



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E LIMNOLOGIA
CURSO DE BACHARELADO EM OCEANOGRAFIA

WILLMARA BRAGA DINIZ GUIMARÃES

**CARACTERIZAÇÃO HIDRODINÂMICA DO BAIXO CURSO DO RIO ITAPECURU
ENTRE O SISTEMA ITALUÍS E ROSÁRIO-MA**

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Leal de Castro

SÃO LUIS – MA
2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E LIMNOLOGIA
CURSO DE BACHARELADO EM OCEANOGRAFIA

WILLMARA BRAGA DINIZ GUIMARÃES

**CARACTERIZAÇÃO HIDRODINÂMICA DO BAIXO CURSO DO RIO ITAPECURU
ENTRE O SISTEMA ITALUÍS E ROSÁRIO-MA**

Monografia apresentada ao curso de Oceanografia da Universidade Federal do Maranhão como pré-requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Leal de Castro

SÃO LUIS – MA

2023

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

D GUIMARÃES, WILLMARA B.

CARACTERIZAÇÃO HIDRODINÂMICA DO BAIXO CURSO DO RIO
ITAPECURU ENTRE O SISTEMA ITALUIS E ROSÁRIO-MA / WILLMARA
B D GUIMARÃES. - 2023.

45 f.

Orientador(a): PROF DR ANTONIO CARLOS LEAL DE CASTRO.
Monografia (Graduação) - Curso de Oceanografia,
Universidade Federal do Maranhão, SAO LUIS -MA, 2023.

1. HIDRODINAMICA. 2. ITAPECURU. 3. SUSTENTABILIDADE.
I. LEAL DE CASTRO, PROF DR ANTONIO CARLOS. II. Título.

WILLMARA BRAGA DINIZ GUIMARÃES

**CARACTERIZAÇÃO HIDRODINÂMICA DO BAIXO CURSO DO RIO ITAPECURU
ENTRE O SISTEMA ITALUÍS E ROSÁRIO-MA**

Monografia apresentada ao curso de Oceanografia da Universidade Federal do Maranhão como pré-requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia.

Aprovado em: 11 de dezembro de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Antonio Carlos Leal de Castro (Orientador)

Profa. Dra. Larissa Nascimento Barreto (1ª Examinadora)

Prof. Dr. James Werllen, de Jesus Azevedo. (2º Examinador)

Dedico este trabalho a minha família que contribuiu com todo amor, paciência e zelo por mim, como ouvi de uma professora querida, as vezes na cava da onda e as vezes na crista da onda, esse trabalho é por você meu querido peixinho, que você possa se orgulhar da sua mãe. E claro eu nada saberia sobre a vida sem você meu melhor amigo e companheiro de vida, Yuri.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por ter chegado até aqui, à minha família por extrema dedicação e apoio, agradeço ao meu orientador Antonio Carlos, por ser meu guia por esses caminhos onde eu não mais acreditava poder trilhar, a fé depositada em mim seguirá por toda minha jornada profissional, as coordenadoras que me foram suporte ao longo do curso Samara Eschrique, Cláudia Klose e Katiene Sousa, aos professores que me ensinaram sobre disciplina e comprometimento Marianna Basso Jorge, a qual eu tenho estima, admiração e carinho, Francisco Jose Dias, Audalio Torres, Ricardo Luvizzotto, Marco Valério Cutrim, James Azevedo, quem me ensinou a estatística de uma forma engrandecedora, aos meus colegas de laboratório, os dois que passei, onde fiz amigos para a vida, Matheus Seguins, Priscila Carvalho, Gabriel Cerveira, Daniela Boais, aos amigos do labfic, Jordana, Amanda, Karol, Lisana, Fran, todas as meninas sempre solícitas, aos meus colegas de trabalho e chefe Luciano por ser paciente e humano, muito obrigada por tudo; Aos meus amigos incríveis Erlle Santos, Walterly Sullivan, Thamires Torres, Ananda Serejo, Kassandra Kellen, minhas amigas advogadas e mães, Ana Paula Fernandes, Ana Beatrix, Jennyfer, Frazão e Tayanny Araujo, minhas irmãs Willnara Guimarães e Ellen Braga, meus pais Willys e Fátima, minha tia E madrinha Edinaia, luz inspiração e os melhores avós do mundo todo e a minha comadre e amiga Sebastiana, tenho mais do que sonhei e pedi a Deus, e ao meu marido, melhor amigo e parceiro, com você descobri a minha melhor versão, com você descobri cura e amor sem medidas, você me fez despertar para aquilo que achava ter perdido, te amo para sempre e obrigada por nosso filho perfeito e ao Gael por me tornar a leoa que sempre nasci para ser, você me deu vida, te amo incondicionalmente filho.

. LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Bacia hidrográfica do Rio Itapecuru	14
Figura 2- Localização da área de estudo no Rio Itapecuru.....	16
Figura 3- Esquema da instalação perfilador de correntes (a) ADCP conectado ao (b) Notebook e suas configurações em (c) operação e (d) repouso na embarcação utilizada durante as campanhas ITA-02 e MOS-02.....	18
Figura 4- Valores de temperatura média, máxima e mínima para o mês de setembro – Plataforma de Coleta de Dados (PCD) São Luís	19
Figura 5- Valores de temperatura média, máxima e mínima para o mês de outubro – Plataforma de Coleta de Dados (PCD) São Luís	20
Figura 6- Valores diários de Umidade Relativa (%) para os meses de setembro e outubro de 2012 – PCD São Luís	20
Figura 7- Rosa dos ventos em São Luís para o período de setembro 2012	22
Figura 8- Rosa dos ventos em São Luís para o período de outubro 2012	22
Figura 9- Campos cinemáticos obtidos em diferentes horários na estação de Santa Luzia no rio Itapecuru (set/ 2012). (A) Vazante e (B) Enchente	23
Figura 10- Campos cinemáticos obtidos em diferentes horários na estação de Santa Luzia no rio Itapecuru (set/ 2012). (A) Vazante e (B) Enchente	24
Figura 11- Variação do nível da água considerando o trecho ITALUIS – Novembro/2012	25
Figura 12- Variação do nível da água considerando o trecho ITALUIS – Dezembro/2012	25
Figura 13- Variação do nível da água considerando o trecho Rosário – Novembro/2012	27
Figura 14 - Variação do nível da água considerando o trecho São Miguel – Dezembro/2012	27
Figura 15 - Variação do nível da água (m) no trecho em ITALUIS no dia 14/11/2012 em comparação com a tábua de maré do Terminal da ALUMAR – condições em maré de sizígia	29
Figura 16- Variação do nível da água (m) no trecho em São Miguel no dia 14/11/2012 em comparação com a tábua de maré do Terminal da ALUMAR – condições em maré de sizígia	29
Figura 17 - Variação do nível da água (m) no trecho em Rosário (sede) no dia 11/11/2012 em comparação com a tábua de maré do Terminal da ALUMAR – condições em maré de sizígia	30
Figura 18- Disposição do nível da água para o rio Itapecuru nos trechos ITALUIS, São Miguel e Rosário, no período de 01 a 31 de Dezembro de 2012.....	32
Figura 19- Variação da pressão atmosférica (linha escura) e da temperatura (linha azul), no período de 21 de novembro à 31 de dezembro/2012, para o trecho ITALUIS.....	35
Figura 20- Variação da pressão atmosférica (linha escura) e da temperatura (linha azul), no período de 21 de novembro à 31 de dezembro/2012, para o trecho São Miguel	35
Figura 21- Variação da pressão atmosférica (linha escura) e da temperatura (linha azul), no período de 21 de novembro à 31 de dezembro/2012, para o trecho Rosário	36
Figura 22- Variação da salinidade (ppt) durante o período de 01 a 13 de novembro 2012, considerando o trecho Rosário	37
Figura 23- Variação da salinidade (ppt) no período de 01 a 13 de novembro/2012, considerando o trecho ITALUIS.....	37
Figura 24- Variação da salinidade (ppt) no período de 21 de novembro a 31 de dezembro/2012, considerando o trecho ITALUIS	38
Figura 25- Mapa com as fontes pontuais de poluição	40

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	12
2.1	Objetivo geral.....	12
2.2	Objetivo específico.....	12
3	METODOLOGIA	13
3.1	Área de estudo.....	13
3.2	Coleta de dados e análise	15
3.3	Estimativa de vazões e caracterização morfométrica.....	17
4	RESULTADOS e DISCUSSÃO	19
4.1	Condições Climáticas.....	19
4.2	Análise dos Parâmetros Meteorológicos em setembro e outubro de 2012	21
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
6	REFERENCIA	44

RESUMO

O presente trabalho aborda problemas como o uso inadequado do solo, a expansão urbana desordenada, a demanda crescente por água e a poluição impactando negativamente o baixo curso do Rio Itapecuru. Nesta bacia hidrográfica, o desmatamento, assoreamento e poluição das águas, especialmente nos trechos urbanizados, são agravados significativamente. O crescimento urbano desordenado, juntamente com o descarte inadequado de resíduos, intensifica esses problemas. Esses fatores ambientais impõem a necessidade de uma gestão adequada dos recursos hídricos para o desenvolvimento sustentável, enfatizando a importância da hidrodinâmica como ferramenta crucial para compreender o comportamento hidrológico da bacia. O estudo proposto visa analisar o comportamento hidrodinâmico do trecho fluvio-estuarino do Rio Itapecuru, utilizando dados pretéritos disponíveis, com o objetivo de fornecer subsídios para a compreensão e gestão sustentável dos recursos hídricos na região sob influência de macro marés.

Palavras-chaves: Hidrologia. Hidrodinâmica. Impactos ambientais.

1 INTRODUÇÃO

A gestão sustentável dos recursos hídricos é uma questão de extrema importância em todo o mundo, e o Brasil não é exceção. O uso inadequado do solo, a expansão urbana desordenada, a crescente demanda hídrica e a poluição dos mananciais são fatores que impactam significativamente os ecossistemas aquáticos e a disponibilidade de água. A região amazônica, que historicamente sofreu com a exploração desenfreada de seus recursos naturais, enfrenta desafios adicionais, como a erosão hídrica, a degradação do solo e a alteração da cobertura vegetal (CASTRO, 2022).

No contexto dessa problemática, a bacia hidrográfica do Rio Itapecuru, localizada no estado do Maranhão, apresenta sérios problemas ambientais. O desmatamento de áreas ripárias, o assoreamento dos rios e a poluição das águas, agravados nos trechos urbanizados, têm impactos diretos na qualidade dos recursos hídricos e no equilíbrio dos ecossistemas aquáticos. O crescimento das cidades na região, acompanhado pelo lançamento inadequado de resíduos sólidos e líquidos, tem exacerbado esses problemas, tornando-os críticos ambientalmente, especialmente nos trechos urbanizados da região (SILVA et al., 2019).

A gestão adequada dos recursos hídricos é fundamental para o desenvolvimento sustentável e a preservação do meio ambiente. A bacia do Rio Itapecuru enfrenta desafios significativos devido à expansão urbana desordenada e à falta de práticas de conservação. Desta forma, torna-se fundamental entender a dinâmica dos sistemas aquáticos nessa região para tomadas de decisão sustentadas por evidências científicas. A hidrodinâmica é uma ferramenta valiosa que pode fornecer informações críticas para a gestão dos recursos hídricos e a prevenção de problemas ambientais.

A hidrodinâmica emerge como uma ferramenta crucial para compreender o comportamento hidrológico dessa bacia. Monte et al. (2016) menciona que essa abordagem possibilita a análise e previsão da dinâmica dos sistemas aquáticos, fornecendo informações valiosas para a gestão e conservação dos recursos hídricos. Os modelos hidrológicos permitem simular cenários, identificar fatores críticos que influenciam o comportamento do rio, e propor alternativas para mitigar problemas ambientais na bacia investigada.

. Assim, o presente estudo pretende analisar o comportamento hidrodinâmico do trecho fluvio-estuarino do Rio Itapecuru utilizando dados pretéritos disponíveis no banco de dados da UFMA, oferecendo subsídios para ampliar o conhecimento sobre o seu comportamento hidrológico em zona sob a influência de macro marés.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar o comportamento hidrodinâmico do trecho fluvio-estuarino do Rio Itapecuru utilizando modelagem numérica.

