



Universidade Federal do Amapá
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação



Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical

Mestrado e Doutorado

UNIFAP / EMBRAPA-AP / IEPA / CI-Brasil

LUANY JAINE DE ARAÚJO SOUZA

VARIAÇÃO ESPAÇO-SAZONAL DA QUALIDADE DA ÁGUA: SUBSÍDIO À
CRIAÇÃO DE PEIXES EM TANQUES REDES NO BAIXO MATAPI-AMAPÁ-BRASIL

MACAPÁ, AP

2016

LUANY JAINE DE ARAÚJO SOUZA

VARIAÇÃO ESPAÇO-SAZONAL DA QUALIDADE DA ÁGUA: SUBSÍDIO À
CRIAÇÃO DE PEIXES EM TANQUES REDES NO BAIXO MATAPI-AMAPÁ-BRASIL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical (PPGBIO) da Universidade Federal do Amapá, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Biodiversidade Tropical.

Orientador: Dr. Alan Cavalcanti da Cunha

Co-Orientador: Dr. Marcos Tavares Dias

MACAPÁ, AP

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Biblioteca Central da Universidade Federal do Amapá

628.16

S719v Souza, Luany Jaine de Araújo.

Variação espaço-sazonal da qualidade da água: subsídio à criação de peixes em tanques redes no baixo Matapi-Amapá-Brasil / Luany Jaine de Araújo Souza; orientador, Alan Cavalcanti da Cunha; co-orientador, Marcos Tavares Dias. – Macapá, 2016.

127 f.

Dissertação (mestrado) – Fundação Universidade Federal do Amapá, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical.

1. Impacto ambiental. 2. Peixe - Criação. 3. Água – Qualidade. I. Cunha, Alan Cavalcanti, orientador. II. Dias, Marcos Tavares, co-orientador; III. Fundação Universidade Federal do Amapá. IV. Título.

LUANY JAINE DE ARAÚJO SOUZA

VARIAÇÃO ESPAÇO-SAZONAL DA QUALIDADE DA ÁGUA: SUBSÍDIO À
CRIAÇÃO DE PEIXES EM TANQUES REDES NO BAIXO MATAPI-AMAPÁ-BRASIL

Dr. Alan Cavalcanti da Cunha
Universidade Federal do Amapá (UNIFAP)

Dra. Eliane Tie Oba Yoshioka
EMBRAPA AMAPÁ

Dr. Alexandro Cezar Florentino
Universidade Federal do Amapá (UNIFAP)

Aprovada em 15 de Abril de 2016, Macapá, AP, Brasil

À DEUS pela oportunidade

Aos meus pais e familiares, por todo o apoio, amor e preocupação

Aos professores e amigos que se fizeram presente nessa trajetória

AGRADECIMENTOS

A **Deus** por me proporcionar esta oportunidade de qualificação, por me amparar nos momentos difíceis, me dar forças em meio às dificuldades e não deixar eu desistir, por me mostrar o caminho nas horas incertas e me suprir em todas as minhas necessidades.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (**CNPq**) pela concessão de uma bolsa de mestrado, que contribuiu para a divulgação e elaboração do trabalho e na confecção da dissertação.

Ao Projeto Tecnologias para produção do tabaqui em sistemas de tanque-rede, coordenado pelo meu co-orientador e professor Marcos Tavares Dias, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento – **EMBRAPA**, pelo apoio logístico e financeiro, no deslocamento até local de estudo e pela oportunidade de somar informações à este projeto.

Ao Laboratório de Química, Saneamento e Modelagem de Sistemas Ambientais (**LQSAMSA/UNIFAP**) pelo apoio logístico e laboratorial e ao CNPQ (Processo 475614/2012-7) pelo suporte financeiro (Modelagem hidrodinâmica e qualidade da água no Estuário do Baixo Rio Araguari – AP).

À Companhia de Água e Esgoto do Amapá – **CAESA**, pela disponibilização do laboratório para realização das análises químicas da água.

Ao **Prof.º Dr. Alan Cavalcanti da Cunha** pela oportunidade, orientação, sugestões e discussões no decorrer do trabalho, desde a elaboração do projeto até a redação final, que foram fundamentais para o desenvolvimento desta dissertação.

Ao **Profº Dr. Marcos Tavares Dias** pelo apoio na co-orientação do trabalho contribuindo com sugestões para melhoria dos estudos, e mediação do apoio logístico

À minha equipe de campo: os técnicos *Paulo Gibson* e *Gilvan Portela*, o acadêmico *José Felix*, os pilotos *Sr. Jonas* e *Sr. Adjalma* pelo apoio excepcional.

Ao *Sr. Simeão* por ceder o local para a realização do trabalho de campo.

A todos os colegas e professores da Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical/2014 pelos momentos divididos juntos, aprendizado e amizade.

À meus pais, *Luis Filgueira* e *Jaceline Souza*, meu infinito agradecimento, pelo apoio incondicional ao longo deste processo de dissertação e de muitos outros. Sempre acreditaram em minha capacidade, mesmo quando eu não acreditava.

Aos meus irmãos *Luan Ariel* e *Jaiane Aline*, que mesmo sem saber me apoiaram. E que este seja um exemplo para nunca desistirem e persistirem nos seus sonhos.

À meus avôs, avós, tios, tias, primos e primas, que sempre se mostraram muito preocupados com o andamento do meu trabalho e me deram forças na trajetória, especialmente a minha *tia Jaqueline Santos* que me ajudou a dar um pontapé inicial e com isso me motivou a não desistir. Agradeço a DEUS por esta família unida.

À minha segunda família, a igreja *Assembléia de Deus Maná*, onde tenho meus irmãos em Cristo, amigos, líderes e pastores, que sempre me apoiaram e se preocuparam comigo, nunca me deixaram desistir. Obrigada por todas as orações e palavras de apoio. DEUS sempre na direção de tudo

Aos amigos que fizeram parte desses momentos sempre me ajudando e incentivando. E àqueles que me acompanharam desde o começo.

Às minhas amigas *Milena Dantas*, *Jéssica Taiane* e *Denize Aires*, por só quererem o meu bem, me valorizarem tanto como pessoa e profissional, com palavras de incentivo e por me apoiarem em todos os momentos. Obrigada pela amizade!

Possuir amigos e tutores que pensam de formas tão distintas, enriqueceu significativamente a minha formação. Agradeço a enorme diversidade que me rodeia que, apesar de me desorientar às vezes, me ajuda a captar diferentes olhares sobre a mesma realidade.

A água de boa qualidade é
como a saúde ou a liberdade:
só tem valor quando acaba.

Guimarães Rosa

RESUMO

Souza, Luany Jaine de Araújo. Monitoramento da Variação de Parâmetros de Qualidade da Água no Baixo Matapi Sob Impactos Ambientais de Atividades de Criação de Peixes em Tanques Redes. Macapá, 2016. Dissertação (Mestre em Biodiversidade Tropical) – Programa de Pós-graduação em Biodiversidade Tropical – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - Universidade Federal do Amapá.

Esta investigação é parte do projeto de pesquisa e desenvolvimento titulado de “Tecnologias para Produção do Tambaqui em Sistemas de Tanques-Rede - TecRede”. A criação de peixes em tanques-rede é uma atividade cujo sucesso depende, em grande parte, da qualidade da água (QA) do ambiente onde a atividade se desenvolve. O objetivo geral deste trabalho foi estudar a variação espaço-sazonal da QA em uma área restrita (jusante, tanque-rede e montante) do rio Matapi-AP influenciada pelo cultivo da piscicultura em tanques-rede. O período de monitoramento foi dividido em 6 campanhas amostrais entre março/2015 a dezembro/2015. O trecho restrito de estudo compreendeu ≈ 20 km próximo da foz da Bacia do Rio Matapi AP. Neste local ocorre atividades de piscicultura em tanques-rede próximo da margem direita do rio. O segundo ponto de coleta localiza-se ≈ 6 km a montante do ponto da piscicultura de tanques-rede e o terceiro ponto a ≈ 9 km a jusante do ponto da piscicultura de tanques-rede. Espacialmente, apesar do ponto ptm (montante) encontrar-se mais próximo dos tanques-rede – ptt, houve maior correlação ($r^2 = 0,85$) entre os pontos ptt x ptj (distantes 9 km entre si) do que ptt x ptm ($r^2 = 0,65$) (distantes 6,0 km entre si). Os impactos ambientais mais significativos sobre a QA ocorreram principalmente em períodos específicos (abril), nas marés enchentes, sendo influenciados pelo período ou “Data” e fase da maré – “Trat”, principalmente próximo do local crítico (ptt – tanques-rede). Observa-se existência de diversos fatores que interferem na QA, tanto ao longo do trecho do Rio Matapi quanto além deste trecho. Isto é, conclui-se que a QA é sensivelmente afetada por fatores externos ao trecho de influência de cultivo da piscicultura em tanques-rede, mormente o histórico de poluição da bacia a montante e jusante do trecho específico, principalmente crescimento urbano, movimentação portuária e o Distrito Industrial de Santana, cujas águas fluem por influência das marés do Rio Amazonas.

Palavras-chave: impacto ambiental, piscicultura, tanque-rede, qualidade da água

ABSTRACT

Souza, Luany Jaine de Araújo. Monitoring of Changes in Water Quality Parameters in the Matapi Low Under Environmental Impacts of Activities of Fish in Cages. Macapá, 2016. Dissertation (Master in Tropical Biodiversity) – Graduate Program in Tropical Biodiversity – Dean of Research and Graduate Studies – Federal University of Amapá.

This search is part of the work and development project called "Technologies for Production of Tambaqui in Cage Systems-TecRede". The fish in cages is an activity whose success depends, largely, the water quality (WQ) of the environment where the activity develops. The general objective of this work was to study the variation spatial-seasonal of WQ in a restricted area (downstream, cages and amount) of the Matapi-AP river influenced by cultivation of fish in cages. The observation's period was divided it into 6 sampling campaigns in the months from March/2015 to December/2015. The restricted stretch of study comprised 20 km near the mouth \approx the Matapi AP river basin. At this site occurs in cages fish farming activities close to the right bank of the river. The second collection point located \approx 6 km the amountof the point of the fish cages and the third point to \approx 9 km downstream of the point of fish farming cages. Spatially, despite the point ptm (amount) find itself closer to the cages (ptt), there was greater correlation ($r^2 = 0.85$) between the points ptt x ptj (9 km distant from each other) than ptt x ptm ($r^2 = 0.65$) (6.0 km distant from each other). The most significant environmental impacts on the WQ occurred mainly in specific periods (April), the flood tides, being influenced by period or "Date" and phase of the tide -"Trat", especially close to the critical location (ptt – cages). There is existence of various factors that contributes to the WQ both along the stretch of the river Matapi as apart from this excerpt. That is, it is concluded that the QA is appreciably affected by factors outside the influence of the cultivation of fish in cages especially the pollution history of the basin upstream and downstream of the specific passage, especially urban growth, port handling and Santana Industrial District, whose waters flow by tidal influence of the Amazonas river.

Keywords: environmental impact, fish farming, cages, water quality

TABELAS E FIGURAS

Tabela 1 - Parâmetros, unidades de medida, métodos de análise e valores máximos e mínimos permitidos (VMP) pela Resolução CONAMA, 357/2005	27
Figura 1 – Área de estudo no baixo Rio Matapi, próximo a sua foz, Estado do Amapá (Brasil).....	44
Figura 2 – Boxplot das variações espaciais e medianas dos pontos a jusante (ptj), a montante (ptm) e piscicultura de tanque-rede (ptt) para alumínio (Al) e condutividade elétrica (CE), para aos meses de abril, junho, setembro, outubro e dezembro, respectivamente, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil)	50
Figura 3 – Boxplot das variações espaciais e medianas dos pontos a jusante (ptj), a montante (ptm) e piscicultura de tanque-rede (ptt) para cloreto (Cl ⁻) e cor, para aos meses de abril, junho, setembro, outubro e dezembro, respectivamente, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil)	51
Figura 4 – Boxplot das variações espaciais e medianas dos pontos a jusante (ptj), a montante (ptm) e piscicultura de tanque-rede (ptt) para cálcio (DCa) e magnésio (DMg), para aos meses de abril, junho, setembro, outubro e dezembro, respectivamente, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil)	52
Figura 5 – Boxplot das variações espaciais e medianas dos pontos a jusante (ptj), a montante (ptm) e piscicultura de tanque-rede (ptt) para oxigênio dissolvido (OD) para aos meses de abril, junho, setembro, outubro e dezembro, respectivamente, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil)	53
Figura 6 - Boxplot das variações espaciais e medianas dos pontos a jusante (ptj), a montante (ptm) e piscicultura de tanque-rede (ptt) para demanda bioquímica de oxigênio (DBO) para aos meses de abril, junho, setembro, outubro e dezembro, respectivamente, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil)	54

Figura 7 – Boxplot das variações espaciais e medianas dos pontos a jusante (ptj), a montante (ptm) e piscicultura de tanque-rede (ptt) para vazão e marégrafo, para aos meses de abril, junho, setembro, outubro e dezembro, respectivamente, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil) 55

Figura 8 – Boxplot das variações espaciais e medianas dos pontos a jusante (ptj), a montante (ptm) e piscicultura de tanque-rede (ptt) para ferro (Fe) e amônia (NH₃), para aos meses de abril, junho, setembro, outubro e dezembro, respectivamente, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil) 56

