



Dinâmica Da Qualidade Da Água Superficial No Campus Da Ufpa Em Belém-Pa

Dynamics of Surface Water Quality in the Campus of Ufpa in Belém-Pa

DOI: 10.54018/seasv2n3-007

Recebimento dos originais: 05/07/2021
Aceitação para publicação: 20/08/2021

André Lima da Costa

Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental (UFPA). Rua Augusto Corrêa, 01, Cidade Universitária, Guamá - Belém - PA - Brasil, CEP 66075-110.
E-mail: andrelima.esa@gmail.com

Giovanni Chaves Penner

Doutor em Hidráulica e Saneamento (EESC/USP). Professor Adjunto na Universidade Federal do Pará (UFPA). Rua Augusto Corrêa, 01, Cidade Universitária, Guamá - Belém - PA - Brasil, CEP 66075-110.
E-mail: penner@ufpa.br

Milena Jessica Guimarães Monteiro

Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental (UFPA). Rua Augusto Corrêa, 01, Cidade Universitária, Guamá - Belém - PA - Brasil, CEP 66075-110.
E-mail: milenajgmonteiro@gmail.com

Ana Paula Baia Oliveira da Costa

Mestra em Arquitetura e Urbanismo (UFPA). Professora EBTT no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA). Av. Couto Magalhães, 1649, Universitário, Conceição do Araguaia - PA - Brasil, CEP 68540-000.
E-mail: ana.costa@ifpa.edu.br

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi realizar o monitoramento de vazão, seção transversal e profundidade de nível d'água com um medidor acústico ADCP nas Bacias Hidrográficas dos igarapés Tucunduba e Sapucajuba, localizados no campus da UFPA em Belém e medições mensais dos parâmetros físico-químicos de qualidade da água com uma sonda multiparamétrica, durante um ciclo hidrológico anual. A partir dos dados obtidos, comparou-se o comportamento nos dois igarapés em função da variação da tábua de marés, considerando cheia e seca, verificando-se tendências de comportamento. Os resultados demonstraram que, com um sensor simples, de rápida medição e baixo custo é possível monitorar parâmetros de fácil medição. Foi possível correlacionar os dados de condutividade elétrica, sólidos totais, oxigênio dissolvido e potencial de oxirredução, que indicaram contaminação por efluentes domésticos e presença de matéria orgânica em decomposição, condição comum em rios amazônicos. Concluiu-se que a variação das marés interfere na qualidade da água e que as características físicas e o uso desordenado do solo corroboram para



a degradação ambiental dos corpos hídricos, como o Tucunduba com bacia maior e mais antropizada que o Sapucajuba e, portanto, registrou na maré seca os piores resultados quando a contribuição se dava pelo Igarapé.

Palavras-Chave: Qualidade da água, Parâmetros físico-químicos, Influência de marés.

ABSTRACT

The objective of this work was to monitor flow, cross section and water level depth with an ADCP acoustic meter in the Watersheds of Tucunduba and Sapucajuba streams, located on the UFPA campus in Belém and monthly measurements of physical-chemical parameters of water quality with a multiparameter probe, during an annual hydrological cycle. From the data obtained, the behavior of the two streams was compared according to the variation of the tide table, considering flood and drought, verifying behavioral trends. The results showed that, with a simple sensor, of fast measurement and low cost, it is possible to monitor easily measured parameters. It was possible to correlate the data of electrical conductivity, total solids, dissolved oxygen and oxidation-reduction potential, which indicated contamination by domestic effluents and the presence of decomposing organic matter, a common condition in Amazonian rivers. It was concluded that the variation of tides interferes with water quality and that the physical characteristics and the disorderly use of land corroborate the environmental degradation of water bodies, as the Tucunduba with a larger basin and more anthropized than Sapucajuba and, therefore, recorded at low tide the worst results when the contribution was given by the stream

Keywords: Water quality, physicochemical parameters, tidal influence.

1 INTRODUÇÃO

O cenário de degradação ambiental dos recursos hídricos, entre outros, ocasionado pela ocupação desordenada do uso do solo e disposição incorreta de efluentes sem tratamento lança luz para a importância dos instrumentos de planejamento de bacias hidrográficas como a elaboração do diagnóstico da situação atual, balanço hídrico e monitoramento da qualidade, que auxiliam na tomada de decisões de gerenciamento dos cursos d'água (PIVELI; KATO, 2006). A água é um recurso natural limitado e está associado diretamente à manutenção da vida e saúde da população, podendo ser diagnosticada segundo as características físicas, químicas e biológicas, chamados parâmetros de qualidade da água (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015).

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), Lei nº 9.433/1997, estabeleceu que a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da PNRH e a atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos



(BRASIL, 1997). Portanto, além das análises de qualidade da água, a bacia hidrográfica deve ser avaliada segundo suas características hidrológicas, identificando-se potenciais hídricos, regime de cheias, além de determinação da vazão, chuva-vazão, curvas-chave e escoamento básico, que subsidiarão os planos de recursos hídricos (BACK, 2006; PORTO; PORTO, 2008).

Neste trabalho buscou-se a determinação mensal de vazões e o monitoramento de parâmetros de qualidade da água nos igarapés Tucunduba e Sapucajuba, localizados no campus da UFPA em Belém, em dois momentos do dia, na maré cheia e na maré seca. Segundo o plano de trabalho estabelecido, pretendia-se elaborar a curva-chave dos igarapés e implantar uma estação fluviométrica com apoio estrutural da Agência Nacional de Águas (ANA), da Secretaria Executiva de Recursos Hídricos da Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Pará (SEMAS) e da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). Espera-se que os resultados contribuam para a elaboração de pesquisas de chuva-vazão, análise do hidrograma, estimativa do escoamento básico, entre outras. Além disso, o projeto será usado didaticamente na disciplina de Climatologia e Hidrologia da Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFPA (PENNER, 2018).

A área da Bacia do Tucunduba, que inclui o igarapé Sapucajuba e tem seu exutório no Rio Guamá, é fortemente antropizada, caracterizada pela existência de muitas ocupações irregulares, fortemente adensadas, além de instituições públicas de ensino e pesquisa. O cenário de degradação ambiental da área se deu em função do crescimento desordenado de assentamentos residenciais, com infraestrutura urbana precária de saneamento. O Rio Guamá é o principal coletor da rede hídrica de Belém, desaguando na Baía do Guajará. É também, responsável pelo fornecimento de 75% da água consumida no município abastecendo os Lagos Bolonha e Água Preta (PMB, 2019).

Os igarapés Tucunduba e Sapucajuba recebem constante despejo dos efluentes domésticos das residências de seu entorno, especialmente dos bairros Guamá e Terra Firme, assim como das instituições públicas como o campus Belém da UFPA, que, conforme apontado por Lessa et al. (2017), por se tratar de uma Cidade Universitária, produz os mais diversos tipos de efluentes e resíduos sólidos, despejando grande parte sem tratamento nos corpos hídricos das proximidades, inclusive nos igarapés Tucunduba e Sapucajuba. Para tanto, desenvolveu-se a



presente pesquisa focada no acompanhamento hídrico, isto é, vazão dos igarapés Tucunduba e Sapucajuba, e qualidade da água com parâmetros de campo, indicativo da capacidade de autodepuração dos referidos cursos d'água, de grande relevância para o município, o que contribuirá para o desenvolvimento de diretrizes de planejamento para controle e manejo ambiental nestes e em casos similares.

Diante disso, este trabalho caracterizou as Bacias Hidrográficas dos Igarapés Sapucajuba e Tucunduba, no campus Belém da UFPA, durante a maré seca e maré cheia, considerando a vazão, seção transversal e profundidade de nível d'água por meio de um medidor acústico ADCP e os parâmetros físico-químicos de campo da qualidade da água (temperatura, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, salinidade, oxigênio dissolvido, pH e potencial de oxirredução) aferidos com uma sonda multiparâométrica, correlacionando-os e analisando-se tendências de comportamento durante um ciclo hidrológico.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral do projeto foi acompanhar e auxiliar as medições e os monitoramentos de vazões nos igarapés Tucunduba e Sapucajuba a serem realizados pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) e realizar medições mensais, em momento de maré cheia e maré seca, dos parâmetros físico-químicos indicadores de qualidade da água durante um ciclo hidrológico anual.

Todavia, por indisponibilidade dos técnicos pela CPRM, não foi possível realizar as medições de vazão ao longo de todo o período considerado. Sendo assim, a partir do mês de fevereiro de 2020 foram monitorados apenas os parâmetros indicadores de qualidade da água, adequando-se o objetivo geral da pesquisa.

Como objetivos específicos definiram-se:

Comparar os dados obtidos nos dois igarapés em função da variação da tábua de marés considerando cheia e seca;

Identificar correspondência entre os parâmetros;

Verificar tendências de comportamento e compreender as variações sazonais dos parâmetros.

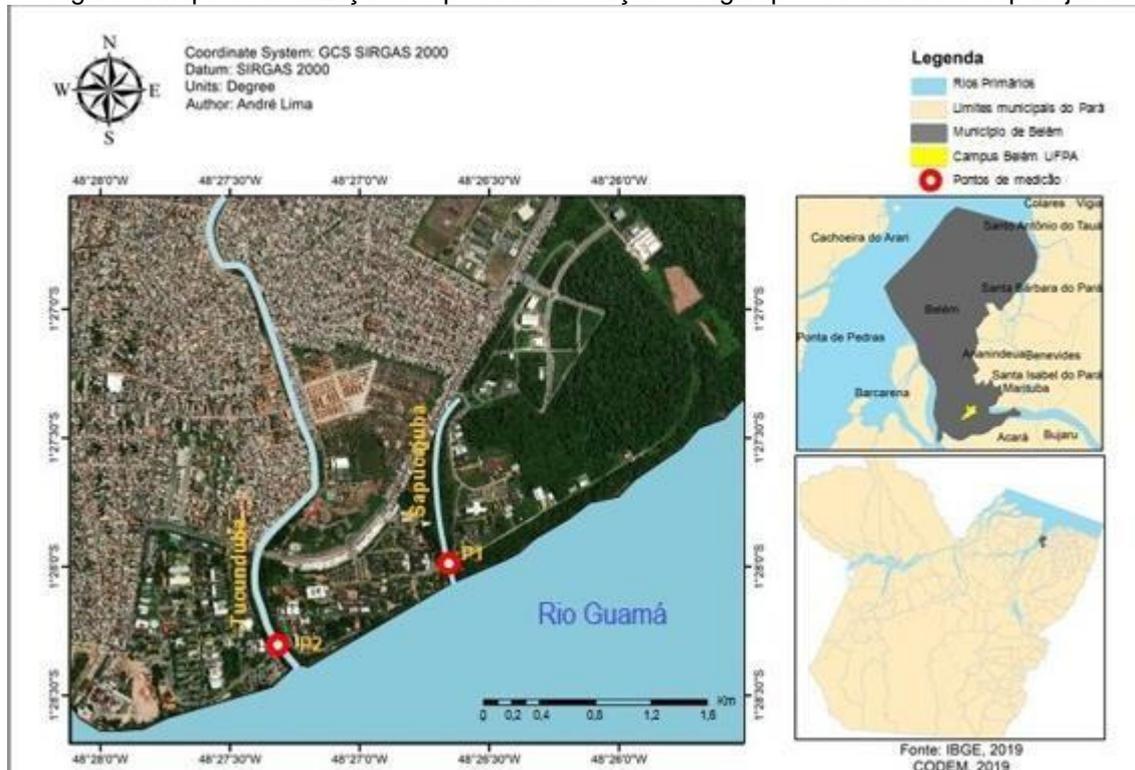
2.1 Materiais E Métodos

2.2 Área De Estudo

O estudo foi realizado em dois pontos de medição na foz de dois igarapés, Tucunduba e Sapucajuba, afluentes do Baixo Rio Guamá, localizados no campus da

Universidade Federal do Pará (UFPA), denominado Cidade Universitária Professor José da Silveira Netto, inserido em área urbana ao sul do município de Belém, capital do estado do Pará (Figura 1).

