



ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O CRESCIMENTO POPULACIONAL DA BARRA DA TIJUCA E A DEGRADAÇÃO DO COMPLEXO LAGUNAR DE JACAREPAGUÁ NOS ÚLTIMOS 30 ANOS

Ana Beatriz Steel Pellegrini – anapellegrini@poli.ufrj.br

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Engenharia Ambiental

Av. Athos da Silveira Ramos 149, Centro de Tecnologia - Bloco A, 2º andar - sala DAPG,
Cidade Universitária

CEP: 21941-909 - Rio de Janeiro - RJ

Magali Christe Cammarota – christe@eq.ufrj.br

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Departamento de Engenharia Bioquímica

Av. Athos da Silveira Ramos 149, Centro de Tecnologia - Bloco E, sala 203, Cidade
Universitária

CEP: 21941-909 - Rio de Janeiro - RJ

Resumo: Neste estudo avaliou-se a qualidade das águas das Lagoas de Jacarepaguá, Marapendi, Camorim e Tijuca, que integram o Complexo Lagunar de Jacarepaguá, na Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, utilizando dados de monitoramento das águas das lagoas, realizado pelo INEA, no período de 1983 a 2013. Concomitantemente, foi realizado um levantamento de informações dos censos demográficos de 1980 a 2010 realizados pelo IBGE e de dados disponibilizados pelo IPP, pertencente à Prefeitura do Estado do Rio de Janeiro. Os dados obtidos foram empregados para caracterizar o crescimento populacional e as condições de saneamento, além de aspectos sociais e de renda da região. O Suporte a decisão para objetivos múltiplos (MultipleObjectiveDecisionSupport [MODS]) foi o método utilizado para correlacionar a pressão antropogênica com a degradação da qualidade da água do complexo lagunar. O teste t de Student foi empregado como ferramenta estatística. Analisaram-se 19 parâmetros físico-químicos, coletados em 8 estações de amostragem distribuídas pelo INEA nas quatro lagoas, conforme o nível de atividade humana. Concluiu-se que todas as lagoas encontram-se poluídas com base nos padrões de qualidade da água estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 para nitrogênio amoniacal, fósforo e sólidos suspensos totais, ultrapassados tanto no período de seca quanto de chuvas. Segundo os dados analisados, há uma forte correlação entre a pressão antropogênica e a poluição das lagoas do Complexo Lagunar de Jacarepaguá, expressa pelos altos níveis de nutrientes e sólidos suspensos e os baixos níveis de oxigênio dissolvido.

Palavras-chave: Monitoramento, Qualidade de Água, Lagoas, Crescimento populacional



COMPARATIVE STUDY BETWEEN BARRA DA TIJUCA POPULATION GROWTH AND JACAREPAGUA LAGOON COMPLEX DEGRADATION AT THE LAST 30 YEARS

Abstract: *In this study, we analyzed the water quality of the Jacarepagua, Marapendi, Camorim and Tijuca lagoons, that integrate the Lagoon Complex of Jacarepagua in Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, using the monitoring data of the waters of lakes, carried out by INEA in the period from 1983 to 2013. Concurrently, a survey information from 1980 to 2010 census conducted by the IBGE and the data provided by the IPP was held, belonging to City Hall State of Rio de Janeiro. The data were used to characterize the population growth and sanitation, and social aspects and income in the region under study. The Multiple Objective Decision Support (MODS) was the method used to correlate the anthropogenic pressure to the degradation of the lagoon complex water quality. The test t-Student was used as a statistical tool. The analyzes of 19 physicochemical parameters, collected on 8 sampling stations distributed by INEA in the four lagoons, as the level of human activity. It was concluded that all lakes are polluted, with water quality standards set by CONAMA Resolution 357/2005 for amoniacal nitrogen, phosphorus and total suspended solids exceeded in lagoons both drought as rainfall. According to the data analyzed, there is a clear correlation between anthropogenic pressure and pollution of the Lagoon Complex of Jacarepagua, expressed by high levels of nutrients and suspended solids and low levels of dissolved oxygen.*

Keywords: *Monitoring, Water Quality, Lakes, Population Growth.*

1. INTRODUÇÃO

Da totalidade da água existente no planeta, 97% é salgada, exigindo enormes investimentos para viabilizar seu consumo e mesmo sua utilização como insumo nos processos produtivos. Dos 3% restantes de água doce, 2,5% se encontra sob a forma de geleiras. Desse modo, somente 0,5% da oferta hídrica do planeta encontra-se disponível para consumo e parte dela está poluída (COPPETEC, 2013).

O Brasil apresenta uma grande dificuldade em gerir, monitorar e manter a qualidade de seus recursos hídricos devido a sua dimensão geográfica e a falta de recursos financeiros para uma completa fiscalização pelos Órgãos competentes, sendo a avaliação da qualidade das águas um fator relevante para o país.

Tendo em vista este contexto, foi criado o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), estabelecido pela Lei nº 9.433/97, conhecida como Lei das Águas, que tem por objetivo, segundo o Ministério do Meio Ambiente, “estabelecer um pacto nacional para a definição de diretrizes e políticas públicas voltadas para a melhoria da oferta de água, em quantidade e qualidade, gerenciando as demandas e considerando ser a água um elemento estruturante para a implementação das políticas setoriais, sob a ótica do desenvolvimento sustentável e da inclusão social”. A Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005, dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos d’água superficiais, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

O monitoramento dos parâmetros físicos, químicos e biológicos de qualidade da água torna-se um instrumento eficaz para assegurar que os recursos hídricos estão dentro dos padrões aceitáveis estabelecidos pelo Governo Federal e que os impactos ambientais quando detectados poderão ser corrigidos, de forma a restabelecer o equilíbrio natural dos corpos hídricos. Segundo a Resolução CONAMA 001/86, a análise dos impactos ambientais deve discriminar os impactos positivos e negativos (benéficos e adversos), diretos e indiretos, imediatos e a médio e longo prazos,



temporários e permanentes, seu grau de reversibilidade, suas propriedades cumulativas e sinérgicas, a distribuição dos ônus e benefícios sociais.

