Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Análise de parâmetros de qualidade da água em decorrência de efeitos da precipitação na baía de Guajará – Belém– PA

Vívian Evelyne Silva Araújo Alencar¹, Edson José Paulino da Rocha²,
José Augusto de Souza Júnior³, Bruno Santana Carneiro⁴.

1 – Mestre em Ciências Ambientais, Pesquisadora em Pesquisa de Recursos Hídricos – Instituto Evandro Chagas – autor correspondente: vivianevelyn@gmail.com

2 – Doutor em Meteorologia, Professor do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais – UFPA.

3 – Doutor em Meteorologia, Pesquisador de Pós-Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais – UFPA.

4 – Doutor em Saúde Coletiva, Pesquisador e Vice Chefe da Seção do Meio Ambiente – Instituto Evandro Chagas.

Artigo recebido em 04/10/2018 e aceito em 15/03/2019

RESUMO

O estuário Guajarinó (Baía do Guajará) está localizado na cidade de Belém no estado do Pará (Brasil) encontra-se inserida no grupo de cidades brasileiras que se localizam ao longo de zonas costeiras e que sofre influência diariamente com o regime hidrológico (precipitação e marés). Este artigo teve como objetivo avaliar a influência da precipitação sobre alguns parâmetros físico-químico da qualidade da água da Baía do Guajará. Cinco pontos foram monitorados, com base na localização de Portos situados ao longo da orla dessa Baía. As amostras de água foram coletadas mensalmente durante 24 meses, pelo período de janeiro de 2014 a janeiro de 2016. Foram medidos os parâmetros: temperatura, pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, salinidade, oxigênio dissolvido, turbidez, cor real e Demanda Bioquímica de Oxigênio. Observa-se que o regime de chuvas influenciou seis dos nove parâmetros da qualidade da água estudado. O comportamento dos parâmetros físico-químicos pH, temperatura, condutividade elétrica, Sólidos totais dissolvidos, salinidade, Oxigênio Dissolvido e turbidez variaram entre os dois períodos analisados (período chuvoso e período menos chuvoso).

Palavras-chave: Qualidade da água, Baía de Guajará, Precipitação.

Analysis of water quality parameters as a result of the effects of the rainfall on the Guajará bay - Belém - PA

ABSTRACT

The estuary of Guajará Bay is located in the city of Belém in the state of Pará (Brazil). It is part of a group of Brazilian cities that are located along coastal zones and is influenced daily from the hydrological regime (rainfall and tides). This article aimed to evaluate the influence of precipitation on physical-chemical parameters of Guajará Bay water quality. Five points were monitored, based on the location of Ports located along the edge of the Bay. The water samples were collected monthly for 24 months from January 2014 to January 2016. The parameters were measured: temperature, pH, electrical conductivity, total dissolved solids, salinity, dissolved oxygen, turbidity, real color and Biochemical oxygen demand. It is observed that the rainfall regime influenced six of the nine water quality parameters studied. The behavior of the physical-chemical parameters pH, temperature, electrical conductivity, Total Dissolved Solids, salinity, Dissolved oxygen and turbidity varied between the two analyzed periods (rainy period and less rainy period).

Keywords: Water quality, Guajará Bay, Rainfall.

Introdução

Cerca de 70% da população brasileira vivem nos principais centros urbanos localizados ao longo de litorais, como exemplos os estuários. Os estuários têm interesses não somente ecológicos, mas também por seu crescimento econômico e populacional que ocorre em torno deles. É um dos ecossistemas mais produtivos do mundo mesmo quando comparados às florestas tropicais. O desenvolvimento econômico das principais cidades ao redor deste ecossistema sempre esteve intimamente relacionado por oferecerem locais adequados para instalações portuárias e navais; são férteis e podem produzir grandes quantidades de matéria orgânica, bem como regulação de nutrientes e fixação de carbono; constituem uma via de acesso importante para o interior dos rios; proporciona estabilização da linha costeira, purificação das águas poluídas por possuírem capacidade natural para renovar periodicamente suas águas sob influência das marés, além de fornecimento de recursos alimentares e energéticos (Silva et. al, 2016; Silveira et. al, 2013; Costa et. al, 2012).

Além disso, as águas costeiras estão sujeitas a maiores incertezas devido à elevada heterogeneidade espacial e temporal, diferentes tipologias geomorfológicas e hidrológicas (estuários dominados por águas fluviais, dominados pelo mar, com regimes de maré, ondas e ventos diferenciados), os mais importantes são o fluxo do rio, as marés, a entrada de sedimentos, a batimetria, a intrusão na circulação e na salinidade e as condições atmosféricas. Alguns estudos apontam que em cenários de baixas vazões fluviais, as águas dos estuários tendem a receber maior influência das marés sofridas pelos oceanos (Cotoviz Jr et. al, 2016; Cavalcante et. al, 2017; Costa, Pinho, Vieira et.al, 2017).

Os estuários por possuírem alta complexidade e dinâmica de uma zona costeira, são diretamente afetados e sensíveis por fenômenos climáticos. Já se pode observar que em algumas áreas do mundo, no caso específico de áreas estuarinas, estas sujeitas à influência marítima e fluvial com a combinação de eventos climáticos extremos, como por exemplo, precipitação intensa faz com que haja um aumento do nível médio do mar, e com consequência desse aumento, ocorre uma redução de escoamento de água doce, alterando, portanto, a qualidade da água dos estuários. Estes cursos d'água servem de ligação entre o ambiente terrestre e marinho, transportando

água doce, matéria orgânica, nutrientes e contaminantes do continente para os estuários. De acordo com Mendes e Ferreira 2014, a sazonalidade climática influenciou o pH, a turbidez e a cor aparente, demonstrando sensibilidade desses parâmetros com a precipitação. Outros autores como Kolm et. al, 2016, Ventura et. al, 2017, Sabino et. al, 2017, Ribeiro et. al, 2016, Uele et. al, 2017 e Souza et. al, 2015 visaram estudar e avaliar a qualidade da água durante dois períodos distintos, sendo um chuvoso e outro de estiagem, esses autores também conseguiram observar a influência da precipitação em alguns parâmetros físico-químicos e como no período chuvoso certos parâmetros tendem a aumentarem. Compreender como o regime pluviométrico determina e influencia as condições física e química das águas é fundamental para o desenvolvimento das estratégias para a gestão da qualidade das águas das baías (Lopes et. al, 2017; De-Carli et. al, 2017; Damasceno et. al, 2015).