Figura 1: Mapa de localização dos pontos de medição nos igarapés Tucunduba e Sapucajuba.



Fonte: Autores, 2020.

Situada na foz do Rio Pará, às margens do Rio Guamá e da Baía de Guajará, a cidade de Belém possui terreno parcialmente peninsular de formação geomorfológica fluvial recente, compondo uma grande área de várzea, com bacias hidrográficas formadas por lagos, rios e igarapés que entrecortam os ambientes urbano e natural, quase todos retificados por canais, formando áreas de terra firme e alagáveis sujeitas a inundações sob a influência de marés ou por incidência pluvial (PMB, 2019).

O clima em Belém é equatorial, quente e úmido com temperaturas sempre altas, forte convecção, ar instável e alta umidade do ar favorecendo a formação de nuvens convectivas. Conforme a classificação de Köppen é do tipo climático Afi e pertence à classe de clima tropical, chuvoso, não apresentando estação seca e sem ocorrência de inverno estacional. As principais características climáticas da região de Belém em termos médios anuais são: temperatura do ar 26,7 °C, umidade relativa 84%, precipitação pluviométrica 3.001 mm e 2.338 horas de brilho solar (BASTOS et



al., 2002).

De acordo com o Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas – HidroWeb, os igarapés Tucunduba e Sapucajuba pertencem à sub-bacia do Rio Guamá, que corresponde à sub-bacia 31, com 87.389,54 km² de área de drenagem (ANA, 2020). O Plano Diretor Urbano de Belém, estabeleceu que a rede de drenagem do município é formada por 14 bacias hidrográficas, sendo que os Igarapés Tucunduba e Sapucajuba fazem parte da Bacia do Tucunduba que tem 10,55 km² de extensão, com 54,50% de área alagável e 25,15% das áreas alagáveis do município, abrangendo os bairros de Canudos, Terra Firme, Guamá, São Brás, Curió-Utinga e Universitário, este último, onde as coletas foram realizadas (PMB, 2008). Os bairros do entorno da área de estudo, Guamá e Terra Firme, são os mais populosos de Belém com cerca de 161.500 habitantes, o que incide em grande interferência antrópica nos igarapés.

Os igarapés Tucunduba e Sapucajuba deságuam no Rio Guamá, invertendo o sentido de seus escoamentos duas vezes ao dia, na cheia e na seca, seguindo a influência das marés. O Tucunduba possui aproximadamente 3,6 km de extensão, com uma de suas nascentes no bairro do Marco, perpassando pelos bairros Montese e Guamá e desembocando no bairro Universitário entre o Setor Básico e o Profissional do Campus Belém da UFPA. Ao longo do Tucunduba houve um processo de rápida e desordenada ocupação que alterou o funcionamento da drenagem natural das águas pluviais, das enchentes e parte dos esgotos da área, resultando num alto adensamento construtivo, de lotes pequenos, arruamentos irregulares, deficiência de infraestrutura de saneamento e contribuindo para o agravamento das inundações (SILVA, 2016).

A vegetação nativa foi retirada e algumas partes do Tucunduba foram completamente aterradas, com lixo, caroços de açaí, cascas de castanha e serragem, agravando o processo de erosão e assoreamento do leito do igarapé. Observam-se características mais naturais com a presença de mata ciliar nas proximidades da Av. Perimetral até sua foz no Rio Guamá, nos limites da UFPA. O poder público realizou algumas obras de engenharia que modificaram de forma considerável os aspectos naturais do igarapé, sendo em grande parte, canalizado e retificado. Essas características, associadas ao aumento da área de escoamento superficial e à grande pluviosidade da região, provocaram graves consequências à



população local que além de viver em condições precárias, tem de lidar com constantes alagamentos e enchentes. Outra particularidade reside na importância socioeconômica do acesso fluvial de embarcações de pequeno porte que comercializam produtos de várias localidades, ainda que em certos períodos do dia, com a seca, seja necessário esperar a inversão da maré para dar continuidade ao trajeto (SILVA, 2016).

O Igarapé Sapucajuba possui aproximadamente 1,08 km de extensão e sua maior parte está inserida no Setor da Saúde da UFPA. Diferentemente do Tucunduba, a maior extensão do Sapucajuba tem menos prédios, menor circulação de pessoas e grande extensão de áreas verdes em seu entorno imediato, até mesmo com conservação da mata ciliar em sua maior porção, apesar dos despejos regulares de efluentes domésticos das residências e de águas pluviais oriundas das galerias de drenagem localizadas na Avenida Perimetral, paralela ao Igarapé e externa ao Campus da UFPA (ALMEIDA; PENNER, 2017).

O estudo realizado por Almeida e Penner (2017) sobre caracterização física concluiu que os alagamentos ocasionais do Sapucajuba se dão pela elevação das marés do rio Guamá associada à ausência de manutenção nos sistemas de microdrenagem, uma vez que, o igarapé possui baixa tendência natural a enchentes devido às suas características físicas com um formato alongado – o comprimento é bem maior que a largura média –, o que influencia diretamente o fator de forma da bacia e às áreas vegetadas, que contribuem para o menor volume de escoamento superficial precipitado no terreno.

Segundo Brasil (2005), a Resolução CONAMA nº 357/2005 e alterações posteriores, que dispõem sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelecem as condições e padrões de lançamento de efluentes, as águas doces são definidas quanto à salinidade, em doces, salobras ou salinas, sendo que águas doces são as que possuem salinidade igual ou inferior a 0,5‰ e estas são classificadas conforme seus possíveis usos nas classes 1, 2, 3 e 4. De acordo com os parâmetros utilizados nesta pesquisa e com base no art. 42 da Resolução CONAMA nº 357/2005, os igarapés Sapucajuba e Tucunduba foram associados às águas doces, classe 2, que podem vir a ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato



primário, tais como natação e mergulho; à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; à aquicultura e à atividade de pesca (BRASIL, 2005).

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A pesquisa envolveu a revisão da literatura por meio do levantamento da produção científica mais recente sobre o tema e estudos anteriores realizados no local para a elaboração do quadro teórico, por meio de livros e artigos publicados em revistas científicas e anais de eventos, impressos ou eletrônicos, além de consulta aos normativos, guias, manuais técnicos e legislação em vigor nas esferas federal, estadual e municipal.

Para a realização da medição de vazão, seção transversal e profundidade de nível d'água contou-se com o Manual Técnico da Agência Nacional de Águas (ANA, 2014) para medição de descarga líquida em grandes rios e para o monitoramento dos parâmetros físico-químicos utilizou-se a metodologia recomendada pela Norma NBR 9897:1987 – Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1987) e as recomendações descritas no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos, de 2011, elaborado pela ANA em parceria com a Companhia Ambiental do estado de São Paulo (ANA; CETESB, 2011).

Seguindo o disposto na NBR 9897:1987 (ABNT, 1987), antes de realizar a coleta de dados, para orientar a programação do monitoramento e a interpretação dos resultados foi feito o levantamento de informações sobre os igarapés e a bacia hidrográfica em que estão inseridos junto aos órgãos reguladores dos recursos hídricos, assim como, informações hidrológicas, climatológicas, uso do solo, densidade demográfica e tipos de efluentes lançados no corpo hídrico (VON SPERLING, 2014).

De acordo com ANA e CETESB (2011), nas indicações do Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras, para assegurar a homogeneidade e representatividade do local de amostragem escolhido, as ações a serem tomadas devem ser planejadas considerando algumas variáveis, como: usos, natureza, área de influência e características da área de estudo, uma vez que, a qualidade de um corpo d'água varia segundo a espacialidade, conforme o local e a temporalidade, no



decorrer do tempo. Além disso, o guia recomenda a elaboração de cronogramas para o desenvolvimento das atividades envolvidas, considerando a sazonalidade e a disponibilidade dos recursos humanos e materiais (ANA; CETESB, 2011).

Assim, após a pesquisa teórica, seguiram-se as recomendações acima com a elaboração de um cronograma de trabalho para 30 meses, começando com a realização de visitas aos pontos de monitoramento para definição das condições de medição em campo; elaboração de cronograma de medições de vazão, seção transversal e profundidade de nível d'água, mas como citado anteriormente, foram descontinuadas, dada a indisponibilidade da CPRM e deu-se seguimento com o levantamento dos parâmetros físico-químicos para caracterizar a dinâmica da qualidade da água iniciando-se em ago/2019 até jul/2020 e previsão de término em jul/2020, com a elaboração do relatório final de monitoramento.

4 DEFINIÇÃO DOS PONTOS DE MEDIÇÃO

Após o levantamento de dados, procederam-se às inspeções de campo para verificar a conformidade com a realidade local e as condições de acesso aos locais de coleta. A partir de então, a definição dos pontos de medição se deu considerando a técnica escolhida para a determinação de parâmetros físico-químicos com o uso de sensores de fácil manuseio e transporte; o acesso mais facilitado para a medição do nível d'água de referência e a área de suporte disponível para a realização dos procedimentos. Assim, foram escolhidos locais próximos às pontes de ferro acima dos igarapés para travessia de carros e pedestres dentro do Campus, sendo o ponto de Medição 1 no igarapé Sapucajuba e o ponto de Medição 2 no Igarapé Tucunduba (Figuras 2 e 3).

Figura 2: Ponto 1 Sapucajuba.





Fonte: Autores, 2020.



Figura 3: Ponto 2 Tucunduba.

Fonte: Autores, 2020.

5 MEDIÇÃO DE VAZÃO, SEÇÃO TRANSVERSAL E PROFUNDIDADE DE NÍVEL D'ÁGUA

Seguindo a metodologia proposta no plano de trabalho, contou-se com a CPRM, como órgão de apoio, considerando sua vasta prática e domínio de equipamentos de medição de vazão de rios. As medições de vazão, seção transversal e profundidade de nível d'água foram realizadas no período de julho/2019 a novembro/2019 com a utilização do medidor acústico do tipo Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP), RiverRay 600kHz, de propriedade da CPRM.

O ADCP é composto por um trimaran em polietileno e uma sonda com transdutores. Possui no corpo do aparelho, um conjunto de hardware e software interno que emite, recebe, lê e processa os pulsos acústicos, para serem transmitidos a um software de interface usado apenas para enviar as configurações e extrair os dados. O equipamento utiliza tecnologia Doppler, que emite ondas sonoras por meio da água, em frequências preestabelecidas. As partículas carregadas pela água refletem o som de volta para o aparelho fazendo com que os sensores do medidor registrem diferentes profundidades, construindo o perfil vertical da coluna d'água. O transdutor deve ser totalmente imerso na água e o flutuador conduzido em velocidade que não provoque oscilações na embarcação, evitando-se entrada de ar sob a face dos transdutores, o que impediria a penetração da energia acústica na água. A vazão



é medida considerando o deslocamento do equipamento em relação ao fundo do corpo d'água. Para isso, utiliza-se uma reta ideal entre as margens e a partir do percurso obtém-se o total de fluxo perpendicular à superfície projetada verticalmente (ANA, 2014).