De acordo com Von Sperling (2005), uma bacia hidrográfica sob ação humana sofre uma série de consequências mais rapidamente que em áreas agricultáveis. A crescente urbanização e loteamentos causa a movimentação de terras devido às obras e torna o terreno menos permeável às águas. As partículas do solo buscam um caminho pelos fundos dos vales até chegar aos lagos e represas, sedimentando em seguida. A sedimentação ocasiona o assoreamento, a diminuição do volume útil dos corpos d'água e o crescimento de macrófitas, que deterioram o aspecto visual das lagoas. A drenagem pluvial urbana acarreta um transporte maior de nutrientes, o que contribui para o crescimento de algas nas lagoas. O principal fator de degradação está relacionado aos esgotos domésticos, que contêm nutrientes em grandes quantidades (nitrogênio e fósforo), presentes nas fezes, urina, alimentos e detergentes de uso residencial. A parcela de nutrientes oriunda dos esgotos é muito maior do que a proveniente da drenagem pluvial.

A região da Barra da Tijuca vem sofrendo uma enorme ocupação urbana desde a década de 70. Esse crescimento desenfreado não foi acompanhado, entretanto, de um planejamento em infraestrutura e desenvolvimento econômico sustentável. Há décadas, tem-se vivenciado que os esgotos domésticos estão sendo lançados *in natura* diretamente nos corpos hídricos, além de desmatamentos, retiradas de manguezais e faixas marginais de proteção das lagoas, para dar lugar a grandes empreendimentos imobiliários, shopping centers, centros empresariais, entre outros. Como consequência disso, observa-se a poluição do sistema lagunar, diminuição do espelho d'água, assoreamento e eutrofização das lagoas.

Tendo em vista a necessidade de se avaliar a qualidade das águas e sua importância para o desenvolvimento sustentável, este trabalho tem como objetivo principal avaliar a correlação entre a ocupação urbana desordenada e sem planejamento e os impactos ambientais relacionados como, por exemplo, a degradação da qualidade das águas do Complexo Lagunar de Jacarepaguá.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de Estudo

O Complexo Lagunar de Jacarepaguá situa-se no município do Rio de Janeiro e é formado por três lagoas principais: Tijuca, Jacarepaguá e Marapendi, e a de Camorim, situada entre as Lagoas da Tijuca e de Jacarepaguá.

O divisor de águas da bacia de drenagem do sistema é estabelecido pelas linhas da crista dos Maciços da Pedra Branca e da Tijuca. Com cerca de 280 km² de área, a bacia hidrográfica do Complexo Lagunar de Jacarepaguá é composta por diversos rios que descem as vertentes dessas montanhas e deságuam nas lagoas, que por sua vez se ligam ao mar pelo canal da Barra da Tijuca (ou canal da Joatinga), permitindo a troca de água com o mar, conforme apresentado na Figura 1.

A Lagoa de Jacarepaguá possui 3,7 km² de área, compreendendo um perímetro de 17,8 km e 102,8 km² de área de drenagem. Recebe afluência dos seguintes cursos d'água: Rio Guerengüê, Rio Monjolo, Arroio Pavuna, Rio Areal, Córrego Engenho Novo, Rio Pavuninha, Rio Passarinhos, Rio Caçambé, Rio Camorim, Rio do Marinho, Rio Ubaeté, Rio Firmino, Rio Calembá, Rio Cancela, Rio Vargem Pequena, Canal do Portelo, Rio Canudo e Canal do Cortado (INEA, 2015).

A Lagoa de Camorim possui 0,8 km² de área, com 91,7 km² de área de drenagem. Recebe afluência dos seguintes cursos d'água: Arroio fundo, Rio Banca da Velha, Rio Tindiba, Rio Pechincha, Riacho Palmital, Rio da Covanca, Rio Grande, Rio Pequeno, Rio Anil, Rio Sangrador, Rio Panela, Rio São Francisco, Rio Quitite e Rio Papagaio (INEA, 2015).

A Lagoa da Tijuca possui 4,8 km² de área, compreendendo um perímetro de 32,4 km, com 26 km² de área de drenagem. Recebe afluência dos seguintes cursos d'água: Rio das Pedras, Rio Retiro, Rio Carioca, Rio Muzema, Rio Itanhangá, Rio Leandro, Rio da Cachoeira, Rio Tijuca, Rio da Barra, Rio Gávea Pequena, Rio Jacaré e Córrego Santo Antônio (INEA, 2015).

A Lagoa de Marapendi possui 3,5 km² de área, compreendendo um perímetro de 33,4 km e recebe afluência do Rio das Piabas e do Canal das Taxas (INEA, 2015).

Figura 1 – Complexo Lagunar de Jacarepaguá



Fonte: Instituto Estadual do Ambiente – INEA, 2013

Os corpos d'água são classificados pelo INEA de acordo com os usos preponderantes. O complexo Lagunar de Jacarepaguá é enquadrado como apropriado para recreação de contato secundário, uso estético, preservação da flora e fauna, e de espécies destinadas à alimentação humana (DZ-0110.R-1, Feema). Os rios e canais da bacia contribuinte são classificados para preservação de flora e fauna e uso estético (DZ-0109-R-2, Feema).

Para fins de avaliação da qualidade de água dessas lagoas e das bacias contribuintes, utilizam-se os padrões recomendados pelo CONAMA, privilegiando-se, contudo, o critério de proteção das comunidades aquáticas (Resolução nº 357, de 17 de março de 2005). Assim, as lagoas e os rios contribuintes são enquadrados como: Classe 2 (das águas salobras) – para os pontos de amostragem localizados nas lagoas; Classe 2 (das águas doces) – para os pontos de amostragem localizados nos rios contribuintes da bacia hidrográfica.