Figura 9 – Boxplot das variações espaciais e medianas dos pontos a jusante (ptj), a montante (ptm) e piscicultura de tanque-rede (ptt) para nitrito (NO₂), para aos meses de abril, junho, setembro, outubro e dezembro, respectivamente, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil) 57

Figura 10 - Boxplot das variações espaciais e medianas dos pontos a jusante (ptj), a montante (ptm) e piscicultura de tanque-rede (ptt) para nitrato (NO₃), para aos meses de abril, junho, setembro, outubro e dezembro, respectivamente, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil) 58

Figura 11 – Boxplot das variações espaciais e medianas dos pontos a jusante (ptj), a montante (ptm) e piscicultura de tanque-rede (ptt) para sólidos suspensos totais (TSS), sólidos totais dissolvidos (TDS), para aos meses de abril, junho, setembro, outubro e dezembro, respectivamente, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil) 59

Figura 12 - Boxplot das variações espaciais e medianas dos pontos a jusante (ptj), a montante (ptm) e piscicultura de tanque-rede (ptt) para fósforo (Pt), para aos meses de abril, junho, setembro, outubro e dezembro, respectivamente, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil) 60

Figura 13 - Boxplot das variações espaciais e medianas dos pontos a jusante (ptj), a montante (ptm) e piscicultura de tanque-rede (ptt) para pH, para aos meses de abril, junho, setembro, outubro e dezembro, respectivamente, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil)..... 61

Figura 14 - Boxplot das variações espaciais e medianas dos pontos a jusante (ptj), a montante (ptm) e piscicultura de tanque-rede (ptt) para turbidez (Tbz) e temperatura da água (TA), para aos meses de abril, junho, setembro, outubro e dezembro, respectivamente, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil) 62

Figura 15 - Boxplot das variações espaciais e medianas dos pontos a jusante (ptj), a montante (ptm) e piscicultura de tanque-rede (ptt) para coliformes totais (CT) e *E. coli* (Ec), para aos meses de abril, junho, setembro, outubro e dezembro, respectivamente, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil) 63

Figura 16 – Boxplot das variações espaciais e medianas dos pontos a jusante (ptj), a montante (ptm) e piscicultura de tanque-rede (ptt) para sulfato (SO₄), para aos meses de abril, junho, setembro, outubro e dezembro, respectivamente, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil) 64

Figura 17 - Variações temporais da turbidez (Tbz), sólidos totais dissolvidos (TDS), sólidos suspensos totais (TSS) e temperatura da água (TA) em cada período amostral sazonal em relação a vazão do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). Legenda das cores: Preto (Abril), Vermelho (Junho), Verde (Setembro), Azul (Outubro), Água (Dezembro). Tbz e TA ($p > 0,05$); TSS e TDS ($p < 0,05$) 65

Figura 18 - Variações temporais do alumínio (Al), ferro (Fe), magnésio (DMg) e cálcio (DCa) em cada período amostral sazonal em relação a vazão do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). Legenda das cores: Preto (Abril), Vermelho (Junho), Verde (Setembro), Azul (Outubro), Água (Dezembro). Fe e DMg ($p > 0,05$); Al e DCa ($p < 0,05$) 66

Figura 19 - Variações temporais da amônia (NH₃), nitrato (NO₃), nitrito (NO₂) e sulfato (SO₄) em cada período amostral sazonal em relação a vazão do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). Legenda das cores: Preto (Abril), Vermelho (Junho), Verde (Setembro), Azul (Outubro), Água (Dezembro). NH₃, NO₃, NO₂ e SO₄ ($p > 0,05$) 67

Figura 20 - Variações temporais do fósforo total (Pt), cor, oxigênio dissolvido (OD) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO), em cada período amostral sazonal em relação a vazão do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). Legenda das cores: Preto (Abril), Vermelho (Junho), Verde (Setembro), Azul (Outubro), Água (Dezembro). Pt e OD ($p>0,05$); Cor e DBO ($p<0,05$) 68

Figura 21 - Variações temporais de pH, coliformes totais (CT) e *Escherichia coli* (Ec) em cada período amostral sazonal em relação a vazão do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). Legenda das cores: Preto (Abril), Vermelho (Junho), Verde (Setembro), Azul (Outubro), Água (Dezembro). pH ($p>0,05$); CT e Ec ($p<0,05$) 69

Figura 22 - Variações temporais na vazante, enchente, preamar e baixamar durante o ciclo de maré semidiurna, para sólidos totais dissolvidos (TDS), sólidos suspensos totais (TSS) e turbidez (Tbz) nos sítios de amostragem do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). Legenda de cores: Preto (vazando), vermelho (enchendo), verde (preamar/baixamar). Tbz ($p>0,05$); TDS e TSS ($p<0,05$) 70

Figura 23 - Variações temporais na vazante, enchente, preamar e baixamar durante o ciclo de maré semidiurna, para temperatura da água (TA), alumínio (Al), ferro (Fe) e cor nos sítios de amostragem do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). Legenda de cores: Preto (vazando), vermelho (enchendo), verde (preamar/baixamar). TA e Fe ($p>0,05$); Al e Cor ($p<0,05$) 71

Figura 24 - Variações temporais na vazante, enchente, preamar e baixamar durante o ciclo de maré semidiurna, para magnésio (DMg) e cálcio (DCa), oxigênio dissolvido (OD) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO) nos sítios de amostragem do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). Legenda de cores: Preto (vazando), vermelho (enchendo), verde (preamar/baixamar). DMg e OD ($p>0,05$); DCa e DBO ($p<0,05$) 72

Figura 25 - Variações temporais na vazante, enchente, preamar e baixamar durante o ciclo de maré semidiurna, para amônia (NH_3), nitrito (NO_2), nitrato (NO_3) e fósforo total (Pt) nos sítios de amostragem do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). Legenda de cores: Preto (vazando), vermelho (enchendo), verde (preamar/baixamar). NH_3 , NO_2 , NO_3 e Pt ($p>0,05$) 73

Figura 26 - Variações temporais na vazante, enchente, preamar e baixamar durante o ciclo de maré semidiurna, para pH, coliformes totais (CT) e *Escherichia coli* (Ec) nos sítios de amostragem do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). Legenda de cores: Preto (vazando), vermelho (enchendo), verde (preamar/baixamar). pH ($p>0,05$); CT e Ec ($p<0,05$) 74

Figura 27 - Variações temporais em relação à vazão nos sítios de amostragem, para alumínio (Al), temperatura da água (TA) e ferro (Fe) nos sítios de amostragem do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). Legenda de cores: Preto (ptj), vermelho (ptm) e verde (ptt). TA e Fe ($p>0,05$); Al ($p<0,05$) 75

Figura 28 - Variações temporais em relação à vazão nos sítios de amostragem, para magnésio (DMg), cálcio (DCa), sólidos totais dissolvidos (TDS) e sólidos suspensos totais (TSS) nos sítios de amostragem do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). Legenda de cores: Preto (ptj), vermelho (ptm) e verde (ptt). DMg ($p>0,05$); DCa, TDS e TSS ($p<0,05$) 76

Figura 29 - Variações temporais em relação à vazão nos sítios de amostragem, para amônia (NH₃), nitrito (NO₂), nitrato (NO₃) e sulfato (SO₄₂) nos sítios de amostragem do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). Legenda de cores: Preto (ptj), vermelho (ptm) e verde (ptt). NH₃, NO₂, NO₃ e SO₄₂ ($p>0,05$) 77

Figura 30 - Variações temporais em relação à vazão nos sítios de amostragem, para turbidez (Tbz) nos sítios de amostragem do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). Legenda de cores: Preto (ptj), vermelho (ptm) e verde (ptt). Tbz ($p>0,05$) 78

Figura 31 - Variações espaciais nos pontos a jusante (1), a montante (2) e piscicultura de tanque-rede (3) para condutividade elétrica (CE) com relação ao período de cada coleta, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). CE ($p<0,05$) 78

Figura 32 - Variações espaciais nos pontos a jusante (1), a montante (2) e piscicultura de tanque-rede (3) para *Escherichia coli* (Ec), coliformes totais (CT) e pH, com relação ao período de cada coleta, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). pH ($p>0,05$); Ec e CT ($p<0,05$) 79

Figura 33 - Variações espaciais nos pontos a jusante (1), a montante (2) e piscicultura de tanque-rede (3) para ferro (Fe), cálcio (DCa) e magnésio (DMg), com relação ao período de cada coleta, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). DMg e Fe ($p>0,05$); DCa ($p<0,05$) 80

Figura 34 - Variações espaciais nos pontos a jusante (1), a montante (2) e piscicultura de tanque-rede (3) para nitrito (NO_2), amônia (NH_3) e nitrato (NO_3), com relação ao período de cada coleta, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). NO_2 , NO_3 e NH_3 ($p>0,05$).....81

Figura 35 - Variações espaciais nos pontos a jusante (1), a montante (2) e piscicultura de tanque-rede (3) para marégrafo, vazão e turbidez (Tbz), com relação ao período de cada coleta, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). Marégrafo, Vazão e Tbz ($p>0,05$) 82

Figura 36 - Variações espaciais nos pontos a jusante (1), a montante (2) e piscicultura de tanque-rede (3) para demanda bioquímica de oxigênio (DBO), oxigênio dissolvido (OD) e cor, com relação ao período de cada coleta, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). OD ($p>0,05$); DBO e Cor ($p<0,05$) 83

Figura 37 - Variações espaciais nos pontos a jusante (1), a montante (2) e piscicultura de tanque-rede (3) para sólidos totais dissolvidos (TDS), sólidos suspensos totais (TSS) e temperatura da água (TA), com relação ao período de cada coleta, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). TA ($p>0,05$); TDS e TSS ($p<0,05$) 84

Figura 38 - Variações espaciais nos pontos a jusante (1), a montante (2) e piscicultura de tanque-rede (3) para fósforo total (Pt) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO), oxigênio dissolvido (OD) e cor, com relação ao período de cada coleta, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). Pt e SO_4 ($p>0,05$); Al ($p<0,05$) 85

Figura 39 –Variações espaciais nos pontos a jusante (1), a montante (2) e piscicultura de tanque-rede (3) para cloreto (Cl^-), com relação ao período de cada coleta, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). Cl^- ($p>0,05$) 86

Figura 40 – Variação da descarga líquida ($Q - m^3/s$) medida em abril/2015 na seção de monitoramento da piscicultura de tanques-rede instalada no Rio Matapi, estado do Amapá (Brasil) 88

Figura 41 – Simulação de processos hidrodinâmicos acoplados à dispersão de plumas de poluentes em cinco pontos de monitoramento (virtual) em um ciclo de maré próximo e a jusante da área de instalação do cultivo em de tambaqui em tanque-rede (círculo amarelo superior).
Fonte: Cunha *et. al.* (2011) 93

Figura 42 – Percepção de quatro diferentes observadores virtuais em relação a variação da concentração de poluentes (simulada) em um ciclo de maré semidiurno no Rio Matapi, 15 km a jusante da área da piscicultura de tanque-rede. Fonte: Cunha *et. al.* (2011) 93

ABREVIATURAS E SIGLAS

ADP/ADCP	Acoustic Doppler Profiler/ Acoustic Doppler Current Profiler
ANCOVA	Análise de Covariância
CE	Condutividade Elétrica
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPAq/DNOCS	Centro de Pesquisa em Aquicultura do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
EPT	Elemento Potencialmente Tóxico
GLM	Regressões Múltiplas Generalizadas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MANOVA	Análise Multivariada da Variância
MANCOVA	Análise Multivariada de Covariância
OD	Oxigênio Dissolvido
ONU	Organização das Nações Unidas
PCA	Análise de Componentes Principais
PESM	Parque Estadual da Serra do Mar
PTJ	Ponto à Jusante
PTM	Ponto à Montante
PTT	Ponto dos tanques-rede
TDS	Sólidos Totais Dissolvidos
TA	Temperatura da Água
TSS	Sólidos Suspensos Totais
VMP	Valores Médios Permitidos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	19
1.1. PRODUÇÃO EM TANQUE-REDE NO BRASIL.....	19
1.2. QUALIDADE DA ÁGUA E A PISCICULTURA.....	21
1.3. PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	24
2. PROBLEMA	31
3. HIPÓTESES GERAL	32
4. OBJETIVO	33
4. 1. GERAL	33
4. 2. ESPECÍFICOS.....	33
5. REFERÊNCIAS	34
6. CAPITULO I - QUALIDADE DA ÁGUA E HIDRODINÂMICA NO RIO MATAPI COMO SUBSÍDIOS À PISCICULTURA DE TANQUE-REDE EM REGIÃO ESTUARINA DO BAIXO AMAZONAS - ESTADO AMAPÁ (BRASIL).....	38
INTRODUÇÃO	41
MATERIAL E MÉTODOS	43
RESULTADOS	49
DISCUSSÃO	88
CONSIDERAÇÕES FINAIS	94
AGRADECIMENTOS	95
REFERÊNCIAS	96
7. CONCLUSÃO	100
APÊNDICE	101
ANEXO	104

1. INTRODUÇÃO GERAL

A presente investigação é parte do projeto de pesquisa e desenvolvimento titulado de “Tecnologias para Produção do Tambaqui em Sistemas de Tanque-Rede - TecRede” (TAVARES-DIAS, 2014). O referido projeto apresenta caráter interdisciplinar e está sendo realizado em um trecho da Bacia do Rio Matapi no estado do Amapá, em local apropriado de para este tipo de cultivo. O foco principal do projeto TecRede é gerar conhecimento e tecnologias sustentáveis (compatíveis ao meio ambiente) que permitam em menor tempo o desenvolvimento do tambaqui durante seu cultivo em sistemas de tanque-rede.