O estudo desta pesquisa se deu na área estuarina de Belém- PA, mas especificamente na Baía do Guajará. A área estuarina estudada é caracterizada por períodos sazonais de chuvas frequentes abundantes e períodos de baixo índice pluviométrico com elevada taxa de evaporação, bem como a influência de marés que chega a inundar periodicamente as terras marginais. O estuário Guajará é formado por um sistema de drenagens continentais em regime de descarga em ambiente marinho. A Baía do Guajará localiza-se em frente à parte noroeste da cidade de Belém e prolonga-se até a Ilha do Mosqueiro, a norte, onde se encontra com a Baía do Marajó, no rio Pará. A utilização de dados meteorológicos permite constatar variações do clima ao longo do período estudado e correlacionar como esses dados influenciam de forma direta a qualidade de água da baía do Guajará (Pereira et. al, 2017; Fraga et. al, 2012; Mendeiros et. al, 2018; Alvez et. al, 2012, Souto et. al, 2015, Santos et. al, 2014; Lima et. al, 2014).

Embora nos últimos anos tenha muitos estudos na abordagem da qualidade da água da Baía do Guajará, não há nenhum estudo voltado exclusivamente para a influência do clima sobre os parâmetros físico-química desse estuário. Neste sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar a influência da sazonalidade climática (período chuvoso e período não chuvoso) sobre parâmetros físico-química da Baía do Guajará (PA, Brasil).

Material e métodos

Área de Estudo

Belém é a capital do Estado do Pará e uma das mais importantes cidades do Brasil e da Amazônia, possuindo uma população estimada de 1.381.475 habitantes (IBGE, 2010). O território de Belém possui 505 km² de área dos quais 34,6% corresponde à porção continental e 65,4% a porção insular, composta por um conjunto de 39 ilhas (Prefeitura de Belém, 2001).

A cidade de Belém está localizada na embocadura de um braço do delta Amazônico, na Baía do Guajará, próximo à linha do Equador, com 1°27'20" de latitude sul e 48°30'15" de longitude oeste. Á treze metros acima do nível do mar, às margens da Baía do Guajará e do Rio Guamá, distante 120 quilômetros do mar no estuário do Rio Pará. Tendo como limites geográficos a Baía do Marajó (ao Norte), os municípios de Ananindeua, Benevides e Santa Bárbara (a Leste), Rio Guamá e município de Acará (ao Sul) e Baía do Guajará e Baía do Marajó (a Oeste) (Teixeira, 1998).

Entrecortado por cursos d'água e canais retificados que compõe as 14 bacias hidrográficas e devido aos processos geológicos de formação do município, este apresenta duas classificações de terrenos: de Terra-firme, que não sofrem inundações periódicas, com topografia que varia de 4 a 20 metros de altitude; e as várzeas, com níveis topográficos baixos, até 4 metros de altitude, áreas que sofrem inundações devido à influência das marés ou de índices pluviométricos elevados (Pimentel, 2012).

A Baía de Guajará possui zonas rasas, de aproximadamente 5 metros de profundidade, e também canais profundos, com cerca de 25 metros de profundidade (Gregório; Mendes, 2009). De acordo com este autor, a hidrodinâmica local é controlada pela interação entre as correntes de maré e as descargas fluviais. Desta maneira, a baía de Guajará ou estuário do Guajará pode ser um corpo

de água costeira semi-fechada com ligação livre com o oceano aberto, sendo que em seu interior a água do mar é diluída pela água doce oriunda da drenagem continental.

As características climáticas da região de Belém se dá pelos principais mecanismos que explicam o regime das chuvas dentro do contexto de escala global que são: o resultado da combinação da atuação predominante da Zona de Convergência Intertropical - ZCIT, resultante da convergência dos ventos alísios de nordeste e sudeste, que é caracterizada por ventos fracos e precipitações intensas, Vianello; Alves, 1991, das brisas marítimas, da penetração de sistemas frontais oriundos do sul do continente e da fonte de vapor representada pela cobertura vegetal da região.

Já se tratando da hidrografia da região estudada, a baía está localizada em um ambiente altamente dinâmico, com fortes correntes de marés e com ondas geradas pelo vento com poder suficiente para propiciar a mistura das águas e ressuspensão dos sedimentos de fundos. No período de baixa pluviosidade, as águas ficam salobras devido à penetração da água marinha (Ribeiro, 2004).

A superfície da água, mesmo em condições de ventos fracos, caracteriza um ambiente relativamente agitado, sobretudo pela ação das correntes de marés. Na figura 01 abaixo, é possível visualizar toda a área estuarina da região metropolitana de Belém, assim como as regiões insulares próximas.

Etapas de Campo

Para o desenvolvimento da pesquisa foram definidos 05 pontos de coleta das águas superficiais distribuídos ao longo da orla de Belém, que compreende desde o ponto de captação da Cosanpa até o Rio Guamá (Figura 02).

Figura 01- Localização da área de estudo.

Figura 02- Localização dos pontos de coleta.

A orla de Belém foi dividida em 03 trechos, levando em consideração os portos situados nessa localidade. Cada trecho corresponde ao seu devido porto, sendo: Porto de Belém, Porto Miramar e Porto de Outeiro. No porto de Belém, foram escolhidos 02 pontos de coletas representantes, para que dessa maneira pudesse representar este trecho, o qual foi os pontos com as nomenclaturas BEL.EXT-02 e BEL.AS03. Já no trecho do Porto

de Miramar seguiu-se o mesmo raciocínio, foram escolhidos 02 pontos para representar este trecho: MIR.AS-01 e MIR.AS-04. E por fim no Porto de Outeiro, foi escolhido apenas um ponto com a nomenclatura OUT.AS-02 perfazendo um total de 05 pontos de coleta. A tabela 01 apresenta as coordenadas geográficas dos locais de coleta das amostras de água na Baía do Guajará.

