráfico de área em porcentagem (%), equivalente às classes de uso da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu, correspondente ao ano de 1986. Fonte: Imagem LANDSAT-5, de 02 de maio de 1986.

Figure 18: Graph of area in percentage (%), equivalent to classes of land use in the Baquirivu-Guaçu River Basin, corresponding to the year 1986 Source: Image LANDSAT-5, from May 2, 1986.

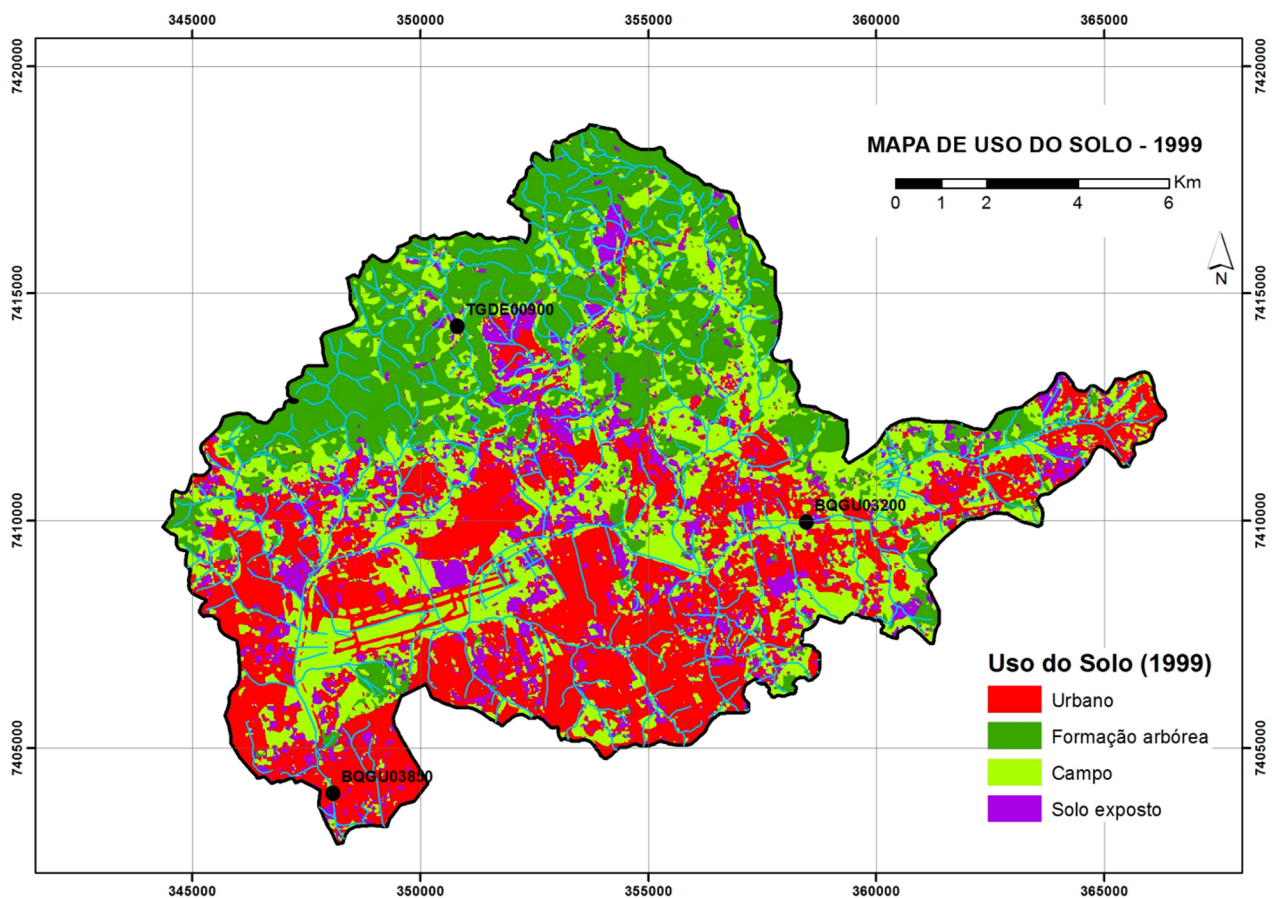


Figura 19: Mapa de uso da terra, em 1999, da Bacia Hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu.