2.2 Objetivos específicos

- a) Identificar os principais fatores que influenciam a variação do nível do Rio Itapecuru;
- b) Analisar dos perfis verticais de salinidade, temperatura e densidade da área estudada;
- c) Identificar os fatores que influenciam no padrão de circulação hidrodinâmica do Rio Itapecuru;
- d) Avaliar as condições climatológicas e hidrológicas da região estudada.

3 METODOLOGIA

Entre alguns questionamentos levantados neste trabalho, argumenta-se:

“A ausência de práticas de conservação e a expansão desordenada das cidades têm causado impactos significativos na qualidade da água e no equilíbrio dos ecossistemas aquáticos. Como compreender melhor a ordem hidrodinâmica dessa bacia e quais fatores são responsáveis por essas alterações?” Neste sentido elaborou-se a hipótese que guiou este estudo, a qual postula que:

A hidrodinâmica, por meio da análise de dados coletados em campanhas oceanográficas na região, poderia identificar os principais fatores que afetam o comportamento do Rio Itapecuru. Através da hidrodinâmica seria possível prever cenários e compreender as oscilações hidrográficas, os padrões de circulação hidrodinâmica e os fatores climáticos e hidrológicos na área de estudo que causam impactos no meio aquático.

3.1 Área de estudo

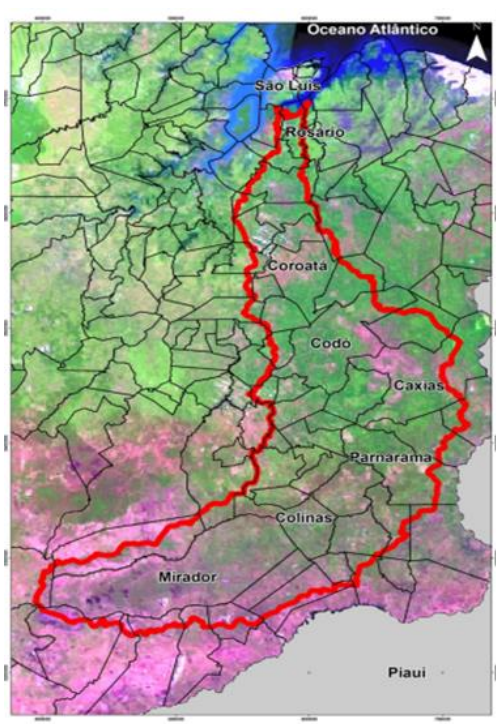
A bacia hidrográfica do Rio Itapecuru, situada no Estado do Maranhão, é um importante cenário de estudo devido às suas dimensões, história de ocupação e significativa rede de rios que a compõem. Com uma área de aproximadamente 52.972 km², correspondendo a 16% do território do estado, esta bacia desempenhou um papel fundamental na história econômica da região, servindo como rota de penetração para o interior e possibilitando o desenvolvimento da produção agrícola e de outras atividades econômicas (DOURADO, 2017).

Entretanto, ao longo do tempo, a bacia do Rio Itapecuru tem sofrido acentuadas modificações em suas características naturais devido a diversas ações antrópicas, como o desmatamento, queimadas, impermeabilização do solo e erosão das margens. Essas atividades contribuíram para o empobrecimento da biodiversidade da região, bem como para a degradação ambiental que afeta todo o ecossistema da bacia (SILVA et al., 2019) (ALCANTARA, 2004).

O rio Itapecuru destaca-se como a segunda maior bacia autenticamente maranhense e ao longo de seu território, desenrolou-se uma parcela significativa da história do Maranhão (Figura 1). Diversos engenhos, usinas e indústrias de processamento de algodão prosperaram e enfrentaram dificuldades na área. Destaca-

se também o papel desempenhado na criação de uma rota essencial para o interior do Estado, facilitando a expansão da atividade agrícola. Atualmente, ao longo de sua extensão são visíveis várias manifestações de degradação ambiental, comprometendo as potencialidades naturais da região. Conforme dados do IBGE (1998), a bacia hidrográfica do rio Itapecuru abrange uma área considerável na região centro-oriental do Estado do Maranhão, delimitada pelas seguintes coordenadas geográficas: 2°51'33" e 6°52'22" de latitude sul e 43°02'49" e 45°58'57" de longitude oeste.

Figura 1- Bacia hidrográfica do Rio Itapecuru



Fonte: Base de dados IBGE (2005).

A análise da hidrodinâmica na bacia do Rio Itapecuru torna-se crucial diante dessas transformações, permitindo compreender os padrões de fluxo e as interações complexas entre os elementos aquáticos e terrestres. Dados como as coordenadas geográficas delimitam a área de estudo, enquanto as características climáticas, destacadas pelo índice de umidade de Thornthwaite, influenciam diretamente o regime hidrológico. Com precipitações anuais de 1.200 a 1.400 mm, distribuídas ao

longo de até oito meses, e variações de temperatura que oscilam entre 27°C e 29°C, a bacia apresenta um ambiente propício para investigações hidrodinâmicas que contribuem para a compreensão dos processos fluviais e a gestão sustentável dos recursos hídricos na região.

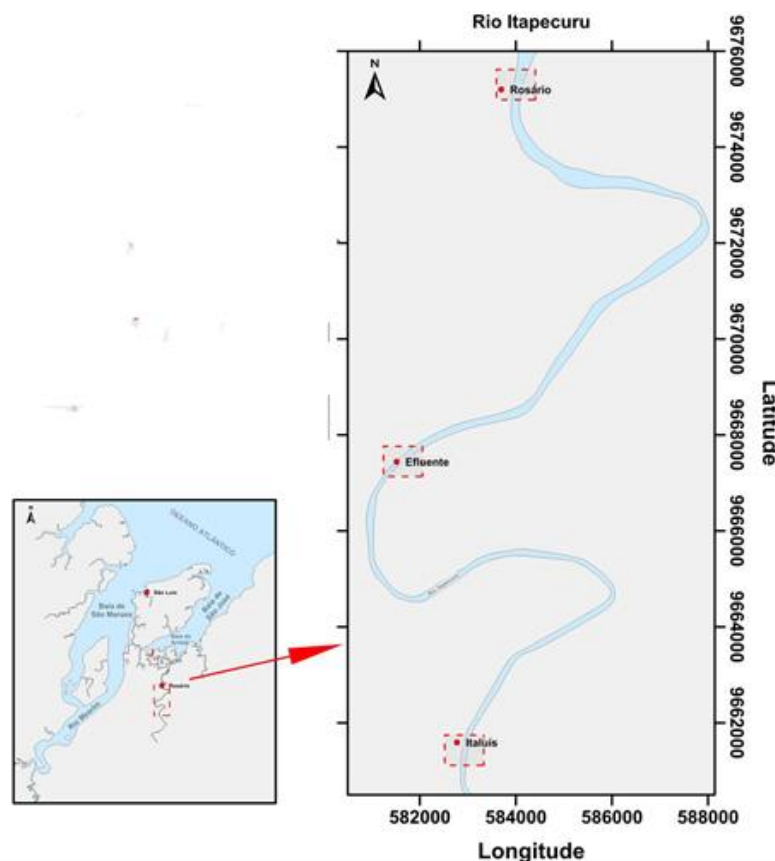
3.2 Coleta e análise de dados

O estudo de monitoramento contemplou avaliações hidrométricas do rio Itapecuru, assim como a obtenção de dados de vazão para este curso d'água. Os parâmetros meteorológicos, por sua vez, foram coletados a partir de informações obtidas no Laboratório de Meteorologia da Universidade Estadual do Maranhão (LABMET-UEMA), utilizando amostras advindas da Plataforma de Coleta de Dados (PCD) meteorológicos de São Luís (ID 32003). Os dados climáticos gerados compreenderam informações relativas à temperatura, umidade relativa, radiação solar, pressão atmosférica, precipitação, direção e velocidade dos ventos. A janela temporal para esta avaliação abarcou os meses de setembro até dezembro de 2012, correspondendo ao período da campanha de campo em questão.

Os estudos hidrológicos concernentes ao rio Itapecuru envolveram a realização de perfis transversais, especificamente levantamentos batimétricos, em pontos específicos no trecho inferior do referido rio, situado entre a sede municipal de Rosário e o ponto de captação de água do sistema ITALUIS. A determinação das estações de coleta e seções transversais ao longo das áreas de estudo foi preconcebida em ambiente laboratorial, garantindo a obtenção de dados suficientes para a caracterização hidrodinâmica, além de contemplar a logística necessária à efetivação das campanhas.

No presente trabalho, foram estabelecidas três estações e seções de amostragem ao longo do Rio Itapecuru, situadas nas proximidades do município de Rosário e na adutora do Sistema ITALUIS (Figura 2). Em cada estação mencionada, conduziram-se seções hidrodinâmicas e perfis hidrológicos, com frequência horária, ao longo de um período aproximado de 12 horas.

Figura 2-Localização da área de estudo no Rio Itapecuru



Os dados coletados em campo, registrados em planilhas eletrônicas, foram transferidos para microcomputadores e submetidos a um processo de filtragem, redução e edição. Isso envolveu a eliminação de dados incongruentes, ausentes e outros que não estavam relacionados ao meio aquático. Posteriormente, esses dados foram arquivados em formato padrão. O cálculo das propriedades físicas foi efetuado por meio dos softwares incorporados aos equipamentos, seguindo as diretrizes preconizadas pela UNESCO em 1983.

Destacaram-se as distribuições espaciais das variáveis amostradas, calculando-se suas médias espaciais e temporais, além das variações associadas e valores extremos. Essas informações foram apresentadas no relatório por meio de mapas temáticos, gráficos e tabelas, facilitando sua interpretação por outras áreas do conhecimento.

Foram computados médias e desvios padrão para cada conjunto de parâmetros, considerando diferentes profundidades, perfis e estágios de maré. Com o intuito de aprimorar a consistência dos valores médios, procedeu-se à eliminação

de dados considerados espúrios, situados fora do intervalo definido pela média do grupo de dados analisados.

Os dados relativos à correntometria, adquiridos durante a campanha, foram obtidos por meio de um perfilador acústico de correntes do tipo ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler), modelo Workhorse Rio Grande 600 kHz fabricado pela RD Instruments. Esse equipamento, acoplado à borda da embarcação utilizada nas atividades de campo, foi conectado a um Notebook.

O perfilador acústico de correntes, configurado para realizar medições a cada 0,5 metros ao longo da coluna d'água, utiliza a energia acústica para obter perfis verticais de correntes ao longo de uma seção.

Dessa forma, a metodologia empregada permitiu uma abordagem da hidrodinâmica do Rio Itapecuru, fornecendo subsídios para uma compreensão mais aprofundada dos padrões de correntes e suas variações ao longo do tempo e do espaço.

3.3 Estimativa de Vazões e Caracterização Morfométrica

A determinação das vazões apresentadas neste estudo baseou-se na análise de dados obtidos por meio do equipamento Acoustic Doppler Current Profiler-ADCP (Figura 3), utilizando o software WinRiver v. 1.06, desenvolvido pela Teledyne RD Instruments.

A avaliação da estrutura termohalina (Temperatura, Salinidade, Densidade) das áreas em estudo foi conduzida por meio de perfilagens verticais, realizadas nas estações hidrológicas, utilizando um Conductivity, Temperature, and Depth (CTD) do modelo SBE-19 SeaCat, fabricado pela Sea-Bird Electronics.

A localização das estações fluviométricas de Santa Luzia e de São Miguel, foram determinadas em função das características gerais da bacia hidrográfica no trecho inferior.

A determinação da vazão nas seções em São Miguel e Santa Luzia, no curso inferior do Rio Itapecuru, baseou-se na abordagem convencional indireta, utilizando medições de níveis ou réguas limnimétricas para obtenção das cotas do curso d'água.

Figura 3- Esquema da instalação perfilador de correntes (a) ADCP conectado ao (b) Notebook e suas configurações em (c) operação e (d) repouso na embarcação utilizada durante as campanhas ITA-02 e MOS-02.



Fonte: Relatório de campanha de campo para o estudo de caracterização e modelagem numérica do rio Itapecuru-MA (2013).