2.2. Dados de qualidade de água e crescimento populacional

O estudo se baseia em dados referentes às análises da qualidade de água do Complexo Lagunar da Barra da Tijuca, realizadas no período de 1983 a 2013, disponibilizadas pelo INEA – Instituto Estadual do Ambiente, em amostras coletadas em oito estações de amostragem: dois pontos de coleta na Lagoa de Jacarepaguá (JC341 e JC342 - Latitudes: 22°58'47,48", 22°58'34,59"; Longitudes: 43°24'05,97", 43°22'52,85", respectivamente), três na Lagoa de Marapendi (MR361, MR363 e MR369 - Latitudes: 23°01'06,00", 23°00'36,48", 23°00'23,78"; Longitudes: 43°26'08,00", 43°23'32,65", 43°21'57,00", respectivamente), um na Lagoa de Camorim (CM320 - Latitude: 22°58'33,86" e Longitude: 43°21'54,60") e dois na Lagoa da Tijuca (TJ303 e TJ306 - Latitudes: 23°00'26,92", 22°59'55,02", Longitudes: 43°18'11,06", 43°19'06,78", respectivamente), conforme demonstrado na Figura 1.

Os parâmetros analisados neste estudo foram: alcalinidade, fósforo total, nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal, nitrogênio Kjeldahl total, oxigênio dissolvido, pH, coliformes termotolerantes, sólidos suspensos totais, turbidez, temperatura, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), metais e semi-metais, determinados conforme descrito no Standard Methods (INEA, 2015).

Concomitantemente, foi realizado um levantamento de informações dos censos de 1980 a 2010 realizados pelo IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e dos dados disponibilizados pelo Instituto Pereira Passos (IPP), pertencente à Prefeitura do Estado do Rio de



Janeiro. Os dados obtidos foram empregados para caracterizar o crescimento urbano (especialmente), o crescimento da população e as condições de saneamento, além de aspectos sociais e de renda.

2.3. Suporte a decisão para objetivos múltiplos (Multiple objective decision support- MODS)

O Suporte a decisão para objetivos múltiplos (*Multiple Objective Decision Support [MODS]*) é um método estruturado desenvolvido por Hajkowicz *et al.* (2000) para tomada de decisão em situações que envolvem múltiplos e conflitantes critérios. Na forma mais básica, um modelo MODS consiste de um conjunto de critérios, uma série de pesos indicando a importância destes, um conjunto de alternativas e uma série de indicadores de desempenho que demonstram o resultado de cada alternativa em relação a cada critério.

O objetivo do método MODS é associar um conjunto de valores cardinais ou ordinais a uma série de objetivos/critérios para indicar a sua importância relativa. Esses valores são então usados pelo modelo MODS na avaliação subsequente das alternativas. No presente estudo, este método foi empregado com base no trabalho de Reopanichkul *et al.* (2009), com algumas modificações.

O estudo de Reopanichkul *et al.* (2009) refere-se a amostras de água coletadas em três pontos distintos na costa da Tailândia (Phuket, Phi Phi e Surin), em estações seca e chuvosa. Esses pontos de amostragem foram selecionados por apresentarem forte ação antropogênica local (devido à intensificação do turismo na região) e diferentes níveis de poluição, baseados na presença de emissários de esgoto e canais ou córregos que coletam esgotos não tratados, águas residuais e fluxos de água superficiais durante as chuvas.

A técnica primeiramente requer a atribuição de valores de peso (no caso de 1 a 10) para os critérios considerados relevantes para determinar a pressão antropogênica esperada. Em seguida, uma escala ordinal é criada (com valores de 1 a 5) para cada critério de forma a refletir a importância relativa para o nível de poluição. Uma pontuação mais alta para ambos, critério e peso, indica uma importância maior na determinação da pressão antropogênica esperada.

Com base nos critérios e escalas propostos por Reopanichkul *et al.* (2009), no presente trabalho foram adotados os valores apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Pesos e escalas para determinar a pressão antropogênica nas Lagoas.

| Critério | Peso do Critério | Escala de pressão antropogênica |
|--------------------------------|------------------|--|
| Lançamento de esgotos na Lagoa | 10 | 1= nenhum esgoto lançado na lagoa, 5= muito esgoto lançado na lagoa |
| Nível de atividade humana | 5 | 1= baixa atividade humana, 5= alta atividade humana |
| Nível de turbidez natural | 4 | 1=baixa turbidez, 5=alta turbidez |

A profundidade da lagoa não foi considerada como critério por não haver dados disponíveis. Em seguida, um nível relativo de pressão antropogênica esperado é calculado pela Equação (1). A quantidade e qualidade da descarga de esgotos ou a provável entrada de poluentes foram alocados com os pesos mais altos e considerados como sendo o fator mais importante na determinação da pressão antropogênica. Estes foram seguidos pelo nível de atividade humana e turbidez. Após calcular a pressão antropogênica esperada, os locais com pressão antropogênica maior que 3 foram classificados como poluídos.