Figure 19: Map of land use in 1999, to the Baquirivu-Guaçu River Basin.

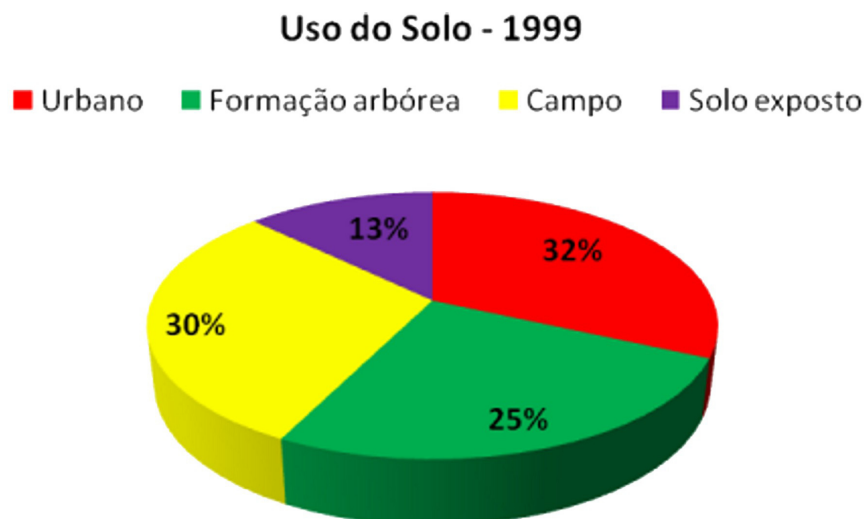


Figura 20: Área em porcentagem (%), equivalente às classes de uso da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu, correspondente ao ano de 1999. Fonte: Imagem LANDSAT, de 02 de maio de 1999.

Figure 20: Area in percentage (%), equivalent to the classes of land use in the Baquirivu-Guaçu River Basin, corresponding to the year 1999 Source: LANDSAT image of May 2, 1999.

O mapa de uso da terra de 2006 (Figura 21) mostra que as áreas urbanas se consolidaram, diminuindo as manchas de solo exposto. Já as áreas de campo teve um grande aumento devido ao avanço sobre as áreas com formação arbórea na parte norte. A porcentagem da área equivalente a cada classe de uso da terra para este ano verifica-se na Figura 22.

Em 2011 (Figura 23), destaca-se o aumento da área de formação arbórea e a diminuição do campo. Isto se deve a criação das unidades de conservação ambiental APA Cabuçu-Tanque Grande, Estação Ecológica do Tanque-Grande, Parque Natural Municipal da Cultura Negra Sítio da Candinha e Parque Estadual do Itaberaba. Na Figura 24 é possível observar que a área urbana teve um pequeno aumento, provavelmente em virtude da diminuição das áreas de solo exposto.

Os parâmetros analisados (coliformes termotolerantes, demanda química de oxigênio e fósforo) que se mostraram acima dos valores máximos permitidos ao longo do período abrangido (1983 – 2012), têm seus altos índices relacionados às modificações do uso da terra.

As classes de uso da terra formação arbórea e campo cederam espaço para a classe urbana, sem que, na mesma velocidade a infraestrutura sanitária contemplasse a coleta e o tratamento dos esgotos domésticos e dos despejos líquidos industriais.

A estação de tratamento de esgoto do município de Arujá começou a operar no segundo semestre de 2004 e os resultados obtidos evidenciam que o seu efeito, por enquanto, foi apenas o de desacelerar o ritmo de degradação da água (Figura 25).

Já no município de Guarulhos existem duas estações de tratamento de esgoto em operação, a ETE São João que começou a operar em 2010 e a ETE Bonsucesso em 2011, ambas situadas na margem direita da bacia e na região que possui a maior parte da formação arbórea. Na margem esquerda está localizada a zona industrial de Cumbica, onde está sendo implantado o sistema de tratamento de esgoto Várzea do Palácio e Cumbica/Pimentas. Como consequência disso, percebe-se que a média anual do IQA piorou entre os anos 2011 e 2012 (Figura 26).