Tabela 01 – Coordenadas Geográficas dos locais de coleta de amostras.

PONTOS DE COLETA	LATITUDE (SUL)	LONGITUDE (OESTE)
BEL.EXT-02	1°28'36.40"S	48°27'13.40"O
BEL.AS-03	1°26'31.70"S	48°29'46.80"O
MIR.AS-01	1°24'48.20"S	48°29'41.30"O
MIR.AS-04	1°22'5.50"S	48°29'3.90"O
OUT.AS-02	1°16'22.70"S	48°28'55.10"O

Amostragem

Foi realizado um planejamento de amostragem tinha como finalidade determinar as atividades de coleta, preservação, manuseio e transporte das amostras, de forma mais precisa e validar a obtenção de todas as informações necessárias do local coletado.

A amostragem de água superficial foi do tipo simples e obedeceu a critérios de representatividade e homogeneidade (Filizola et al., 2006). A homogeneidade é avaliada para se verificar como as características de qualidade dessa água oscilam no espaço e no tempo. Há dois tipos de variação, variação espacial e variação temporal.

A variabilidade espacial de maneira geral são os corpos de água superficiais que apresentam variações quanto às concentrações dos seus constituintes nos diferentes pontos de uma seção transversal, bem como ao longo do eixo longitudinal de deslocamento. Há ainda uma variação no eixo vertical, a qual é mais pronunciada em corpos d'água mais profundos.

E a variação temporal são as concentrações dos constituintes de um corpo d'água pode ainda variar ao longo do tempo, num mesmo ponto, de forma aleatória ou cíclica em função das características das contribuições recebidas ou das variáveis meteorológicas. Em zonas estuarinas, por exemplo, a influência das marés, provoca de forma cíclica, profundas alterações nas características dessas águas, desse modo, obtêm-se uma amostra de água representativa daquele ponto do rio.

Coleta

A coleta aconteceu uma vez a cada mês, durante o período de 24 meses, iniciando em

janeiro de 2014 a dezembro de 2015, de maneira a abranger dois momentos distintos, um período chuvoso e um menos chuvoso da região estudada. Em cada ponto de coleta foram realizadas duas amostragens de cada maré (enchente e vazante).

As amostragens de águas superficiais foram feitas por coleta manual, respeitando os procedimentos da NBR 9898.

No local da coleta foram realizadas as leituras dos valores de pH, Temperatura, Condutividade Elétrica (CE), Oxigênio Dissolvido (OD), Salinidade e Sólidos Totais Dissolvidos (STD) das amostras, com uma sonda multiparamétrica da marca HANNA e do modelo: HI-9829. Os pontos foram georeferenciados com o auxílio do GPS (Sistema de Posicionamento Global).

Os frascos coletados foram mantidos sobre refrigeração em uma caixa isotérmica com gelo (<4°C), e na sequência encaminhados ao laboratório da Seção de Meio Ambiente do Instituto Evandro Chagas para determinação dos outros parâmetros. Ao chegar ao laboratório foi realizado o restante das análises: Cor real, Turbidez e DBO.

Metodologia

As informações de qualidade de água foram obtidas por amostras feitas durante o período de 2014 e 2015 para as variáveis de Cor Real, Turbidez e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). O restante dos parâmetros foi realizado no momento da coleta (in loco) através de medidores portáteis. Esse equipamento é dedicado a medições com precisão e confiabilidade para uso em campo.

Os procedimentos obedeceram às recomendações descritas no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater ou Procedures Manual HACH-Espectrophotometer do DR-3900 e o Manual da CETESB.

Dados de precipitação

A metodologia utilizada para a verificar os impactos da precipitação sobre a qualidade foi retirada de Silva et al. 2008, e apesar de existir uma longa série de dados de qualidade da água e saber que a Baía do Guajará é de importância estratégica para a cidade de Belém, nenhum estudo focando os impactos da precipitação na qualidade da água dessa Baía foi realizado.

Os dados de precipitação usados nessa pesquisa foram obtidos por meio de informações a partir dos dados coletados do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) da estação meteorológica de Belém, o qual possui boa aproximação geográfica com os pontos de coleta. Para a análise climatológica das médias mensais e variabilidades interanuais foi considerado o período de 1986 a 2015 (30 anos de dados) e para as análises das influências da precipitação sobre os parâmetros físico-químicos da água foram utilizadas as precipitações diárias do dia de coleta no período de estudo, 2014 e 2015.

A partir das informações de precipitação, elaborou-se a climatologia e o acumulado mensal da precipitação observada durante o período de 30 anos. Os valores mensais de precipitação dos pontos coincidentes com os locais de coleta de água foram inseridos na série temporal de qualidade da água.

Tratamento de dados

Foi utilizada uma metodologia modificada de Morales, 2002 e Matos et al. 2011, para determinar o comportamento dos parâmetros físico-químicos em função da dinâmica da maré durante uma enchente e uma vazante contínua, no intervalo de tempo de 12 horas seguidas. Essa metodologia é válida para ecossistemas estuarinos, em especial rios ou igarapés que sofrem influência diária das marés.

Os resultados das variáveis físico-químicas e os dados de marés encontrados foram agrupados e organizados em um banco de dados de planilhas

do Excel e foram submetidos a tratamento estatístico e produção de gráficos para melhor compreensão e visualização dos dados.

Resultados e discussão

Análise pluviométrica

Inicialmente foi analisada a série de dados de precipitação (mm) para o período de 30 anos 1986 à 2015. Como se pode observar na Figura 03, estão presentes a média de precipitação para 30 anos (linha preta), a média de 30 anos da precipitação acumulada por mês (linha vermelha, que se repete para comparação com os anos escolhidos para o estudo) e a precipitação acumulada mensal para 2014 e 2015. A climatologia da precipitação na cidade de Belém do Pará apresenta comportamento pluviométrico que evidencia o ciclo anual marcado por estação chuvosa, que ocorre nos meses de Janeiro à Junho, e estação menos chuvosa nos meses de Julho à Dezembro.