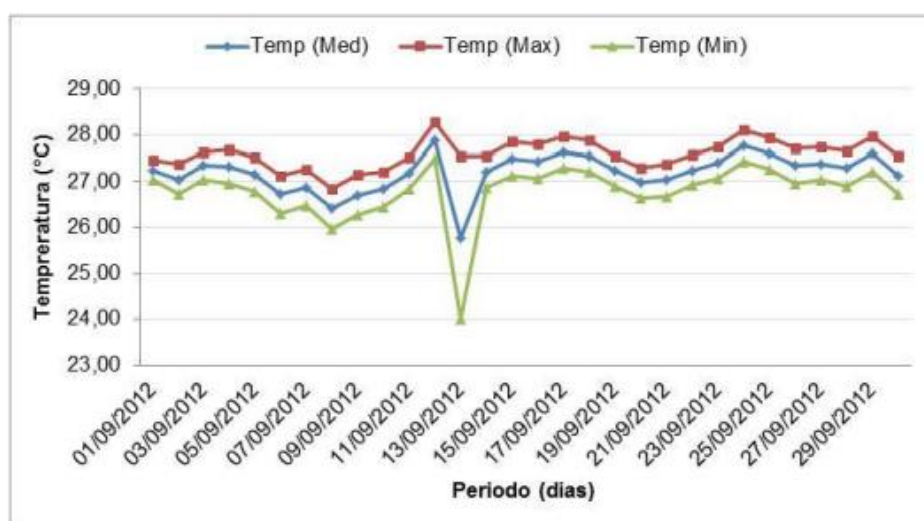
4 RESULTADOS e DISCUSSÃO

4.1 Condições Climáticas

A análise dos parâmetros climáticos revelou que, em média, a temperatura na cidade de São Luís apresentou um acréscimo de 0,38 °C no mês de outubro em comparação a setembro. A temperatura média mensal para setembro foi de 27,19°C, enquanto para outubro elevou-se para 27,57°C. As médias mensais das temperaturas máximas registraram 27,60°C em setembro e 27,92°C em outubro. No que tange às temperaturas mínimas, as médias foram de 26,79°C e 27,22°C para setembro e outubro, respectivamente.

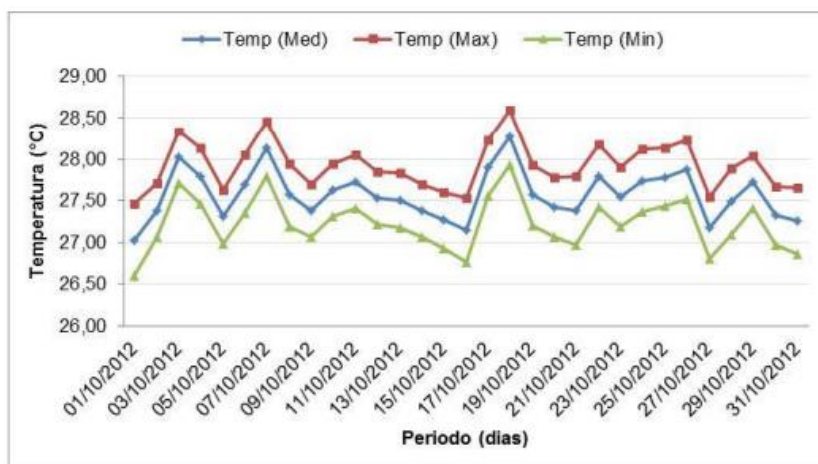
O ponto culminante das temperaturas ocorreu em setembro, atingindo 28,27°C em 12 de setembro de 2012, enquanto em outubro, a máxima registrada foi de 28,60°C no dia 18. As Figuras 4 e 5 proporcionam uma visualização da distribuição térmica ao longo dos dias de setembro e outubro de 2012, referentes à estação meteorológica de São Luís.

Figura 4- Valores de temperatura média, máxima e mínima para o mês de setembro – Plataforma de Coleta de Dados (PCD) São Luís



Fonte: Dados extraídos do INMET.

Figura 5- Valores de temperatura média, máxima e mínima para o mês de outubro – Plataforma de Coleta de Dados (PCD) São Luís

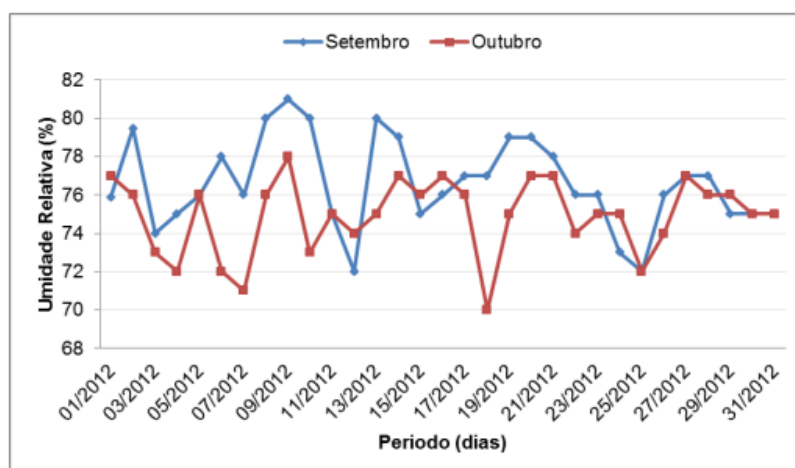


Fonte: Dados extraídos do INMET.

No que concerne à Umidade Relativa, constatou-se que os índices mais elevados foram observados em setembro, atingindo uma média de 77%. Já em outubro, o valor registrou-se em 70%. É relevante ressaltar que, em nenhum momento, os índices situaram-se abaixo de 70%.

A análise diária da Umidade Relativa evidenciou que este parâmetro se manteve acima de 80% ao longo de 04 dias em setembro. Em contrapartida, no mês de outubro, esse parâmetro não ultrapassou os 78% (Figura 6).

Figura 6- Valores diários de Umidade Relativa (%) para os meses de setembro e outubro de 2012 – PCD São Luís



Fonte: Dados extraídos do INMET.

4.2 Análise dos Parâmetros Meteorológicos em setembro e outubro de 2012

Os dados concernentes ao Índice Pluviométrico revelaram a inexistência de precipitações na área de estudo, um padrão considerado comum para o período de análise (setembro e outubro).

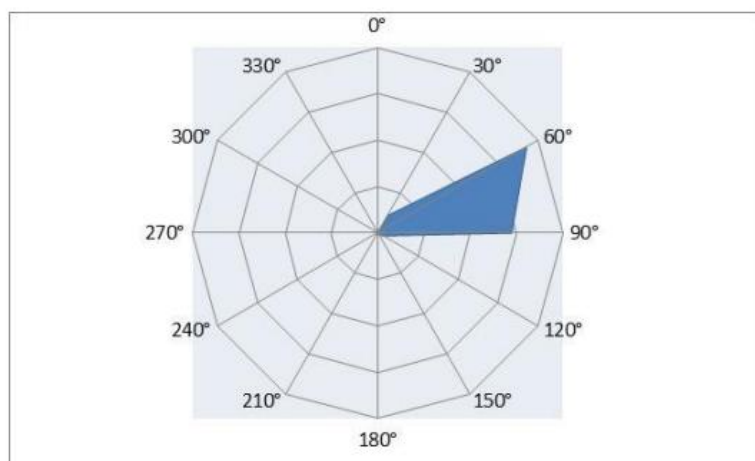
No que tange à Radiação Solar, esta designação refere-se à energia radiante emitida pelo Sol, principalmente na forma de radiação eletromagnética. Cerca de metade dessa energia manifesta-se como luz visível na parte de frequência mais alta do espectro eletromagnético, enquanto o restante distribui-se no infravermelho próximo e como radiação ultravioleta. Anualmente, a radiação solar fornece à atmosfera terrestre $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia, desempenhando um papel crucial na sustentação das cadeias tróficas e na dinâmica atmosférica da Terra, influenciando as características climáticas do planeta.

Os resultados para este parâmetro indicaram que o mês de outubro apresentou registros mais elevados em comparação a setembro, refletindo potencialmente em temperaturas superiores e umidade relativa mais baixa. Em setembro, a média de radiação solar foi de 884,9 cal/cm², enquanto em outubro, o registro indicou uma média de 1.046,8 cal/cm². Notavelmente, foram observadas detecções máximas mais significativas, atingindo 1.046,2 cal/cm² (30/09/2012) e 1.317,6 cal/cm² (18/10/2012) para setembro e outubro, respectivamente.

No que se refere à Pressão Atmosférica, os sistemas migratórios de larga e mesoescala geralmente estão correlacionados a esse parâmetro, justificando sua relevância. Os resultados indicaram valores mais elevados ao longo de setembro. A média mensal para este mês foi de 1.007,1 hPa, enquanto para outubro resultou em 1.004,6 hPa.

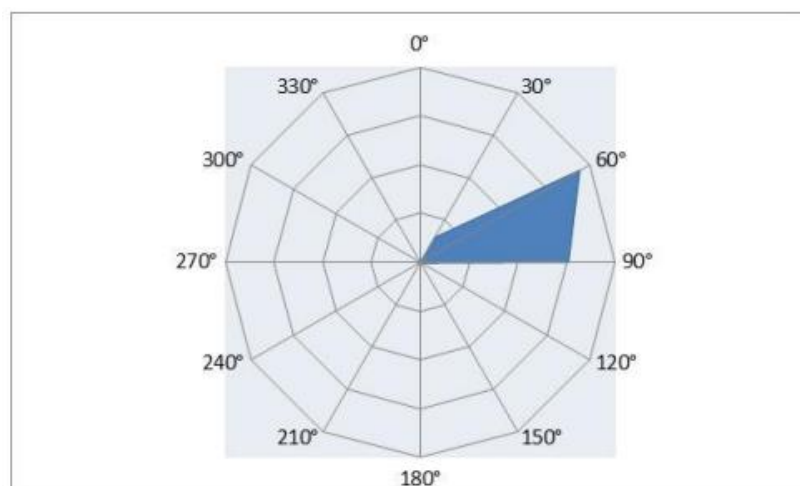
A avaliação da Velocidade dos Ventos apontou que outubro superou setembro, sendo importante ressaltar que, em nenhum momento, as amostragens indicaram resultados abaixo de 1,9 m/s. Em média, os valores para este parâmetro durante setembro e outubro foram de 2,8 e 3,1 m/s, respectivamente. O mesmo padrão foi observado entre os meses para a Direção dos Ventos, predominando aqueles provenientes do Nordeste (Figuras 7 e 8).

Figura 7- Rosa dos ventos em São Luís para o período de setembro 2012



Fonte: Dados extraídos do INMET.

Figura 8- Rosa dos ventos em São Luís para o período de outubro 2012



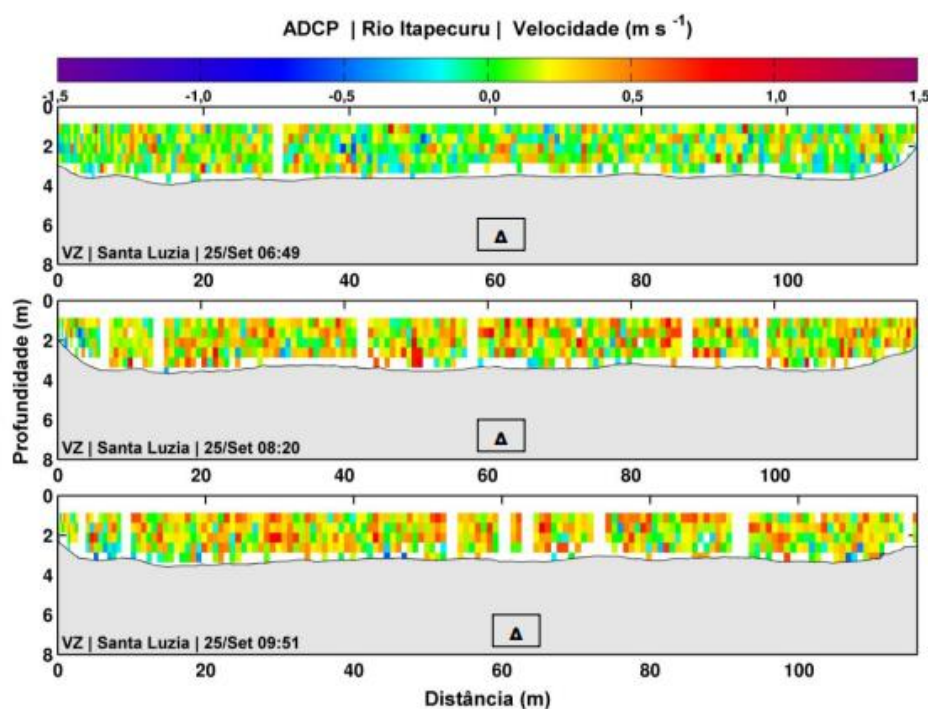
Fonte: Dados extraídos do INMET.