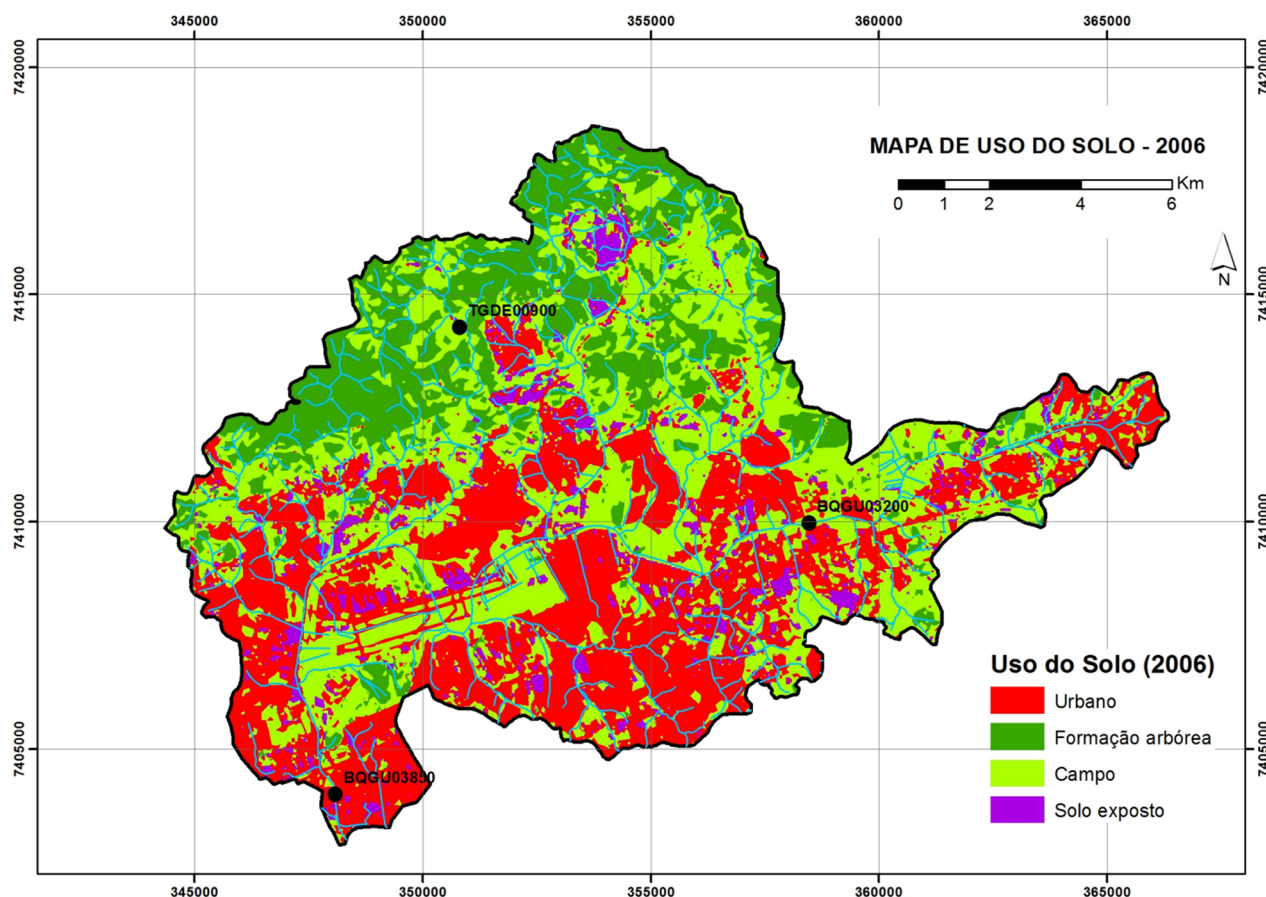


Figura 21: Mapa de uso da terra, em 2006, da Bacia Hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu.
Figure 21: Map of land use in 2006, in the Baquirivu-Guaçu River Basin.