(1)

$$P = \sum (C^{1-n} * W^{1-n}) / \sum W^{1-n}$$

Onde:

P = pressão antropogênica esperada,

C = escala para o critério 1 a n,

W = peso atribuído ao critério 1 a n.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

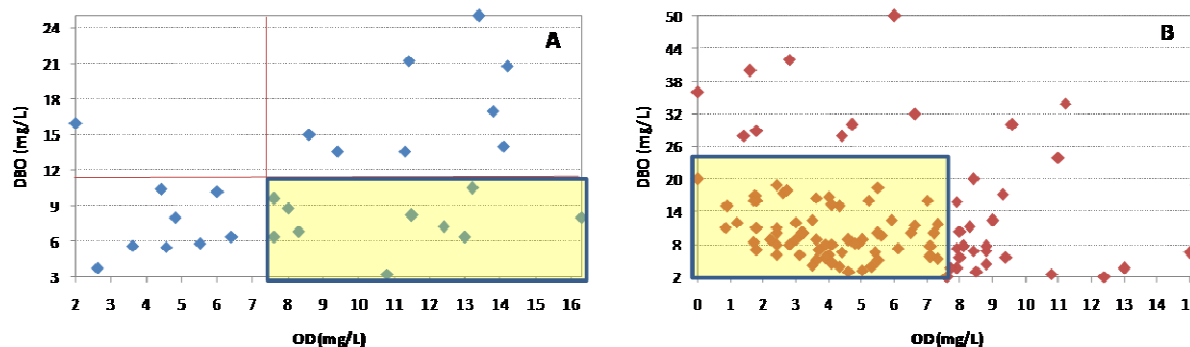
3.1. Análise dos parâmetros monitorados nas lagoas no período de 1983 a 2013

Uma análise dos valores de pH e alcalinidade das Lagoas do Complexo de Jacarepaguá mostra uma tendência de queda, ao se comparar períodos de amostragem de 1983 a 1991 e de 2005 a 2013, com menores valores de pH coincidindo com menores valores de alcalinidade. A distribuição entre as três formas de alcalinidade na água (bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos) é função do pH. Para valores acima de 9,4 predominam hidróxidos e carbonatos; em pH entre 8,3 e 9,4, carbonatos e bicarbonatos; e para pH entre 4,4 e 8,3, apenas bicarbonatos. Assim, na maioria dos ambientes aquáticos a alcalinidade é devida exclusivamente à presença de bicarbonatos. Valores elevados de alcalinidade estão associados a processos de decomposição da matéria orgânica e à alta taxa respiratória de microrganismos, com liberação e dissolução do gás carbônico (CO_2) na água. A maioria das águas naturais apresenta valores de alcalinidade na faixa de 30 a 500 mg/L de CaCO_3 (FUNASA, 2014; Von SPERLING, 2005).

Enquanto a acidez decorre da presença de gás carbônico livre na água. A origem da acidez tanto pode ser natural (CO_2 da atmosfera ou CO_2 e H_2S da decomposição de matéria orgânica) como antropogênica (despejos industriais, passagem da água por minas abandonadas). A distribuição das formas de acidez também é função do pH da água. Em $\text{pH} > 8,2$ – CO_2 livre ausente; pH entre 4,5 e 8,2 – acidez carbônica; $\text{pH} < 4,5$ – acidez por ácidos minerais fortes, geralmente resultantes de despejos industriais (FUNASA, 2014). Portanto, os valores de pH e alcalinidade observados nas lagoas nos últimos anos podem ser relacionados à presença de carbonatos e bicarbonatos formados a partir do CO_2 gerado na degradação de matéria orgânica. O CO_2 em contato com a água forma ácido carbônico (H_2CO_3), que se decompõe em bicarbonato e carbonato, liberando H^+ no meio e reduzindo o pH. Processos oxidativos (como a nitrificação) também tendem a consumir alcalinidade e contribuir para valores mais baixos de pH. A nitrificação libera prótons, levando a uma diminuição do pH (ANTILEO *et al.*, 2013 *apud* ZOPPAS *et al.*, 2016).

Quando se correlacionam os dados de oxigênio dissolvido (OD) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO) separando os dados coletados de 1983 a 1991 dos dados coletados de 2007 a 2013, verifica-se que no primeiro período, antes do aumento populacional, os valores de OD se concentram no quartil com $\text{OD} > 7,2$ mg/L e $\text{DBO} < 11$ mg/L (Figura 2). Já nos últimos anos, os dados se concentram no quartil com $\text{OD} < 7,6$ mg/L e $\text{DBO} < 24$ mg/L. Deve-se ressaltar também que nos quartis de maior DBO, no período de 1983 a 1991, a DBO variou de 11 a 25 mg/L, enquanto no período de 2007 a 2013 a DBO variou de 24 a 50 mg/L. Ou seja, a DBO nas situações mais críticas praticamente dobrou, acentuando os impactos causados nas lagoas.

Figura 2 – Correlação entre valores de OD e DBO das Lagoas do Complexo de Jacarepaguá nos períodos de 1983-1991 (A) e 2007-2013 (B).





A redução da concentração de OD ocorre como consequência da atividade respiratória das bactérias para a estabilização de matéria orgânica biodegradável. Portanto, estes dois parâmetros estão interligados e a avaliação da presença de matéria orgânica na água pode ser feita pela medição do consumo de oxigênio. Os valores observados para as lagoas mostram valores médios de OD mais baixos nos últimos anos e muitas vezes menores que o mínimo permitido para águas salobras da classe 2 (4 mg/L, segundo a Resolução Conama nº 357/2005). Não existem valores limite para a DBO nesta Resolução, mas na literatura se preconiza que em ambientes naturais não poluídos, a concentração de DBO é baixa (1 a 10 mg/L) (FUNASA, 2014). Verifica-se, na Figura 2, que quase todos os pontos amostrados nas lagoas no período de 2000 a 2007 atingem valores bem mais elevados, indicando forte poluição orgânica.

Os maiores aumentos em termos de DBO, em um corpo d'água, são provocados por despejos de origem predominantemente orgânica. A presença de um alto teor de matéria orgânica pode induzir ao completo esgotamento do oxigênio na água, provocando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática. Um elevado valor da DBO pode indicar um incremento da microflora presente e interferir no equilíbrio da vida aquática (CETESB, 2008). Para a manutenção da vida aquática aeróbia são necessários teores mínimos de oxigênio dissolvido de 2 a 5 mg/L (FUNASA, 2014).