4.3 Caracterização Hidrológica do Rio Itapecuru

O delineamento do perfil transversal do rio Itapecuru, nas seções correspondentes às localidades de Santa Luzia e São Miguel, foi executado com o propósito de fundamentar as análises hidrológicas. No decorrer do período de vazante, observa-se uma direção predominante da corrente no sentido sul/norte (montante/jusante), atribuindo-se tal padrão à influência da maré dinâmica na porção investigada do rio. Em contrapartida, durante o período de enchente, ocorre uma inversão na direção da corrente, passando a ser norte/sul (jusante/montante), alcançando, assim, as velocidades máximas.

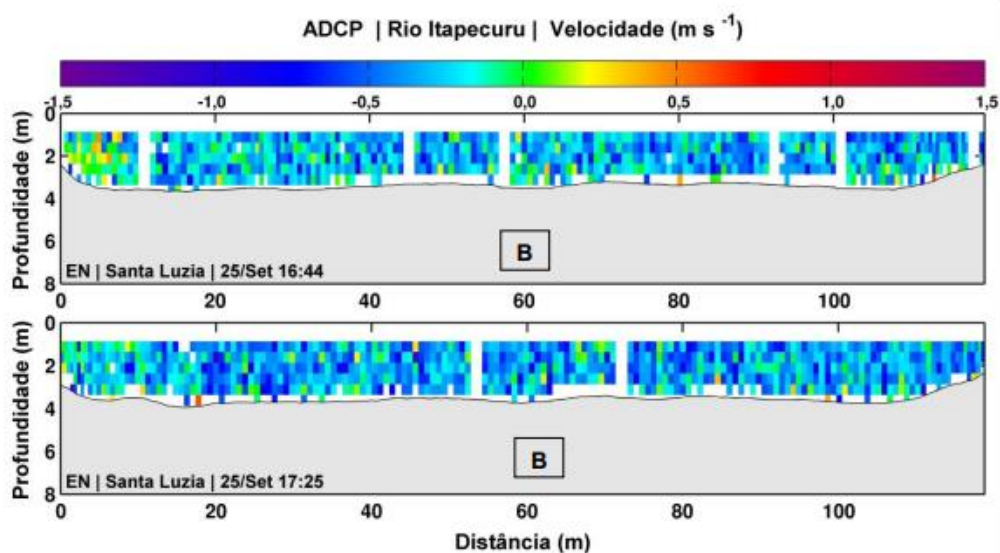
Ao examinar os campos cinemáticos (perfis transversais) para a localidade de Santa Luzia, constatou-se que os três primeiros estão associados ao período de vazante, com destaque para o primeiro perfil realizado poucos minutos após a estufa de maré. Os dois últimos perfis, por sua vez, correlacionam-se ao período de enchente, caracterizado pela inversão da corrente e consequente aumento da velocidade e dos valores de vazão (Figuras 9 e 10).

Figura 9- Campos cinemáticos obtidos em diferentes horários na estação de Santa Luzia no rio Itapecuru (set/ 2012). (A) Vazante e (B) Enchente



Fonte: relatório de campanha de campo para o estudo de caracterização e modelagem numérica do rio Itapecuru-MA (2013).

Figura 10- Campos cinemáticos obtidos em diferentes horários na estação de Santa Luzia no rio Itapecuru (set/ 2012). (A) Vazante e (B) Enchente



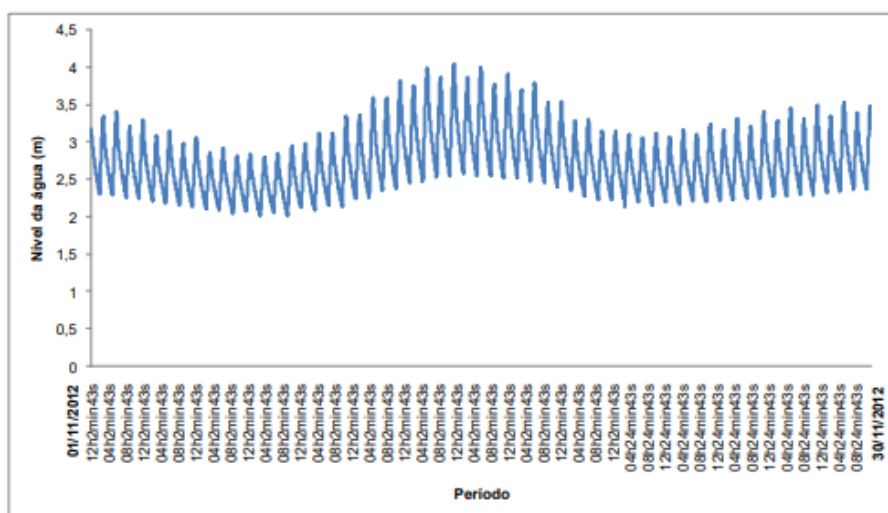
Fonte: relatório de campanha de campo para o estudo de caracterização e modelagem numérica do rio Itapecuru-MA (2013).

Três perfis transversais foram executados na estação de São Miguel, sendo que o primeiro e o terceiro apresentaram a direção da corrente de jusante/montante, evidenciando uma vazão superior àquela registrada no segundo perfil, cuja corrente se deu no sentido montante/jusante. Esses resultados ratificam a maior vazão durante o período de enchente na área de estudo. Além disso, ao analisar os perfis, nota-se que neste segmento, o rio Itapecuru exibe um canal simétrico, com profundidade média de 4 metros.

Os registros relativos à variação do nível da água ao longo do baixo curso do rio Itapecuru, nos trechos ITALUIS, São Miguel e Rosário, durante os meses de novembro e dezembro, são apresentados nas Figuras (11, 12, 13 e 14).

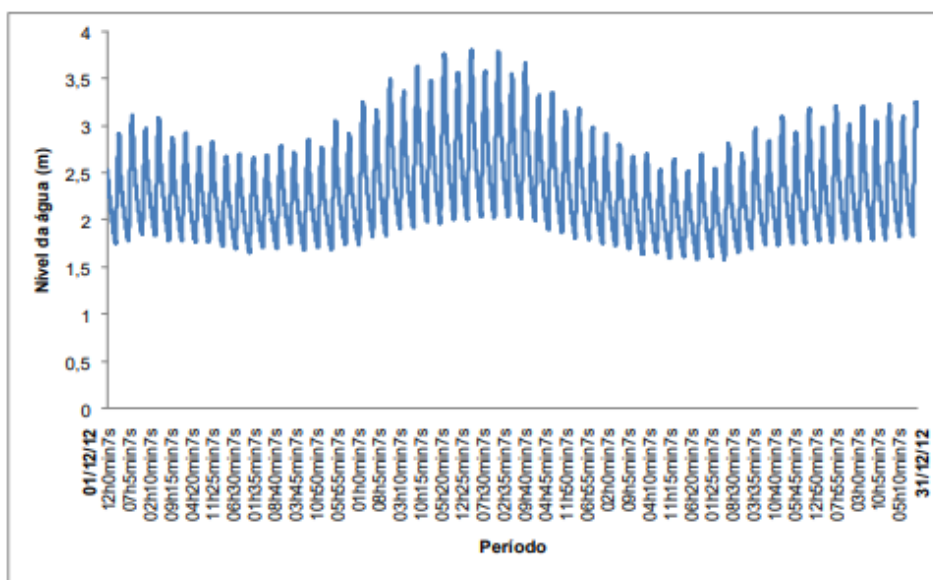
As análises dos resultados indicaram, para o período de novembro, uma amplitude de 2,02 metros no trecho ITALUIS, 2,82 metros em São Miguel e 3,04 metros em Rosário. Já para o período de dezembro, as amplitudes foram de 1,96 metros, 2,22 metros e 3,11 metros nos trechos ITALUIS, São Miguel e Rosário, respectivamente. Portanto, as descrições sugerem que nos trechos mais próximos da foz do rio Itapecuru, a variação hídrica tende a ser mais expressiva, resultado da maior influência marinha nesta região. Contudo, ao longo dos pontos monitorados, observou-se a variação do nível da água associada aos períodos de maré de quadratura e sizígia.

Figura 11- Variação do nível da água considerando o trecho ITALUIS – Novembro/2012



Fonte: relatório de campanha de campo para o estudo de caracterização e modelagem numérica do rio Itapecuru-MA (2013).

Figura 12- Variação do nível da água considerando o trecho ITALUIS – Dezembro/2012



Fonte: relatório de campanha de campo para o estudo de caracterização e modelagem numérica do rio Itapecuru-MA (2013).

A análise da variação do nível da água nos trechos investigados, considerando marés de quadratura e sizígia com referência aos dados registrados em novembro de 2012, revela informações relevantes (Figuras 11, 12 e 13). A curva de

variação da maré, utilizando os valores da tábua de maré do Terminal da ALUMAR (DHN, 2012), foi plotada para contextualização.

Os resultados destacam que à medida que nos afastamos da foz do rio Itapecuru, a curva do nível da água no trecho analisado torna-se mais assimétrica em comparação com a curva referente à tabela de maré do Terminal da ALUMAR.

No segmento do sistema ITALUIS, observam-se intervalos diferenciados de enchente e vazante em maré de quadratura, com duração de 3 horas e 40 minutos e 8 horas e 35 minutos, respectivamente. Em maré de sizígia, os intervalos de enchente duram 3 horas e 45 minutos, enquanto os de vazante perduram 8 horas e 20 minutos. A defasagem nos picos de cheias e vazante, em comparação com a maré no Terminal da ALUMAR, revela uma diferença de aproximadamente 5 horas e 10 minutos para a baixamar máxima e 3 horas para o pico de enchente em condições de quadratura. Considerando a variação na sizígia, a diferença nos picos de cheias e vazante é de cerca de 2 horas e 50 minutos e 5 horas e 10 minutos, respectivamente.

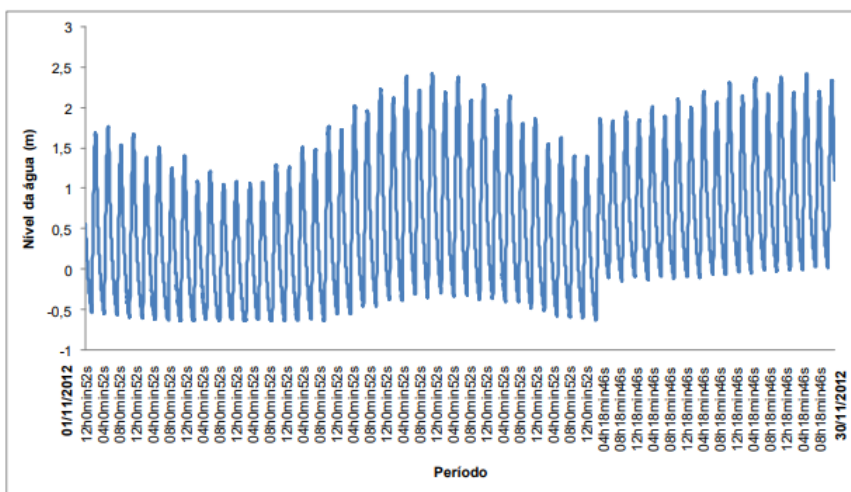
Em São Miguel, em maré de quadratura, o período de vazante tem duração de 8 horas e 15 minutos, enquanto o de enchente é de 3 horas e 35 minutos. Na maré de sizígia, os resultados indicam uma adição de 15 minutos nos intervalos de vazante e enchente, sendo estes de 8 horas e 30 minutos e 3 horas e 50 minutos, respectivamente. As observações de defasagem em relação aos valores da tábua de maré para o Terminal da ALUMAR indicam, em maré de quadratura, uma diferença de 4 horas e 20 minutos entre os picos de vazante e 2 horas e 10 minutos para o pico de enchente. Na maré de sizígia, a defasagem é de 4 horas e 15 minutos na vazante e 2 horas na enchente.