Esse equipamento dispõe de maior rapidez para executar a medição de vazão do que nos métodos convencionais, com o uso de molinetes, por exemplo; reduz os riscos de acidentes, especialmente em cotas altas; produz melhor determinação do perfil da seção transversal e da área da seção do rio, além de um número grande de verticais. Como desvantagens têm-se o custo alto, a medição da velocidade de uma parte da seção apenas e a extrapolação dos dados próximos de margens, ao fundo e em superfícies. O procedimento básico de medição consiste em esticar-se o cabo guia na seção desejada e, em cada vertical, são registradas a profundidade da água e a medida de velocidade máxima para determinar a velocidade média (ANA; EPAGRI, 2012).

Assim, antes de todas as medições foram seguidos procedimentos metodológicos pré-determinados, como a calibração da bússola no local da medição, sempre em área aberta e sem estruturas metálicas nas proximidades, a fim de compensar interferências dos campos magnéticos do local. Além disso, adotou-se a orientação para medição disposta no manual do usuário do equipamento, que estabelece como procedimento para o cálculo da vazão de rios de pequeno porte a realização de várias travessias sob a seção do rio, orientadas por um cabo guia, entre as margens, obtendo-se os dados de média das vazões em cada travessia (Figuras 4 e 5).

Figura 4: Deslocamento entre margens Sapucajuba



Fonte: Autores, 2020.

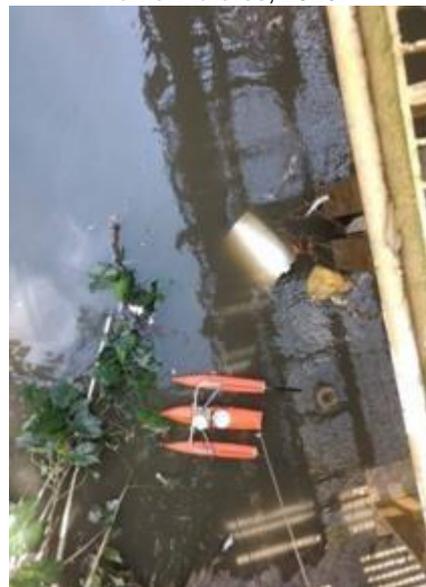


Figura 5: Medição de vazão Tucunduba

Ano/Mês	Dia	Sapucajuba		Tucunduba		Maré Cheia	Observações
		Manhã	Tarde	Manhã	Tarde		
Jul/19	12	Sim	Não	Sim	Sim	Manhã	Vazão muito reduzida pela tarde no Sapucajuba
Ago/19	29	Sim	Sim	Sim	Sim	Tarde	-
Set/19	-	-	-	-	-	-	Não houve medição
Out/19	4	Não	Sim	Sim	Sim	Tarde	Vazão muito reduzida pela manhã no Sapucajuba
Nov/19	27	Sim	Sim	Sim	Sim	Manhã	-

Em cada igarapé foram feitas duas medições de vazão por mês, uma pela manhã e outra pela tarde, tanto na maré seca quanto na maré cheia, considerando a seção do rio e o nível d'água num mesmo ponto de referência, a fim de caracterizar as séries de vazões ao longo do período de monitoramento (Tabela 1). Para serem validadas, as medições foram realizadas aos pares, saindo de uma margem para a outra e voltando para o ponto inicial, fazendo sempre um par de medições, obtendo-se os dados de largura, área, vazão total, profundidade máxima, velocidade máxima



e velocidade absoluta média. Por fim, o software integrado ao equipamento registra e processa as informações colhidas para calcular a vazão total na seção.

5 MONITORAMENTO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

A fim de descrever a dinâmica da qualidade da água, os parâmetros físico-químicos de campo medidos nos dois igarapés foram: temperatura, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, salinidade, oxigênio dissolvido, pH e potencial de oxirredução. As medições foram realizadas mensalmente, duas vezes ao dia, num mesmo ponto de referência ao longo do período de monitoramento em cada um os igarapés e nos momentos de cheia e de seca da maré, utilizando-se a tabua de marés diária a para decisão dos horários de medição (Figuras 6 e 7).

Figura 6: Medição Sapucajuba



Fonte: Autores, 2020.

Figura 7: Medição Tucunduba.



Fonte: Autores, 2020.

O monitoramento ocorreu durante um ciclo hidrológico, de ago/2019 a jul/2020 e, inicialmente era feito concomitantemente com as medições de vazão, seção transversal e profundidade de nível d'água, sendo que, não foram realizadas nos



meses de set/2019, dez/2020 e jan/2020 em função da indisponibilidade da CPRM, o que implicou igualmente na ausência de medições dos parâmetros de qualidade da água nesses meses (Tabela 2). Entretanto, a inexistência desses dados não comprometeu a interpretação final dos resultados para a verificação das tendências de comportamento.

Tabela 2: Registro dos monitoramentos mensais dos parâmetros físico-químicos.

Ano/Mês	Dia	Tábua de marés		Sapucajuba		Tucunduba		Maré Cheia	Observações
		Hora		Hora		Hora			
		Max.	Min.	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde		
Ago/19	29	10:09	18:08	09:33	14:30	10:27	15:20	Manhã	-
Set/19	-	-	-	-	-	-	-	-	Não houve medição
Out/19	4	15:34	10:24	09:07	14:21	09:20	15:15	Tarde	-
Nov/19	27	11:47	19:08	11:15	15:20	09:58	16:20	Manhã	-
Dez/19	-	-	-	-	-	-	-	-	Não houve medição
Jan/20	-	-	-	-	-	-	-	-	Não houve medição
Fev/20	28	13:53	08:51	09:29	15:12	09:14	15:22	Tarde	Chuva no período da tarde
Mar/20	13	14:15	09:30	10:49	14:52	11:11	15:06	Tarde	Super Maré (3.6)
Abr/20	2	18:24	12:00	09:10	15:10	09:25	15:19	Tarde	-
Mai/20	14	16:51	10:56	09:56	14:44	09:43	14:55	Tarde	-
Jun/20	11	15:08	09:53	09:21	13:00	09:10	13:11	Tarde	-
Jul/20	9	13:56	08:53	09:12	13:08	09:03	13:16	Tarde	-

A coleta dos dados envolveu o uso de um sensor, a sonda multiparâmetro da marca YSI modelo 556 Multi Probe System (MPS) conectada a um “handheld” com display e teclado (Figuras 8, 9 e 10). Esse equipamento compõe o acervo patrimonial do Laboratório Multiusuário de Tratabilidade de Águas (LAMAG). O LAMAG é vinculado a Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental (FAESA), um dos sub-laboratórios do Laboratório de Engenharia Sanitária Ambiental (LAESA) e ao Instituto de Tecnologia (ITEC) da UFPA. Para a retirada do equipamento foi necessário ajustar horários junto ao técnico responsável pelo laboratório que prestou as devidas orientações para seu correto manuseio.

Figura 8: Sonda multiparâmetro.



Fonte: Autores, 2020.

Figura 9: Sensores.



Fonte: Autores, 2020.



Figura 10: Handheld

Fonte: Autores, 2020.

Conforme apontado em ANA e CETESB (2011), as sondas multiparâmetros são equipamentos portáteis, encontradas no mercado, capazes de determinar simultaneamente quase todos os parâmetros de qualidade da água e operam utilizando um conjunto de sensores e um display para visualização dos dados. Possuem formato cilíndrico e pequeno porte, cerca de 10 cm de diâmetro e 50 cm de altura. São indicadas para o monitoramento automático de corpos d'água por serem tecnicamente confiáveis e simples de utilizar, bastando mergulhar a sonda na água e aguardar os dados aparecerem no handheld. Com telemetria de dados realizada de forma similar às estações automáticas convencionais, as sondas multiparâmetros podem ser operadas manualmente ou, quando instaladas, exigem pouca infraestrutura em comparação com as convencionais, que necessitam de container e sistema de bombeamento, logo, o uso de sondas implica em custos



menores seja na implantação ou na manutenção. O equipamento possui baterias internas de alimentação elétrica que garantem até períodos extensos de medição, dependendo da frequência de determinação e registro programados (ANA; CETESB, 2011).

As sondas multiparâmetro funcionam com sensores conectados que medem e calculam diferentes parâmetros de qualidade da água simultaneamente. Em contato com a água, os sensores oferecem uma resposta eletrônica ao estímulo recebido. As respostas são registradas e armazenadas com auxílio de um software que as converte em valores numéricos, podendo ser visualizados em tempo real no handheld ou transferidos para computadores (ANA; CETESB, 2011). A YSI 556 MPS conta com sensores para medir oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, temperatura, pH e potencial de oxirredução. Os demais parâmetros, salinidade e sólidos totais dissolvidos, são calculados a partir da condutividade elétrica.

Antes de cada medição foi realizada a calibração de cada um dos sensores da sonda multiparâmetro conforme indicado pelo fabricante no manual do equipamento, utilizando-se soluções padrão. Antes da calibração, cada sensor era limpo com água destilada e lenço de papel e era verificada a membrana de anteparo do sensor de oxigênio dissolvido. Durante a calibração, as soluções padrão eram colocadas em um béquer, os sensores eram inseridos, esperava-se os valores estabilizarem e a leitura do resultado era feita para o parâmetro correspondente à solução utilizada. Caso estivesse fora do padrão os ajustes necessários eram feitos por meio de comandos no menu calibração do handheld conforme o parâmetro verificado. Ao término, os sensores eram lavados com água destilada, enxugados com lenço de papel e o equipamento era desligado.

Durante as medições, o equipamento era introduzido manualmente no corpo d'água, aguardando-se o tempo de estabilização do aparelho, de 1 a 2 minutos. Os dados eram anotados e posteriormente transferidos para o computador. Após a utilização em cada um dos rios, era realizada a limpeza prévia da sonda com uso de água desmineralizada e detergente não fosfatado. Ao final do dia de medições era feita a limpeza detalhada no LAMAG e em seguida o equipamento era devolvido ao técnico responsável pelo laboratório.

6 TABULAÇÃO E TRATAMENTO DOS RESULTADOS

Os resultados de cada monitoramento mensal de parâmetros de qualidade da



água foram tabulados em planilha eletrônica e representados por meio de tabelas e gráficos utilizando-se o programa Excel 2016. A análise dos dados obtidos foi feita por estatística descritiva com o objetivo de identificar tendências e correspondência entre os parâmetros ao longo do ciclo hidrológico. Já os dados de largura, área, vazão total, profundidade máxima, velocidade máxima e velocidade absoluta mediados igarapés foram obtidos a partir do software River Surveyor Live v4. e representados em quadros, de acordo com o que foi determinado na metodologia do plano de trabalho.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 Vazão, Seção Transversal E Profundidade De Nível D'água

No presente subitem são dispostos os resultados obtidos nas medições do período de ago/2019 a jan/2019 com a utilização do medidor acústico RiverRay da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. As características básicas dos igarapés como largura, área da seção, velocidade máxima, velocidade média, profundidade máxima e profundidade média estão dispostas nas Tabelas 3, 4 e 5 e demonstram a ordem de grandeza das variáveis envolvidas em cada uma das medições, nos dois momentos, com a maré cheia e com a seca. As vazões medidas estão apresentadas na Tabela 6. Os dados foram apresentados lado a lado de modo a permitir a comparação entre os igarapés nas duas condições.