A média do acumulado de 30 anos durante o período de janeiro a junho (período chuvoso), têm valores que vão de 374,3 mm a 305,3 mm, fazendo um total de 2006,4 mm de precipitação nesse período chuvoso, sendo que o período chuvoso é 34% maior que o volume de precipitação do período menos chuvoso. No período de 30 anos, durante os meses de julho a dezembro (período menos chuvoso) os valores variaram entre 167 mm a 131,4 mm, fazendo um total de 679,3 mm de precipitação. Nesses anos de estudo, 2014 e 2015, foram anos que ocorreram o fenômeno El Niño, com uma intensidade fraca no ano de 2014/15 e em 2015/16 com uma intensidade muito forte. Os dados analisados nesse trabalho mostram que o evento de El Niño de 2014/2015 provocou uma um aumento nos valores de precipitação nestes anos, porém mais acentuado no ano de 2015 com um índice muito forte. A climatologia da precipitação observada nesse estudo está de acordo com trabalhos anteriores, como por exemplo, os de Figueroa e Nobre, 1989. Verifica-se também, que no período chuvoso (janeiro a junho) os valores acumulados desses meses se mantiveram acima da média de 30 anos, enquanto que os meses acumulados do período menos chuvoso (julho a dezembro) obtiveram valores abaixo da linha da média.

Figura 03 - Climatologia de precipitação da cidade de Belém/PA.

Comportamento dos parâmetros físico-químicos em relação à precipitação

Esta seção descreve os resultados encontrados entre a relação de precipitação e os parâmetros físico-químicos em dois períodos de coleta (enchente e vazante), como não se detectou variação significativa entre os dois anos de estudo, optou-se por fazer uma avaliação em conjunto abrangendo dados dos anos de 2014 a 2015. O regime de chuvas parece influenciar alguns valores das análises realizadas de pelo menos 6 variáveis da qualidade de água amostrados, influenciando de acordo com a localização dos pontos e/ou possíveis impactos pontuais.

Com o objetivo de explicar a análise da influência da precipitação pluviométrica e não descartando as possíveis atividades antrópicas sobre a qualidade dos corpos hídricos, são apresentados, a seguir, os resultados do monitoramento hídrico realizado.

Os valores encontrados para o parâmetro pH, na maré enchente, variaram entre 4,49 a 8,34, e apresentaram linhas de tendência muito parecidas (figura 04 a), com pH médio mantendo-se sempre acima dos 6, pode ser classificada como uma água que se encontra dentro dos padrões de basicidade, conforme a resolução do Conama 357/05. Foram encontrados os menores valores de pH nos meses

chuvosos, respectivamente nos meses de março, abril e maio. Pode-se inferir que durante o período de chuva, esses valores tendem a serem mais baixos, devido a água da chuva conter teor de ácidos orgânicos e quando entra em contato com a água da Baía do Guajará, diminuem os valores de pH, tornando-os ligeiramente ácidos.

O fato de menores valores terem sido encontrados nesses meses, pode ser explicada também pelo fato dos esgotos de determinadas indústrias serem lançados na baía através de tubulações que finalizam em torno dessa distância, 50 a 100 metros.

Observa-se que o comportamento do pH na maré vazante (figura 04 b) são discretamente mais baixos que em relação na maré enchente (figura 04 a). Ao analisar os resultados encontrados nesse gráfico, nota-se que os valores oscilaram de maneira significativa, Esteves, 1998, afirma que o pH é uma das variáveis ambientais consideradas mais importantes, mas também sendo como uma das mais difíceis de interpretar, o que se deve ao grande número de fatores que podem influenciá-lo, não especificamente ao fato de ter havido chuva ou não que se deu provocações de mudanças nesses valores. O estudo realizado de correlação entre essas duas variáveis demonstra o baixo índice de relação entre esses dois parâmetros estudados.

(a)

(b)

Figura 04 - Relação entre a Precipitação (mm) e pH (°C) – Enchente (a) e Vazante (b).

Analisando outra variável que sofre grande influência da precipitação é a temperatura da água, que é uma variável de grande importância no meio aquático, pois influencia no metabolismo das comunidades, como produtividade primária, respiração dos organismos e decomposição da matéria orgânica (Santos et al., 2003).

As águas dos cinco pontos de coleta exibem variação de temperatura entre os valores de 28°C à 30,4°C (figura 05 a e b). Isso ocorre pela influência direta da radiação solar na lâmina superficial da água, pois com o aumento da

profundidade tende a diminuir a penetração dos raios solares, decrescendo, portanto, a temperatura. Constata-se variação discreta de temperatura entre as marés enchente (figura 05 a) e vazante (figura 05 b), sendo menor a temperatura no comportamento da maré vazante (figura 05 b). Elevadas temperaturas aumentam a taxa das reações químicas e biológicas, diminuem a solubilidade dos gases (exemplo o Oxigênio Dissolvido), e aumentam a taxa de transferência dos gases (VON Sperling, 1995).

As temperaturas mais altas ocorreram no período menos chuvoso da região, já a média dessas temperaturas da água ficaram no valor de 29°C. Na figura 05 a, vemos que no mês de abril de 2015 no ponto Belas-03, no período mais chuvoso na região Amazônica, houve uma queda brusca da temperatura, constatando um pico muito abaixo da normalidade se comparado com os demais pontos de coletas, obtendo um valor de 25,1 °C. Esse valor pode ser interpretado da seguinte maneira, o regime de chuvas exerce uma grande influencia sobre os rios desta região, e que por sua vez interfere nos resultados de temperatura das águas, modificando em especial o resultado do ponto de Belas-03. Por

ser um ponto próximo de vegetação, faz com que o sombreamento impeça a penetração de luz solar diretamente, levando a uma diminuição desta temperatura, também colaborado com a precipitação deste dia.

A remoção da cobertura vegetal aumenta a entrada de radiação e pode promover aumento de temperatura em rios. O parâmetro temperatura, bem como o pH, pode sofrer interferência da estação do ano, da hora do dia, das atividades microbianas, da quantidade de matéria orgânica disposta no curso d'água, da cobertura vegetal presente na bacia e do tipo de solo da região.