Segundo Tavares-Dias (2014) o cultivo de tambaqui está se tornando uma das principais atividades nas pisciculturas, principalmente nas regiões Norte e Nordeste do país. Tais regiões possuem amplas condições de aproveitamento do potencial produtivo e sustentável da piscicultura de tanque-rede do tambaqui, peixe nativo de grande interesse zootécnico. Ainda no projeto original ressalta-se que uma produção em larga escala do tambaqui em tanque-rede requer um pacote tecnológico relativo às Boas Práticas de Manejos (BPMs). Neste pacote, devem ser incluídas principalmente tecnologias apropriadas para a produção, manejo alimentar, manejo sanitário e processamento industrial, as quais são informações vitais para sua consolidação na cadeia produtiva do tambaqui.

Contudo, a falta de conhecimento sobre as necessidades nutricionais, densidade de estocagem e instalações adequadas para cultivo de tambaqui cultivado em tanque-rede pode causar problemas nutricionais e doenças parasitárias e infecciosas. Além disso, não se conhece muito bem como a qualidade da água e sua dinâmica temporal (hidrodinâmica), ou o meio ambiente aquático circundante, poderá influenciar os parâmetros chave de estresse, produção, cultivo e sanidade da referida espécie.

O referido projeto em rede elegeu a espécie tambaqui para desenvolver a piscicultura em tanques-rede na várzea baixa e solucionar questões tecnológicas básicas envolvendo esse sistema de cultivo, ainda pouco utilizado em sistemas de peixes nativos (TAVARES-DIAS, 2014).

O tambaqui é um peixe nativo da região amazônica e foi escolhido por seus aspectos de mercado. Um dos critérios de escolha foi o baixo nível tecnológico atualmente disponível para sua produção em larga escala nesta modalidade de produção (tanque-rede). Além disso, dispõe de um representativo mercado interno com capacidade de absorção da produção. Também possui potencial do mercado internacional (TAVARES-DIAS, 2014; KUBITZA *et. al.* 2007), e domínio tecnológico pra produção em tanques escavados.

O projeto de pesquisa mais amplo deverá determinar a padronização de técnicas e sistema de produção baseados nas Boas Práticas de Produção (BPP) para o tambaqui, visando resolver os entraves apontados por produtores, além de tecnologias para o processamento industrial desse peixe nativo. Mas não somente isso. Pretendem compreender quais são os principais e potenciais impactos ambientais decorrentes desta produção sobre o ecossistema aquático próximo ou do entorno. Isto é, onde, quando, como e quanto esta atividade de produção em tanque-rede afetaria os corpos d'água onde estão instalados. Em resumo, testar a hipótese de que a atividade produtiva afeta a qualidade do corpo d'água, mais depende da proximidade do local principal de cultivo e momento do período do ano e maré. Neste último caso, as marés são forçantes naturais importantes do meio que influenciam esses ecossistemas, sendo os processos hidrodinâmicos associados ao clima e às fases da lua na bacia do Rio Matapi (CUNHA *et. al.*, 2011), e que serão estudadas para este tipo específico de ambiente, pois condicionam a qualidade da água a cada fase do período hidrológico e ao momento e fase das marés (BASTOS, 2010).

As tecnologias ambientais desenvolvidas serão transferidas a todos os seguimentos envolvidos no setor produtivo dos estados que fazem parte desta rede de pesquisa técnico-científica, incluindo os estudos de monitoramento da qualidade da água para verificação dos impactos desta atividade no ambiente natural onde será executada.

Desta forma, se faz necessário o monitoramento da qualidade da água, para que, ao incrementar as escalas de produção, seja possível estimar o nível dos impactos da atividade produtiva no meio ambiente. E este procedimento é fundamental para sustentabilidade desta atividade no curto, médio e longo prazos, devido sua relativa proximidade com outras atividades antrópicas próximas da foz do estuário do Rio Matapi

1.1. PRODUÇÃO EM TANQUE-REDE NO BRASIL

A criação de peixes em tanques-rede tem crescido nos países como China, Indonésia e Brasil e tende a se tornar o mais importante sistema de criação de peixes em países que desenvolvem a aquicultura, devido às vantagens que apresenta sobre os sistemas convencionais de cultivo (ZANIBONI FILHO *et. al.*, 2005).

Segundo o Censo Aquícola Nacional (2008) os tanques-rede são estruturas flutuantes delimitadas por telas que permitem o confinamento dos organismos cultivados em seu interior, permitindo a livre passagem de água, e onde serão alimentados até atingirem o peso ideal para a comercialização.

Essas estruturas oferecem vantagens tais como utilização de massas de água inaproveitáveis para a piscicultura intensiva, uma vez que com a utilização dos espaços disponíveis e adequados para a instalação de tanques-rede, a produção de pescado poderá ser multiplicada e contribuirá para que a finalidade dos reservatórios seja múltipla; produtividade elevada, onde é possível confinar uma quantidade adequada de peixes e arrazoá-los convenientemente, tanto na quantidade quanto na qualidade; controle eficiente da população e da sanidade, a fácil visualização permite mantê-los saudáveis, pois qualquer transtorno é prontamente verificado, permitindo o controle de doenças, ainda no princípio, e uma profilaxia fácil de ser realizada; facilidade na despesca.

A tecnologia de piscicultura em tanques-rede vem sendo amplamente difundida no Brasil, mostrando-se uma técnica promissora por conciliar o uso sustentável do meio ambiente com uma alta produtividade oriunda da utilização de altas taxas de estocagem (BEVERIDGE, 1996; CHAGAS *et. al.*, 2003).

Os tanques-rede representavam 8% dos cultivos no país em 2008. Sendo o Ceará declarado como o estado que mais utiliza os tanques-rede, com 65% de utilização para este empreendimento no estado. Na distribuição das unidades produtivas que utilizam tanques-rede para a produção de tilápia no Brasil, o maior número de produtores encontrava-se no Ceará com 19% do total do país, seguido da Bahia com 18%, Minas Gerais com 10% e Piauí com 8%. Em contrapartida na região Sul a contratação de unidades produtivas com tanques-rede apresentou-se reduzida. A região do Brasil que mais utiliza estruturas de tanques-rede para o cultivo de tilápia é a região Nordeste, seguida da região Sudeste, Centro-Oeste, Sul e por último, região Norte. Todas as regiões totalizam 2.465 estruturas (Censo Aquícola Nacional, 2008).

O tanque-rede também é utilizado para o cultivo de outras espécies de peixes. Para o tambaqui, por exemplo, apresentou o expressivo número de 129 unidades produtivas, sendo que o Pará concentrou 55% do total, seguido por Rondônia com 16%, Minas Gerais 10% e Amazonas com 7%. Para o cultivo de tambaqui em “canal de igarapé” só foram registradas 23 ocorrências, porém, todas no estado do Amazonas, indicando uma consistente iniciativa regional (Censo Aquícola Nacional, 2008).

A piscicultura em tanques-rede é um sistema intensivo, onde grandes densidades de peixes são mantidas nos tanques, apresentando dependência total do fornecimento de ração que gera resíduos para o meio (FREITAS *et. al.*, 2011).

1.2. QUALIDADE DA ÁGUA E A PISCICULTURA

A água é um recurso natural indispensável para a vida, onde se evidencia a dependência por este recurso cada vez maior em praticamente todas as atividades (ATHAYDE JÚNIOR *et. al.*, 2008). Contudo, o ambiente aquático é extremamente dependente e vulnerável em relação às alterações das condições hidrológicas (UMETSU *et. al.*, 2012).

Portanto, a criação de peixes em tanques-rede é uma atividade cujo sucesso depende, em grande parte, da qualidade da água do ambiente onde a atividade se desenvolve (FREITAS *et. al.*, 2011), sendo um dos componentes de maior importância para o sucesso da criação de peixes nestes sistemas de cultivo, vez que os animais não podem se deslocar para outros locais de melhor qualidade de água.

Os peixes também podem causar impactos na qualidade da água de cultivo por meio de processos como alimentação, eliminação de dejetos e respiração. Analisar e interpretar as variáveis de qualidade da água é prática de grande importância para piscicultores, pesquisadores e órgãos oficiais de controle ambiental, uma vez que fatores ambientais como oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), temperatura, pH, alcalinidade e produtos nitrogenados, estão diretamente relacionados com o desenvolvimento dos peixes. Entretanto, para cada fator, o método de determinação e a frequência do monitoramento dependem do sistema de produção (SILVA *et. al.*, 2007) e da espécie a ser cultivada.

Campos *et. al.* (2014) avaliaram os possíveis efeitos de poluição decorrentes da produção de alevinos da espécie *Deuterodon iguape*, a partir de ensaio ecotoxicológico e análises físico-químicas da água, no Centro de Pesquisa e Produção de Peixes Nativos de Peruíbe. Este experimento que está instalado no núcleo Itariru do Parque Estadual da Serra do Mar (PESM), Estado de São Paulo, onde os referidos autores concluíram que as atividades de piscicultura não se constituíram em fonte de contaminação para os corpos d'água. Assim disso, os ensaios ecotoxicológicos constituem uma ferramenta útil para a avaliação da qualidade ambiental na aquicultura.

Por outro lado, deve-se levar em consideração que a qualidade da água na piscicultura em grandes reservatórios é influenciada por um conjunto de variáveis que não se relacionam diretamente ao próprio sistema de cultivo. Na maioria dos casos, as alterações dos parâmetros físicos-químicos e microbiológicos (sanitários) de qualidade de água são decorrentes das atividades desenvolvidas nas áreas adjacentes aos reservatórios, como por exemplo, a existência de resíduos de agroquímicos provenientes das atividades agropecuárias e do aporte de matéria orgânica e resíduos urbanos das cidades localizadas na região (ROTTA and QUEIROZ, 2003; CUNHA *et. al.*, 2004).

Alves *et. al.* (2012) comparam a qualidade físico-química de efluentes domésticos da cidade de Pentecoste no Estado do Ceará, com a de viveiros de piscicultura do Centro de Pesquisa em Aquicultura do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – DNOCS. Após três campanhas bimestrais foram analisados oxigênio dissolvido (OD), amônia total, CO₂ livre, nitrito, fósforo reativo, condutividade elétrica e demanda química de oxigênio (DQO), pelos métodos padrões de análises. Estes concluíram que os esgotos domésticos da cidade de Pentecoste contribuem mais na eutrofização dos corpos de água receptores que os efluentes de piscicultura do CPAq/DNOCS.

Nos grandes reservatórios onde são realizados cultivos de peixes em tanques-redes, a qualidade de água está diretamente relacionada ao consumo de ração pelos peixes cultivados, à taxa de conversão alimentar e ao tempo de retenção da água (hidrodinâmica que controla o tempo de residência dos agentes passivos no escoamento) nesses ambientes (ROTTA and QUEIROZ, 2003; CUNHA *et. al.*, 2013).

Por outro lado, alguns estudos sobre avaliação ambiental de sistemas de produção relacionados ao cultivo de peixes em viveiros, lagos ou reservatórios indicam que as atividades desenvolvidas no entorno desses ambientes são uma das principais causas da alteração da qualidade da água e dos índices de produtividade desses sistemas de produção (GOLDBERG and TRIPLETT, 1977; CSAVAS, 1993; CICHRA *et. al.*, 1994; COMITÉ, 1996).

Para Rotta and Queiroz (2003) os parâmetros físico-químicos de qualidade de água devem ser mantidos em uma faixa ideal, não ultrapassando a capacidade máxima de suporte do ambiente. Também, deve-se considerar os diversos aspectos fundamentais relacionados não só à qualidade da água, mas também com a nutrição, a genética, o tamanho dos tanques-redes e a localização da área de produção. Se a capacidade máxima de suporte for ultrapassada, a qualidade da água e a produtividade diminuem acentuadamente, afetando diretamente os peixes mantidos nos tanques-redes.

Para melhor interpretar a hipótese da influência temporal-espacial das concentrações de constituintes na água, Cunha *et. al.* (2011) realizaram um estudo experimental e numérico na foz do rio Matapi com o objetivo de avaliar o modo como plumas de poluentes em potencial poderiam ser monitoradas de forma mais eficiente sob condições hidrodinâmicas complexas das várzeas do estuário do rio Amazonas. O referido estudo mostrou que, dependendo do local e do momento, os picos máximos de concentração de uma fonte permanente e contínua de dado poluente (genérico e conservativo) apresentaria curvas de concentração diferenciadas no espaço e no tempo (dependendo do local do observador), em função da dinâmica das marés semi-

diurnas locais, mostrando o quanto se exigiria esforço para realizar qualquer ação de monitoramento contínuo nesses ecossistemas aquáticos dinâmicos.

Então, uma vez instalados tanques-redes no Rio Matapi, no estuário amazônico, os peixes ali criados estarão sujeitos a efeitos de marés (correntes e qualidade da água) que podem influenciar tanto de forma positiva quanto de forma negativa as atividades produtivas. Por isso há a necessidade de se criar sistemas de controle, monitoramento e fiscalização das atividades produtivas, visto que a qualidade da água também pode ser afetada (protocolo básico de monitoramento), com destaque ao potencial multiplicador de áreas de riscos de contaminação sanitária/ambiental. Tal controle se deve principalmente ao fato de haver a falta de infraestrutura de saneamento básico na região relativamente próxima (em região de jusante, portanto, em contracorrente), o que poderia remotamente causar impactos ambientais secundários, como o Distrito Industrial de Santana ou a cidade de Santana no rio Matapi (CUNHA *et. al.*, 2004, CUNHA *et al.*, 2011).