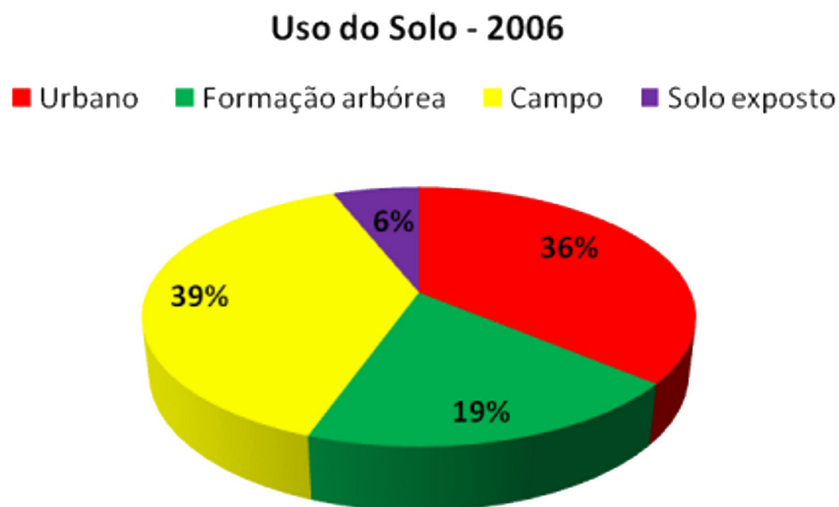


Figura 22: Gráfico de área em porcentagem (%), equivalente às classes de uso da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu, correspondente ao ano de 2006. Fonte: Imagem LANDSAT-5, de 02 de maio de 2006.
Figure 22: Graph of area in percentage (%), equivalent to the classes of land use in the Baquirivu-Guaçu River Basin, corresponding to the year 2006. Source: Image LANDSAT-5, from May 2, 2006.