Conforme se vê nas Tabelas 3, 4 e 5, a largura, área, velocidade máxima, profundidade máxima e profundidade média de cada igarapé aumentam com a maré cheia, que inverte o escoamento do Rio Guamá, de maior volume, para os igarapés. Por exemplo, durante a cheia, no mês de nov/2019, a área do igarapé Tucunduba foi medida em 52,2 m² e na seca 19,2 m². Já a área do Sapucajuba foi de 11,7 m² na cheia para 1,9 m² na seca, indicando grande variação em função das marés e entre os igarapés, já que o Sapucajuba possui formato mais estreito que o Tucunduba e menor área de drenagem. Apenas a velocidade média diminui com a cheia. No entanto, é esperado que os valores de velocidade da água sejam afetados, com obtenção de valores menores, em resultado do aumento do volume de água.



Tabela 3: Características físicas (Largura e Área).

Ano/ Mês	Maré				Largura (m)				Área (m ²)			
	Sapucajuba		Tucunduba		Sapucajuba		Tucunduba		Sapucajuba		Tucunduba	
	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde
Jul/19	Cheia	Seca	Cheia	Seca	5,718	-	21,23	-	3,093	-	37,097	-
Ago/19	-	-	Seca	Cheia	-	-	13,1	29,4	-	-	17,2	72,4
Set/19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Out/19	Seca	Cheia	Seca	Cheia	-	8,0	13,3	27,2	-	9,2	13,4	55,6
Nov/19	Cheia	Seca	Cheia	Seca	8,6	3,6	22,5	15,8	11,7	1,9	52,2	19,2

Fonte: Autores, 2020.

Tabela 4: Velocidade Máxima e Média.

Ano/ Mês	Maré				Vel. Máx. (m/s)				Vel. Média (m/s)			
	Sapucajuba		Tucunduba		Sapucajuba		Tucunduba		Sapucajuba		Tucunduba	
	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde
Jul/19	Cheia	Seca	Cheia	Seca	1,087	-	1,191	-	0,122	-	0,263	-
Ago/19	-	-	Seca	Cheia	-	-	1,89	17,3	-	-	0,061	0,041
Set/19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Out/19	Seca	Cheia	Seca	Cheia	-	1,92	3,96	10,1	-	-0,047	0,131	-0,034
Nov/19	Cheia	Seca	Cheia	Seca	1,53	1,24	1,15	4,33	-0,080	0,149	-0,286	0,209

Fonte: Autores, 2020.

Tabela 5: Profundidade Máxima e Média.

Ano/ Mês	Maré				Prof. Máx. (m)				Prof. Média (m)			
	Sapucajuba		Tucunduba		Sapucajuba		Tucunduba		Sapucajuba		Tucunduba	
	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde
Jul/19	Cheia	Seca	Cheia	Seca	1,005	-	3,081	-	-	-	-	-
Ago/19	-	-	Seca	Cheia	-	-	2,25	4,32	-	-	1,32	2,46
Set/19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Out/19	Seca	Cheia	Seca	Cheia	-	1,88	1,54	3,34	-	1,16	1,01	2,04
Nov/19	Cheia	Seca	Cheia	Seca	2,24	0,832	3,63	2,15	1,36	0,511	2,33	1,22

Conforme a Tabela 6 observa-se a influência evidente da maré nos valores de vazão, sempre maiores durante as cheias. A mesma observação foi realizada no estudo elaborado por Cunha et al. (2004) no estado do Amapá, sobre a qualidade microbiológica da água de rios de áreas urbanas e periurbanas no baixo Rio Amazonas. Os autores concluíram que fatores antropogênicos e naturais como o clima, vazão e as marés influenciam diretamente a qualidade da água.

Ano/ Mês	Maré				Vazão (m ³ /s)			
	Sapucajuba		Tucunduba		Sapucajuba		Tucunduba	
	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde
Jul/19	Cheia	Seca	Cheia	Seca	0,374	-	9,747	-
Ago/19	-	-	Seca	Cheia	-	-	1,05	2,94
Set/19	-	-	-	-	-	-	-	-
Out/19	Seca	Cheia	Seca	Cheia	-	0,436	1,77	1,86
Nov/19	Cheia	Seca	Cheia	Seca	0,896	0,284	14,9	4,25

A análise dos resultados permite observar que, nos dois igarapés há diferença significativa entre os dados de vazão medidos na cheia e na seca, sendo as cheias com os maiores valores, o que é compatível com o esperado, em decorrência das características físicas dos cursos d'água analisados. Em todos os momentos de medição, considerando todas as variáveis medidas, seja na cheia ou na seca, o igarapé Tucunduba apresentou maior vazão, seção transversal e profundidade de nível d'água que o Sapucajuba, como era esperado, por apresentar maior área de drenagem.



8 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

8.1 TEMPERATURA

A temperatura da água é um importante parâmetro de monitoramento da qualidade da água, pois influencia na dinâmica de reprodução da biota aquática e indica se há poluição térmica por descarga de efluentes. A elevação da temperatura implica negativamente na velocidade das reações bioquímicas de decomposição de compostos orgânicos diminuindo a solubilidade do oxigênio dissolvido, elementar para a decomposição aeróbia e aumentando a taxa de transferência de gases, o que provoca maus odores e mortandade de peixes. A interpretação dos resultados em termos de corpos d'água deve ser analisada em conjunto com outros parâmetros, como o oxigênio dissolvido (PIVELI; KATO, 2006; VON SPERLING, 2014).

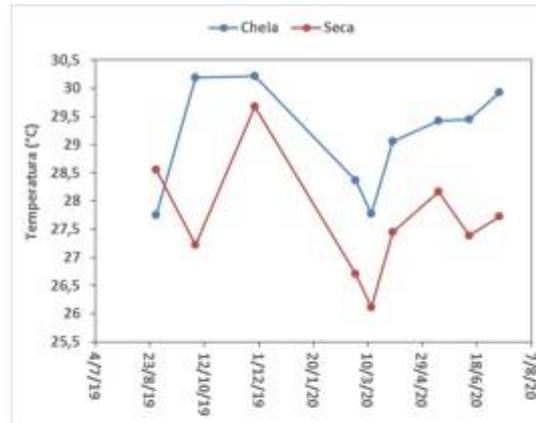
Conforme Brasil (2005), a Resolução CONAMA nº 357/2005 fixou limite de temperatura máxima de 40°C apenas para lançamento de efluentes, com a variação de temperatura no corpo receptor não excedente a 3°C na zona de mistura. No entanto, nesta pesquisa, não foi avaliado o lançamento de efluentes, de modo que a temperatura superficial da água foi comparada à temperatura ambiente e aos resultados encontrados em outros trabalhos realizados em corpos d'água da região norte do Brasil.

As menores temperaturas no igarapé Sapucajuba, durante a maré cheia, foram 27,75 °C em ago/19 e 27,77 °C em mar/20, conforme é possível observar na Figura 11. Já as maiores foram 30,19 °C e 30,21 °C, respectivamente em outubro e nov/2019. A partir de então, se calculou a temperatura média, dada em 29,13 °C. Durante a maré seca, a temperatura variou de 26,12 °C a 29,67 °C, resultando na média de 27,67 °C.

Na Figura 12 constam os dados de temperatura do Igarapé Tucunduba, descrevendo durante a maré cheia, a menor em 27,9 °C em mar/20 e a maior de 30,28 °C em nov/19. A média calculada foi de 29,41 °C. As medições feitas na maré seca foram de 27,46 °C em fev/20 a 30,77 °C em nov/19, resultando na média de 28,71 °C. Verificou-se que não houve variação significativa entre os igarapés. As pequenas variações para maiores temperaturas no Tucunduba justificam-se pelas suas características de vazão, seção transversal e profundidade maiores que o Sapucajuba.

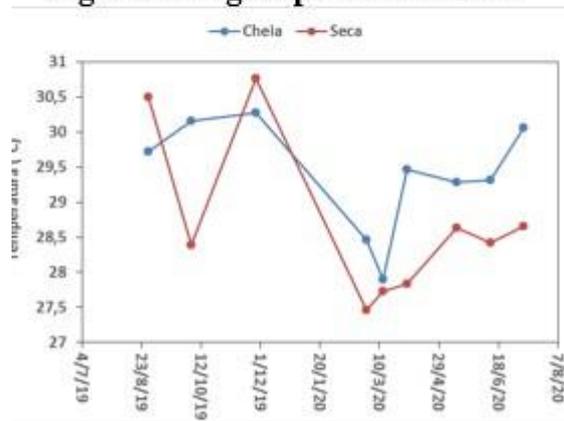


Figura 11: Igarapé Sapucajuba



Fonte: Autores, 2020.

Figura 12: Igarapé Tucunduba.



Fonte: Autores, 2020.

Constatou-se que houve pequena variação entre a menor e a maior temperatura durante todo o período de medições, de 2,46 °C na maré cheia e 3,55 °C na maré seca do Sapucajuba e de 2,38 °C na maré cheia e 3,31 °C na maré seca do Tucunduba, o que está de acordo com as características ambientais da região, de clima equatorial, quente e úmido, com pouca amplitude térmica. Além disso, foi possível correlacionar os dados aferidos para a temperatura da água nos dois igarapés com os registrados pela série histórica de dados de precipitação do município de Belém provenientes da Embrapa Amazônia Oriental, realizados no período de 1987 a 2007, que indicam novembro como o mês mais seco, com média de 89 mm e o mês de março, de maior precipitação com média de 379 mm (BASTOS et al., 2002).

As maiores temperaturas foram registradas nas cheias, isto por que, em função da tábua de marés, coincidiram com o período da tarde, com medições variando nos horários das 13h00 às 15h00, exceto nos meses de ago/19 e nov/19 quando a cheia se deu no período da manhã (entre 9h00 e 11h00) e as maiores temperaturas foram obtidas nas secas que ocorreram no período da tarde, o que pode ser visualizado no traçado das Figuras.

A pesquisa realizada por Oliveira e Cunha (2014) no Rio Jari, sul do Estado do Amapá, registrou valores semelhantes com variação de 25,0 °C a 29,98 °C e amplitude do período chuvoso para o de estiagem. Valores comuns foram



observados no trabalho de Paredes (2016), que avaliou a qualidade da água superficial do Canal São Joaquim em Belém-PA concluiu que as temperaturas da água estiveram bem próximas da temperatura ambiente, obtendo média de 28 °C, máximas de 31 °C e mínima de 24 °C, com variações de 3 °C a 4 °C entre os pontos de medição. Sazonalmente, durante o período chuvoso – dezembro a maio – a média foi de 28,78 °C e no seco, 29,15 °C. Piratoba et al. (2017), desenvolveu pesquisa na área portuária de Barcarena-PA encontrando para o período menos chuvoso, médias entre 30,4 a 31,1 °C, e para o chuvoso entre 29,4 e 30,1 °C, o que revelou a estabilidade característica da região equatorial durante todo o ano.