(a)

(b)

Figura 05 - Relação entre a Precipitação (mm) e temperatura da água (°C) – Enchente (a) e Vazante (b).

Os maiores valores de condutividade elétrica, TDS (sólidos totais dissolvidos) e

salinidade foram encontradas nos pontos de coletas: Outas-02, Miras-04, Miras-01, Belas-03 e

por fim no ponto de BELEXT-02. A variação do comportamento dos valores médios desses parâmetros se deu da seguinte maneira: No ponto de Outas-02 o valor médio para condutividade foi de 494,07 $\mu\text{S/cm}$, 273,69 mg/L para TDS e 0,240 mg/L de salinidade; No ponto de Miras-04 o valor médio para condutividade foi de 206,71 $\mu\text{S/cm}$, 114,58 mg/L para TDS e 0,098 mg/L de salinidade; No ponto de Miras-01 o valor médio para condutividade foi de 178,66 $\mu\text{S/cm}$, 99,89 mg/L

para TDS e 0,083 mg/L de salinidade; No ponto de Belas-03 o valor médio para condutividade foi de 151,37 $\mu\text{S/cm}$, 84,54 mg/L para TDS e 0,075 mg/L de salinidade; No ponto de Belext-02 o valor médio para condutividade foi de 93,98 $\mu\text{S/cm}$, 52,66 mg/L para TDS e 0,049 mg/L de salinidade. O comportamento da condutividade elétrica, TDS e da salinidade foram muito parecidas conforme pode-se observar na tabela 02:

Tabela 02- Valores médios para comparação entre os parâmetros de Condutividade Elétrica, TDS e Salinidade.

Ponto	Condutividade e.	TDS	Salinidade
BELEXT-02	93,98 $\mu\text{S/cm}$	52,66 mg/L	0,049 mg/L
BELAS-03	151,37 $\mu\text{S/cm}$	84,54 mg/L	0,075 mg/L
MIRAS-01	178,66 $\mu\text{S/cm}$	99,89 mg/L	0,083 mg/L
MIRAS-04	206,71 $\mu\text{S/cm}$	114,58 mg/L	0,098 mg/L
OUTAS-02	494,07 $\mu\text{S/cm}$	273,69 mg/L	0,240 mg/L

Analizando os valores de condutividade elétrica, Horbe e Oliveira 2008, afirmam que representam medidas indiretas da quantidade de íons dissolvidos presentes na água, indicando aportes de soluções mais concentradas em elementos solúveis, possivelmente em consequência das características dos meios por onde percolam. Prévost et al. 1999, diz que a condutividade elétrica é influenciada pela concentração de sais presentes na água. As atividades antrópicas, incluindo lançamento de esgotos são causas frequentes de aumentos de concentrações de sais, indicando o aumento na disponibilidade de nutrientes nessas bacias. No presente estudo estas condições foram observadas. Ao analisar a Figura 06 (a e b), observa-se que durante o período menos chuvoso desta região os valores de condutividade elétrica estão bem elevados, ao contrário do período mais chuvoso, onde se nota valores bem baixos. Esse comportamento se repete nos dois anos de estudo de 2014 e 2015 e pode ser explicado pois durante o período menos chuvoso da região, são meses de pouca pluviosidade, e por serem meses de pouco regime de chuvas, faz com que as águas do oceano atlântico penetrem com maior intensidade e consiga alcançar até um determinado ponto da Baía do Guajará, como exemplo do ponto de Outas-02. Este ponto sofre alteração maior se comparados com os demais pontos de coletas devido a sua localização estar mais próximo da foz. Os valores de condutividade elétrica começam a se elevar

próximo ao mês de setembro e se estende a janeiro do próximo ano.

Uma outra forma de se justificar os elevados valores de condutividade elétrica, é que como as águas continentais estão mais presentes nesse período, consequentemente indica que há maiores quantidades de sólidos dissolvidos e de salinidade, desta maneira aumenta também os valores de condutividade elétrica.

Esta grande influência pode estar ligada a significativa quantidade de sal estar adentrando neste ponto coletado, fazendo com que tenha maiores valores de sólidos dissolvidos nessa água por conta da quantidade de sal presente neste período. Este é o ponto mais próximo de desagüe da Baía do Guajará, e justamente o ponto mais próximo de onde as águas do oceano chegam. Comparado com outros meses, podemos observar que na época mais chuvosa, o comportamento desses parâmetros tem uma queda muito brusca de valores, eles diminuem consideravelmente, por conta que em período chuvoso há uma maior pluviosidade, e com consequência maior diluição e dispersão dos valores desses parâmetros. Não houve uma diferença tão grande comparado entre as duas marés. Para Esteves 1998, a condutividade elétrica, que depende da composição iônica os corpos d'água, pode ser influenciada, também pelo volume de chuvas.

(a)

(b)

Figura 06 - Relação entre a Precipitação (mm) e condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) – Enchente (a) e Vazante (b).

Assim como os resultados de condutividade, os resultados de sólidos dissolvidos, existiram grandes diferenças entre os resultados encontrados ao período chuvoso e ao período menos chuvoso (figura 07 a e b). Os maiores valores, para todos os pontos, foram observados no período menos chuvoso. Correa 2005, afirma que este parâmetro é influenciado pelo acúmulo de solo e partículas minerais no leito do corpo hídrico, geralmente causado pela erosão de solos próximos ou pelo movimento do corpo d'água.

Com o período menos chuvoso os sólidos dissolvidos estão em maior concentração, pois nestes pontos são influenciados pela dissolução de materiais presentes no leito dos rios. E esta dissolução se dá por conta que no período menos chuvoso há pouca pluviosidade, fazendo com que um arraste maior no leito do rio e

consequentemente a isso gera um turbilhamento maior nessas águas. Fazendo que os sólidos estejam mais presentes. No período mais chuvoso esses sólidos tendem a estar em menor concentração devido que no período de chuvas as concentrações de sólidos dissolvidos estão sob maior diluição por conta das águas das chuvas.