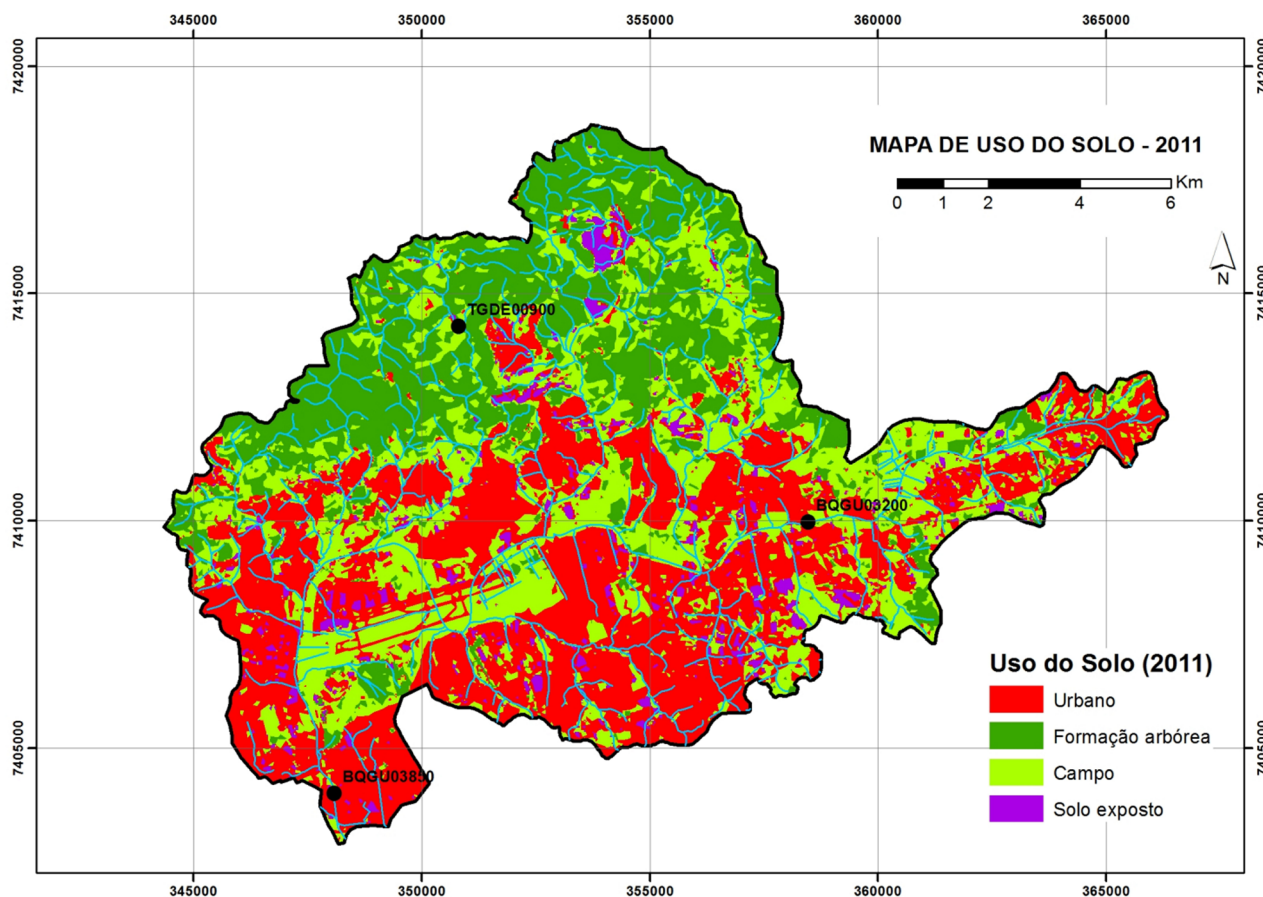


Figura 23: Mapa de uso da terra, em 2011, da Bacia Hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu.
Figure 23: Map of land use in 2011, in the Baquirivu-Guaçu River Basin.

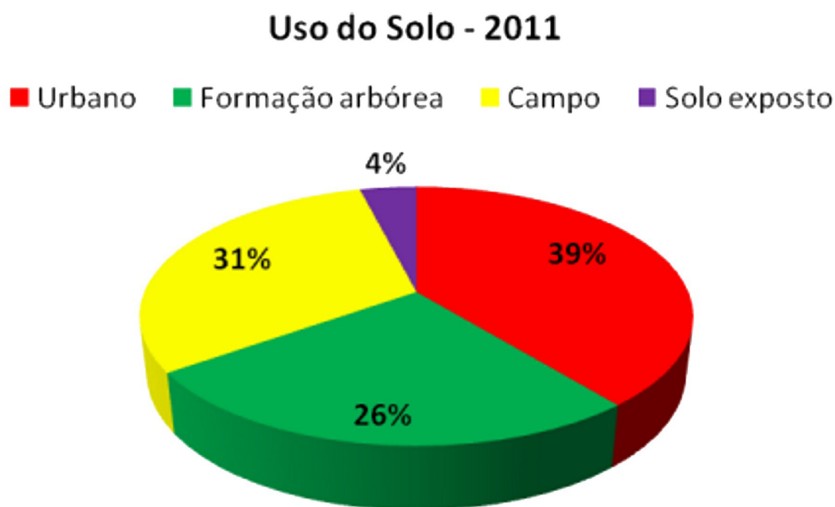


Figura 24: Gráfico de área em porcentagem (%), equivalente às classes de uso da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu, correspondente ao ano de 2011. Fonte: Imagem LANDSAT-5, de 02 de maio de 2011.
Figure 24: Graph of area in percentage (%), equivalent to the classes of land use in the Baquirivu-Guaçu River Basin, corresponding to the year 2011. Source: Image LANDSAT-5, from May 2, 2011.