Para o trecho que abrange a sede de Rosário, observa-se, em maré de quadratura, intervalos de vazante com aproximadamente 8 horas e 10 minutos. Em condições inversas, a duração é de 4 horas e 10 minutos. Nas sizígias, considerando condições de baixa-mares e preamares, os intervalos são de 8 horas e 4 horas, respectivamente.

Apesar das distorções entre os picos de cheias e vazante em Rosário, em maré de quadratura e sizígia, observam-se as menores diferenças entre os horários, o que pode ser justificado pela maior proximidade deste setor à baía do Arraial, sujeito aos processos marinhos de maior intensidade. Os resultados indicam defasagem, em condições de maré de quadratura, de 3 horas e 25 minutos para o pico de vazante e apenas 1 hora e 30 minutos na fase de enchente. Na sizígia, o intervalo entre os picos

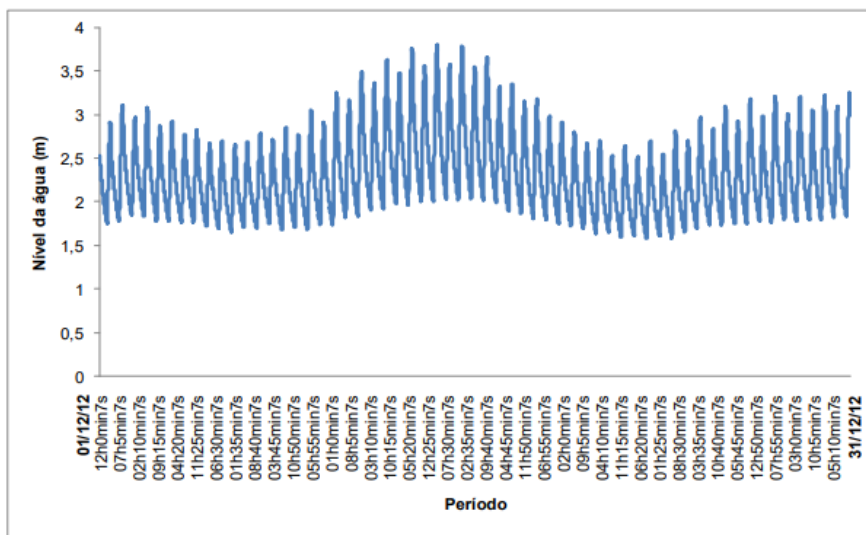
de baixamar máxima em Rosário e no Terminal da ALUMAR foi semelhante, com 3 horas e 25 minutos; no entanto, nas preamares, as distorções foram menores, com 1 hora e 25 minutos.

Figura 13- Variação do nível da água considerando o trecho Rosário – Novembro/2012



Fonte: relatório de campanha de campo para o estudo de caracterização e modelagem numérica do rio Itapecuru-MA (2013).

Figura 14 - Variação do nível da água considerando o trecho São Miguel – Dezembro/2012.



Fonte: relatório de campanha de campo para o estudo de caracterização e modelagem numérica do rio Itapecuru-MA (2013).

1. Trecho do sistema ITALUIS:

- Observou-se que a curva do nível da água torna-se assimétrica, com diferentes intervalos de enchente e vazantes nas marés de quadratura e sizígia. A defasagem em relação ao Terminal da ALUMAR foi notável,

indicando variações significativas nos picos de cheias e vazantes (Figura 15).

2. São Miguel:

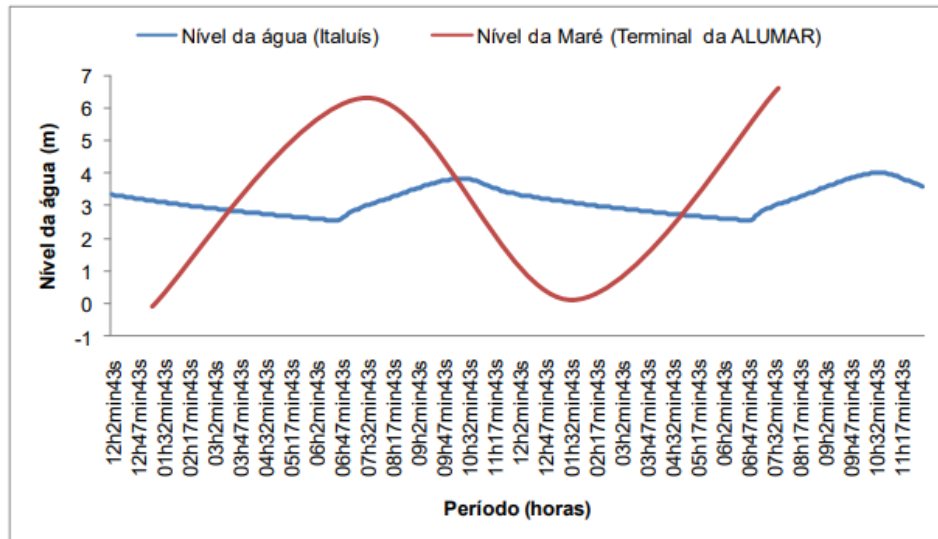
- Em maré de quadratura, foram identificados intervalos específicos para enchente e vazante. A defasagem em relação à tabua de maré do Terminal da ALUMAR revelou variações temporais consideráveis (Figura 16).

3. Sede de Rosário:

- A proximidade com a baía do Arraial influenciou nos resultados, apresentando menores diferenças nos picos de cheias e vazantes em comparação com outros trechos. A defasagem em maré de quadratura foi observada, destacando a influência dos processos marinhos intensos nesta região (Figura 17).

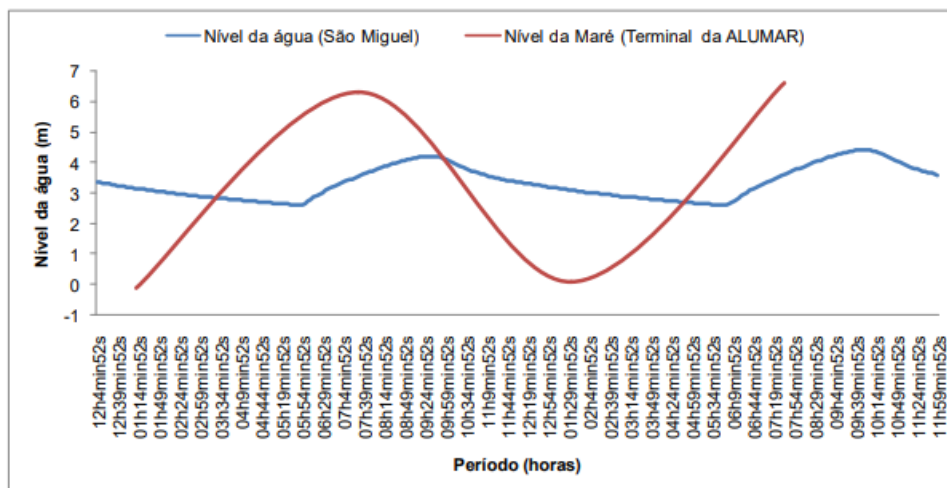
Os resultados desta análise hidrodinâmica evidenciam a complexidade da variação do nível da água nos trechos analisados, especialmente quando expostos às marés de quadratura e sizígia. A proximidade com a baía do Arraial mostrou-se como um fator relevante, influenciando nas menores diferenças observadas nos picos de cheias e vazantes na sede de Rosário. Essas descobertas contribuem para uma compreensão mais aprofundada da dinâmica hidrodinâmica em contextos específicos, proporcionando informações valiosas.

Figura 15 - Variação do nível da água (m) no trecho em ITALUIS no dia 14/11/2012 em comparação com a tábua de maré do Terminal da ALUMAR – condições em maré de sizígia



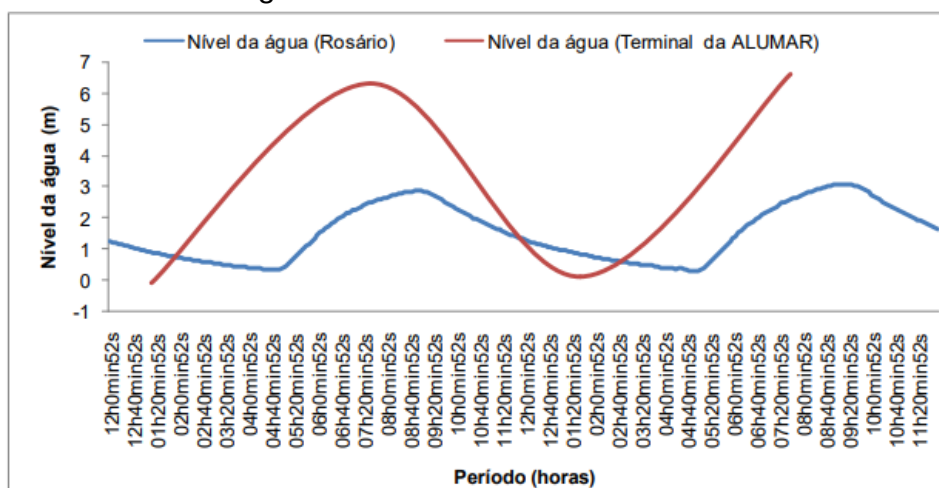
Fonte: relatório de campanha de campo para o estudo de caracterização e modelagem numérica do rio Itapecuru-MA (2013).

Figura 16 - Variação do nível da água (m) no trecho em São Miguel no dia 14/11/2012 em comparação com a tábua de maré do Terminal da ALUMAR – condições em maré de sizígia



Fonte: relatório de campanha de campo para o estudo de caracterização e modelagem numérica do rio Itapecuru-MA (2013)

Figura 17 - Variação do nível da água (m) no trecho em Rosário (sede) no dia 11/11/2012 em comparação com a tábua de maré do Terminal da ALUMAR – condições em maré de sizígia.



Fonte: relatório de campanha de campo para o estudo de caracterização e modelagem numérica do rio Itapecuru-MA (2013).

No contexto das análises realizadas ao longo do mês de dezembro, destaca-se que, para o trecho ITALUIS, os intervalos de enchente e vazante durante a maré de quadratura foram registrados em 3:25 e 8:35 horas, respectivamente (Quadro 1). Na sizígia, esses intervalos foram ajustados para 3:20 horas na enchente e 8:25 horas durante a vazante em condições hidrodinâmicas. Quanto às disparidades entre os picos de cheia e vazante para o trecho em estudo e a tábua de maré do Terminal da ALUMAR, identificou-se um intervalo de 2:40 horas entre as preamares máximas e de 5:15 horas entre os picos de baixa-mares, relacionados às condições de quadratura. No caso da maré de sizígia, a defasagem foi de 2:45 horas para o pico de enchente e 5:15 horas para a vazante (Quadro 2).

No que concerne à São Miguel, os resultados obtidos a partir da avaliação dos intervalos de enchente e vazante durante a maré de quadratura, para o mês de dezembro, indicaram uma duração de 8:25 horas na vazante e 3:35 horas na enchente. Sob a influência de marés de sizígia, esses intervalos apresentaram uma leve redução, com 8:20 horas na vazante e 3:30 horas na enchente (Figura 18).