A salinidade na Baía do Guajará é baixa no período mais chuvoso, não atingindo sequer valores superiores a 2 mg/L na boca do estuário (figura 08 a e b). Mesmo assim, esses valores conseguem deixar seus efeitos nos outros parâmetros aqui já citados. Nos períodos chuvosos a salinidade é praticamente nula na baía do Guajará, já o período menos chuvoso podemos observar uma elevada na taxa de concentração presente nos pontos de coleta.

Figura 07 - Relação entre a Precipitação (mm) e TDS (mg/L) – Enchente (a) e Vazante (b).

Figura 08 - Relação entre a precipitação (mm) e salinidade (mg/L) – Enchente (a) e vazante (b).

Na Figura 09 (a e b) são apresentados os resultados de monitoramento do parâmetro de Oxigênio Dissolvido (OD). Nas duas marés coletadas os valores estiveram abaixo do limite mínimo estabelecido pela resolução do Conama 357/2005 que é 5 mg/L. Em todos os pontos de coleta, os valores de OD foram muito baixos, destaca-se em especial o ponto Belext-02, este foi um ponto que chamou mais atenção pelos baixíssimos valores de OD. Este ponto localiza-se em área urbana que contribui com lançamento de

efluente sem nenhum tratamento, resultando na diminuição dos valores de OD.

Vale ressaltar que praticamente todos os meses foi obtido valores de OD abaixo do limite permitido. Fonseca e Salvador, 2005, ao analisarem a qualidade da água da bacia hidrográfica do Rio Bonito, Descalvado/SP, observaram a diminuição dos valores de oxigênio dissolvido durante a estação chuvosa, em relação aos valores na estiagem (estação seca). Segundo os autores, esta constatação pode ser explicada pelo consumo de

oxigênio pela matéria orgânica carregada da lavagem da superfície do solo pelas águas pluviais.

No presente estudo pode-se observar ao contrário do que estes autores concluíram, foi registrado maiores valores de OD durante o período chuvoso, provavelmente resultantes do aumento da vazão e, conseqüentemente do turbilhamento das águas do igarapé, gerando aeração e aumentando o teor de oxigênio dissolvido na água. O que ocorre é que durante o período de pouca pluviosidade, os níveis dos rios tendem a serem mais baixos, conseqüentemente sua vazão é mínima, concentrando maior número de poluentes, e

diminuindo desta maneira os valores de OD, por este motivo vemos os picos muito baixos.

A vazão pode influenciar os valores de OD, dependendo das características físicas dos leitos dos córregos. Maiores vazões correspondem a maiores velocidades e maior turbilhamento da água, podendo ocasionar maior incorporação de OD no corpo d'água. Barroso 2006, encontrou em seu estudo menores concentrações de OD, para pontos apresentando maiores valores de temperatura. A temperatura da água nos cinco pontos de coleta está entre as mais altas observadas no monitoramento, podendo ter influenciado nos baixos valores de OD, comprovando tal fato.

Figura 09 - Relação entre a Precipitação (mm) e oxigênio dissolvido (mg/L) – Enchente (a) e Vazante (b).

Analisando a presença de partículas em suspensão, que causam a turbidez, ou de substâncias em

solução, relacionados com a cor, pode intensificar para o agravamento da poluição em corpos d'água.

A turbidez limita a penetração de raios solares, restringindo a realização de fotossíntese, e consequentemente reduz a reposição de oxigênio.

Os resultados obtidos no monitoramento de turbidez mostram grandes diferenças entre valores observados nas coletas realizadas na estação chuvosa e menos chuvosa (figura 10 a e b), observa-se que no período mais chuvoso as concentrações de turbidez tendem a estar dentro limite estabelecido pela resolução do Conama 357/05, enquanto que no período menos chuvoso as concentrações de turbidez aumentam de forma bastante considerável. Nos meses com pouca pluviosidade observa-se a diferença entre a maré enchente (figura 10 a) em relação a maré vazante (figura 10 b). Os maiores valores foram encontrados em todos os pontos na maré vazante.

Na figura 10 b, no período pouco chuvoso, vemos um aumento dos picos em todos os pontos, sendo maior os valores de turbidez em Miras-04, seguido do Outas-02, Belas-03, Belext-02 e por fim, Miras-01.

Podemos dizer em relação a este fato que na estação menos chuvosa elas tendem a ultrapassarem o valor do limite máximo permitido pela resolução com picos bem altos, e principalmente quando se encontra na maré vazante, por conta que é quando os sólidos ficam mais concentrados devido à grande descarga ocorrendo neste lugar por conta da baixa-mar. Entretanto, é bastante curioso considerar que tanto os valores das médias na maré de enchente e vazante, elas não ultrapassam o valor permitido pela referida resolução.

(a)

(b)

Figura 10 - Relação entre a Precipitação (mm) e Turbidez (mg/L) – Enchente (a) e Vazante (b).

Na figura 11 (a e b), observa-se o comportamento do parâmetro de cor real, é comum na região amazônica características de elevados valores de Cor.

Este parâmetro apresentou-se acima do limite máximo permitido pela resolução do Conama 357/2005 que é 75 uH. Em todos os pontos de coleta durante o período chuvoso da região (enchente e vazante) os valores foram altos. Nos outros meses, enquadravam-se dentro na resolução.

A Cor da água nesta região é influenciada principalmente por compostos inorgânicos e orgânicos (substâncias húmicas) presentes no solo, como óxidos de ferro (ou óxido de manganês), que apresentam características coloidais que alteram a cor da água, mas não influenciam na Turbidez (Bárbara et al., 2010; Cunha, 2013).

Figura 11 - Relação entre a Precipitação (mm) e cor real (mg/L) – Enchente (a) e Vazante (b).

A Demanda Bioquímica de Oxigênio representa (DBO) a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica presente na água através da decomposição microbiana aeróbia. Sendo assim, as maiores concentrações de DBO normalmente são encontradas em áreas apresentando grandes concentrações de matéria orgânica, seja ela natural, ou lançada no corpo hídrico. A DBO retrata, de uma forma indireta, o teor de matéria orgânica nos esgotos ou no corpo d'água, sendo, portanto, uma indicação do potencial de consumo do oxigênio dissolvido (Von Sperling, 1996). Ao analisar este parâmetro observa-se no ponto Outas-02 na maré enchente com o valor de 42 mg/L. Quando analisados a valores DBO médios observa-se que todos os

pontos apresentaram valores superiores ao máximo permitido pela resolução do Conama para águas doces de classe 2.