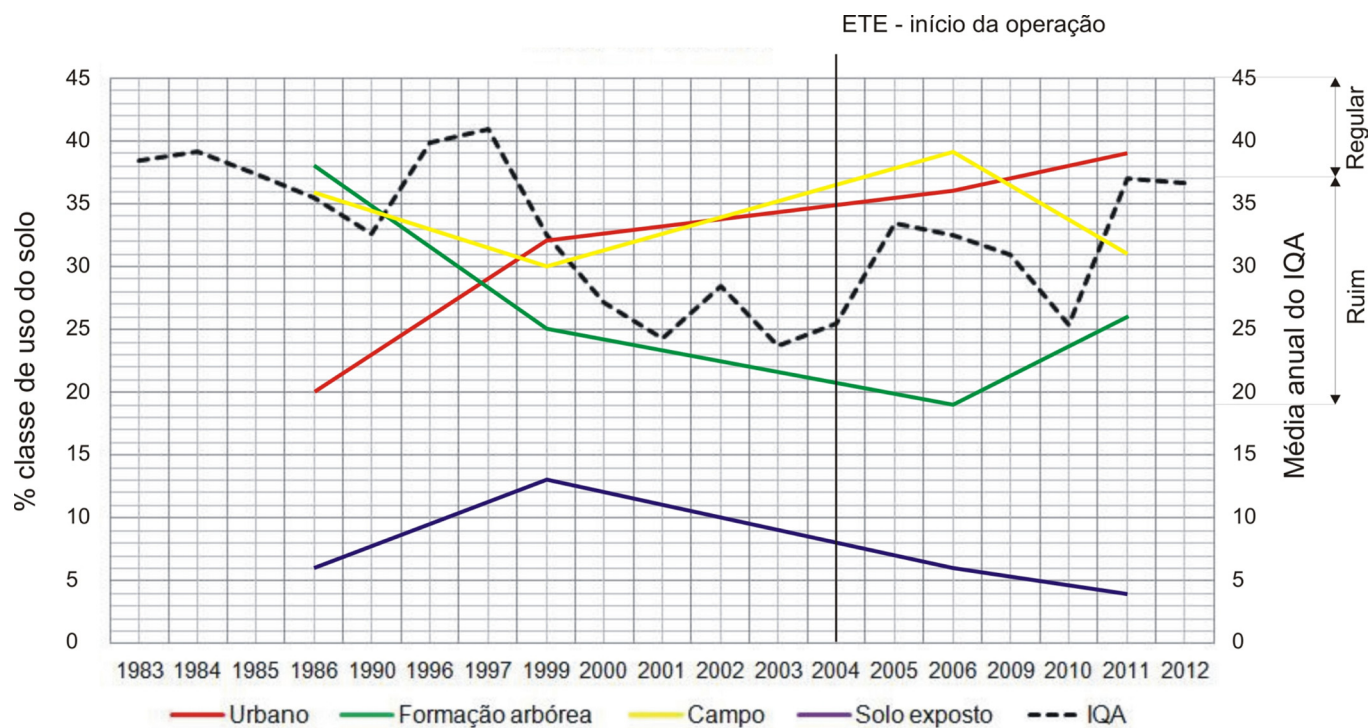


Figura 25: Relação entre as classes de Uso do Solo e os Índices de Qualidade das Águas no ponto de monitoramento BQGU03200.

Figure 25: Relationship between Use of Soil classes and Water Quality Index in point BQGU03200 monitoring.