Gorlach-Lira *et. al.* (2013) realizaram a análise de parâmetros biológicos da qualidade da água de um reservatório destinado à irrigação e ao cultivo de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em tanques redes. No referido estudo foram analisados parâmetros físico-químicos, quantificação de bactérias totais aeróbias mesófilas, coliformes totais e termotolerantes, estreptococos fecais e a detecção de *E. coli* nas amostras coletadas. O local de cultivo de tilápia em tanques-redes apresentou maior número de amostras contaminadas com *E. coli* e estreptococos fecais do que outros pontos de amostragem.

Contudo, as principais vantagens desse sistema produtivo comparativamente ao semi-intensivo (viveiros escavados) são, menor variação dos parâmetros físico-químicos da água, maior facilidade de retirada dos peixes para venda (despesca), menor investimento inicial (60 a 70% menor do que viveiros escavados), facilidade de movimentação e relocação dos peixes, intensificação da produção, facilidade de observação dos peixes, redução do manuseio dos peixes e diminuição dos custos devido à menor incidência de doenças. Mas como desvantagens, observam-se necessidade de fluxo constante de água através das redes, dependência total do sistema de arraçoamento, risco de incrustamento e rompimento da tela da gaiola com perda da produção e possibilidade de introdução de doenças e/ou peixes no ambiente, prejudicando a população natural, acúmulo de fezes e metabólitos embaixo dos tanques-rede promovendo impacto ambiental (BEVERIDGE, 1984; BORGHETTI and CANZI, 1993; SCHMITTOU, 1995; SILVA and SIQUEIRA, 1997; ONO and KUBITZA, 2003; CYRINO and CONTE, 2006; EL-SAYED, 2006).

O aumento da densidade de estocagem resulta em estresse para o peixe, levando ao aumento da exigência de energia, reduzindo seu crescimento e a utilização de alimento, além de causar doenças (CHAGAS *et. al.*, 2003; GOMES *et. al.*, 2004; TURRA *et. al.*, 2009). Porém, a máxima densidade de estocagem ideal para o tambaqui é extremamente dependente da qualidade da água do corpo hídrico onde estão inseridos os tanques-rede.

Por esta razão é de suma importância à realização do monitoramento da qualidade da água, antes e durante o desenvolvimento da atividade de piscicultura em tanque-rede, pois o manejo inadequado desta atividade pode trazer impactos ambientais como consequência da própria criação e causar prejuízos financeiros ao piscicultor. Além disso, é sempre possível existir fontes externas de poluição (entorno) em relação aos tanques, e que podem ser potencialmente prejudiciais ou negativamente sinérgicas à produção aquícola.

1.3. PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA

São diversos os parâmetros relacionados à qualidade da água. Mas, basicamente, estes apresentam três características: Físicas, Químicas e Biológicas. Assim, as características físicas de um corpo d'água normalmente estão relacionadas aos aspectos de ordem estética, cujos valores extremos podem ser perceptíveis aos sentidos humanos (Tabela 1).

Os parâmetros físicos normalmente utilizados neste tipo de investigação da qualidade da água são: cor, sabor ou odor, temperatura, condutividade elétrica, turbidez e a concentrações de sólidos que podem ser encontrados em suspensão (Sólidos Suspensos Totais - TSS) ou dissolvidos (Sólidos Totais Dissolvidos – TDS) e cada parâmetro possui uma atuação diferente na qualidade da água.

A cor fornece indícios dos fenômenos naturais ou antrópicos, que podem ocorrer na água, tanto naturais quanto antrópicos. A presença de uma coloração diferenciada na água nem sempre indica que esta esteja imprópria para o consumo, porém por questões visuais, a água potável deve ser límpida, transparente e incolor (BRITO, 2008; ABREU, 2014). Em sistemas naturais apresenta maior relevância em relação ao uso da visão por predadores.

A presença de alguns fatores naturais como o fitoplâncton pode conferir cores de vários tons, tais como: verde, azul esverdeado, amarelo, marrom ou vermelho. E partículas do solo em suspensão podem produzir cores diferentes na água (BOYD, 2000). A cor da água apresenta limite máximo permitido de 75 mgPt/L⁻¹ (Tabela 1). Concentrações maiores que o permitido causam alterações estéticas na água e interferem nos processos biogeoquímicos, como a fotossíntese (BÁRBARA *et. al.*, 2010; ABREU, 2014).

O sabor e o odor são características difíceis de medir, pois na água são encontradas várias impurezas dissolvidas, muitas vezes de natureza orgânica como os fenóis e clorofenóis (TEBBUTT, 2002).

A temperatura da água é um dos mais importantes parâmetros da qualidade da água, pois influencia as taxas cinéticas e processos biogeoquímicos, além de controlar o consumo de nutrientes e respiração de microrganismos (WARD *et. al.*, 2013). Logo, controla também a dinâmica das espécies aquáticas básicas da cadeia alimentar dependentes destes últimos.

A condutividade elétrica da água é diretamente dependente da temperatura. Refere-se à capacidade do líquido em conduzir corrente elétrica e pode indicar indiretamente a presença de poluição ou desequilíbrio no corpo hídrico, pois na composição de alguns efluentes orgânicos ou inorgânicos podemos dissolver íons em solução (BRITO, 2008).

A turbidez é uma característica física da água que está diretamente relacionada à sua qualidade. Trata-se de propriedade óptica de absorção da luz, agindo como um parâmetro importante de condição adequada para o consumo da água. Resultante principalmente da erosão de bacias hidrográficas pela chuva e escoamento superficial, erosão de leitos de vazão, erosão de margens de lagos por ação de ondas, e a ressuspensão de sedimentos por correntes de água em lagos e outros corpos d'água estáticos (LUÍZ *et. al.*, 2012). Mas tem sido sugerido como um indicador físico para monitorar a "pluma de entrada" das águas novas do rio Amazonas, especialmente nos seus afluentes quando a maré se reverte subindo o rio (CUNHA *et. al.*, 2004).

A turbidez é resultado também da presença de partículas sólidas em suspensão que interferem na propagação da luz pela água. No entanto, não se pode relacionar turbidez unicamente à "sujeira" da água, pois diversos fatores interferem na absorção e reflexão da luz, tais como o tamanho das partículas e forma geométrica dispersiva da luz e sua coloração.

Tabela 1 - Parâmetros, unidades de medida, métodos de análise e valores máximos e mínimos permitidos (VMP) pela Resolução CONAMA, 357/2005.

	Parâmetro	Unidade	Método/ Equipamento	CONAMA, 2005	Validade
Físico	Cor	mgPt/L ⁻¹	Padrão de Platina-Cobalto	máx 75	
	Turbidez ²	NTU	Turbidímetro HACH	máx. 100	24 Horas
	TSS ¹	mg/L ⁻¹	Fotométrico	-	7 Dias
	TDS ²	mg/L ⁻¹	Fotométrico	máx. 500	2 Dias
	Temperatura	°C	Sonda Multiparâmetros YSI 556 MPS	-	
	Condutividade Elétrica ²	µScm ⁻¹	Sonda Multiparâmetros YSI 556 MPS	-	24 Horas
Químico	Oxigênio Dissolvido	mg/L ⁻¹	Sonda Multiparâmetros YSI 556 MPS	≥ 5	24 Horas
	DBO ₅ ,20° ³	mg/L ⁻¹	DBO ₅ , 20°	20° - ≤ 5	24 Horas
	Nitrito ¹	mg/L ⁻¹ N	Redução de Cádmi	máx. 10	24 Horas
	Nitrato ¹	mg/L ⁻¹ N	Redução de Cádmi	máx. 10	24 Horas
	Amonia ¹	mg/L-1 N	Nessler	máx. 3,7	28 Dias
	Ph	pH	Sonda Multiparâmetros YSI 556 MPS	6 - 9	
	(P) Total ¹	mg/L ⁻¹	Phosver3	máx. 0,100	28 Dias
	Magnésio	mg/L ⁻¹	Calmagita Colorimétrica	-	
	Cálcio	mg/L ⁻¹	Calmagita Colorimétrica	-	
	Sulfato	mg/L ⁻¹	Metodo Sulfaver	< 250	
	Cloreto ¹	mg/L ⁻¹	Tiocianato Mercúrico	< 250	28 Dias
	Alumínio	mg/L ⁻¹	Aluver	máx. 0,200	6 meses
	Ferro ¹	mg/L ⁻¹	FerroVer	máx. 0,300	6 meses
Microbiológ.	CT	CT/ mL	Substrato Cromogênico	máx. 1000/100	
	E-Coli	E.Coli/100 mL	Substrato Cromogênico	Ausente em 100mL	

¹(DR/2800, 2005), ² (BRAILE eCAVALCANTI, 1993), ³OLIVEIRA e CUNHA (2014); ABREU (2014).

A turbidez da água apresenta limite de valor máximo, estipulado pelo CONAMA, de 100 NTU (Tabela 1). O aumento da turbidez reduz as taxas de fotossíntese e prejudica a busca por alimento de algumas espécies, levando a um desequilíbrio na cadeia alimentar. Sedimentos podem carregar pesticidas, metais pesados e outros componentes tóxicos e sua deposição no fundo de rios e lagos prejudica as espécies bentônicas e a reprodução de peixes, além de causar assoreamento (BRITO, 2008; CUNHA, 2013).

As concentrações TSS englobam substâncias sólidas com diâmetro superior a 1µm (VASCO *et. al.*, 2011). Porém, não apresentam valores máximos estipulados pela CONAMA, mas seus valores interferem diretamente no comportamento da turbidez e na transparência da água. Uma vez que tais interferências são inversamente proporcionais, apresentam influência nos ecossistemas aquáticos, tanto na fotossíntese quanto na dinâmica hidrossedimentométrica (BÁRBARA *et. al.*, 2010).

Já os TDS atuam na modificação da salinidade e conseqüentemente na condutividade elétrica da água (BRITO, 2008). Mas quando tratamos dos parâmetros químicos, estes estão associados a potenciais fontes de poluição que são indicadores do equilíbrio biogeoquímico necessário à manutenção da vida aquática (Tabela 1).

Os parâmetros químicos utilizados nesta pesquisa para medir a qualidade da água são: concentração de Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), pH (Potencial Hidrogênico), Ferro (Fe^{+2}), Fósforo Total (Pt), Alumínio (Al^{+2}), Cloreto (Cl^-), Nitrato (NO_3), Nitrito (NO_2) e Amônia (NH_3).

As concentrações de OD são produtos do consumo de oxigênio provocado pela remineralização da matéria orgânica e insumos causados pelos fluxos de oxigênio através da interface ar-água. De acordo com o CONAMA, deve apresentar um limite $\geq 5 \text{ mg/L}^{-1}$ (Tabela 1), abaixo do qual pode haver estresse ou sintomas de anoxia ou hipóxia em peixes. Partindo do pressuposto que o OD é inversamente proporcional à temperatura da água, naturalmente esta tende a diminuir durante a estiagem devido a maior intensidade de radiação solar que eleva a temperatura do corpo d'água reduzindo sua solubilidade. Na Amazônia, devido as elevadas temperaturas, o OD apresenta-se relativamente abaixo de 7 mg/L^{-1} e, frequentemente, abaixo de 5 mg/L^{-1} . Isto é, abaixo do que preconiza a Resolução do CONAMA (357/2005) (CUNHA *et. al.*, 2004).

A DBO representa uma potencial quantidade de oxigênio consumido durante a decomposição de matéria orgânica (respiração/decomposição). Mesmo sendo um método antigo, é o mais comumente utilizado para avaliar contaminantes orgânicos biodegradáveis na água. Trata-se de uma medida indireta da quantidade de matéria orgânica respirável presente

na água e também é um indicador do potencial de emissões de gases de efeito estufa dos rios para atmosfera (WARD *et. al.*, 2013). Apresenta um limite $\leq 5 \text{ mg.L}^{-1}$ segundo a Resolução CONAMA 357 (2005).

O parâmetro pH descreve a quantidade de íons contidos em uma solução, variando de 0 a 14, podendo ser ácido quando seu valor está abaixo de 7, básico quando seu valor está acima de 7, ou neutro quando igual a 7. Alguns rios variam seu pH entre 6 e 9, zona de adaptação dos organismos. Segundo Vigil (2003), o pH pode ser modificado a partir da ação humana ou natural, o que resulta na não sobrevivência dos organismos aquáticos e modificação da biodiversidade. Contudo, segundo BRITO (2013), é um excelente indicador das interações biogeoquímicas de diversas espécies químicas, como os carbonatos e CO_2 no Rio Amazonas. Segundo o CONAMA (357/2005) o pH deve apresentar valor mínimo de 6.0.

Com relação ao parâmetro químico Fe^{+2} o valor máximo é de $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$ segundo o CONAMA/2005 (Tabela 1). O ferro, quando em altas concentrações, apesar de não ser considerado um Elemento Potencialmente Tóxico (EPT), pode causar alterações na cor da água, manchando objetos e interferir no sistema de abastecimento (BÁRBARA *et. al.*, 2010). O metal Al^{+2} apresenta limite segundo a CONAMA de $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ (Tabela 1). Os nutrientes NO_3 e NH_3 dependem de processos de lixiviação de matéria orgânica do solo para a água em decorrência das chuvas e estão relacionados com processos biogeoquímicos mais tardios (WARD *et. al.*, 2013).