9 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

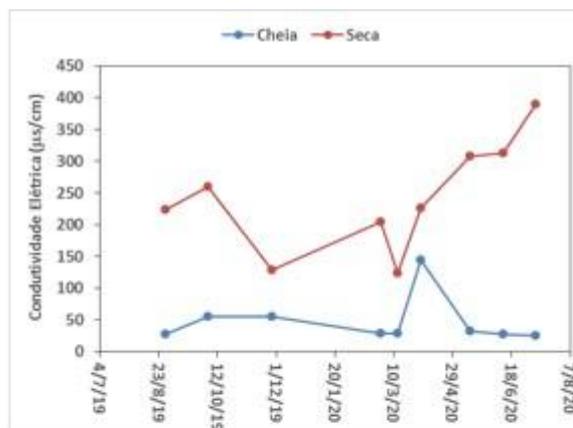
A condutividade elétrica (CE) é a capacidade da água de conduzir corrente elétrica em função da concentração iônica, cátions e ânions. Em condições naturais, o corpo d'água tende a manter valores aproximados de CE. Por isso o monitoramento desse parâmetro é importante a fim de verificarem-se alterações que podem indicar interferências, por causas naturais, como variações de maré, ou antrópicas, como, por exemplo, pelo despejo de efluentes (BRASIL, 2014). Além disso, a partir da CE podem ser estimadas a salinidade e a quantidade de sólidos dissolvidos totais na água. Esse parâmetro é também associado diretamente à temperatura, de modo que não houve variações significativas nos dois igarapés, especialmente nas cheias, quando se dá a contribuição do Rio Guamá promovendo maior diluição nos cursos d'água (OLIVEIRA; CUNHA, 2014).

A Resolução CONAMA n° 357/2005 não estabeleceu padrões de CE. No entanto, têm-se CE na faixa de 10 a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para águas naturais e valores até 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para ambientes poluídos por efluentes domésticos ou industriais (BRASIL, 2005; VON SPERLING, 2014).

Como indicado na Figura 13, observou-se uma variação entre 25 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 55 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na maré cheia do Sapucajuba. O valor médio foi de 47 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e o desvio padrão 38,23 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Excepcionalmente no mês de abr/2020, registrou-se um valor anômalo de 144 $\mu\text{S}/\text{cm}$, o que provavelmente tem relação com a medição do referido mês ter sido realizada quando a maré ainda não estava completamente cheia, contando ainda com maior contribuição da água do igarapé, diferentemente dos outros dias de medição. Na maré seca o valor mínimo foi de 124 $\mu\text{S}/\text{cm}$, máximo de 389 $\mu\text{S}/\text{cm}$, médio de 241,67 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e o desvio padrão ficou em 86,56 $\mu\text{S}/\text{cm}$, indicando maior variação que a maré cheia.

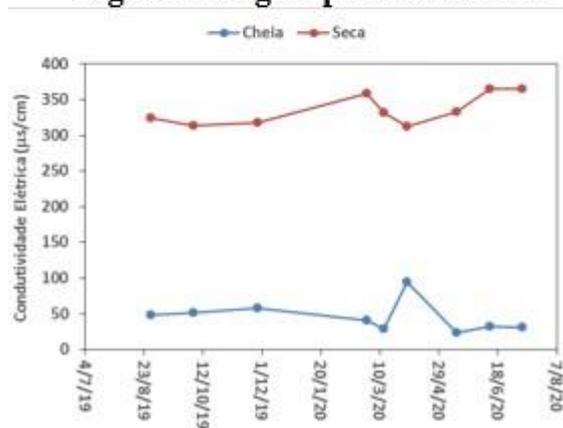


Figura 13: Igarapé Sapucajuba.



Fonte: Autores, 2020.

Figura 14: Igarapé Tucunduba.



Fonte: Autores, 2020.

Para o Tucunduba, na maré cheia, temos um comportamento parecido ao do Sapucajuba, variando entre de 24 $\mu\text{s/cm}$ a 58 $\mu\text{s/cm}$ e 95 $\mu\text{s/cm}$ no mês de abr/2020 (Figura 14). O desvio padrão foi de 21,80, com amplitude de 71,00. Na maré seca, o valor mínimo foi 313,00 $\mu\text{s/cm}$, máximo de 365,00 $\mu\text{s/cm}$, média de 335,89 $\mu\text{s/cm}$ com amplitude de 52,00 e desvio padrão de 21,55. Portanto, com menor variação que o Sapucajuba.

Nos dois igarapés, os pontos de medição na maré cheia comportaram-se de maneira parecida, porém com valores um pouco diferentes, onde o Sapucajuba teve desvio padrão e amplitude maiores. Nota-se clara diferença na CE entre a maré cheia e a maré seca, visto que, na seca a CE é maior, pois, a contribuição do corpo d'água é apenas do igarapé, com maior carga orgânica devido ao despejo de efluentes. Já na cheia, a maior contribuição é do rio Guamá, com isso, a carga orgânica é menor, proporcionando maior diluição, ficando evidente a inversão da maré.



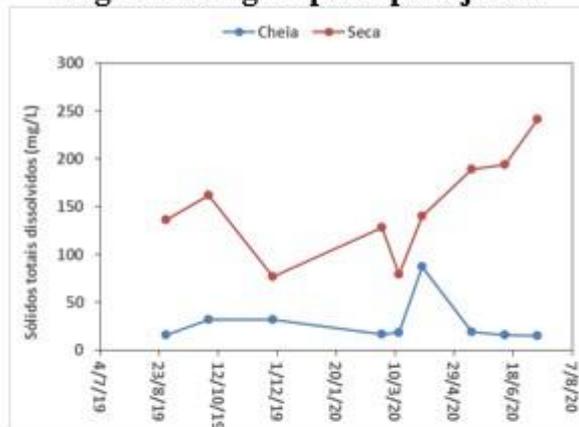
Na pesquisa de Oliveira e Cunha (2014), também houve correlação direta da CE com a temperatura indicando pouca variação tanto em termos espaciais quanto temporais, indicando comportamento similar ao deste estudo. Somente em uma medição obtiveram valores menores, em torno de 21 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que justificaram pelo aumento do fator de diluição dos íons em função de maior pluviosidade. Piratoba et al. (2017) encontraram relação de maior CE no período menos chuvoso, de 45,08 a 68,08 $\mu\text{S}/\text{cm}$, associados ainda ao lançamento de efluentes industriais e domésticos, o que demonstra que o uso do solo interfere na qualidade da água, assim como indicam os resultados de CE encontrados nos dois igarapés analisados aqui.

9 SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS

Os sólidos totais dissolvidos (STD) representam a soma de todos os componentes químicos dissolvidos na água. Os resultados expressam a concentração de substâncias iônicas e têm relação direta com os parâmetros de salinidade e condutividade (PARRON; MUNIZ; PEREIRA, 2011). Conforme apontado por Santos et al. (2014), a alta concentração de STD é característico de águas continentais e nas cheias o aumento também se dá pela grande quantidade de materiais em suspensão encontrado nessas águas, às margens dos rios e igarapés.

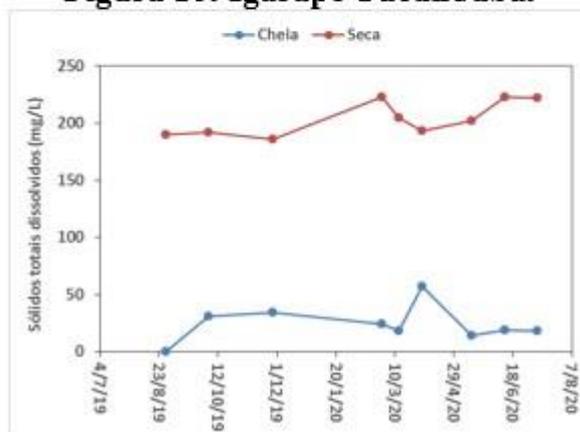


Figura 15: Igarapé Sapucajuba.



Fonte: Autores, 2020.

Figura 16: Igarapé Tucunduba.



Fonte: Autores, 2020.

Nas medições de maré cheia do Sapucajuba (Figura 15), a média dos valores registrados foi de 28 mg/L com máxima de 87 mg/L no mês de abril/2020 e mínima de 15 mg/L no mês de julho/2020. Para a maré seca, o valor mínimo foi de 77 mg/L, máxima de 241 mg/L com média de 149,56 mg/L. Com exceção dos meses de novembro/2019 e março/2020 que registraram os menores valores, em todos os outros meses os valores registrados foram acima de 120 mg/L.

Já na maré cheia do Tucunduba, chegou-se a uma média de 23,89 mg/L, com máxima de 57 mg/L. O valor mínimo detectado e atípico foi de 0 mg/L no mês de agosto/2019, onde provavelmente houve erro na leitura dos parâmetros. O desvio padrão foi de 15,85 e amplitude de 57,00. Na maré seca registrou-se mínima de 186 mg/L, máxima de 223 mg/L e média de 204 mg/L, com desvio padrão e amplitude de 15,15 e 37,00 mg/L respectivamente, indicando estabilidade dos valores (Figura 16). Para águas doces, classe 2, a Resolução CONAMA nº 357/2005 estabeleceu o limite



máximo de 500 mg/L, de modo que todos os valores encontrados aqui estão de acordo com essa normativa (BRASIL, 2005).

Os dados demonstraram que nos dois locais de medição, ficou clara a diferença nos valores de STD, quando a água predominante é do rio ou do igarapé. Nos dois casos, as Figuras se comportaram de maneira parecida sob a influência do rio Guamá, sem muita alteração nos valores. Em contrapartida, quando sob a influência do igarapé, o Sapucajuba teve um comportamento mais instável registrando desvio padrão de 53,65 e amplitude de 164,00 mg/L, enquanto o Tucunduba registrou o menor desvio padrão de 15,15 e menor amplitude, de 37,00 mg/L, mesmo registrando maior concentração de STD devido receber maior contribuição do Rio Guamá em função de suas características físicas como maior largura, profundidade e por sua vez, maior vazão.

Em comparação com as Figuras de condutividade elétrica inferiu-se que, nos dois igarapés o comportamento para os resultados de STD foi o mesmo, confirmando a tendência de correlação direta entre tais parâmetros, como apontado por Parron, Muniz e Pereira, (2011). Além disso, o sensor da sonda multiparâmetro que mede a condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e salinidade é o mesmo, implicando na similaridade da plotagem de dados nos gráficos desses parâmetros, conforme se vê nos itens 4.2.2 e 4.2.4.

Santos et al. (2014), em seu trabalho sobre a influência das condições da maré na qualidade de água do Rio Guamá e Baía do Guajará encontraram o valor mínimo de STD de 0,01 mg/L e o máximo de 40 mg/L, com mediana de 5,50 mg/L, o que está de acordo com os valores encontrados neste trabalho para as cheias, quando a contribuição é do Rio Guamá.