Ao analisar os dados de defasagem entre os picos de enchente e vazante na fase de maré de quadratura, em comparação com a tábua de maré do Terminal da ALUMAR, observou-se diferenças de 4:25 e 2:00 horas na vazante e enchente, respectivamente. Quando a região foi caracterizada pela presença de marés de sizígia, a distinção foi de 4:30 horas na vazante e 2:00 horas para o pico de cheia. Em

relação à sede municipal (Rosário), as avaliações indicaram intervalos de vazante com duração de 8:00 horas e enchente com 4:00 horas em condições de maré de quadratura. Na sizígia, o intervalo na vazante permaneceu inalterado em relação à maré de quadratura, entretanto, na enchente, a duração foi ligeiramente reduzida, atingindo 3:55 horas. Na comparação com os valores da tábua de maré, em condições de maré de quadratura, observou-se uma diferença de 3:25 horas para baixamar máxima e 1:20 horas no pico de cheia. Já na sizígia, os resultados aumentaram, atingindo 3:30 horas e 1:25 horas para o pico de vazante e o máximo de enchente, respectivamente.

Quadro 1 - Resultados para duração dos intervalos de enchente e vazante para os trechos investigados

LOCALIDADE	Marés	Período	Vazante (horas)	Enchente (horas)
ITALUIS	Sizígia	Novembro 2012	8:20	03:45
		Dezembro 2012	8:25	03:20
SÃO MIGUEL	Sizígia	Novembro 2012	8:15	03:35
		Dezembro 2012	8:20	03:30
ROSÁRIO	Sizígia	Novembro 2012	8:00	04:00
		Dezembro 2012	8:00	03:55

Fonte: Fonte: relatório de campanha de campo para o estudo de caracterização e modelagem numérica do rio Itapecuru-MA (2013).

Analisando o intervalo de defasagem entre os três locais de monitoramento hidrológico, em relação à oscilação da maré no Terminal da ALUMAR, nota-se que a disparidade se torna menos expressiva à medida que se aproxima de Rosário. Os resultados evidenciaram que, no sentido montante (ITALUIS) à jusante (Rosário), o tempo diminui em cerca de 1 hora por estação de coleta.

Quadro 2 - Resultados para o tempo de defasagem considerando o pico de enchente e vazante para os trechos investigados

LOCALIDADE	Marés	Período	Vazante (horas)	Enchente (horas)
ITALUIS	Sizígia	Novembro 2012	5:10	02:50
		Dezembro 2012	5:15	02:45
SÃO MIGUEL	Sizígia	Novembro 2012	4:15	02:00
		Dezembro 2012	4:30	02:00

ROSÁRIO	Sizígia	Novembro 2012	3:25	01:25
		Dezembro 2012	3:30	01:25

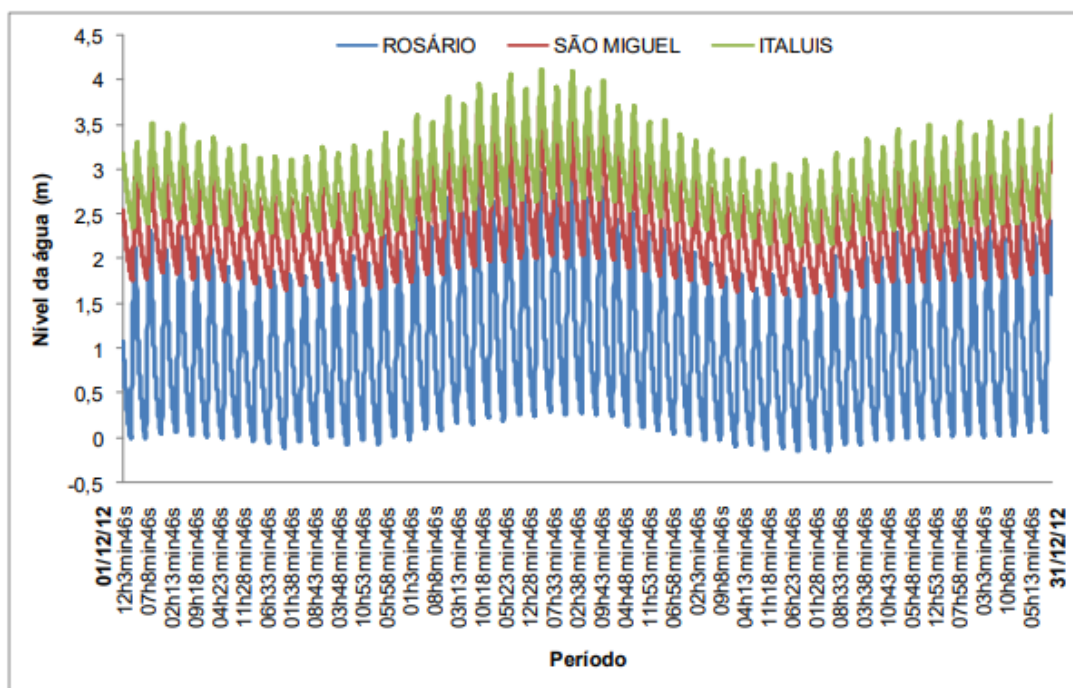
Fonte: Fonte: relatório de campanha de campo para o estudo de caracterização e modelagem numérica do rio Itapecuru-MA (2013).

Por meio da sobreposição dos dados relativos ao nível da água nos trechos monitorados, foi possível observar a evolução altimétrica, considerando a referência na cota IBGE (Imbituba), no sentido de jusante a montante. Em Rosário, durante a baixamar, os valores apresentaram-se negativos, aproximando-se do nível do mar. Nas preamares de sizígia, os valores ultrapassaram a marca de 2,5 m, evidenciando a marcante influência marinha nesse segmento.

No contexto de São Miguel, as cotas mais baixas não se situaram abaixo de 1,5 m, enquanto os valores máximos se aproximaram de 3,7 m em condições de maré de sizígia. Em ITALUIS, a topografia mais elevada permitiu que o nível hidrológico atingisse cotas superiores em comparação aos demais trechos monitorados. Contudo, mesmo próximo ao Sistema de Captação de Água Bruta de São Luís, onde as cotas ultrapassaram os 4,0 m, observa-se que as regiões mais a jusante apresentaram resultados que sobrepujaram as curvas de nível hidrológico. Este fenômeno pode ser atribuído ao baixo índice pluviométrico característico da região nos últimos meses do ano, reduzindo a vazão fluvial e permitindo maiores influências marinhas nos trechos mais baixos, tornando as cotas mais homogêneas nesses setores investigados.

As variações no nível da água ao longo do período investigado ocorreram em conformidade com as condições de maré de quadratura e sizígia, evidenciando o forte impacto da maré dinâmica nessa área. Adicionalmente, observou-se uma uniformidade nas curvas do nível da água, indicando que os setores monitorados estão sob a mesma influência marinha, variando apenas na intensidade dos processos em cada área, resultando em alterações mais ou menos significativas na variação das cheias e vazantes.

Figura 18 - Disposição do nível da água para o rio Itapecuru nos trechos ITALUIS, São Miguel e Rosário, no período de 01 a 31 de Dezembro de 2012



Fonte: relatório de campanha de campo para o estudo de caracterização e modelagem numérica do rio Itapecuru-MA (2013).

No Quadro 3 são apresentados os valores máximos, mínimos, média, desvio padrão e variância para o nível da água ao longo dos três pontos de monitoramento, abrangendo os meses de novembro e dezembro. Os resultados revelam as médias mais elevadas no ponto mais a montante (ITALUIS), o que pode ser justificado pela sua localização em áreas mais elevadas. No entanto, destaca-se que a variabilidade foi mais pronunciada no ponto a jusante (Rosário), evidenciando amplitudes mais significativas nesta região devido à maior interferência marinha, especialmente durante as fases de sizígia. Essa interferência hidrodinâmica pode explicar as variações mais expressivas no nível da água ao longo do período considerado.

Quadro 3 - Valores máximos, médios, mínimos, desvio padrão e variância para os resultados de nível da água nos três pontos de monitoramento no rio Itapecuru, no período de novembro e dezembro

Pontos de Monitoramento	Meses	Máximo	Média	Mínimo	Desvio	Variância
ITALUIS	Novembro/2012	4,04	2,73	2,02	0,38	0,15
	Dezembro/2012	4,12	2,85	2,16	0,37	0,14
SÃO MIGUEL	Novembro/2012	4,42	2,68	1,60	0,56	0,32
	Dezembro/2012	3,80	2,31	1,58	0,44	0,19

ROSÁRIO	Novembro/2012	2,42	0,57	-0,62	0,79	0,62
	Dezembro/2012	2,96	0,97	-0,15	0,75	0,56

Fonte: Fonte: relatório de campanha de campo para o estudo de caracterização e modelagem numérica do rio Itapecuru-MA (2013).

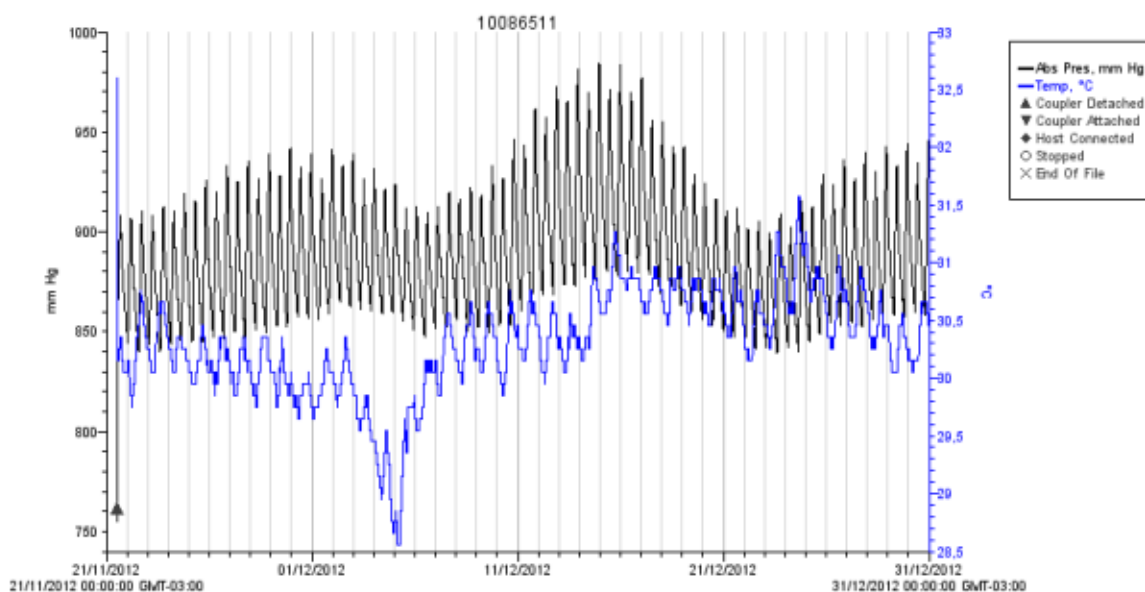
No que diz respeito à flutuação da pressão atmosférica (em mm Hg), evidenciou-se que, em média, o ITALUIS apresentou os valores mais elevados, seguido por São Miguel e Rosário, contudo, a maior variabilidade foi observada no ponto mais a jusante. No tocante às médias de temperatura (em °C), os registros mais elevados também foram observados em ITALUIS, acompanhados de maior variabilidade. A temperatura manteve-se relativamente constante ao longo do período avaliado, exibindo leves oscilações em resposta a variações nos valores de pressão atmosférica, com exceção dos resultados mais baixos identificados entre os dias 05 e 08 de dezembro de 2012, uma ocorrência destacada em todos os pontos de amostragem.

No âmbito da análise hidrodinâmica, é pertinente considerar a influência dos fenômenos hidrodinâmicos sobre as variações observadas na pressão atmosférica e temperatura nos pontos de monitoramento ITALUIS, São Miguel e Rosário (Figuras 19, 20 e 21). O ITALUIS, caracterizado pelos resultados mais elevados e maior variabilidade, pode estar sujeito a condições hidrodinâmicas específicas, como a presença de correntes mais intensas ou áreas de maior turbulência, que impactam diretamente nas medições atmosféricas.

A maior variabilidade observada no ponto mais a jusante sugere a possibilidade de interferências hidrodinâmicas mais complexas nessa região. Correntes fluviais, mudanças na topografia do leito do rio e interações locais podem desencadear variações mais acentuadas na pressão atmosférica, influenciando diretamente as condições meteorológicas. Esses aspectos hidrodinâmicos, portanto, podem explicar a maior oscilação nos registros atmosféricos nesse ponto específico.