Correlacionando todos os dados de coliformes termotolerantes e OD amostrados nas lagoas, os dados coletados de 1983 a 1992 se concentram no quartil com valores de OD > 9 mg/L e coliformes até $2,4 \times 10^4$ NMP/100 mL. Enquanto os dados de 2007 a 2013 se concentram no quartil com OD < 8 mg/L e coliformes até $8,0 \times 10^4$ NMP/100 mL. Esta correlação não só comprova que o aumento da população microbiana reduz as concentrações de OD como também que nos anos mais recentes houve uma contribuição maior da descarga de esgoto sanitário nas lagoas, aumentando consideravelmente a população de coliformes e consequentemente reduzindo os níveis de OD. Coliformes termotolerantes podem ocorrer em águas com altos teores de matéria orgânica, como efluentes industriais, ou em material vegetal e solo em processo de decomposição, e também em águas de regiões tropicais ou subtropicais sem qualquer poluição evidente por material de origem fecal. No entanto, a presença de coliformes termotolerantes em águas de regiões de clima quente não pode ser ignorada, pois não pode ser excluída, nesse caso, a possibilidade da presença de microrganismos patogênicos (CETESB, 2008).

A presença de microrganismos patogênicos na água indica sua contaminação a partir do solo, por descargas intencionais de esgoto ou liberados de matéria orgânica de animais em decomposição. As bactérias do grupo coliformes, por exemplo, sobrevivem apenas durante curtos períodos de tempo na água e, de modo geral, admite-se que, quando presentes, a contaminação é recente, porém alguns efluentes são tão poluídos com matéria orgânica que as bactérias coliformes não apenas sobrevivem, mas podem se manter como populações significativas à custa de uma lenta multiplicação (FUNASA, 2014). Pela Resolução Conama nº 357/2005, o número de coliformes termotolerantes em águas salobras de classe 2 “não deve exceder um limite de 2500 por 100 mL em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral.” Os valores obtidos nos últimos anos excede e muito este limite, comprovando o despejo de matéria orgânica, provavelmente de origem fecal.

Com relação aos nutrientes, observa-se no primeiro período (1983 a 1992) maiores concentrações de Nitrogênio Kjeldahl Total (NKT) e Nitrogênio amoniacal, seguidas de nitrito e nitrato para todas as lagoas. No entanto, ao se considerar as médias e desvios-padrão para o segundo período (2001 a 2013), percebe-se um agravamento da poluição. De um período para o outro, ocorrem aumentos de até 522% das concentrações de N amoniacal. Este elevado aumento da concentração de N amoniacal decorre do aumento de matéria orgânica nitrogenada proveniente dos esgotos domésticos, mais acentuado nas lagoas de Marapendi e Tijuca. O aumento percentual extremamente elevado de nitrito (367% e 1000%) nas Lagoas de Camorim e Marapendi de um período para outro demonstra que houve um processo de nitrificação, sendo a amônia, decorrente da presença de esgotos domésticos, oxidada a nitrito e nitrato.

As concentrações de N amoniacal são consideravelmente maiores que o limite recomendado na Resolução Conama nº 357/2005 para águas salobras da classe 2 (0,7 mg/L). A amônia é bastante tóxica para os peixes, muitas espécies morrem em concentrações ≥ 5 mg/L. A

amônia também reduz o OD das águas por oxidação biológica, conhecida como DBO de segundo estágio (CETESB, 2008). Tal resultado indica a presença de matéria orgânica nitrogenada (medida como NKT) nas lagoas. Além de ser fortemente encontrado na natureza, na forma de proteínas e outros compostos orgânicos, o nitrogênio tem uma significativa origem antropogênica, principalmente em decorrência do lançamento em corpos d'água de despejos domésticos e industriais, de criatórios de animais e de fertilizantes. Os esgotos sanitários constituem, em geral, a principal fonte, lançando nas águas nitrogênio orgânico, devido à presença de proteínas, e nitrogênio amoniacal, pela hidrólise da uréia na água (FUNASA, 2014; CETESB, 2008). Pode-se associar as etapas de degradação da poluição orgânica por meio da relação entre as formas de nitrogênio. O predomínio de N amoniacal indica uma zona de decomposição ativa (CETESB, 2008).

Ao se analisar as médias de concentração de fósforo nas lagoas em dois períodos de tempo, no início do período estudado e em anos mais recentes, verificam-se valores 30 a 279% maiores nos anos mais recentes. A presença de fósforo na água está relacionada a processos naturais (dissolução de rochas, carreamento do solo, decomposição de matéria orgânica, chuva) ou antropogênicos (lançamento de esgotos, detergentes, fertilizantes, pesticidas). Em águas naturais não poluídas, as concentrações de fósforo situam-se na faixa de 0,01 a 0,05 mg/L (FUNASA, 2014).

Os valores encontrados nas lagoas estão acima do padrão para águas salobras de classe 2 (0,186 mg/L como fósforo total) pela Resolução Conama nº 357/2005, principalmente no período de amostragem mais recente. Quando excessivo em ambientes aquáticos, o fósforo tem sido considerado responsável por problemas causados pela eutrofização. O transporte de fósforo de solos para ambientes aquáticos pode criar condições nutricionais favoráveis ao crescimento acima do normal de fito e zooplâncton, além de plantas aquáticas superiores. Este crescimento exagerado de biomassa causa aumento na DBO, alteração de pH, turbidez e liberação de toxinas, que podem causar a morte de peixes e animais (NOVAIS&SMYTH, 1999 apud LOURES *et al.*, 2006).

Os sólidos suspensos totais (SST) obtidos durante todo o período de amostragem se comportam de forma semelhante nas lagoas. Enquanto no período mais antigo de amostragem (de 1983 a 1992) verifica-se média e desvio-padrão de 33 ± 20 mg/L, nos últimos 10 anos (2001 a 2013) é de 57 ± 27 mg/L, ou seja, um aumento de 42%.