A pesquisa feita por Paredes (2016) em Belém-PA apresentou valores próximos aos encontrados aqui, especialmente nos pontos de medição onde era visível o lançamento de efluentes e resíduos sólidos e pela lixiviação de terrenos do entorno densamente urbanizado, ambos são fatores que interferem para a presença de resíduos na água, indicando que quanto maior a atividade antrópica maior a poluição nos cursos d'água. Os valores encontrados nesses pontos tiveram média de 224,04 mg/L e 199,38 mg/L, amplitude (178,6), com máxima de 314,5 mg/L e mínima de 135,9 mg/L. No período chuvoso foram registrados valores mínimos e máximos de 16,30 e 314,50 mg/L, enquanto no seco 20,00 mg/L e 286,80 mg/L.



Já os valores médios de STD no estudo de Piratoba et al. (2017) foram de 10,38 a 13,35 mg/L no período chuvoso e de 16,28 a 27,05 mg/L no menos chuvoso, diferentes dos encontrados nos igarapés analisados aqui. Os autores concluíram que atividades industriais da área estavam impactando os corpos receptores, apesar de os teores médios terem sido menores a 500 mg/L, atendendo aos requisitos da Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005). A maioria dos dados encontrados no presente estudo ficaram próximos aos de Paredes (2016), e acima dos de Piratoba et al. (2017).

10 SALINIDADE

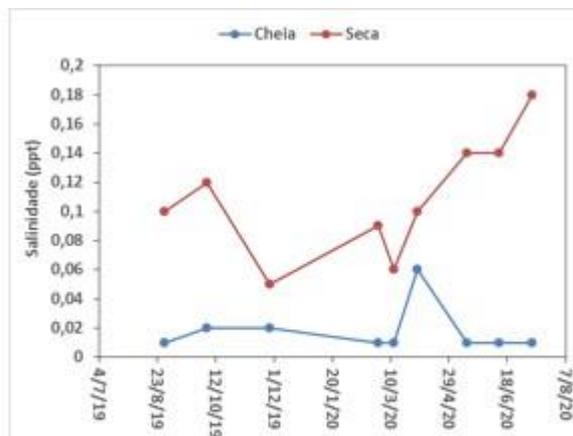
A salinidade refere-se ao conjunto de sais neutros normalmente dissolvidos na água, como cloretos e sulfatos de cálcio, magnésio, sódio e potássio, que podem conferir gosto salino à água e em dadas concentrações podem indicar poluição por esgoto doméstico. Geralmente as águas subterrâneas possuem maior salinidade que as superficiais, sendo influenciada também por condições geológicas e processos de lixiviação. É um parâmetro que possui relação com a CE e STD (FERREIRA; PÁDUA, 2010).

Os valores de salinidade do igarapé Sapucajuba na maré cheia apresentaram comportamento pouco alterado. Com exceção do mês de abril/20020 onde se registrou o valor de 0,06 ppt, os demais resultados, em todos os outros meses, variaram entre 0,01 ppt e 0,02 ppt, como se vê na Figura 17. Na seca, os valores ficaram entre 0,05 ppt e 0,18 ppt, variando mais que na cheia, com valor médio de 0,11 ppt. O desvio padrão foi de 0,04 e a amplitude ficou em 0,13. Comparando-se a linha da maré cheia com a maré seca, nota-se um comportamento mais estável na cheia e na seca nota-se elevação do desvio padrão e da amplitude.

O Tucunduba, na maré cheia, seguiu um comportamento mais estável em ambos os períodos, com mínima de 0,00 ppt e máxima de 0,04 ppt, média de 0,02 ppt e desvio padrão de 0,01. Na maré seca variou de 0,13 ppt a 0,16 ppt, com média de 0,15 ppt (Figura 18). Nos dois igarapés a variação dos valores medidos foi bem semelhante segundo os períodos de maré cheia e seca, com clara diferença quando a contribuição é dos igarapés ou do rio Guamá. Observando as Figuras da CE, STD e salinidade, verificou-se que esses três parâmetros estão correlacionados, pois apresentam o mesmo comportamento gráfico, em ambos os períodos, na maré cheia e na seca, inclusive na ocorrência de valores anômalos.

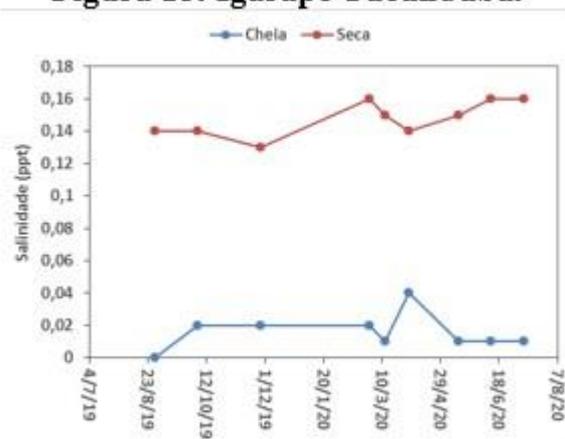


Figura 17: Igarapé Sapucajuba.



Fonte: Autores, 2020.

Figura 18: Igarapé Tucunduba.



Fonte: Autores, 2020.

Todos os valores encontrados neste estudo, em ambas as marés (mínimo de 0,00 ppt e máximo de 0,18 ppt), permitiram classificar os corpos d'água em questão como corpos hídricos de água doce, pois estão no limite estabelecido pela Resolução CONAMA n° 357/2005 para tal enquadramento com salinidade igual ou inferior a 0,5% (BRASIL, 2005). Os resultados obtidos para salinidade estão de acordo com os encontrados por Santos et al., (2014), com mínimo de 0,00 e máximo de 0,04, na pesquisa feita no Rio Guamá e Baía do Guajará em Belém.

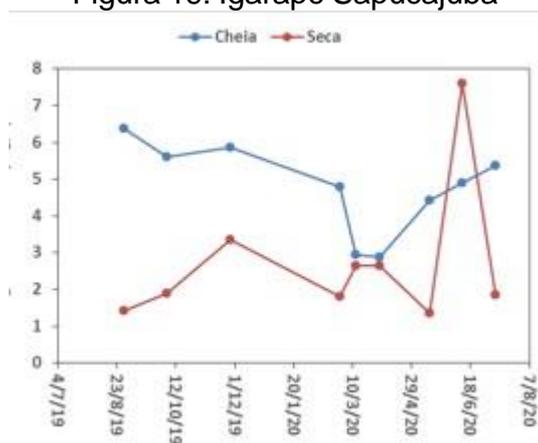
11 OXIGÊNIO DISSOLVIDO

O oxigênio dissolvido (OD) em águas naturais varia com a temperatura, salinidade, turbulência, atividade biológica de algas e plantas e com a pressão atmosférica. É fundamental para a sobrevivência dos organismos aquáticos, responsáveis pelos processos de depuração. A solubilidade do oxigênio diminui na medida em que a temperatura e a salinidade aumentam. Em águas para o consumo humano, saturações de oxigênio abaixo de 80% tendem a causar leve gosto e odor.



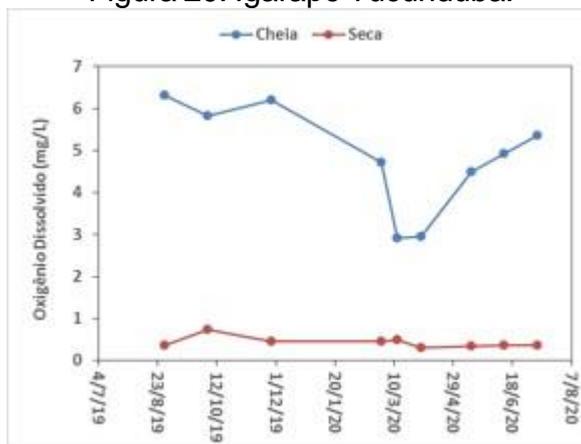
A verificação de tal parâmetro em estudos de monitoramento de qualidade da água é elementar, considerando-se que o OD interfere em quase todos os processos químicos e biológicos da água (FERREIRA; PÁDUA, 2010).

Figura 19: Igarapé Sapucajuba



Fonte: Autores, 2020.

Figura 20: Igarapé Tucunduba.



Fonte: Autores, 2020.

Fonte: Autores, 2020.

Os valores de OD medidos na maré cheia do Sapucajuba variaram de 4,43 mg/L a 6,38 mg/L, exceto nos meses de mar/2020 e abr/2020 que houve uma queda para 2,95 mg/L e 2,87 mg/L, respectivamente (Figura 19). Provavelmente, esse comportamento se deu em função do momento em que a medição foi realizada, no pico da cheia, quando se tem a mistura das águas do rio e do igarapé e a grande influência das águas do igarapé com maior concentração de matéria orgânica de fácil decomposição. Além disso, quando ocorre a mudança de sentido das águas, a velocidade do rio Guamá diminui, interferindo na aeração. Na seca, o valor médio foi



de 2,73 mg/L tendo máxima de 7,61 mg/L em jun/2020, sendo o maior valor registrado em todas as medições. Possivelmente isso ocorreu devido à medição ter sido feita próximo ao nível mais baixo da maré, onde a água encontrava-se mais límpida e com maior velocidade, proporcionando maior aeração, o que resulta em incorporação de OD no corpo d'água.

Na Figura 20 estão dispostos os resultados de OD no Tucunduba. Na maré cheia, houve comportamento semelhante ao Sapucajuba, por estar sob a influência do rio Guamá, inclusive nos valores anômalos nos meses de mar/2020 e abr/2020. O valor médio de OD foi 4,86 mg/L, máximo de 6,32 mg/L e mínimo de 2,92 mg/L. Já na maré seca, foram registrados os menores valores de todas as medições realizadas, porém, com certa estabilidade e pouca variação, registrando-se o mínimo de 0,30 mg/L, máximo de 0,74 mg/L, e média de 0,43 mg/L, produzindo um gráfico com pouca variação.

Comparando-se os dois igarapés, nota-se um comportamento muito parecido na maré cheia, sob a influência das águas do rio Guamá, tendo desenho, valores e desvio padrão aproximados. Por outro lado, durante a seca, o Sapucajuba apresentou comportamento diferente, com maior variação, inclusive registrando o maior valor medido de OD. No Tucunduba foram registrados os menores valores de OD, por se tratar de um igarapé que recebe maior despejo de esgoto sem tratamento, tendo valor médio de 0,43 mg/L, porém foi o que registrou maior estabilidade nos valores, com menor desvio padrão (0,13) e menor amplitude (0,44).

A Resolução CONAMA nº357/2005 estabeleceu valores de OD não inferiores a 5 mg/L para águas doces classes 2 (BRASIL, 2005). Na cheia dos dois igarapés 44,5% dos valores atenderam o padrão estabelecido pelo CONAMA, ou seja, a maioria esteve em desacordo. Esse cenário piora na seca, sendo que, no Sapucajuba 88,9% dos resultados estavam abaixo do mínimo recomendado e no Tucunduba 100% dos valores não atenderam o normativo. O mesmo se deu com a maioria dos resultados de OD, em concentrações muito baixas, encontrados por Paredes (2016) no Canal São Joaquim em Belém. Os valores médios de OD foram 3,1 mg/L, 1,80 mg/L e 1,9 mg/L com mínimo de 1,1 mg/L e máximo de 4,5 mg/L. A autora inferiu que essa condição é resultado da deposição de resíduos sólidos, do recebimento de descarga de águas tributárias com grande carga de esgoto e dos processos de decomposição de matéria orgânica, que consomem o oxigênio da



água.