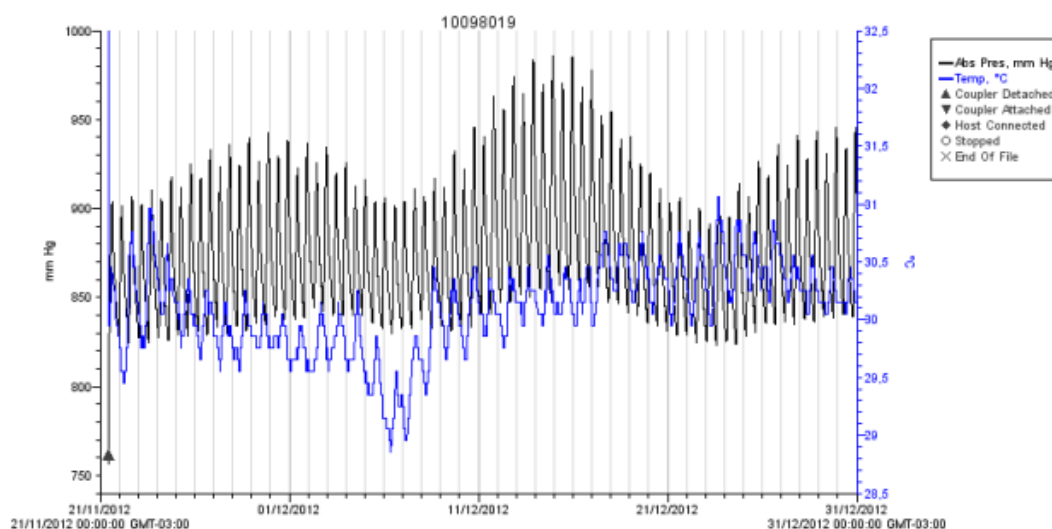
Em relação à temperatura, a constância ao longo do período avaliado, exceto nos dias 05 a 08 de dezembro de 2012, pode ser interpretada à luz de fenômenos hidrodinâmicos, tais como mudanças na circulação da água e variações na velocidade das correntes. Esses eventos podem desencadear ajustes térmicos notáveis, afetando a relação entre temperatura e pressão atmosférica.

Figura 19 - Variação da pressão atmosférica (linha escura) e da temperatura (linha azul), no período de 21 de novembro à 31 de dezembro/2012, para o trecho ITALUIS.



Fonte: relatório de campanha de campo para o estudo de caracterização e modelagem numérica do rio Itapecuru-MA (2013).

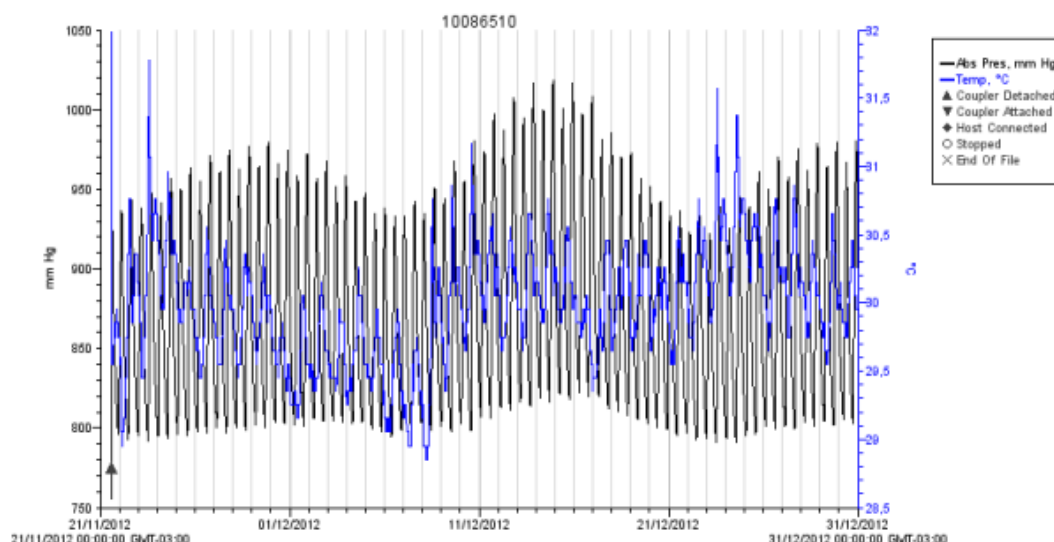
Figura 20 - Variação da pressão atmosférica (linha escura) e da temperatura (linha azul), no período de 21 de novembro à 31 de dezembro/2012, para o trecho São Miguel



Fonte:

Fonte: relatório de campanha de campo para o estudo de caracterização e modelagem numérica do rio Itapecuru-MA (2013).

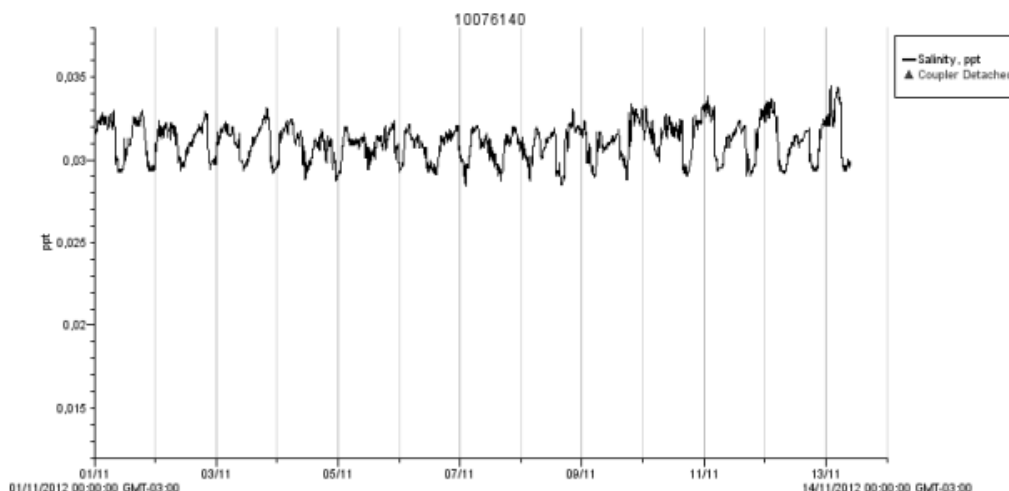
Figura 21 - Variação da pressão atmosférica (linha escura) e da temperatura (linha azul), no período de 21 de novembro à 31 de dezembro/2012, para o trecho Rosário



Fonte: Fonte: relatório de campanha de campo para o estudo de caracterização e modelagem numérica do rio Itapecuru-MA (2013).

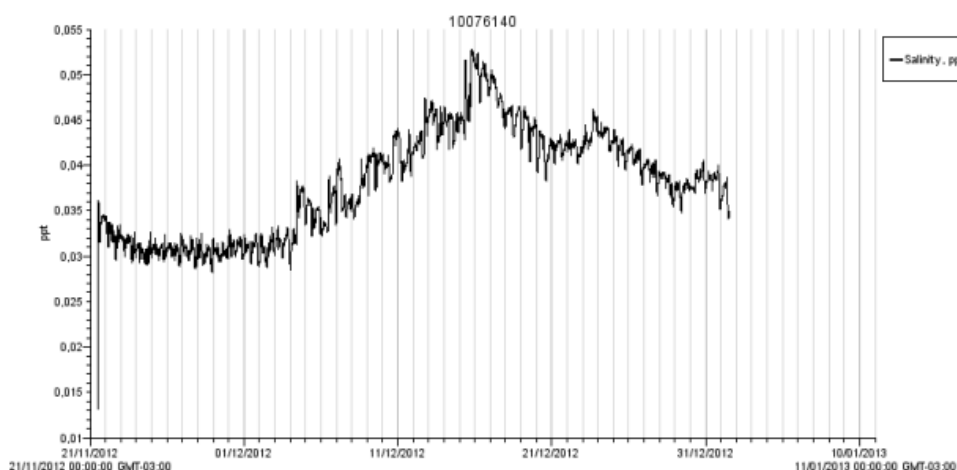
Do ângulo da salinidade (em ppt) e da condutividade (em $\mu\text{S}/\text{cm}$), as informações indicam, até o momento, a ausência de maré salina na região ITALUIS, onde os valores não excederam 0,06 ppt e permaneceram abaixo de 120 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 22). Esses dados apontam para a não influência significativa da salinidade no ambiente hidrodinâmico desta área. É imprescindível considerar que a salinidade exerce influência direta na densidade da água, impactando, consequentemente, a sua movimentação. Contudo, os dados de 2012 indicam que a hidrodinâmica do trecho ITALUIS parece não ser significativamente afetada pela variação nos níveis de salinidade (Figura 23).

Figura 22 - Variação da salinidade (ppt) no período de 01 a 13 de novembro/2012, considerando o trecho ITALUIS.



Fonte: relatório de campanha de campo para o estudo de caracterização e modelagem numérica do rio Itapecuru-MA (2013).

Figura 23 - Variação da salinidade (ppt) no período de 21 de novembro a 31 de dezembro/2012, considerando o trecho ITALUIS



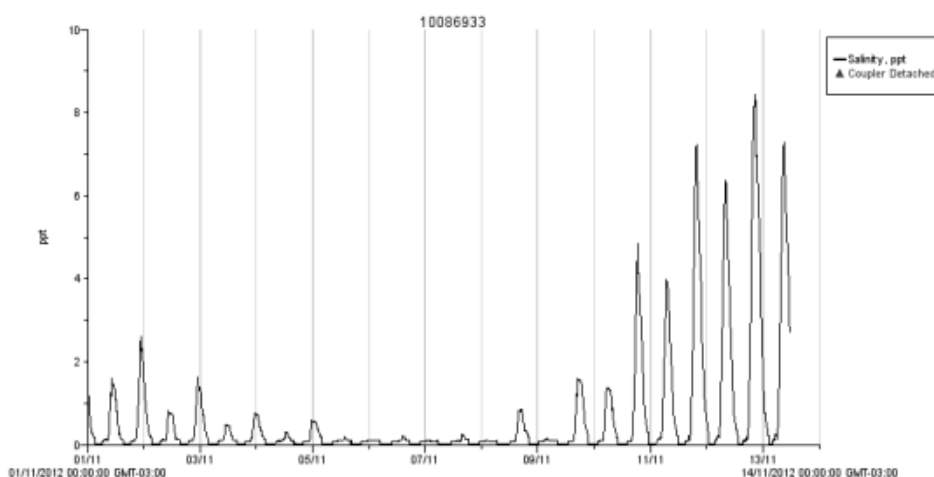
Fonte: relatório de campanha de campo para o estudo de caracterização e modelagem numérica do rio Itapecuru-MA (2013).

Em Rosário, verifica-se significativa modificação nos padrões de salinidade e condutividade, decorrente da influência da maré salina. Os resultados apontaram oscilação na salinidade entre 0,01 ppt e 8,61 ppt, sendo que os valores mais elevados coincidiram com o período da maré de sizígia (Figura 24). No que tange à condutividade, os padrões apresentaram similaridade, com dados variando de 0,00 a

9.000 $\mu\text{s}/\text{cm}$, evidenciando sua correlação direta com a salinidade, ambos influenciados pela dinâmica marinha nessa região.

Segundo Rodrigues (2019), a salinidade, ao influenciar a densidade da água, desempenha um papel crucial na formação de gradientes de densidade que, por sua vez, podem influenciar os padrões de circulação. Além disso, a variação na salinidade pode impactar a estratificação vertical da água, alterando a distribuição de temperaturas e, conseqüentemente, afetando a dinâmica do ambiente aquático.

Figura 24 - Variação da salinidade (ppt) durante o período de 01 a 13 de novembro 2012, considerando o trecho Rosário



Fonte: relatório de campanha de campo para o estudo de caracterização e modelagem numérica do rio Itapecuru-MA (2013).

4.4 Status em 2012 do Trecho Investigado na Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru

A dinâmica hidrológica do trecho inferior da bacia do rio Itapecuru, entre a estação ITALUIS e sua foz em Rosário, reflete um cenário preocupante de ocupação desordenada em suas margens. Esse processo resulta em desmatamento, supressão da mata ciliar, queimadas, extrativismo vegetal para a retirada de madeira e despejo de esgotos domésticos in natura.