Na Tabela 1 são apresentados os valores médios dos parâmetros analisados nas amostras coletadas no período de 1983 a 2013 para as quatro lagoas, juntamente com os padrões de qualidade da água estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas salobras classe 2. Observa-se que os parâmetros nitrogênio amoniacal, fósforo, sólidos suspensos totais e coliformes termotolerantes foram ultrapassados em todas as lagoas, tanto no período de seca quanto de chuvas, assim como a concentração de oxigênio dissolvido (OD) na Lagoa de Camorim no período de chuvas.

Tabela 1 – Parâmetros da qualidade da água medidos nas estações de seca e chuva para as quatro lagoas em estudo.

| Parâmetro | Estação | Média \pm desvio-padrão ¹ | | | | Padrão ² |
|---|---------|--|-----------------|-----------------|------------------------------|---------------------|
| | | Jacarepaguá | Camorim | Marapendi | Tijuca | |
| OD (mg/L) | Seca | 8,7 \pm 4,8 | 4,7 \pm 4,1 | 8,3 \pm 4,6 | 5,5 \pm 4,2 | ≥ 4 |
| | Chuva | 6,2 \pm 3,6 | 3,8 \pm 3,4 | 6,2 \pm 3,6 | 4,8 \pm 2,6 | |
| N amoniacal (mg/L) | Seca | 2,31 \pm 2,79 | 3,02 \pm 2,88 | 2,88 \pm 2,84 | 1,94 \pm 1,60 ³ | 0,70 |
| | Chuva | 1,50 \pm 2,71 | 2,99 \pm 2,69 | 1,95 \pm 2,46 | 2,50 \pm 2,50 | |
| Colif. termotolerantes (10 ³ NMP/100 mL) | Seca | 41,3 \pm 63,9 | 291,3 \pm 400 | 37,2 \pm 57,5 | 133,3 \pm 172,3 | $\leq 2,5$ |
| | Chuva | 33,5 \pm 61,8 | 293,4 \pm 500 | 22,9 \pm 42,2 | 92,4 \pm 125,9 | |
| DBO (mg/L) | Seca | 18 \pm 12 | 17 \pm 11 | 10 \pm 4 | 11 \pm 8 | -- |
| | Chuva | 11 \pm 9 | 20 \pm 16 | 11 \pm 7 | 10 \pm 8 | |
| Fósforo (mg/L) | Seca | 0,98 \pm 0,34 | 1,25 \pm 0,27 | 0,94 \pm 0,44 | 0,71 \pm 0,42 | 0,186 |
| | Chuva | 1,01 \pm 0,36 | 1,03 \pm 0,41 | 0,96 \pm 0,49 | 0,72 \pm 0,29 | |
| SST (mg/L) | Seca | 49 \pm 22 | 54 \pm 32 | 52 \pm 19 | 68 \pm 32 | Visual/ ausente |
| | Chuva | 44 \pm 28 | 53 \pm 17 | 50 \pm 14 | 64 \pm 26 | |

¹ Valores médios nas estações de seca e chuva no período de 1983 a 2013. ² estabelecido pela CONAMA 357/2005 para águas salobras classe 2. ³ Valores em vermelho estão fora dos padrões da CONAMA 357/2005.



3.2. Teste t de Student

Devido à grande variabilidade dos dados amostrados no período de 1983 a 2013 para os diversos parâmetros de qualidade da água, conforme apresentado na Tabela 1, adotou-se o Teste t de Student para uma análise estatística dos valores de cada um dos parâmetros analisados nas quatro lagoas em estudo. Esta análise foi conduzida a partir de uma amostra aleatória, sob a suposição de que a mesma é proveniente de uma distribuição atribuída como Normal (BARROS&MAZUCHELLI, 2005). Partiu-se da hipótese nula, de que o crescimento populacional não teria impacto sobre a qualidade das águas. Os resultados encontrados para nitrogênio amoniacal, oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, DBO e sólidos suspensos em todas as lagoas mostraram que a probabilidade da hipótese nula se confirmar era descartável. Descartando-se a hipótese nula, tem-se a confirmação da segunda hipótese, de que o crescimento populacional realmente influencia na qualidade das águas do complexo lagunar.

Das 39 análises do Teste t de Student para diversos parâmetros nas quatro lagoas, 22 apresentaram um resultado satisfatório, ou seja, 56% dos dados são confiáveis e confirmam a hipótese de que o crescimento populacional influencia a qualidade das águas do complexo lagunar de Jacarepaguá.

3.3. Impactos ambientais e correlação com crescimento populacional

De acordo com a metodologia proposta por Reopanichkul *et al.* (2009), no presente trabalho foram adotados os valores apresentados na Tabela 2. O nível de atividade humana nesta tabela foi pontuado como 5 (máximo) e igual para todas as lagoas devido ao crescimento populacional de 305% na Barra da Tijuca entre 1991 e 2010, enquanto Jacarepaguá cresceu 47% e a Cidade de Deus manteve-se praticamente constante, conforme apresentado na Tabela 3. A profundidade da lagoa não foi considerada como critério por não haver dados disponíveis. As lagoas com uma pressão antropogênica maior que 3 foram classificadas como poluídas.

Tabela 2 – Pressão antropogênica calculada para o Complexo Lagunar de Jacarepaguá.

| Lagoas em estudo | Lançamento de esgoto na lagoa (10x) ⁽¹⁾ | Nível de atividade humana(5x) ⁽¹⁾ | Nível de turbidez natural(4x) ⁽¹⁾ | Pressão antropogênica esperada(P) | Classificação |
|------------------|--|--|--|-----------------------------------|---------------|
| Camorim | 5(50) | 5(25) | 4(16) | 4,79 | Poluída |
| Jacarepaguá | 3(30) | 5(25) | 3(12) | 3,53 | Poluída |
| Marapendi | 2(20) | 5(25) | 4(16) | 3,21 | Poluída |
| Tijuca | 4(40) | 5(25) | 5(20) | 4,47 | Poluída |

Nota 1: os valores entre parênteses correspondem ao peso de cada critério.