Oliveira e Cunha (2014) registraram que a maioria dos valores de OD encontrados no Rio Jari, Amapá estava dentro dos limites do CONAMA, exceto a amostra do mês mais seco, com 4,56 mg/L, de modo que os autores relacionaram os baixos valores de OD, com o aumento da temperatura no período menos chuvoso. Como os valores de OD são inversamente proporcionais aos de temperatura da água, tem-se que com menor pluviosidade e maior intensidade de radiação solar sobre o corpo d'água, reduz-se a solubilidade de oxigênio. Também associaram a baixa concentração de OD com o aumento das concentrações de matéria orgânica existente na frente da cidade, o que interfere no processo de autodepuração da água como apontado também na pesquisa de Paredes (2016) e nos resultados desta pesquisa.

Os resultados do trabalho de Santos et al. (2014) no Rio Guamá e na Baía do Guajará, em Belém-PA foram similares aos encontrados aqui, com mediana de 4,48mg/L, mínimo de 2,41 mg/L e máximo de 7,77 mg/L, registrado na enchente do rio Guamá com entrada das águas estuarinas, que favorecem o aumento de OD. Os autores também justificaram os resultados pelo aumento da decomposição da matéria orgânica e pela existência de poluição orgânica, decorrente do lançamento de esgotos nas proximidades do rio Guamá.

12 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO

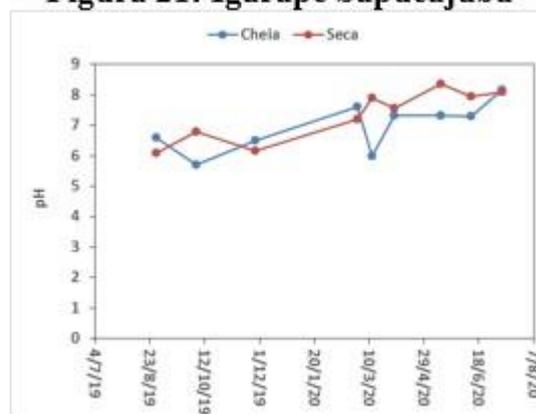
O potencial hidrogeniônico (pH) é um importante parâmetro de análise da qualidade da água, pois influencia diretamente no equilíbrio químico de águas naturais, em processos unitários de tratamento da água, em ecossistemas aquáticos e indiretamente na precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados (PIVELI; KATO 2005). O pH corresponde à concentração de íons hidrogênio de uma solução aquosa. A faixa de variação vai de 0 a 14, indicando a condição de alcalinidade ($\text{pH} > 7,0$), neutralidade ($\text{pH} = 7,0$) ou acidez ($\text{pH} < 7,0$). A maioria das águas naturais varia de ligeiramente ácido até ligeiramente básico, na faixa de 4 a 9, em virtude da presença de bicarbonatos e carbonatos dos metais alcalinos e alcalinos terrosos (PARRON; MUNIZ; PEREIRA, 2011).

A Resolução CONAMA n°357/2005 fixou para águas doces, classe 2, o limite inferior do pH em 6,0 e o máximo em 9,0 (BRASIL, 2005). Os valores medidos de



pH, na maré cheia do Sapucajuba tiveram pouca variação, com mínimo de 5,7 e máximo de 8,16 (Figura 21). O valor médio foi de 6,95, com apenas uma medição de 5,7, um pouco abaixo do estabelecido pelo padrão de comparação. Durante a seca o pH variou de 6,08 a 8,36 e o valor médio foi de 7,34, assim, todos os valores se enquadraram no padrão normativo, com características ligeiramente neutras quando sob influência do igarapé e tendência à acidez pelo Rio Guamá.

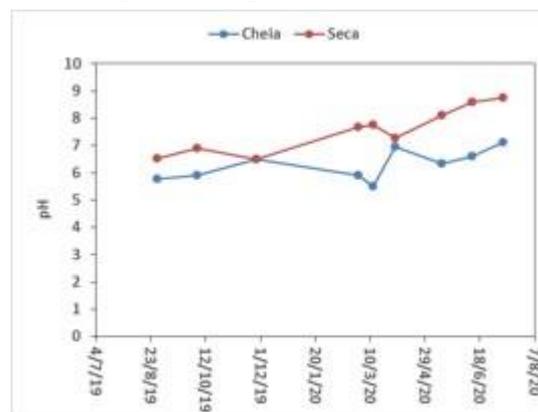
Figura 21: Igarapé Sapucajuba
Figura 21: Igarapé Sapucajuba



Fonte: Autores, 2020.

Fonte: Autores, 2020.

Figura 22: Igarapé Tucunduba.



Fonte: Autores, 2020.

Fonte: Autores, 2020.

Conforme observado na Figura 22, o Tucunduba apresentou comportamento análogo ao Sapucajuba, variando de 5,51 a 7,12 e média de 6,29 na maré cheia e de 6,51 a 8,75, com média de 7,57 na maré seca, o que indicou tendência de aumento do pH quando sob influência das águas do igarapé. Quanto ao enquadramento no padrão para água doce, classe 2 do padrão de referência, o



Tucunduba apresentou quatro medições abaixo do mínimo permitido na cheia e na seca todos os valores ficaram dentro da faixa de variação esperada. Os dois igarapés, tanto na maré cheia quanto na maré seca, apresentaram valores equivalentes, com desvio padrão menores que 0,9 e amplitude média de 2,15, além do que, apresentaram discreto incremento nos meses menos chuvosos.

Resultados similares foram obtidos no estudo feito no Rio Jari, Amapá, onde o pH não apresentou variações significativas, exceto no mês de setembro, menos chuvoso, com 5,61 e 5,88, abaixo do limite do CONAMA (OLIVEIRA; CUNHA, 2014). Assim como nesta pesquisa, o trabalho de Paredes (2016) no Canal São Joaquim, em Belém-PA encontrou características ligeiramente neutras tendo valores mínimos de 6,69 e máximos de 8,45, concluindo que a pluviosidade interfere significativamente nos valores de pH, visto que, as características naturais de águas de precipitação atmosférica possuem baixo pH. A pesquisa de Piratoba et al. (2017) em Barcarena-PA também registrou valores do pH na faixa da neutralidade, com valores médios de 7,01 a 7,39 no período chuvoso. Conforme apontado por Silva (2008) em trabalho desenvolvido no Rio Purus, no Amazonas, o pH tende a neutralidade com o aumento das chuvas, pois aumenta a diluição de compostos dissolvidos e aumenta o escoamento. Ademais, nos rios da região amazônica impactados por descargas de efluentes, o pH pode sofrer interferência pela variação das marés, que funcionam como agente de depuração das águas.

13 POTENCIAL DE OXIRREDUÇÃO

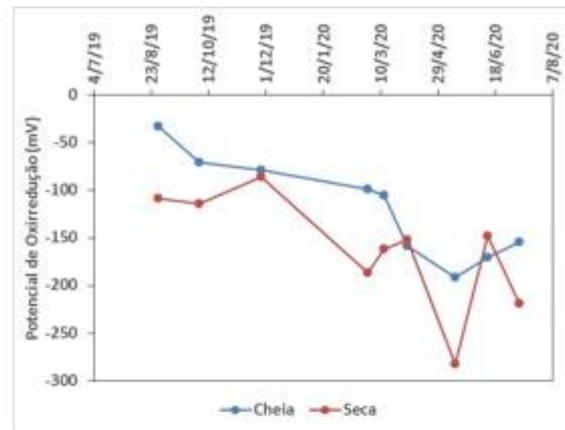
O potencial de oxirredução (Oxidation Reduction Potential – ORP) representa as reações naturais existentes na água, de transferência de elétrons, de um íon para outro, sendo um oxidante e um redutor. É inversamente proporcional ao pH, tem influência relevante nos processos metabólicos da água e interfere nas reações da maioria dos compostos orgânicos e inorgânicos, assim como o pH (LAMON, 2014). Segundo Jardim (2014), o ORP revela o equilíbrio da água determinando que em águas naturais de pH em torno de 7, “o oxigênio deve ser o principal receptor de elétrons quando o potencial redox medido está próximo de 400 mV”, de modo que, valores negativos de ORP devem estar associados a baixas concentrações de OD.

Na maré cheia do Sapucajuba, o valor mínimo de ORP foi de -191,40 mV no mês de mai/2020, máximo de -33,00 mV em ago/2019 e média de -117,97 mV. Na



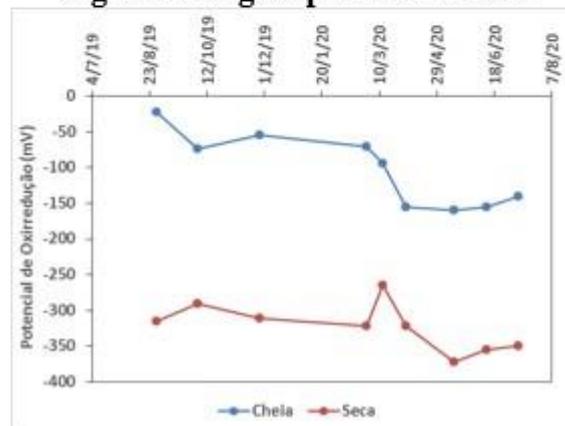
maré seca houve maior variação, com mínimo de -282,6 mV em mai/2020 e máximo de -85,6 mV em nov/2019. É evidente a diferença entre os resultados da maré cheia e da seca. A Figura 23 mostra tendência de queda ao longo dos meses nos dois períodos, porém, a linha da maré seca demonstra maior variação.

Figura 23: Igarapé Sapucajuba.



Fonte: Autores, 2020.

Figura 24: Igarapé Tucunduba.



Fonte: Autores, 2020.

De modo geral, como demonstra a Figura 24, o igarapé Tucunduba comportou-se de maneira correlata ao Sapucajuba com mínimo de -160,20 mV no mês de mai/2020, máximo de -22,40 mV em ago/2019 e média de -103,09 mV, na cheia. Na maré seca, os valores foram inferiores, variando de -372,6 mV em mai/2020 a -264,6 mV em mar/2020, com menor amplitude (108 mV). Na cheia, o comportamento dos igarapés foi correspondente, com resultados próximos. No entanto, tem-se clara diferença entre os dois locais na maré seca, onde, no Tucunduba registraram-se os menores valores, menor desvio padrão (33,12 mV) e



média de -322,5 mV.

Todos os valores de ORP medidos foram negativos, mesmo quando a contribuição se deu pelo rio Guamá, indicando que os processos redutivos são dominantes. A Resolução CONAMA n° 357/2005 não estabeleceu padrões para potencial de oxirredução. No entanto, valores negativos de oxirredução sugerem que a água possui condições redutoras com disponibilidade de elétrons, conforme apontado por Jardim (2014). Em seu trabalho sobre desenvolvimento de microsensores para o monitoramento de potencial de oxirredução, Lamon (2014) comentou que o caráter redutivo da água geralmente se dá pelas altas concentrações de matéria orgânica que elevam o consumo de oxigênio nos processos de decomposição, o que pode ser correlacionado com as áreas aqui estudadas.