O fato provavelmente seja decorrente do lançamento de cargas poluidoras provenientes de atividades próximas a orla de Belém, devido ao número muito grande de indústrias próximas dos pontos de coleta, além de lançamento de efluentes domésticos advindos da cidade que circunda a região. Pode-se concluir também que os valores maiores encontrados foram na estação menos chuvosa da região, conforme figura 12 (a e b). Sugere-se que estes valores maiores encontrados na estação menos chuvosa decorra-se a princípio da carga poluidora estar em maiores concentrações por não haver diluição das grandes chuvas.

Figura 12 - Relação entre a Precipitação (mm) e DBO (mg/L) – Enchente (a) e Vazante (b).

Conclusões

Os resultados obtidos nessa pesquisa mostraram que seis dos nove parâmetros estudados a precipitação parece ser o principal agente de influência na qualidade da água da Baía do Guajará, uma vez que que esses parâmetros

monitorados ao longo de 02 anos estiveram intimamente relacionados com o regime de chuva local. O ciclo anual de precipitação marcada na região Amazônica indica em todos os pontos de coleta a sua influência em determinadas épocas do

ano, como é o caso em dois períodos distintos: período chuvoso e período menos chuvoso.

Durante o período chuvoso, quando ocorre as chuvas intensas nessa região, se constatou que os parâmetros de pH, temperatura, condutividade elétrica, TDS, salinidade, oxigênio dissolvido e turbidez, tendem a diminuir suas concentrações. No período menos chuvoso, o contrário ocorre, esses valores de concentração aumentam considerável.

Tais comportamentos desses parâmetros se devem também pela junção da hidrodinâmica local da Baía do Guajará com o efeito climático, decorrente também da interferência da entrada e saída das correntes oceânicas e superficiais (produto de marés).

O efeito climático desta região é refletido, principalmente, nos parâmetros de condutividade

elétrica, TDS e salinidade. Durante os meses de maior pluviosidade esses parâmetros tendem a serem menores, em consequência de que quanto maior for a precipitação local, maior será a diluição afetando desta maneira a sua concentração, já em comparação ao período de pouca pluviosidade esses valores tendem a estarem mais concentrados na Baía do Guajará o que demonstra maior aporte de valores de íons que é demonstrado pela condutividade elétrica.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas do Pará (FAPESPA) por bolsa de Mestrado concedida, e ao Instituto Evandro Chagas pelo apoio nas análises físico-químicas realizadas.

Referências

- Alves, I. C. C., EL-Robrini, M., Santos, M. L. S., Monteiro, S. M., Barbosa, L. P. F., Guimarães, J. T. F., 2012. Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do Rio Arari (Ilha de Marajó, norte do Brasil). *Acta Amazonia* 42, 115-124.
- Bárbara, V. F. Cunha, A. C., Siqueira, E. Q. 2010. Monitoramento sazonal da qualidade da água do rio Araguari/AP. *Revista de Biociências* 16, 57-72.
- Barroso, G. F., 2006. Development of an evaluation framework for sustainable bivalve aquaculture: a strategic plan approach in Espírito Santo, Brazil. Tese (Doutorado). Victoria. University of Victoria, Canadá.
- Cavalcante, G., Miranda, L. B., Medeiros, P. R. P., 2017. Circulation and salt balance in the São Francisco river Estuary (NE/Brazil). *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* [Online] 22. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.021720170003>. Acesso: 10 fev. 2018.
- Corrêa, F. M., 2005. Impactos antrópicos sobre a qualidade da água no Rio das Antas na área urbana da cidade de Anápolis – Goiás: Uma abordagem para gestão ambiental. Dissertação (Mestrado). Brasília, Universidade Católica de Brasília.
- Costa, N. C. D. B., Venâncio, S. S., Pinho, J. L. S. Vieira, J. M. P., 2017. Análise hidrodinâmica do estuário do rio Lima, Portugal, a partir de simulação numérica. *Revista Ambiente e Água* 12, 476-488.
- Costa, S. M. F., Montoia, G. R. M., Rangel, J. A., Lima, V. M., Issa, P., 2012. Pequenas cidades do estuário do Rio Amazonas: fluxo econômico, crescimento urbano e as novas velhas urbanidades da pequena cidade de Ponta de Pedras. *Revista de Desenvolvimento Regional* 17, 56-74.
- Cotovicz Júnior, L. C., Libardoni, B. G., Brandini, N. Knoppers, B. A., abril, G., 2016. Comparações entre medições em tempo real da pco₂ aquática com estimativas indiretas em dois estuários tropicais contrastantes: o estuário eutrofizado da Baía de Guanabara (RJ) e o estuário oligotrófico do Rio São Francisco (AL). *Revista Química*, [Online] 39. Disponível: <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20160145>. Acesso: 03 fev. 2018.
- Cunha, A. C., 2013. Revisão descritiva sobre ecossistemas aquáticos na perspectiva da modelagem da qualidade da água. *Biota Amazônia* 3, 124-143.
- Damasceno, M. C. S., Ribeiro, H. M. C., Takiyama, L. R., Paula, M. T., 2015. Avaliação sazonal da qualidade das águas superficiais do Rio Amazonas na orla da cidade de Macapá, Amapá, Brasil. *Ambiente e Água* [online] 10, Disponível: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1606>. Acesso: 23 fev. 2018.
- DE Souza, F. F. C., Ribeiro, C. B. M., Fragoso Júnior, C. R., Otenio, M. H., 2016. Thermal regime modeling of the public supply tropical reservoir at Juiz de Fora, MG, Brazil. *Ambiente e Água* [Online] 11. Disponível: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1544>. Acesso: 23 fev. 2018.
- Esteves, F. A., 1998. Fundamentos de limnologia. 1 ed. Interciência, Rio de Janeiro.