Por outro lado, as características biológicas da água descrevem a presença de organismos microbiológicos e elementos patogênicos transmitidos pela água, os quais se dispersam nos rios e lagos devido tanto à falta de sistemas de saneamento (via de esgotos) não tratados ou parcialmente tratados quanto de ecossistemas naturais do entorno (CUNHA *et. al.*, 2004).

Em águas residuais orgânicas, microrganismos desempenham um papel importante e a maior parte das espécies encontradas em águas residuais é inofensiva aos seres humanos. No entanto, certos tipos de microrganismos são responsáveis pela causa de diversas doenças e a sua presença na água gera um grande risco para a saúde. Por isso, é necessário desenvolver um entendimento da base princípios da microbiologia e, assim, ganhar uma apreciação do papel dos microrganismos no controle da qualidade da água (ALMEIDA *et. al.*, 2012).

Os Coliformes Totais (CT) incluem coliformes fecais e *Escherichia coli* (*E. coli*) e estão associados ao despejo de esgotos ou de animais em corpos de água, sendo potencialmente prejudiciais à saúde humana, caso sejam encontrados em grandes quantidades (AHUJA, 2009).

Os CT são um grupo de bactérias utilizadas efetivamente como indicadores de escolha para água potável. O grupo inclui, principalmente, a maioria das espécies de bactérias dos gêneros *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Klebsiella* e *Escherichia*. As concentrações de CT segundo a CONAMA 357/2005 limitam-se a máxima de 1.000/100 mL de água – classe II (Tabela 1).

As bactérias do gênero *Escherichia*, espécie *E. coli*, possuem uma exceção, pois geralmente não sobrevivem muito tempo fora do intestino, a não ser que estejam em água morna associada a climas tropicais. A Portaria 2.914 de 2011 do Ministério da Saúde limita o consumo humano de água isenta desta bactéria de origem fecal (após tratamento convencional).

Por outro lado, a presença desta bactéria não indica diretamente a presença de patogênicos, mas é uma boa estimativa da probabilidade de ocorrência deste tipo de organismo, haja visto que os microrganismos nocivos à saúde humana se alojam no intestino de indivíduos contaminados e são eliminados através de suas fezes (CUNHA *et. al.*, 2004).

Os CT são utilizados para avaliar a eficácia do tratamento da água, da integridade do sistema e sua distribuição, assim como são utilizados como teste de rastreio para a contaminação fecal recente (LETTERMAN, 1999).

O fitoplâncton constitui a base da cadeia alimentar de muitos sistemas dentro do corpo d'água, e pode ter uma elevada contribuição na produção primária. Estes microrganismos são um dos principais responsáveis pelo fluxo de energia e ciclagem de nutrientes e a base da cadeia alimentar nos ecossistemas aquáticos. Por esses motivos, este indicador tem sido estudado por pesquisadores de limnologia em rios e pequenos cursos de água (CUNHA, 2012; CUNHA *et. al.*, 2013; POMPEO, 1996). Diversos ecossistemas limnéticos podem ser monitorados utilizando microalgas (clorofila-a) como indicadoras de qualidade da água. A sua riqueza, diversidade, abundância, dominância, bem como os níveis de clorofila-a, e sua relação com os nutrientes e a correnteza da água (hidrodinâmica), fornecem informações relevantes sobre o funcionamento e equilíbrio dos ecossistemas aquáticos. Assim, sua variação está frequentemente relacionada não somente com os pulsos hidrológicos naturais, mas também com a tipologia e intensidade da poluição empreendida ao curso d'água (CHELLAPPA, 2001).

2. PROBLEMA

Ocorrem significativas variações espaciais-temporais dos parâmetros de qualidade da água durante o período de produção da piscicultura referente ao projeto Tecnologias para Produção do Tambaqui em Sistemas de Tanque-Rede - TecRede? Em caso positivo, apenas 3 seções de monitoramento são suficientes para capturar tais variações (jusante - ptj, tanque-rede – ptt e montante – ptm), ao longo de ≈ 15 km de um trecho estudado do Rio Matapi?

3. HIPÓTESE GERAL

Existem variações significativas na qualidade da água antes e durante o período de produção de piscicultura referente ao projeto Tecnologias para Produção do Tambaqui em Sistemas de Tanque-Rede - TecRede, sendo suficientes para identifica-las 3 sítios amostrais de coleta, contidos em um trecho de ≈ 15 km de comprimento no Rio Matapi (jusante, tanque-rede e montante).

Hipótese 1: A qualidade da água varia significativamente tanto espacial quanto sazonalmente, e os efeitos gerados pelos efluentes provenientes desse cultivo tendem a modificar o ecossistema natural do entorno do projeto piloto;

Hipótese 2: Se ocorre variações significativas de parâmetros da qualidade da água, causado pela atividade produtiva do tanque rede (ou externa sobre o sistema produtivo), os impactos mais significativos na qualidade da água ocorrem principalmente em períodos específicos durante a maré semi-diurna, podendo ser intensificado pelo efeito sazonal e hidrodinâmica, mas principalmente próximo do local crítico (ptt), e não além de 9 km a jusante (ptj) e 6 km a montante (ptm) dos tanques-redes.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo Geral

Estudar a variação da qualidade da água em área estritamente influenciada pelo cultivo da piscicultura em tanque-rede, mediante monitoramento em 6 campanhas (março/2015 a dezembro/2015 em três pontos amostrais (ptj, ptt e ptm) no trecho pré-definido do rio Matapi.

4.2. Objetivos Específicos

- Quantificar parâmetros relacionados com a qualidade da água no ecossistema dinâmico do trecho específico do Rio Matapi e monitorar parâmetros de qualidade da água relevantes, que expliquem a influência de atividade de piscicultura de tambaqui em tanques-rede submetidas a influências de fontes externas e potenciais poluentes no entorno
- Associar estatisticamente parâmetros hidrodinâmicos relacionados com a dispersão longitudinal e de qualidade da água, tais como as características hidráulicas relevantes (descarga líquida, velocidade e tempo de residência do escoamento do trecho específico), aplicados à piscicultura de tambaqui em tanques-rede e ambiente do entorno

5. REFERÊNCIAS

- ABREU, C. H. M. 2015. Variações Espaço-Sazonais da Qualidade da Água e da Hidrodinâmica em Ecossistemas Aquáticos Sob Impactos Ambientais no Baixo Rio Jari - AP. Dissertação de Mestrado. 97
- AHUJA, S. 2009. Handbook of water purity and quality. Elsevier Inc. British Library Cataloguing in Publication Data.
- ALMEIDA, C.; GONZALEZ, S. O.; MALLEA, M.; GONZALEZ, P. 2012. A recreational water quality index using chemical, physical and microbiological parameters. *Environmental Science Pollution Resource*, **19**:3400–3411.
- ALVES, M.; FONTANELE, M. M.; CAVALCANTE, D. H.; OLIVEIRA SEGUNDO, J. N. de; SÁ, M. V. do C. 2012. Domestic sludge and fish pond effluents in the municipality of Pentecoste, Ceará State, Brazil. *Acta Scientiarum. Technology. Maringá*, **34** (4):405-412.
- AVARES-DIAS, M. 2014. Projeto: Tecnologias para produção do tambaqui em sistemas de tanque-rede - TecRede. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento – EMBRAPA.
- BÁRBARA, V. F.; CUNHA, A. C.; RODRIGUES, A. S. L.; SIQUEIRA, E. Q. 2010. Monitoramento sazonal da qualidade da água do rio Araguari/AP. *Revista Biociências, UNITAU*. **16** (1):57-72.
- BASTOS, A. M. 2010. Modelagem de escoamento ambiental como subsídio à gestão de ecossistemas aquáticos no Baixo Igarapé da Fortaleza - Amapá. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Tropical) - Universidade Federal do Amapá. 118.
- BEVERIDGE, M. C. M. 1984. Cage and pen fish farming: carrying capacity models and environmental impact. Rome: FAO. 131.
- BEVERIDGE, M. C. M. 1996. Cage aquaculture. Fishing News Books, Oxford. 346.
- BORGHETTI, J. R.; CANZI, C. 1993. The effect of water temperature and feeding rate on the growth rate of pacu (*Piaractusmesopotamicus*) raised in cages. *Aquaculture, The Netherlands*, **114**: 93-101.
- BOYD, C. E. 2000. Water Quality Particulate Matter, Turbidity, and Color. **10**. 1007978-1-4615-4485-2 ISSUE Chapter 6.
- BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. 1993. Manual de tratamento de águas residuárias. São Paulo: CETESB.
- BRITO, D. C. B. 2008. Aplicação do Sistema de Modelagem da Qualidade da Água qual 2kw em Grandes Rios: O Caso do Alto e Médio Rio Araguari - AP. Dissertação. Mestrado em Biodiversidade Tropical, Universidade Federal do Amapá. 152

- CAMPOS, B. G.; ABESSA, D. M. de S.; LOPES, M. C.; SILVA, N. J. R. 2014. Ecotoxicological evaluation in aquaculture in state park Serra do Mar-SP, NucleoItariru. Avaliação ecotoxicológica em piscicultura no parque estadual da Serra do Mar-SP, Núcleo Itariru. *O Mundo da Saúde*, São Paulo; **38** (1): 98-104.
- CENSO AQUÍCOLA NACIONAL. 2008. Ministério Da Pesca e Aquicultura. 336
- CHAGAS, E. C.; LOURENÇO, J. N. P.; GOMES, L. C. 2003. Desempenho e estado de saúde de tambaquis cultivados em tanques-rede sob diferentes densidades de estocagem. In: Simpósio Brasileiro de Aquicultura, 2003, Goiânia. Anais Jaboticabal: Aquabio, **12**:83-93.
- CHELLAPPA, N. T. 2001. Cyanobacterial buoyancy and ecological dynamism of inland reservoir of the state Rio Grande do Norte. Congresso brasileiro de liminologia.
- CICHRA, C. E.; MASSER, M. P.; GILBERT, R. J. 1994. Fee fishing - location: site development and other considerations. Overton: Southern Regional Aquaculture Center. SRAC Publication, **482**:6.
- COMITÊ das Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. 1996. Relatório de situação dos recursos hídricos. [S.l.]: Comitê das Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. 65
- CSAVAS, I. 1993. Aquaculture development and environmental issues in developing countries of Asia. In: ILCARM CONFERENCE. Manila, Philippines. **31**.
- CUNHA, A. C; PINHEIRO, L. A. R e CUNHA, H. F. A. 2013. Modelagem e simulação do escoamento e dispersão sazonais de agentes passivos no rio Araguari AP: cenários para o AHE Ferreira Gomes-I - Amapá/Brasil. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos - RBRH*. **18** (1).
- CYRINO, J. E.; CONTE, L. 2006. Tilápia cultura em Gaiolas: produção e economia. In: José Eurico Possebon Cyrino e Elisabeth CriscuoloUrbinati (Eds.). *AquaCiência 2004: Tópicos Especiais em Biologia Aquática e Aqüicultura*. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Aqüicultura e Biologia Aquática, **12**:151-171.
- EL-SAYED, A. F. M. 2006. Tilapia Culture. Intensive Culture, London, **5**:70-94.
- FREITAS, F. C.; SILVA E. N. S.; DARWICH, A. J. 2011. Influência do cultivo de peixes em tanque- rede nos teores de nitrogênio e fósforo no lago Tupé. IN: *BioTupé: Meio Físico, Diversidade Biológica e Sociocultural do Baixo Rio Negro, Amazônia Central*. Manaus-AM. **03**.
- GOLDBERG, R.; TRIPLETT, T. 1977. Murky waters: environmental effects of aquaculture in the United States. Washington: Environmental DefenseFund, 196
- GOMES, L. C; BRANDÃO, F. R; CHAGAS, E. C; FERREIRA, M. F. B; LOURENÇO, J. N.