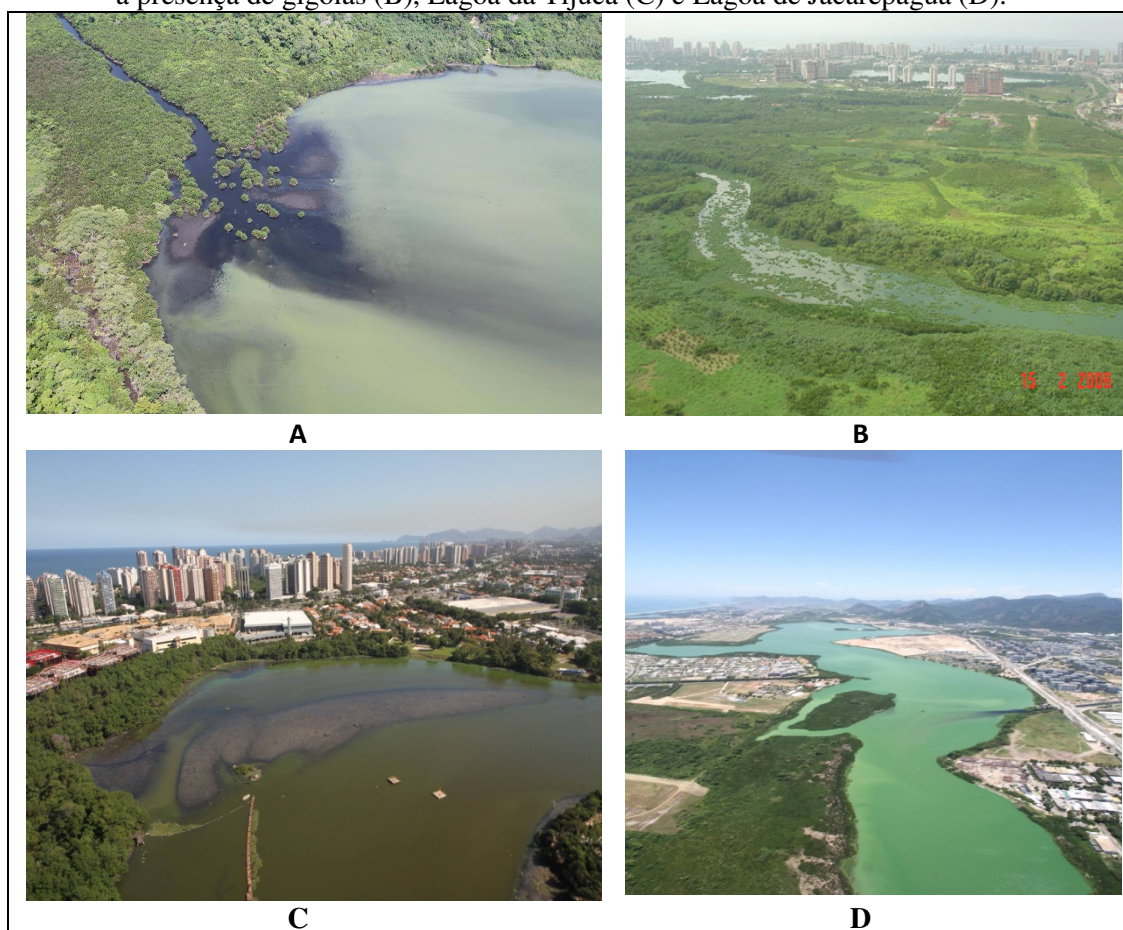
Tabela 3 – População residente, segundo as áreas de planejamento e regiões administrativas, no período de 1991 a 2010.

| Áreas de Planejamento e Regiões Administrativas | População Residente | | | |
|---|---------------------|--------|--------|---------------------|
| | 1991 | 2000 | 2010 | Taxa de Crescimento |
| Área de Planejamento 4 | 526302 | 682051 | 909955 | 73% |
| XVI Jacarepaguá | 389302 | 469682 | 571402 | 47% |
| XXIV Barra da Tijuca | 98791 | 174353 | 300823 | 305% |
| XXXIV Cidade de Deus | 38209 | 38016 | 37730 | - |

Fonte: IBGE. Censo Demográfico 1991 e Base de informações por setor censitário do Censo Demográfico 2000 e 2010. Tabulação: IPP/DIG. Os dados do Censo 1991 são apresentados segundo a estrutura administrativa vigente em 2000 e foram obtidos através da compatibilização entre os setores censitários.

Os dados da Tabela 2 demonstram que há uma correlação clara entre a pressão antropogênica e a poluição das lagoas do Complexo Lagunar de Jacarepaguá, expressos pelos altos níveis de nutrientes e sólidos suspensos e os baixos níveis de oxigênio dissolvido relacionados. Todas as lagoas encontram-se poluídas, sendo Camorim em pior estado, seguida da Lagoa da Tijuca, Jacarepaguá e por último Marapendi, em condições pouco piores que as demais, conforme pode se visualizar na Figura 3.

Figura 3 – Chegada do Canal das Taxas na Lagoa de Marapendi (A), Lagoa de Camorim com a presença de gigóias (B), Lagoa da Tijuca (C) e Lagoa de Jacarepaguá (D).



Fonte: Fotos autorizadas por Mario Moscatelli, 2014.

A falta de investimentos em infraestrutura e em monitoramento das lagoas pelo Governo do Estado do Rio de Janeiro indica ser a causa da baixa qualidade das águas, haja vista que houve uma década (1990-2000) perdida em que as lagoas do Complexo Lagunar de Jacarepaguá deixaram de ser monitoradas quanto à qualidade das águas. Aliado a isso, o alto índice de crescimento populacional da região, o aparecimento de favelas, a especulação imobiliária desenfreada contribuíram muito para a degradação dos recursos hídricos da região.