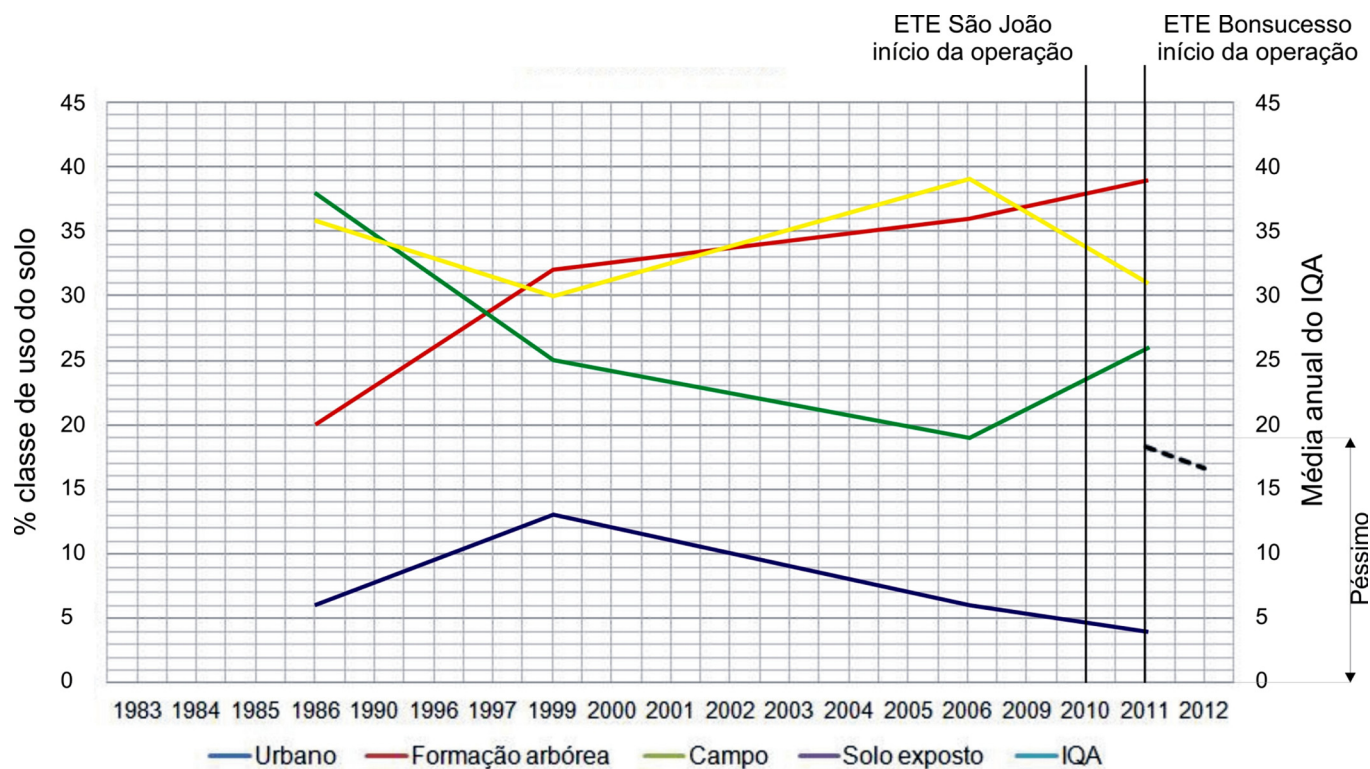


Figura 26: Relação entre as classes de Uso de Solo e os Índices de Qualidade das Águas no ponto de monitoramento BQGU03850.

Figure 26: Relationship between Use of Soil classes and Water Quality Indices in point BQGU03850 monitoring.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Bacia do Rio Baquirivu-Guaçu tem 74% do território alterado por atividades antrópicas. A área ocupada por usos urbanos aumentou 19% entre 1986 e 2012, e demonstra que o processo de ocupação da região continua.

No período analisado, o Índice de Qualidade de Água (IQA) piorou nos pontos de monitoramento utilizados pela CETESB.

A análise entre a evolução do uso da terra e a qualidade da água demonstra as consequências do processo inadequado de crescimento urbano na bacia e que as fontes poluidoras domésticas e industriais representam considerável risco à qualidade das águas, demonstrando que as obras de saneamento realizadas não foram eficazes na contenção de cargas poluidoras.

Os métodos e as técnicas empregados mostraram-se eficazes para a interpretação dos resultados obtidos, principalmente quando analisados de forma integrada, por meio de estudos estatísticos. E, as concentrações de variáveis indicadoras de qualidade da água não mostraram, de maneira geral, grande influência das chuvas.

É oportuno registrar que este estudo mostrou a necessidade de continuação e monitoramento constante da bacia para possibilitar uma melhor compreensão do quadro atual, mecanismos e impactos advindos das atividades humanas.

A análise integrada da evolução do uso da terra e a qualidade da água mostrou-se uma eficiente ferramenta de monitoramento da bacia hidrográfica podendo auxiliar na sua gestão e atingiu satisfatoriamente os objetivos pretendidos por esta pesquisa.

AGRADECIMENTO

A autora deste artigo agradece a Universidade Guarulhos pela oportunidade de desenvolver esta pesquisa por meio da Pesquisa Científica Docente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVERK, G. Koppen's climate classification map of Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v.66, n.6, p.711-728, 2013.