14 CONCLUSÕES

Considera-se que a proposta de trabalho realizado aqui, por ter sido feito no campus da UFPA, contribuiu para a ampliação dos conhecimentos práticos, teóricos e pode auxiliar em novos projetos a serem realizados. Isto é importante porque implica em ausência de custos de transporte, obtêm-se boas respostas e passa-se a conhecer a fundo os recursos que se tem, aprofundando-se o conhecimento das águas existentes no campus Belém. Do ponto de vista da proposta inicial, avalia-se que a metodologia utilizada no estudo levou a resultados satisfatórios e de grande relevância, no que diz respeito ao monitoramento de qualidade da água, valendo-se de um sensor simples, de rápida medição e baixo custo e a investigação de parâmetros de fácil medição.

Com base nos resultados obtidos, inferiu-se que a variação das marés interfere diretamente na qualidade da água. Para todos os parâmetros medidos, quando na maré cheia, sob a influência do rio Guamá, o comportamento foi bem parecido em ambos os igarapés, com valores próximos nos dois pontos. Já na maré seca, sempre houve diferença, sendo que, no Sapucajuba observou-se maior variação ao longo dos meses, com altas e baixas, e o Tucunduba apresentou maior estabilidade, porém, sempre com valores menores, indicando maior degradação, o que era esperado, uma vez que, possui bacia de drenagem maior, em zona mais adensada e mais urbanizada que o Sapucajuba.

Na comparação com outros trabalhos realizados na região norte, verificou-se clara diferença entre a maré cheia e a maré seca nos dois igarapés, com os piores



resultados de alguns parâmetros na seca quando a contribuição se dá pelos igarapés, como por exemplo, o oxigênio dissolvido, abaixo do recomendado pelo padrão de comparação. Identificou-se ainda, a correlação entre alguns parâmetros como condutividade elétrica, sólidos totais, oxigênio dissolvido e potencial de oxirredução, que indicaram a contaminação por efluentes domésticos sem tratamento, frequente em bacias antropizadas, e a presença de matéria orgânica em decomposição, condição comum encontrada em rios da Amazônia.

Concluiu-se que os objetivos propostos foram atendidos parcialmente, com relação às medições de vazão, que em função da indisponibilidade da CPRM em continuar o cronograma de medições previsto, foi inviabilizada. Dessa maneira, não foi possível elaborar a curva-chave dos igarapés. Ainda assim, os resultados de vazão que foram possíveis auxiliaram na caracterização física da bacia indicando a tendência de maior degradação no Tucunduba por ser maior que o Sapucajuba, o que foi corroborado pelos resultados dos parâmetros de qualidade aferidos.



REFERÊNCIAS

1. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA (Brasil) – ANA; COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. Guia nacional de coleta de preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidas. Brasília, DF: ANA; São Paulo: CETESB, 2011. 327 p. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/GuiaNacionalDeColeta.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2020.
2. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA (Brasil) – ANA; EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA – EPAGRI. HidroSedimentos: um programa para cálculo de tempo de amostragem de sedimentos em suspensão a partir da medição de vazão com equipamentos acústicos Doppler: versão 2.0 - 07/02/2012. Brasília: ANA, 2012. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2013/ManualHidroSedimentos.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2020.
3. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA (Brasil) – ANA. Medição de descarga líquida em grandes rios: manual técnico/Agência Nacional de Águas. Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica. 2 ed. Brasília: ANA, 2014. 94p. Disponível em: https://www.ana.gov.br/acesso-a-informacao/institucional/publicacoes#cadernos_de_recursos_hidricos. Acesso em: 21 jul. 2020.
4. _____. HidroWeb: sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 10 jul. 2020.
5. ALMEIDA, I. R.; PENNER, G. C.. Caracterização Física da Bacia do Igarapé Sapucajuba (Belém-PA). In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 29º, 2017, São Paulo, 2017. Anais... Disponível em: <http://abes.locaweb.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento36/TrabalhosCompletoPDF/IX-034.pdf>. Acesso em: 14 jul.2020.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 9897:1987. Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores - procedimento. Rio de Janeiro, 1987. 14 p.
7. BACK, Álvaro José. Hidráulica e hidrometria aplicada: com programa hidrom para cálculo. Florianópolis: EPAGRI, 2006. 299 p. Disponível em: <http://andorinha.epagri.sc.gov.br/>. Acesso em: 29 jul. 2020.
8. BASTOS T.X.; PACHECO N.A.; NECHET D.; SÁ T.D.A. Aspectos climáticos de Belém nos últimos cem anos. Embrapa Amazônia Oriental: Documentos 128. Belém. 31 p. 2002. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/389773/1/OrientalDoc128.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2020.
9. BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº. 357,



de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Ministério do Meio Ambiente: CONAMA, 2005. Diário Oficial da União. Brasília, DF: Imprensa Oficial. Publicação DOU nº 053, de 18/03/2005, págs. 58-63. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: 15 jul. 2020.

10. BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS/Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. Brasília: Funasa, 2014. 112 p. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4321633/mod_resource/content/1/Manual%20cont_quali_agua_tecnicos_trab_emetas.pdf. Acesso em: 15 jul. 2020.

11. BRASIL. Lei nº 9.433/1997. Publicada no DOU de 9.1.1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 16 jul. 2020.

12. COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. Hidrologia para engenharia e ciências ambientais. Porto Alegre: 2. ed. revisada e ampliada. Porto Alegre: ABRH, 336 p., 2015. 350 p.

13. CUNHA, A. C.; CUNHA, H. F. A.; BRASIL JR., A. C. P.; DANIEL, L. A.; SCHULZ, H. E. Qualidade microbiológica da água de rios de áreas urbanas e periurbanas no baixo Amazonas: o caso do Amapá. In: Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, v. 9, n. 4, p. 322-328, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/esa/v9n4/v9n4a08.pdf>. Acesso em: 24 jul.2020.

14. FERREIRA, A. C. S.; PÁDUA, V. L. Qualidade da água para consumo humano. Cap. 4. In: HELLER, L.; PÁDUA, V. L. (Org.). Abastecimento de água para consumo humano. Vol. 1. 2ª ed. rev. e atualizada. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010. p.151-217.

15. JARDIM, W. F. Medição e interpretação de valores do potencial redox (Eh) em matrizes ambientais. In: Química Nova. São Paulo, v. 37, n. 7, 2014. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422014000700020&script=sci_arttext&tlng=pt. Acesso em: 24 jul.2020.

16. LAMON, A. W. Aplicação de micro sensores no monitoramento de oxigênio dissolvido, potencial redox e temperatura em estudos limnológicos. 139 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2014. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-10102014-131806/publico/DissertacaoAntonioWagnerLamon.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2020.



17. LESSA, L. C. P.; PANTOJA, T. L.; FERREIRA, J. L. L.; ASSUNÇÃO, F. P. C.; RODRIGUES, S. T. e ALMEIDA, H. S. Plano de Monitoramento Ambiental da Qualidade das Águas do Curso d'água Sapucajuba – Belém/PA. In: Congresso Internacional Resag, 3º, 2017, Belo Horizonte, 2017. Anais ... Disponível em: <http://www.resag.org.br/congressoresag2017/anais/trabalhos/aprovado>. Acesso em: 17 jul. 2020.
18. OLIVEIRA, B. S. S.; CUNHA, A. C. Correlação entre qualidade da água e variabilidade da precipitação no sul do Estado do Amapá. In: Revista Ambiente & Água [online]. Taubaté. Abr/Jun. 2014, vol.9, n.2, pp.261-275. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1287>. Acesso em: 24 jul.2020.
19. PAREDES, B. M. P. M. Avaliação da qualidade da água superficial do Canal São Joaquim, Belém-PA. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Pará. Belém, 2016. Disponível em: http://repositorio.ufpa.br/jspui/bitstream/2011/7904/1/Dissertacao_AvaliacaoQualida deAgua.pdf. Acesso em: 28 jul. 2020.
20. PARRON, M. L.; MUNIZ, D. H. F. e PEREIRA, C. M. Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água. Documentos 232. Embrapa Florestas. 1ª ed. Versão Digital. 69 p. Colombo, 2011. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/921050/1/Doc232ultimaversa o.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2020.
21. PENNER, G. C. Plano de Trabalho do Projeto de Pesquisa PRO3542-2018: Monitoramento mensal da vazão dos igarapés Tucunduba e Sapucajuba no campus da UFPA em Belém-PA. Disponível em: <https://sigaa.ufpa.br/sigaa/pesquisa/planoTrabalho/wizard.do?dispatch=view&obj.id=98374047>. Acesso em 10 fev. 2020.
22. PIVELI, R. P.; KATO, M. T. Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), 2006.
23. PIRATOBA, A. R. A.; RIBEIRO, H. M. C.; MORALES, G. P.; GONÇALVES, W. G. Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. In: Revista Ambiente & Água. [online]. Taubaté – May/Jun. 2017, vol.12, n.3, pp.435-456. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v12n3/1980-993X-ambiagua-12-03-00435.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2020.
24. PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. In: Estudos Avançados. v. 22. n.63. São Paulo, 2008. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142008000200004. Acesso em: 28 jul. 2020.
25. PREFEITURA MUNICIPAL DE BELÉM – PMB. Anuário Estatístico do Município de Belém - 2019. Disponível em: <http://anuario.belem.pa.gov.br/>. Acesso



em: 16 jul. 2020.

26. _____. Lei nº 8.655, de 30 de julho de 2008. Publicado no DOM nº 11.214, de 05/09/2008. Dispõe sobre o Plano Diretor do Município de Belém, e dá outras providências. Disponível em: http://planodiretor.belem.pa.gov.br/wp-content/uploads/2019/06/Lei-Municipal-n%C2%BA-8.655_30-07-2008-Plano-Diretor-do-Munic%C3%ADpio-de-Bel%C3%A9m.pdf. Acesso em: 16 jul. 2020.

27. SANTOS, M. L. S.; HOLANDA, P.; PEREIRA, I.; RODRIGUES, S.; PEREIRA, J. A. R. e MESQUITA, K. Influência das Condições da Maré na Qualidade de Água do Rio Guamá e Baía do Guajará. In: Boletim Técnico Científico do CEPNOR – Tropical Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. v. 14. n. 1. P. 17 – 25. Belém, 2014. Disponível em: <https://cepnor.ufra.edu.br/index.php?journal=tjfas&page=article&op=view&path%5B%5D=1757&path%5B%5D=624>. Acesso em: 18 jul. 2020.

28. SILVA, A. L. A. Uso da Água na bacia urbana do Igarapé do Tucunduba-Belém/PA. 118 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Instituto de Filosofia e Ciências Humanas. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Pará. Belém, 2016. Disponível em: http://repositorio.ufpa.br/jspui/bitstream/2011/9410/1/Dissertacao_UsoAguaBacia.pdf. Acesso em: 20 jul. 2020.

29. SILVA, A. E. P.; ANGELIS, C. F.; MACHADO, L. A. T.; WAICHAMAN, A.V. Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus. In: Acta Amazonica. Manaus. Dez. 2008. v. 38. n. 4. p. 733-742. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672008000400017. Acesso em: 23 jul. 2020.

30. VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4ª ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. 472 p.: il. – (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias; v. 1). Universidade Federal de Minas Gerais. 2ª reimpr., 2018.

31. _____. Estudos e modelagem da qualidade da água de rios. 2ª ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. 592 p.: il. – (Princípios do tratamento biológico de