- P. 2004. Efeito do volume do tanque-rede a produtividade de tambaqui (*Colossoma macropomum*) durante a recria. *Acta Amazonica*, **34** (1):111-113.
- GORLACH-LIRA, K.; PACHECO, C.; CARVALHO, L. C. T.; MELO JÚNIOR, H. N. CRISPIM, M. C. 2013. The influence of fish culture in floating net cages on microbial indicators of water quality. *Ecology. Braz. J. Biol.*, **73** (3):457-463.
- KUBITZA, F.; ONO, E. A.; CAMPOS, J. L. 2007. Os caminhos da produção de peixes nativos no Brasil: Uma análise da produção e obstáculos da piscicultura. *Panorama da Aquicultura*. **17** (102):10
- LETTERMAN R. D. 1999. *American Water Works Association* 5 ed. United States of America. New York, McGraw Hill, Inc., **6**:1231
- LUÍZ Â. M. E.; PINTO, M. L. C.; SCHEFFER E. W. O. 2012. Parâmetros de Cor e Turbidez como Indicadores de Impactos Resultantes do Uso do Solo, na Bacia Hidrográfica do Rio Taquaral, São Mateus do Sul-PR. *RA E GA: o Espaço Geográfico em Análise*. **24**:290-310.
- OLIVEIRA, B. S. S.; CUNHA, A. C. 2014. Correlação entre qualidade da água e variabilidade da precipitação no sul do Estado do Amapá. *Revista Ambiente & Água*. Taubaté. **9** (2). ISSN 1980-993X – doi:10.4136/1980-993X.
- ONO, E.A.; KUBITZA, F. 2003. *Cultivo de peixes em tanques-rede*. 3ª ed. Jundiaí: Eduardo A. Ono. *Pesquisa & Tecnologia*, **8** (2):112
- POMPEO, M. L. M. 1996. Produtividade Primária do fitoplâncton e tipologia da Lagoa Dourada. Seminário Regional de Ecologia. In: *Anais VII Seminário Regional de Ecologia*. São Paulo. São Paulo. **7**:15-25.
- ROTTA, M. A.; QUEIROZ, J. F. 2003. Boas Práticas de Manejo (BPMs) para a Produção de Peixes em Tanques-redes. ISSN 1517-1973. 1ª edição: formato eletrônico. Corumbá, MS. Dezembro. 27.
- SCHMITTOU, H. R. 1995. Produção de peixes em alta densidade em tanques-rede de pequeno volume. Tradução de Eduardo Ono. ASA - Associação Americana de Soja. Editado por Silvio Romero Coelho, Mogiana Alimentos S.A., p. 78
- SILVA, A. L. N.; SIQUEIRA, A. T. 1997. *Piscicultura em tanques-rede: princípios básicos*. Recife: SUDENE: UFRPE- Imprensa Universitária, p. 72
- SILVA, C. R.; GOMES, L. C.; BRANDÃO, F. R. 2007. Effect of feeding rate and frequency on tambaqui (*Colossoma macropomum*) growth, production and feeding costs during the first growth phase in cages. *Aquaculture*, **264**:135-139.
- TEBBUTT, T. H.Y. 2002. *Principles of Water Quality Control*. 5. ed. Oxford: Butterworth-

Heinnemann. 279

- TURRA, E. M.; QUEIROZ, B. M.; RIBEIRO, L. P.; TEIXEIRA, E. A.; FARIA, P. M. C.; CREPALDI, D. V. 2009. Desempenho do surubim *Pseudoplatystoma* spp. em tanques-rede, em diferentes densidades de estocagem. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, **10**:100-115.
- UMETSU, R. K.; PEREIRA, N.; CAMPOS, E. M. F. P.; UMETSU, C. A.; MENDONÇA, R. A. M.; BERNASCONI, P.; CAMARGO, M. F. 2012. Análise morfométrica e socioambiental de uma bacia hidrográfica amazônica, Carlinda, MT. *Revista Árvore*, Viçosa, **36** (1):83-92.
- VASCO, A. N.; BRITTO, F. B.; PEREIRA, A. P. S.; MÉLLO JÚNIOR, A. V. M.; GARCIA, C. A. B.; NOGUEIRA, L. C. 2011. Avaliação espacial e temporal da qualidade da água na sub-bacia do rio Poxim, Sergipe, Brasil. *Revista Ambiente & Água*. Taubaté, v. **6** (1):118-130. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.178>.
- VIGIL, K. M. 2003. *Clean Water: An Introduction to Water Quality and Water Pollution Control*. Oregon State University Press Corvallis, 181
- WARD, N. D.; KEIL, R. G.; MEDEIROS, P. M.; BRITO, D. C.; CUNHA, A. C.; DITTMAR, T.; YAGER, P. L.; KRUSCHE, A. V.; RICHEY, J. E. 2013. A Degradation of terrestrially derived macromolecules in the Amazon River. *Nature Geoscience*, **6** (6):1–4. 19 Maio. <http://dx.doi.org/10.1038/ngeo1817>
- ZANIBONI-FILHO, E.; NUÑER, A. P. O.; GUERESCHI, R. M.; HERMES-SILVA, S. 2005. **Cultivo de peixes em tanques-rede e impactos ambientais**. In: Seminário Cultivo de Peixes em Tanques-rede: Desafios e oportunidades para um desenvolvimento sustentável, Belo Horizonte, MG. Cultivo de peixes em tanques-rede. Belo Horizonte, MG: EPAMIG, **Único**:57-80.

CAPITULO I

QUALIDADE DA ÁGUA E HIDRODINÂMICA NO RIO MATAPI COMO SUBSÍDIOS À PISCICULTURA DE TANQUE-REDE EM REGIÃO ESTUARINA DO BAIXO AMAZONAS - ESTADO AMAPÁ (BRASIL)

Artigo submetido ao periódico “Anais da Academia Brasileira de Ciências” (Anexo 1).

QUALIDADE DA ÁGUA E HIDRODINÂMICA NO RIO MATAPI COMO SUBSÍDIOS
À PISCICULTURA DE TANQUE-REDE EM REGIÃO ESTUARINA DO BAIXO
AMAZONAS - ESTADO AMAPÁ (BRASIL)

Luany Jaine de Araújo SOUZA¹

José da Costa FELIX NETO¹

Marcos TAVARES-DIAS^{1,2}

Alan Cavalcanti da CUNHA¹

¹Universidade Federal do Amapá – UNIFAP. Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical. Rod. Juscelino Kubitscheck, Km-02. Jardim Marco Zero. Macapá-AP. CEP 68903-419. E-mail: luanyjaine.souza@gmail.com.

²Embrapa Amapá, Laboratório de Sanidade de organismos Aquáticos. Rod. Juscelino Kubitscheck. Km-05, nº 2.600, Caixa Postal 10, CEP 68903-419, Macapá-AP. E-mail: marcos.tavares@embrapa.br.

RESUMO

O cultivo de peixes em tanques-rede é uma atividade não somente sensível à poluição da água do entorno onde estão instalado, mas também apresenta potencial capacidade de causar danos ao meio ambiente aquático. Neste sentido, o monitoramento da qualidade da água (QA) apresenta uma dupla vantagem: a) conhecer a dinâmica e a variação dos parâmetros de QA e b) identificar as potenciais ameaças poluidoras à sua operação, sendo de interesse à gestão e gerenciamento dos ecossistemas aquáticos potencialmente impactados. Neste contexto, o objetivo principal da pesquisa é estudar as variações de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos da QA em um trecho do Rio Matapi-AP, utilizado no cultivo da espécie regional *Colossoma macropomum* (tambaqui) em tanques-rede. A metodologia de investigação compreendeu duas abordagens chave: a) monitoramento da QA em 3 sítios amostrais (ptj, ptt e ptm) em ≈ 15 km de extensão do rio para avaliar variações espaço-temporal desses parâmetros (pH, OD, DBO, NO₃,P, etc); b) medidas de descargas líquidas (vazão) com uso de técnicas acústicas (Acoustic Doppler Profiler - ADP), como gradientes hidrodinâmicos de influência sobre a qualidade da água (hidrológico-sazonal e marés semidiurnas). Uma série de análises estatísticas indicaram influência sazonal hidrodinâmica ($p < 0,05$) sobre os parâmetros da QA e reduzida influência espacial em relação aos impactos de cultivo em tanques-rede. Análises multivariadas de co-variância (ANCOVA) indicaram significativas influências entre os períodos hidrológico-sazonal, a fase da maré e local de monitoramento, incluindo-se interações entre as mesmas ($p < 0,05$). Concluímos que a criação de peixes em tanques-rede é uma técnica ambientalmente viável, cujo sucesso dependerá da variação hidrodinâmica e da QA no ambiente. Potenciais impactos ambientais, decorrentes do lançamento de resíduos no entorno, também são fatores relevantes a serem considerados, haja vista que o manuseio da produção aquícola depende de outros fatores ambientais externos, porém inter-relacionados, requerendo prioritariamente o monitoramento para avaliar potenciais influências de contaminação/degradação em simultaneidade nestes ecossistemas dinâmicos, pois são muito sensíveis a impactos antrópicos.

Palavras-chave: monitoramento, gradientes hidrológicos, externalidades ambientais; interações multivariadas; várzea; impacto ambiental

**HYDRODYNAMIC AND WATER QUALITY IN THE RIVER MATAPI AS SUBSIDIES FISH
FARMING CAGES IN ESTUARINE REGION OF LOWER AMAZONAS - STATE
AMAPÁ (BRAZIL)**

Luany Jaine de Araújo SOUZA¹

José da Costa FELIX NETO¹

Marcos TAVARES-DIAS^{1,2}

Alan Cavalcanti da CUNHA¹

¹*Universidade Federal do Amapá – UNIFAP. Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical. Rod. Juscelino Kubitscheck, Km-02. Jardim Marco Zero. Macapá-AP. CEP 68903-419. E-mail: luanyjaine.souza@gmail.com.*

²*Embrapa Amapá, Laboratório de Sanidade de organismos Aquáticos. Rod. Juscelino Kubitscheck. Km-05, nº 2.600, Caixa Postal 10, CEP 68903-419, Macapá-AP. E-mail: marcos.tavares@embrapa.br.*

ABSTRACT

The cultivation of fish in cages and is an activity not only sensitive to water pollution in the surroundings where they are installed, but also presents potential ability to cause damage to the aquatic environment. In this sense, the monitoring of water quality (WQ) offers a double advantage: the) know the dynamic and the variation of the parameters of WQ and b) identify potential pollution threats to its operation, being of interest to management and management of aquatic ecosystems potentially impacted. In this context, the main objective of this research is to study the changes in physical, chemical and microbiological parameters of WQ on a stretch of the river Matapi-AP, used in the cultivation of the species *Colossoma macropomum* (tambaqui) regional in cages. The research methodology comprised two key approaches: a) WQ monitoring in 3 sampling sites (ptj, ptt and ptm) in ≈ 15 km of the River to assess spatial and temporal variations of these parameters (pH, OD, DBO, NO₃, P, etc); b) discharge liquid measures (flow) using acoustic techniques (Acoustic Profiler Doppler-ADP), such as gradients of hydrodynamic influence on the WQ (seasonal-hydrological and tides semidiurnas). A series of statistical analyses indicated seasonal-hydrodynamic influence ($p < 0.05$) on the parameters of the WQ and reduced influence in relation to spatial impacts of cultivation in cages. Multivariate analyses of co-variância (ANCOVA) indicated significant influences among the seasonal-hydrological periods, the stage of the tide and site monitoring, including interactions between them ($p < 0.05$). We conclude that fish in cages is an environmentally viable technique, whose success will depend on the hydrodynamic and variation of WQ in the environment. Potential environmental impacts arising from the release of waste in the environment, are also relevant to consider, given that the handling of aquaculture production depends on external environmental factors, however interrelated, requiring primarily the monitoring to assess potential contamination/ degradation influences on these ecosystems dynamic concurrency, however very sensitive to anthropogenic impacts.

Keywords: monitoring, hydrologic gradients, environmental externalities, multivariate, lowland interactions, environmental impact.

INTRODUÇÃO

A população mundial tem crescido de maneira acelerada, gerando proporcionalmente a necessidade de produção de alimentos de qualidade e quantidade capaz de suprir a esta demanda. Neste contexto, a aquicultura é considerada pela Organização das Nações Unidas (ONU) como uma das atividades estratégicas de segurança alimentar, pois é capaz de fornecer alimento protéico de alta qualidade, além de gerar empregos diretos e indiretos (TACON & HALWART, 2007; FEIDEN *et. al.*, 2015).

No Brasil, a atividade de piscicultura vem se destacando com uma produção de 1,4 milhões de toneladas em 2014 (IGBE, 2015). Essa produção é oriunda de pisciculturas tradicionais, aquelas praticadas em viveiros, e também em pisciculturas de tanques-rede instaladas em rios e lagos em diversas regiões do país (BUENO *et. al.*, 2013).

O cultivo em tanque-rede é um sistema no qual os peixes são mantidos em estruturas flutuantes, compostas por uma armação rígida revestida por redes. Esse sistema de produção intensiva é uma alternativa com menor investimento que dimensiona o menor custo e maior rapidez de implantação, por isso tem sido a melhor alternativa de produção em comparação a piscicultura tradicional (VERA-CALDERÓN & FERREIRA, 2004; TACON & HALWART, 2007). Contudo, para produção nessa modalidade de piscicultura intensiva são necessárias condições ambientais adequadas, especialmente da qualidade da água (VERA-CALDERÓN & FERREIRA, 2004; FREITAS *et. al.*, 2011; FEIDEN *et. al.*, 2015).

O sistema de cultivo de *Colossoma macropomum* (tambaqui) em tanques-rede é uma modalidade de produção intensiva que vem sendo praticada no país. Deste modo, utiliza corpos d'água naturais para obter elevada produtividade usando altas taxas de densidade de estocagem desse peixe (CHAGAS *et. al.*, 2003), os quais são confinados e mantidos em volume limitado, possibilitando a livre e constante circulação de água. Na Amazônia, o uso de peixes nativos como o tambaqui, são de grande interesse ambiental e econômico para implementação sustentável deste tipo de atividade aquícola, especialmente em tanque-rede, uma vez que está associada às necessidades de elevar a produção e produtividade de peixes levando-se em consideração as precauções e exigências ambientais, freqüentemente desconhecidos em regiões pouco estudadas (CUNHA *et. al.*, 2011).

Em atividades de cultivo intensivo como tanque-rede, a alimentação dos animais pode causar severo impacto ambiental, em proporção direta a intensificação desse sistema de produção (ECHANIZ and VIGNATTI, 2009; FREITAS *et. al.* 2011; BUENO *et. al.*, 2013). Tal efeito decorre normalmente do aumento da carga de nutrientes ou poluentes oriundos da piscicultura, podendo gerar o enriquecimento (eutrofização), que pode ser benéfico até o ponto

em que não interfira na saúde da população de peixes e qualidade do ambiente natural. Quando os poluentes estão presentes em quantidades excessivas tornam-se potencialmente prejudiciais, tanto para a biota aquática (FREITAS *et. al.*, 2011) quanto para o homem e o meio ambiente (ABREU, 2014). Portanto, a gestão e monitoramento da qualidade hídrica são fundamentais para os usos múltiplos dos ambientes naturais, especialmente para a geração de indicadores ambientais como no caso do cultivo de peixes em tanques-rede (TACON and HALWART, 2007; ECHANIZ and VIGNATTI, 2009; BUENO *et. al.*, 2013; FEIDEN *et. al.*, 2015).