- Figueroa, S.N., Nobre, C. A., 1989. Precipitation distribution over Central and Western tropical South America. *Climanalise*, 5. 36-45.
- Filizola, H. F., Gomes, M. A. F., Souza, M. D. 2006. Manual de procedimentos de coleta de amostras em áreas agrícolas para análise de qualidade ambiental: solo, água e sedimentos. 1 ed. EMBRAPA Meio Ambiente, Jaguariuna.
- Fonseca, H. S., Salvador, N. N. B., 2005. Estudo integrado da qualidade das águas da bacia hidrográfica do rio Bonito em Descalvado – SP. *Revista Instituto Adolfo Lutz*, 64.179-185.
- Fraga, R. S., Tavares, V. E. Q., Timm, L. C., Estrela, C. C., Bartels, G. K., 2012. Influência da precipitação sobre parâmetros de qualidade da água utilizada para irrigação do morangueiro no município de Turuçú-RS. *Revista Brasileira de Agrociência*, 18, 81-94.
- Gregório, A. M. S., 2001. Contribuição à gestão ambiental da Baía do Guajará (Belém – Pará – Amazônia) através do estudo batimétrico e sedimentológico. Dissertação (Mestrado). Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Horbe, A. M. C., Oliveira, L. G. S., 2008. Química de Igarapés de Água Preta do Nordeste do Amazonas - Brasil. *Acta Amazônica*, 38. 753-760.
- Kolm, H. E., Siqueira, A., Machado, E. C., 2016. Influência da pluviosidade na qualidade da água de dois sangradouros do litoral do Paraná, Brasil. *Braz. J. Aquat. Sci. Technol*, 20. 1-11.
- Lima, J. O. G., Lopes, F. C. C., Lima, J. R., 2014. Hidroquímica do carbonato e bicarbonato: efeito na qualidade de águas subterrâneas em Crateús, Ceará, Brasil. *Ambiente e Água*, [Online] 9. Disponível: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1405>. Acesso: 10 fev. 2018.
- Medeiros, W. M. V., Silva, C. E., Lins, R. P. M., 2018. Avaliação sazonal e espacial da qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Longá, Piauí, Brasil. *Ambiente e Água*, [Online] 13. Disponível: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.2054>. Acesso: 13 set. 2018.
- Mendes, L. da S., Ferreira, I. M., 2014. Influência da sazonalidade na qualidade da água bruta no município de Ituiutaba - MG. *Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde*, 10. 97-105.
- Pereira, M. E. G. S., ASP Neto, N. E., Moura, H. T. G. S., Nunes, Z. M. P., 2017. Influência das variáveis ambientais na qualidade da água de uma lagoa costeira tropical no norte do Brasil. *Arquivos de Ciências do Mar*, 50, 81-93.
- Pimentel, M. A. S., Santos, V. C., Silva, F. A. O., Gonçalves, A. C., 2012. A ocupação das várzeas na cidade de Belém: causas e 10 consequências socioambientais. *Revista Geonorte*, 2. 34 – 45.
- PMB, Prefeitura Municipal DE Belém. 2001. Plano Estratégico Municipal para Assentamentos Subnormais. Parte II: Diagnóstico Institucional do Município de Belém-Pará. SEGEP, Belém.
- Prévost, M., Plamondon, A.P., Belleau, P. 1999. Effects of drainage of a forested peatland on water quality and quantity. *Journal of Hydrology*, 214.130-143
- Ribeiro, Karla Tereza Silva. 2004. Água e saúde humana em Belém. 1 ed. Coleção Megam, Belém.
- Ribeiro, T. G., Boaventura, G. R., Cunha, L. S., Pimenta, S. M., 2016. Estudo da qualidade das águas por meio da correlação de parâmetros físico-químicos, Bacia Hidrográfica do Ribeirão Anicuns. *Geochimica Brasiliensis*, 30. 84-94.
- Sabino, C. V. S., Lage, L. V., Noronha, C. V., 2017. Variação sazonal e temporal da qualidade das águas em um ponto do Córrego Gameleiras usando técnicas quimiométricas robustas. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, [Online] 22, Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522017158455>. Acesso: 10 fev. 2018.
- Santos, S. A. M., Shiavetti, A., Deberdt, A. J. 2003. Qualidade da água. Estudos de bacias Hidrográficas – Uma estratégia para a educação ambiental. 2 Ed. São Carlos.
- Silva, E. G., Rachid, E., Almeida, J. R., 2016. Avaliação dos impactos ambientais nos estuários das regiões de Caravelas e Mucuri (BA-BRASIL) com base no modelo pressão estado impacto resposta (PEIR). *Revista Internacional de Ciências*, 6. 2 - 20.
- Silveira, P. C. B., Mesquita, B., Melo, L., Filho, I. O., 2013. Estuário, paisagem-fluxo de pescadores artesanais. *Revista Iluminuras*, 14. 304-323.
- Souto, L. F. L., Oliveira, T. C. de S., Silva, M. S. R., 2015. Variação espacial de cátions, ânions e variáveis físico-químicas no rio Solimões-Amazonas entre Manaus e Jutai, Bacia Amazônica. *Acta Amazônia*, 45. 415-424.
- Teixeira, I. S., 1998. Um Modelo de Evidências sobre Riscos Ambientais para a Gestão Pública em Belém do Pará fundamentado na Auditoria Interna e Ambiental. Tese (Doutorado). Florianópolis, Universidade Federal de Florianópolis.

- Uele, D. I., Lyra, G. B., Oliveira Junior, J. F., 2017. Variabilidade Espacial e Intranual das Chuvas na Região Sul de Moçambique, África Austral. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 32. 473-484.
- Ventura, C., Sousa, J., Fernandes, A., 2017. Os estuários e as alterações climáticas: impactos da subida do nível médio das águas do mar em Vila Franca de Xira. *Revista de Geografia e Ordenamento do Território*, 11. 327-350.
- Vianello, R. L., Alves, A. R., 1991. *Meteorologia e aplicações*. 1 ed. Editora UFV, Viçosa.
- Von Sperling, M., 1995. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Belo Horizonte. 1 ed. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, Belo Horizonte.