ANDRADE, J.B.; OLIVEIRA, T.S. Análise espaço-temporal do uso da terra em partes do semi-árido cearense. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Visçosa, v.28, n.2, p. 393-402, 2004.

BERTAIZI, M. H.; ASSAF, E. M.; SANTOS, S. A. M. O sistema de informação geográfica (SIG) como instrumento de percepção ambiental e a construção de material didático de apoio ao estudo das bacias hidrográficas. **Revista Eletrônica de Ciências**, São Carlos, n. 49. 2011. Disponível em < http://www.cdcc.sc.usp.br/ciencia/artigos/art_49/sig.html >

CAMPOS, D. C. **Inundações: problemas ou fenômenos naturais? A ocupação das várzeas dos principais rios no Alto Tietê e a reprodução deste modelo urbano na Bacia do Rio Baquirivu-Guaçu, Guarulhos, SP**. 2011. 224f. Dissertação (Mestrado em Análise Geoambiental) – Universidade Guarulhos, Guarulhos, 2011.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo, SP**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 1983 – 2011.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Índices de qualidade da água**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/108-indices-de-qualidade-das-aguas>>. Acesso em 20 de mar. de 2012.

EMBRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE. **Sistemas Orbitais de Monitoramento e Gestão Territorial**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2009. Disponível em: <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 12 mar. 2010.

EMPLASA - EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO S/A. **Atlas Temático da Sub-Região Alto Tietê – Cabeceiras**. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, 2002.

GEOTEC. **Curso avançado ENVI**. Porto Alegre, 2007. [Apostila – Curso ENVI – GEOTEC Inovação em GIS].

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **SPRING: Tutorial de Geoprocessamento**.

Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/index.html>>. Acesso em 10 ago. 2012.

MORAES, A.J. **Manual para avaliação da qualidade da água. Curso de Especialização em Educação Ambiental e Recursos Hídricos: perspectivas para o século XXI.** São Carlos: RIMA, 2001. 44p.

OLIVEIRA, A.M.S.; ANDRADE, M.R.M.; QUEIROZ, W.; SATO, S.E. **Diagnóstico Ambiental para o Manejo Sustentável do Núcleo Cabuçu do Parque Estadual da Cantareira e Áreas Vizinhas do Município de Guarulhos.** Guarulhos: Universidade Guarulhos, 2005. 109p. 2v. Mapas. (Relatório FAPESP).

PARANHOS FILHO, A.C.; LASTORIA, G.; TORRES, T.G. **Sensoriamento remoto ambiental aplicado: introdução as geotecnologias.** Campo Grande: Ed. UFMS, 2008. 200p.

PIASENTIN, A.M. **Índice de qualidade da água – IQA da bacia contribuinte do reservatório Tanque Grande, município de Guarulhos, SP.** 2009. 165p. Dissertação (Mestrado em Análise Geoambiental) – Centro de Pós-Graduação, Pesquisa e Extensão, Universidade Guarulhos, Guarulhos, 2009.

QUEIROZ, W. **Impactos Geoambientais da ocupação urbana na microbacia do Córrego Taquara do Reino – Bairro Novo Recreio, município de Guarulhos, SP.**

2005. 26p. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental) – Centro de Pós-Graduação, Pesquisa e Extensão, Universidade Guarulhos, Guarulhos, 2005.

ROSS, J.L.S.; MOROZ, I.C. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo.** Laboratório de Geomorfologia. Departamento de Geografia da FFLCH-USP/Laboratório de Cartografia Geotécnica – Geologia Aplicada do IPT/FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 1997. Mapas e Relatório. 64p.

SANTOS, S.A.D. **Tanque Grande: um espaço em transformação. Estudo da região do Tanque Grande – Guarulhos: área de proteção de mananciais.** 2005. 160p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

SPERLING, M.V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Minas Gerais: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 452p.

TUNDISI, J.G. Bacia Hidrográfica como Laboratório Experimental para o Ensino de Ciências, Geografia e Educação Ambiental. In: SCHIEL, D.; MASCARENHAS, S.; SILVA, N.V.; SANTOS, A.M. (Eds) **O Estudo de Bacias Hidrográficas: Uma Estratégia para Educação Ambiental.** São Carlos: Rima, 2003. p.3-8.