Caso ocorram problemas na qualidade de água próximo ou no entorno da área de cultivo, alguns tipos de poluentes podem inviabilizar a produção ou reduzir a produtividade da piscicultura em tanque-rede (TACON and HALWART, 2007; BUENO *et. al.*, 2013). Portanto, deve-se considerar que no cultivo em tanque-rede como prática sustentável, os limites da capacidade de suporte de sua produção e impactos ambientais devem ser considerados e monitorados com frequência (LIU *et. al.*, 2008; DIEMER *et. al.*, 2010; BUENO *et. al.*, 2013).

O baixo estuário amazônico, e sua zona costeira no Estado do Amapá (Brasil), são ambientes hidrossedimentares com características biogeoquímicas peculiares (WARD *et. al.*, 2013), com complexa influência hidrológica sazonal do Rio Amazonas e Oceano Atlântico (KIERVE *et. al.*, 2006). Por estes motivos apresenta características hidrodinâmicas e de qualidade da água interdependentes (CUNHA *et. al.*, 2011). Por exemplo, apresenta forte influência de marés semidiurnas, com recirculação do escoamento, tornando bastante complexas as condições de monitoramento de descargas líquidas e substâncias presentes na água (MIRANDA *et. al.*, 2002; CUNHA *et. al.*, 2012). Os poucos estudos existentes nesta região indicam que estas características afetam diretamente os processos de transporte de agentes passivos do escoamento, mormente os físicos, como dispersão, diluição e mistura (CUNHA *et. al.*, 2004, PINHEIROS *et. al.*, 2008; CUNHA *et. al.*, 2011; CUNHA *et. al.*, 2012). Todos esses fatores sugerem a necessidade de análise integrada entre os parâmetros físicos (inclusive os hidrodinâmicos), químicos e microbiológicos, visto que cultivo de peixes em tanques-rede é uma atividade cujo sucesso depende efetivamente das condições do ambiente (TACON and HALWART, 2007; FREITAS *et. al.*, 2011).

Portanto, é necessário considerar também as marés, as quais influencia a qualidade da água que, por seu turno, afetam os sistemas produtivos primários e os ambientes dos sistemas tanques redes. Isto explica o porquê do estudar de sistemas de cultivo integrados aos ambientes próximos de zonas agropecuárias, urbanas, e até industriais. Isto é, o ambiente do entorno potencialmente pode ser uma ameaça ambiental ao cultivo em sistema tanque-rede,

principalmente quando há fontes de poluentes relativamente próximas do sítio de produção. Por exemplo, há uma década tem sido realizado monitoramento de alguns rios próximos de Macapá e Santana, onde já foram observadas algumas concentrações elevadas de coliformes totais (CT) e fecais devido a poluição urbana (CUNHA *et. al.*, 2004, PINHEIRO *et. al.*, 2008; CUNHA *et. al.*, 2012).

Partindo-se então desses pressupostos, a presente investigação objetiva responder às seguintes questões: (1) ocorrem variações espaços-temporais dos parâmetros de qualidade da água e hidrodinâmicas (diário-sazonais) que podem influenciar a dispersão/diluição de constituintes da água e os sistemas de tanques-rede no Rio Matapi? (2) a amostragem em apenas três seções especializadas em um trecho de ≈ 15 km são suficientes para o monitorar a qualidade da água e avaliar suas variações espaços-temporais, independentemente da hidrodinâmica promovida pelos ciclos de marés semidiurnas ou período hidrológico sazonal?

Assim, os objetivos da presente investigação, são: 1) estudar o comportamento e variação espaço-temporal de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos da qualidade da água ao longo de um período de 10 meses; 2) analisar os efeitos da variação espaço-temporal de parâmetros hidrodinâmicos (vazão e velocidade das correntes, e o nível da maré), sobre os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos da qualidade da água, e 3) Determinar quando e onde estes parâmetros de qualidade da água poderiam ser vantajosos ou desvantajosos monitorar os efeitos da atividade de piscicultura em tanque-rede no trecho focal de estudo no Rio Matapi.

MATERIAL E MÉTODOS

Local e período de estudo

O Rio Matapi nasce no município de Porto Grande, Estado do Amapá (Brasil) e flui em direção ao sul, desaguardo no canal do Norte do delta do Rio Amazonas, próximo da Ilha de Santana (Figura 1). A área de investigação escolhida foi um trecho de ≈ 15 km divididos em 3 pontos principais de coleta (piscicultura de tanque-rede - ptt, um ponto a 6 km a montante - ptm, e um ponto a 9 km a jusante - ptj). O ponto ptt encontra-se a ≈ 20 km da foz do rio Matapi, desaguardo no estuário do baixo Rio Amazonas. O ponto central (ptt) é o local onde foram executadas todas as principais fases de monitoramento hidrodinâmico e da qualidade da água porque é onde está instalado o sistema de piscicultura tanques-rede. Nos pontos ptm e ptj foram avaliadas apenas a qualidade da água.

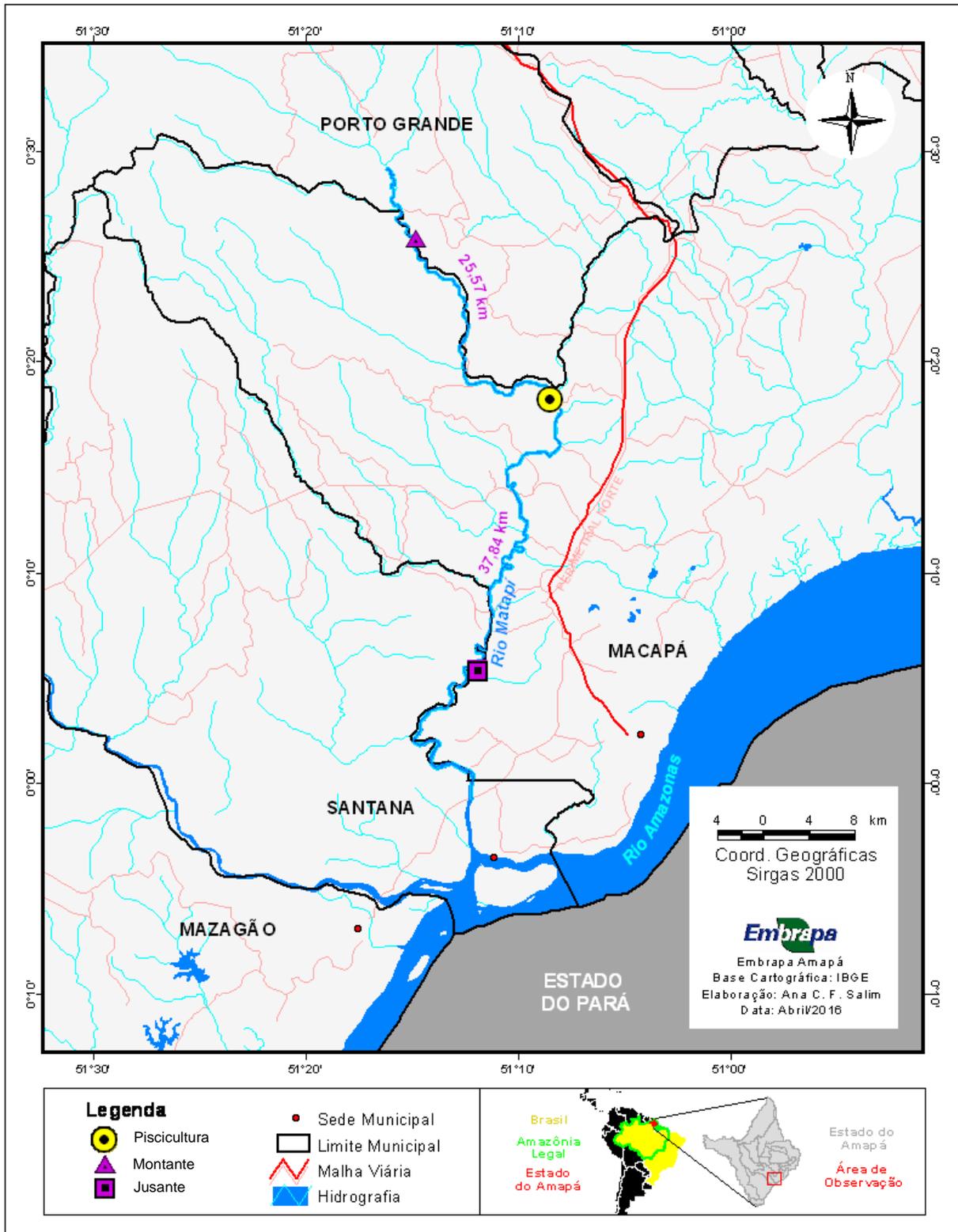


Figura 1 - Área de estudo no baixo Rio Matapi, próximo a sua foz, Estado do Amapá (Brasil).

As águas do Rio Matapi são do tipo branca (barrenta) no trecho próximo da foz, mas com característica mais escuras próximo de suas nascentes, a aproximadamente 90 km rio acima. No geral, a bacia de drenagem do rio abrange os municípios do estado: Porto Grande,

Macapá e Santana. A região caracteriza-se como de ambientes costeiros de transição, influenciadas por meso-marés e por diferentes regimes energéticos, como as descargas de água da própria bacia e da drenagem do Baixo Rio Amazonas (CUNHA *et. al.*, 2011).

Para a escolha das distâncias entre as três seções amostrais (ptm, ptt e ptj) considerou-se tanto os efeitos semidiurnos das marés quanto o comportamento hidrológico sazonal de montante da bacia. De março a agosto, considera-se período chuvoso ($\approx 75\%$ da precipitação anual). De setembro a novembro, considera-se como período de estiagem ($\approx 25\%$ da precipitação anual) (SOUZA e CUNHA, 2010). Assim, as distâncias entre seções foram baseadas nesta climatologia e nos estudos hidrodinâmicos dos rios Amazonas e Matapi (CUNHA *et. al.*, 2011; CUNHA *et. al.*, 2012 e CUNHA *et. al.*, 2013). As campanhas para coleta de amostras de água foram realizadas em março (piloto), abril, junho, setembro, outubro e dezembro de 2015. Porém, somente os dados das cinco últimas campanhas foram utilizados nas análises dos testes multicomparativos e multivariados.

De acordo com a Figura 1, o sítio ptt é, espacialmente considerado o ponto central de monitoramento hidrodinâmico e da qualidade da água. O segundo sítio (ptj) encontra-se a jusante do Rio Matapi, a ≈ 9 km de ptt e mais próximo da foz (Figura 1). O terceiro sítio amostral (ptm) encontra-se a uma distância ≈ 6 km dos tanques-rede, totalizando ≈ 15 km de trecho de estudo.

Cinco tanques-rede estavam em operação com ≈ 130 indivíduos de tambaqui em cada tanque durante o início e desenvolvimento do presente estudo pesquisa. Também haviam outros dez tanques-redes em operação, só que com outras espécies de peixes, como pirapitinga e tambatinga (híbrido). Os tanques-rede operam próximos às margens do rio para a realização das operações de cultivo, mas também para evitar o intenso tráfego de embarcações. Deste modo, a água utilizada nos tanques provém diretamente das correntes do seu curso principal (Apêndice 1).

Procedimentos amostral e métodos de análises da qualidade da água

Os procedimentos de coleta, conservação, transporte e análise da água do Rio Matapi seguiram as recomendações da APHA (2005) (Apêndice 2). Os dados de qualidade de água foram coletados entre as 6 e 18 h e 40 min, com intervalos de 3 h entre si, levando-se em consideração o ciclo da maré semidiurna local (12 h e 40 min) (CUNHA *et. al.*, 2012). Na Tabela 1 estão indicados os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos analisados pelos respectivos métodos/equipamento para cada finalidade.

Como alguns dos parâmetros possuem valores máximos e/ou mínimos (VMP) estipulados pelo CONAMA, Resolução no 357/2005, esses serão usados como limite-padrão da qualidade da água em termos legais (Tabela 1).

Tabela 1 - Parâmetros, unidades de medida, métodos de análise e valores máximos e mínimos permitidos (VMP) pela Resolução CONAMA, 357/2005.

	Parâmetro	Unidade	Método/ Equipamento	CONAMA, 2005	Validade
Físico	Cor	mgPt L ⁻¹	Padrão de Platina-Cobalto	máx 75	
	Turbidez ²	NTU	Turbidímetro HACH	máx. 100	24 Horas
	TSS ¹	mg L ⁻¹	Fotométrico	-	7 Dias
	TDS ²	mg L ⁻¹	Fotométrico	máx. 500	2 Dias
	Temperatura	°C	Sondamultiparâmetros YSI 556 MPS	-	
	CondutividadeElétrica ²	µScm ⁻¹	Sondamultiparâmetros YSI 556 MPS	-	24 Horas
Químico	OxigênioDissolvido	mg L ⁻¹	Sondamultiparâmetros YSI 556 MPS	≥ 5	24 Horas
	DBO5,20° ³	mg L ⁻¹	DBO5, 20°	20° - ≤ 5	24 Horas
	Nitrito ¹	mg L ⁻¹ N	Redução de Cádmio	máx. 10	24 Horas
	Nitrato ¹	mg L ⁻¹ N	Redução de Cádmio	máx. 10	24 Horas
	Amonia ¹	mg L-1 N	Nessler	máx. 3,7	28 Dias
	Ph	pH	Sonda multiparâmetros YSI 556 MPS	6 - 9	
	(P) Total ¹	mg L ⁻¹	Phosver3	máx. 0,100	28 Dias
	Magnésio	mg L ⁻¹	CalmagitaColorimétrica	-	
	Cálcio	mg L ⁻¹	CalmagitaColorimétrica	-	
	Sulfato	mg L ⁻¹	MetodoSulfaver	< 250	
	Cloreto ¹	mg L ⁻¹	TiocianatoMercúrico	< 250	28 Dias
	Alumínio	mg L ⁻¹	Aluver	máx. 0,200	6 meses
	Ferro ¹	mg L ⁻¹	FerroVer	máx. 0,300	6 meses
Microbiológ.	CT*	CT/ ml	SubstratoCromogênico	máx. 1000/100	
	E-Coli*	E.Coli/100 ml	SubstratoCromogênico	Ausente em 100mL	

¹(DR/2800, 2005), ² (BRAILE eCAVALCANTI, 1993), ³OLIVEIRA e CUNHA (2014); ABREU (2014).