No alto e médio curso da bacia, as agressões ambientais contínuas provocam alterações na dinâmica sedimentar, modificando variáveis hidro sedimentológicas e os mecanismos de erosão/deposição que se estendem em direção ao curso inferior do rio.

A má distribuição fundiária, favorecendo grandes latifúndios com monoculturas, como arroz, seguido pela transformação em pastos, agrava o problema. Isso desloca pequenos e médios produtores para áreas inadequadas, resultando em processos de devastação, seja pela exploração da madeira ou pela agricultura nômade com culturas de vazante.

Na bacia do rio Itapecuru, a degradação ambiental é intensificada pelo uso indiscriminado de defensivos agrícolas, despejos urbanos e industriais, carvoarias clandestinas, e o aumento significativo de aluviões provenientes dessas atividades.

Apesar da poluição do rio por descargas de matéria orgânica em pequenas proporções, a população ribeirinha cresce, e aglomerados urbanos sem sistema de tratamento de esgoto tornam-se uma fonte crescente de preocupação. Cidades nas margens do rio contribuem com esgotos domésticos, poluentes residuários de pequenas indústrias e lixo. A extração de arenito, argila e calcário também impacta o relevo da bacia.

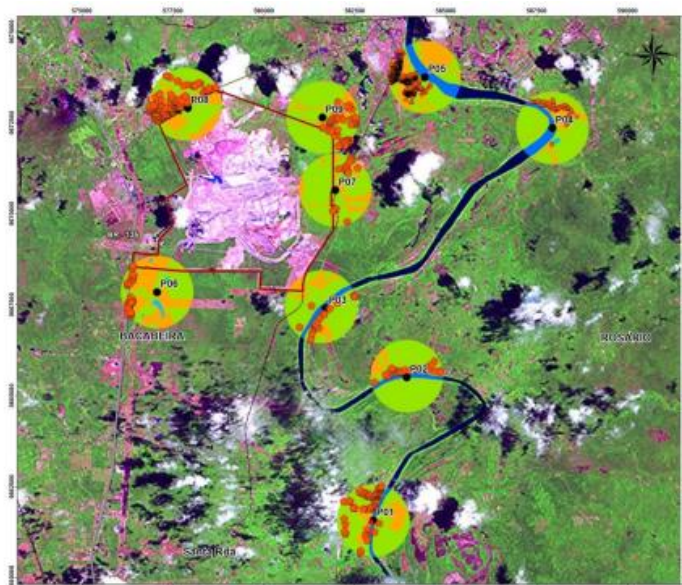
O tipo de efluente *in natura* lançado no rio Itapecuru, proveniente de fontes poluidoras particulares e comunitárias, totalizando 42 pontos de poluição, apresenta riscos potenciais, especialmente em períodos chuvosos.

Os moradores da zona rural sob influência do trecho analisado enfrentam restrições de acesso a serviços de saúde, saneamento e educação, exacerbando desigualdades socioeconômicas. A falta de rede coletora de esgotos e coleta de lixo contribui para surtos de doenças endêmicas, como dengue, febre amarela, tuberculose, hanseníase, esquistossomose e diarreias, devido às condições sanitárias deficientes e à subnutrição.

As fontes pontuais de poluição, reflete o uso e ocupação do solo no trecho investigado da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, relacionado aos corpos d'água continentais (Figura 25).

Quanto aos ambientes estuarinos, não foram observadas modificações substanciais nos igarapés amostrados, que mantêm uma integridade exuberante nas diferentes zonas do manguezal, evidenciada pelo porte arbóreo dos estratos vegetacionais.

Figura 25 - Mapa com as fontes pontuais de poluição no rio Itapecuru e seus tributários localizados na área amostrada



Fonte: relatório de campanha de campo para o estudo de caracterização e modelagem numérica do rio Itapecuru-MA (2013).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante das análises detalhadas das variáveis climatológicas nos meses de novembro e dezembro de 2012, destaca-se a consistência das oscilações, que se mostraram discretas e características da estação de estiagem predominante na região de clima subúmido. O sutil aumento registrado nas temperaturas, umidade relativa e velocidade do vento em outubro adiciona nuances importantes ao entendimento das condições atmosféricas prévias.

A conexão direta entre a variação do nível do Rio Itapecuru e os ciclos de marés, aliada à influência da distância da entrada do fluxo marinho, revela uma tendência clara de níveis decrescentes da foz em Rosário em direção ao sistema de captação em ITALUIS.

Os resultados hidrológicos evidenciam que a maré salina exerceu impacto significativo apenas na estação localizada em Rosário. Aprofundando a análise dos perfis verticais de temperatura, salinidade e densidade, confirma-se que o trecho estudado do Rio Itapecuru apresenta uma eficiente mistura vertical, principalmente devido à difusão de turbulência gerada na camada-limite de fundo do rio.

Os dados oceanográficos revelam que a força astronômica, materializada pela maré dinâmica, estende-se além dos limites da área de estudo, a montante da adutora do Sistema ITALUIS, evidenciando a inversão de sentido das correntes durante o estágio de enchente em diferentes níveis de profundidade do rio.

Ao realizar a análise comparativa dos campos cinemáticos na superfície, meio e próximo ao fundo, destaca-se uma notável homogeneidade no potencial de transporte vertical. As estimativas de vazão, com valores mais elevados no igarapé Sampaio e menores no Perizes (médias de 1.149,7 m³/s e 788,00 m³/s, respectivamente), adicionam uma dimensão crítica à compreensão do comportamento hídrico na região.

O padrão de circulação nas estações amostradas no Rio Itapecuru, fortemente influenciado pela maré dinâmica, transcende os limites da área de estudo, resultando em maiores intensidades de correntes na zona à jusante. Acentua-se a notável assimetria nos períodos de maré, com 8 horas de vazante e 4 horas de enchente, sendo os maiores registros de correntes verificados durante o período de enchente.

Os perfis verticais conjuntos de cada estação hidrológica revelaram uma distribuição homogênea na coluna d'água. Pequenas variações, restritas ao primeiro

metro de profundidade, são atribuídas às variações nictemerais das forçantes interfaciais, como radiação solar e cisalhamento eólico, contribuindo para um entendimento mais refinado da dinâmica local.

Em síntese, os resultados obtidos proporcionam uma compreensão aprofundada da dinâmica fluvial e marinha na região estudada, oferecendo subsídios fundamentais para futuros estudos e para o desenvolvimento de estratégias de planejamento sustentável dos recursos hídricos locais. Essas descobertas representam um avanço significativo no conhecimento do ambiente aquático, fornecendo uma base robusta para a tomada de decisões e a gestão responsável dos recursos naturais.

Além das implicações diretas na compreensão da dinâmica fluvial e marinha, os resultados obtidos neste estudo contribuem para o embasamento de ações estratégicas voltadas ao manejo sustentável dos recursos hídricos na região. A identificação da influência específica da maré salina na estação de Rosário, por exemplo, destaca a necessidade de considerar essa variável em futuros planos de gestão ambiental e de captação de água.

A eficiente mistura vertical observada no trecho estudado do Rio Itapecuru, resultado da difusão de turbulência gerada na camada-limite de fundo do rio, sugere a importância de se monitorar e compreender os processos físicos subjacentes que impactam a qualidade da água e a biodiversidade local. Essa compreensão é crucial para o desenvolvimento de estratégias de preservação e restauração dos ecossistemas aquáticos.

A extensão da propagação da força astronômica, representada pela maré dinâmica, para além dos limites da área de estudo, oferece insights valiosos sobre as interações complexas entre os cursos d'água locais e os fenômenos oceânicos. Essa compreensão mais ampla é essencial para antecipar potenciais impactos das mudanças climáticas e promover a resiliência dos ecossistemas fluviais.

A homogeneidade significativa no potencial de transporte vertical, identificada na análise dos campos cinemáticos, sugere uma uniformidade notável nos processos de movimentação da água em diferentes camadas. Essa informação é crucial para a modelagem precisa de cenários hidrológicos e para o desenvolvimento de estratégias de mitigação de riscos associados a eventos extremos, como enchentes ou secas prolongadas.

A variação nas estimativas de vazão ao longo dos diferentes pontos de amostragem, com valores mais elevados no igarapé Sampaio e menores no Perizes, evidencia a complexidade das interações hidrogeológicas na bacia estudada. Essa variação destaca a necessidade premente de uma abordagem integrada que leve em consideração não apenas as condições locais específicas, mas também as interconexões mais amplas entre os cursos d'água e seus ecossistemas circundantes.

Em síntese, os resultados desta pesquisa não apenas ampliam o conhecimento sobre a dinâmica hídrica na região, mas também oferecem subsídios valiosos para a implementação de práticas sustentáveis e para embasar decisões informadas. A aplicação prática dessas descobertas em políticas públicas e estratégias de manejo ambiental pode ser determinante para assegurar a preservação a longo prazo da qualidade da água e dos ecossistemas aquáticos, fomentando, assim, a harmonia entre o desenvolvimento humano e a conservação ambiental.

REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA, E.H. 2004. **Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru, Maranhão – Brasil**. Caminhos de Geografia 7:11, 97-113 p.
- AMORIM, A.L.; RIBEIRO, M.M.R.; BRAGA, C.F.C. 2016. **Water resources conflicts in shared water basins: the Piranhas-Açu Water Basin case study**. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 21, n. 1, p. 36-45.
- BOCK, C.S.; ASSAD, L.P.F.; LANDAU, L. 2012. **Implementação do Modelo Numérico Hidrodinâmico (POM) na Bacia de Guajará (Pará, Brasil)**. Anuais do XXXIII Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional. 2012. 605-611 p.
- CASTRO, César Nunes de. **Água, problemas complexos e o Plano Nacional de Segurança Hídrica**. Rio de Janeiro: Ipea, 2022. 281 p. il., gráfs., mapas color. ISBN: 978-65-5635-031-8.
- FERREIRA, M. D. P.; COELHO, A. B. 2015. **Desmatamento recente nos Estados da Amazônia Legal: uma análise da contribuição dos preços agrícolas e das políticas governamentais**. *Revista Economia Sociologia Rural*, v. 53, n. 1, p. 91-108,
- MEDEIROS, R. 2001. Itapecuru: águas que correm entre pedras. São Luís: Grafic,
- MONTE, Benício Emanuel Omena. **Modelagem hidrológica e hidráulica aplicada ao mapeamento de áreas inundáveis**. RBRH, v. 21, n. 1, p. 152-167, mar. 2016. Doi: <https://doi.org/10.21168/rbrh.v21n1.p152-167>.
- PERIOTTO, N.A; TUNDISI, J.G. 2018. **Ecosystem Services of UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa): a new approach for management and planning of dams multiple-uses**. - Braz. J. Biol. 3: 471-482
- SILVA, D. J.; CONCEIÇÃO G.M. 2011. **Rio Itapecuru: caracterização geoambiental e socioambiental**, município de Caxias, Maranhão, Brasil.
- SILVA, Raimundo Nonato Medeiros da et al. **Caracterização dos impactos ambientais no Rio Itapecuru no trecho entre Veneza e Raízes na cidade de Caxias-MA**. 2019. v. 1, n. 1. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/19/2c1f60fd714a197e11d1f3aaa01df443_0916af059c5d0568db4d9bb8792ca4c1.pdf. Acesso em: 24 out. 2023.
- SOARES, L. S. 2016. **Planejamento ambiental integrado: subsídio para o desenvolvimento sustentável das sub-bacias hidrográficas do baixo curso do Rio Itapecuru, Maranhão**.
- SOARES, L. S; CASTRO, A. C. L; Lopes, W. G. R; SILVA, E. V; ARAUJO, G. M. C;

FRANÇA, V. L; SANTOS, P. V. C. J. 2017. **Erosive Potential in Sub-basins of the Lower Itapecuru River in the State of Maranhão, Northeastern Brazil**, Revista Brasileira de Geografia Física 4: 1027-1045.

TUNDISI, J. G. (2008): **Recursos hídricos no futuro: Problemas e Soluções**. - Revista USP Estudos Avançados 63: 7-16.