Neste estudo buscou-se ainda, a título de comparação, encontrar lagoas semelhantes às da área em estudo, mas que não estivessem sob forte impacto de ação antropogênica, a fim de confirmar o quanto as variações dos parâmetros da qualidade da água é intrínseca ao sistema lagunar ou não, e se efetivamente ocorre devido a fatores externos. Porém, os dados de qualidade de água para lagoas não poluídas semelhantes às da área em estudo não estavam disponíveis.



4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O crescimento populacional da Barra da Tijuca nos últimos 30 anos causou impactos ambientais relevantes, em termos de ocupação da região, pela alteração da paisagem local e qualidade de vida dos moradores que contribuíram para a construção do bairro, mas também teve impactos negativos, principalmente quanto aos recursos hídricos.

A elevada expansão demográfica da região, aliada a uma falta de planejamento em infraestrutura, como a falta de construção de redes de esgotos sanitários e o lançamento destes, direta ou indiretamente, nos corpos receptores, ocasionaram a degradação da qualidade da água das lagoas, em especial a de Camorim e Tijuca, que estão em pior estado de conservação.

Por fim, visando restabelecer o equilíbrio ambiental da região da Barra da Tijuca, torna-se necessário um grande esforço de recuperação da qualidade das águas de todas as lagoas, assim como dos rios que deságuam nelas e também da orla marinha.

Recomenda-se fortemente que o Governo do Estado do Rio de Janeiro honre os compromissos assumidos por ocasião das Olimpíadas de 2016 e disponibilize os recursos financeiros necessários para realizar as obras de revitalização do Complexo Lagunar de Jacarepaguá, seja por iniciativa própria ou através de parcerias público-privadas e com apoio da sociedade. É de suma importância que medidas drásticas e urgentes sejam postas em prática, visando à melhoria da infraestrutura, investimento em novas tecnologias ou até mesmo a privatização dos serviços de saneamento básico da região.

Mas não bastam só investimentos, se não houver uma boa fiscalização dos órgãos públicos e uma preocupação constante em preservar o meio ambiente e torná-lo cada vez mais útil e disponível à população. A educação ambiental é uma contribuição importante, pois a conservação dos corpos hídricos em nosso país é um dever de todos. E compreende desde não jogar lixo nas lagoas até não realizar ligações clandestinas de esgotos, assentamentos de terra, remoção de vegetação para a construção de moradias, dentre outros.

Recomenda-se, por fim, que as legislações no âmbito federal, estadual e municipal sejam aprimoradas e cumpridas e haja fiscalização mais rigorosa nesse sentido, pois muito do que foi visto neste trabalho se deve ao simples fato de que as leis existem, mas não são cumpridas.

5. REFERÊNCIAS

BARROS, E. A. C.; MAZUCHELLI, J. Um estudo sobre o tamanho e poder dos testes t-Student e Wilcoxon. *Acta Sci. Technol.* v.27, n.1, p. 23-32, 2005.

CETESB. Qualidade das águas Interiores no Estado de São Paulo. Série Relatórios. Apêndice A - Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo, 2008.

CONAMA. Resolução CONAMA Nº: 001, de 23 de janeiro de 1986. Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente. Brasília: SEMA, 1986.

CONAMA, Resolução CONAMA Nº: 357, de 17 de março de 2005. Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente. Brasília: SEMA, 2005.

COPPETEC. **Elaboração do plano estadual de recursos hídricos do Estado do Rio de Janeiro. R8 – Cenário econômico e demográfico.** Revisão 2. Fundação Coppetec, Junho de 2013.

IPP. Cadernos do Rio – Condições de Vida. (Armazém de Dados/Bairros Cariocas). Instituto Pereira Passos, Junho 2013.



DZ-0110.R-1 - Diretriz de classificação das lagoas de Jacarepaguá. 30/11/1977 - Uso da água; aprovada pela Deliberação CECA nº 0012 de 10 de novembro de 1977, Rio de Janeiro, 1977.

DZ-0109-R-2 - Diretriz da classificação dos corpos receptores da bacia hidrográfica das lagoas de Jacarepaguá. 30/11/1977 - Uso da água; aprovada pela deliberação CECA nº 0012 de 10 de novembro de 1977, Rio de Janeiro, 1977.

FUNASA. Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS. Fundação Nacional de Saúde. Ministério da Saúde. Brasília, 2014.

HAJKOWICZ, S. A.; MCDONALD, G. T.; SMITH, P. N. An evaluation of multiple objective decision support weighting techniques in natural resource management. **J. Environ. Plan. Manage.**v.43, n.4; p. 505-518, 2000.

MOURA, G. C. de M. **Citação de referências e documentos eletrônicos.** Disponível em: <<http://www.elogica.com.br/users/gmoura/refere.html>> Acesso em: 09 out. 1996.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censos demográficos / Rio de Janeiro. 1980-2010.

INEA. **Sistema Lagunar de Jacarepaguá.** Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/Portal/MegaDropDown/Monitoramento/Qualidadedaagua/Lagoas/SistemaLagunardeJacarepagua/PrincipalSLJ/index.htm>>. Acesso em: 10 jun. 2015.

LOURES, A. P. S.; SOARES, A. A.; DE MATOS, A. T.; CECON, P. R.; PEREIRA, O. G. Remoção de fósforo em sistema de tratamentode esgoto doméstico, por escoamento superficial. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Amb.**v.10, n.3, p.706–714, 2006.

REOPANICHKUL, P.; CARTER, R. W.; WORACHANANANT, S.; CROSSLAND, C. J. Wastewater discharge degrades coastal waters and reef communities in southern Thailand. **Marine Environ. Res.**v.69, p. 287-296, 2010.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3 ed. Ed. UFMG, Belo Horizonte, MG, 2005.

ZOPPAS, F. M.; BERNARDES, A. M.; MENEGUZZI, A. Parâmetros operacionais na remoção biológica de nitrogênio de águas por nitrificação e desnitrificação simultânea. **Eng Sanit Ambv.**21, n.1, p. 29-42, 2016.