Procedimentos de Coleta e Análises de Dados Hidrodinâmicos: Medidas de Descarga Líquida

Para a análise da descarga líquida foi utilizado o equipamento Perfilador Acústico de Doppler (*Acoustic Doppler Profiler/ADP*), marca SonTek, modelo RiverSurveyor M9. Consiste em um sistema com nove feixes, com dois conjuntos de quatro transdutores de perfilagem de frequências diferentes (1 MHz e 3 MHz) para medição da velocidade e um feixe vertical de frequência 0,5 MHz, para medição da profundidade (Sontek/YSI, 2009).

A coleta ocorreu deslocando-se em velocidade próxima à velocidade da água, transversalmente ao rio. O equipamento divide o trajeto em três etapas: descarga líquida da margem inicial, descarga líquida do meio e descarga líquida da margem final. Cada pulso sonoro gera uma coluna que é subdividida em células de tamanho definido automaticamente pelo equipamento. A distância e gradiente das margens é estimada pelo operador, bem como a distância da base do equipamento para a superfície da água. A partir dos dados da área e de velocidade é obtida a descarga líquida total, sendo que as descargas líquidas das margens, fundo e superfície são estimadas pelo equipamento (Sontek/YSI, 2009). A profundidade dos transdutores foi definida como 0,3 m e a declinação magnética, para correções internas da bússola, como $-19,2^\circ$.

Para verificar a alteração do nível da coluna d'água durante o ciclo de maré semidiurna foi utilizado um medidor de pressão marca Onset, modelo HOB0 U20, que registra a pressão absoluta em intervalos de tempo pré-determinados. O comando para medição é acionado através do software HOBOWare, possuindo um número fixo de medições. Assim, o intervalo de coleta define o tempo total de coleta.

Como a hidrodinâmica da área é bastante influenciada pela variação sazonal e diária, as coletas ocorreram no período chuvoso (abril e junho) e estiagem (setembro, outubro e dezembro), sempre durante um ciclo completo de maré semidiurna ($\approx 12,4$ h).

Análises Estatísticas

Todos os dados coletados geraram um *data frame* ("matriz") de 60×26 variáveis (independentes, dependentes e fatores ou gradientes explicativos). O *data frame* (variáveis contínuas e categóricas) foi processado por diversos métodos multivariados e multitestes comparativos (variações espaciais e temporais) (R CORE TEAM, 2016) com o objetivo de testar as hipóteses da presente investigação.

Previamente aos testes estatísticos (ANCOVA, Correlações de Spearman, Multicomparações de Friedman, Regressões Múltiplas Generalizadas/GLM) foram

observadas algumas premissas indicadas pelos testes de avaliação da normalidade das distribuições (Wilcoxon), homogeneidade das variâncias variância (χ^2) e interdependências amostrais (Bartlett) (R CORE TEAM, 2016). Como a distribuição dos dados não apresentou distribuição normal, foram utilizadas análises não paramétricas. Portanto, sem transformação dos dados ($\log(x)$, teste z).

Testes univariados que incluem todos os métodos estatísticos descritivos e que permitem a análise de cada variável separadamente foram utilizados, os quais incluem os métodos estatísticos inferenciais específicas para determinada variável, com o objetivo de testar hipóteses e decidir/concluir sobre o seu nível de confiança, podendo esta ser medida para uma ou mais amostras independentes (Thomas and Nelson, 1996, Dagnelie, n.d, Dorsch *et. al.*, 2001; Reis, 1997). Isto é, diferentemente dos testes multivariados, que permitem que se explore a performance conjunta das variáveis e se determine a influência ou importância de cada uma, estando as restantes presentes (Reis, 1997).

Aplicamos a Análise dos Componentes Principais (PCA) afim de analisar os dados usados visando sua redução, eliminação de sobreposições mais representativas de dados, e a partir de combinações lineares das variáveis originais (VASCONCELOS, 2016).

A análise de covariância (ANCOVA) foi realçada afim de reduzir o erro experimental na comparação dos tratamentos (FIELD, 2012). A análise de variância multivariada (MANOVA) foi utilizada para explorar o efeito das variáveis independentes sobre as variáveis dependentes (CAPOD, 2016). A análise multivariada de covariância (MANCOVA) é uma extensão da análise dos métodos de covariância (ANCOVA) utilizada para suprir casos em que existe mais que uma variável dependente quando é necessário o controle das variáveis independentes contínuas (CAPOD, 2016).

Em relação à ANCOVA, duas ou mais variáveis-respostas são medidas no mesmo experimento. Naturalmente, é possível analisar separadamente cada variável- resposta, e que este é o procedimento típico neste tipo de análise. Porém, existem ocasiões em que se deseja tratar grupos de variáveis-respostas como uma resposta multivariada (MANCOVA) (CRAWLEY, 2007).

RESULTADOS

Entre os diferentes locais investigados e parâmetros da qualidade da água houve correlação positiva com a variação da vazão. Por exemplo, entre o ponto da piscicultura de tanques-rede (ptt) e o ponto a montante (ptm) ($r_s = 0,85$; $p < 0,001$) e correlação do ponto da piscicultura de tanques-rede (ptt) com o ponto a jusante (ptj) ($r_s = 0,84$; $p < 0,001$). Mas, a correlação do ponto a montante e ponto de jusante (ptj x ptm) ($r_s = 0,65$; $p < 0,001$) foi menor que as demais, como esperado, pois os ambos pontos estão mais distantes entre si em ≈ 15 km. Estes resultados mostram uma relativa equivalência espacial entre os pontos estudados.

O teste de Friedman (multicomparativo), mostrou que os parâmetros de qualidade da água e hidrodinâmicos dos três pontos de coleta (piscicultura de tanque rede, montante e jusante) sugerem variações espaciais sensíveis, porém significativas ($p < 0,001$), indicando que biogeoquimicamente podem ser considerados distintos ou apresentam influência dos tanques-rede. Tais diferenças ($p < 0,05$) também ocorreram nas mudanças dos padrões espaciais e sazonais da qualidade da água (em geral) e no padrão hidrodinâmico, quando analisados isoladamente.

Em relação às variações espaciais as Figuras 2 à 13 mostram as amplitudes de variação interquartílicas e medianas de cada parâmetro nas três seções monitoradas e em cada mês de coleta. Os intervalos de confiança indicam a presença de alguns "outliers" que, ocasionalmente, infringem a norma preconizada pela Resolução CONAMA (357/2005).

Para o íon Al (Figura 2), apenas o mês de junho encontra-se dentro dos padrões da Resolução CONAMA (357/2005) (Tabela 1), com grandes variações com picos de mais de $\approx 0,300$ mg/L no ponto "ptj" (ponto muito influenciado pelo intenso fluxo de embarcações, pela ação antrópica, ponto mais próximo do porto de Santana, Distrito Industrial e rio Amazonas) no mês de abril, mês este de maior nível de precipitação. O teste de Friedman (multicomparativo, $p < 0,05$) indicou significativa variação para o íon Al ($p = 0,0458$).

Ainda na figura 2, verificamos pequenas variações com relação ao parâmetro CE no decorrer dos meses de coleta, tendo média mínima de ≈ 10 μScm^{-1} no ponto "ptj" no mês de outubro, e média máxima mínima de ≈ 70 μScm^{-1} no ponto "ptm" no mês de dezembro, sendo outubro considerado um mês seco por ocorrência de longos períodos de estiagem, por conta de alta temperatura (ver figura 14) e baixa umidade relativa. O teste de Friedman (multicomparativo, $p < 0,05$) foi significativo para CE ($p = 0,01718$).

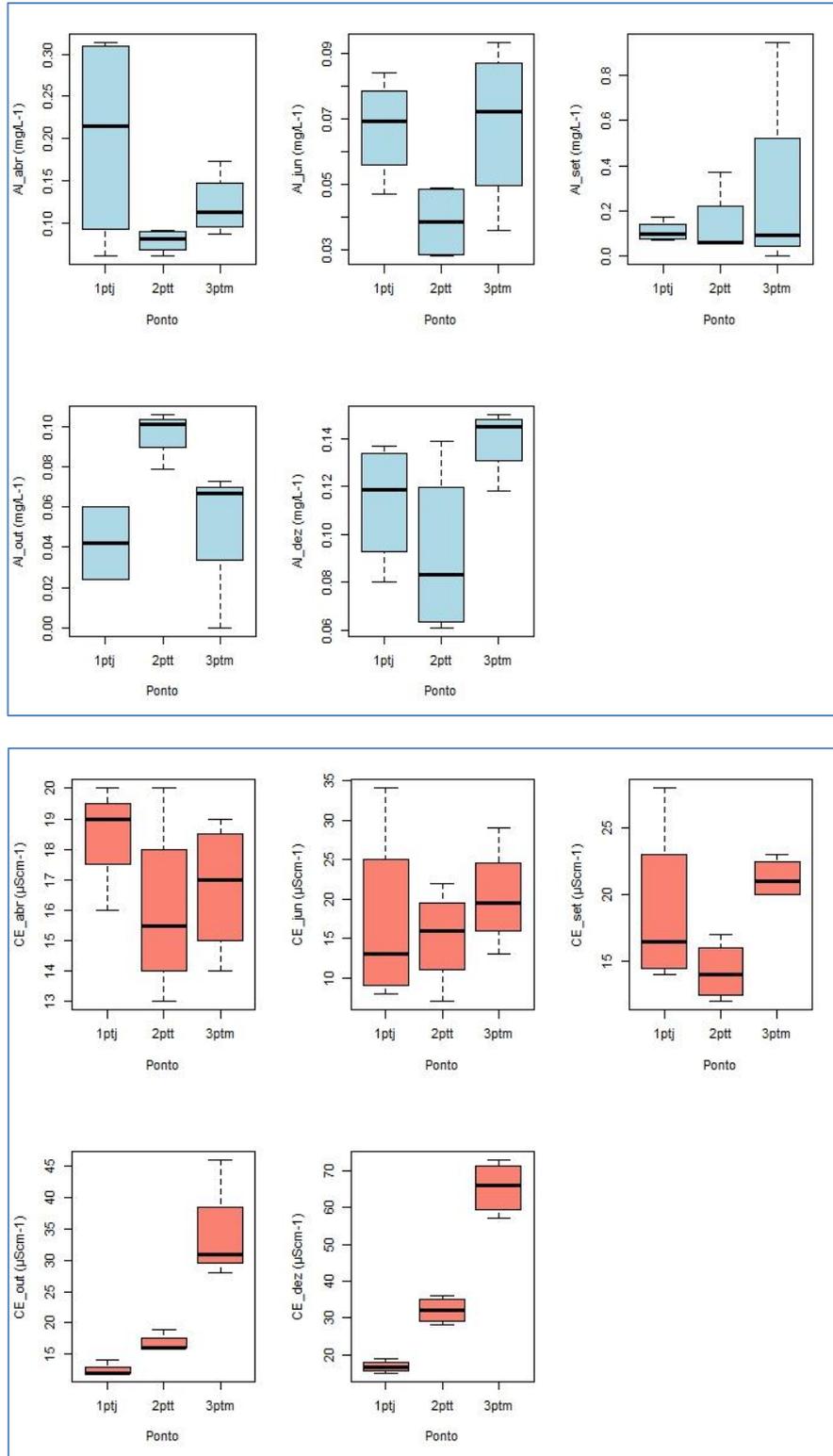


Figura 2 - Boxplot das variações espaciais e medianas dos pontos a jusante (ptj), a montante (ptm) e piscicultura de tanque-rede (ptt) para alumínio (Al) e condutividade elétrica (CE), para aos meses de abril, junho, setembro, outubro e dezembro, respectivamente, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). $p < 0,05$, para Al e CE

Na figura 3 observamos baixos níveis de variações de Cl^- com relação ao permitido segundo a Resolução CONAMA (357/2005) (Tabela 1), com média máxima de $\approx 8 \text{ mg/L}^{-1}$ no ponto “ptm” (ponto de menor fluxo de embarcações e ações antrópicas) no mês de dezembro (considerado mês parcialmente chuvoso). A variável Cor, também apresentou níveis mais baixos com relação à Resolução CONAMA (357/2005) (Tabela 1), o único ponto de acordo com a resolução foi o “ptm” no mês de julho (considerado mês chuvoso). O teste de Friedman (multicomparativo, $p < 0,05$) não foi significativo para Cl^- ($p > 0,05$) e foi altamente significativo para Cor ($p = 0.0099$).

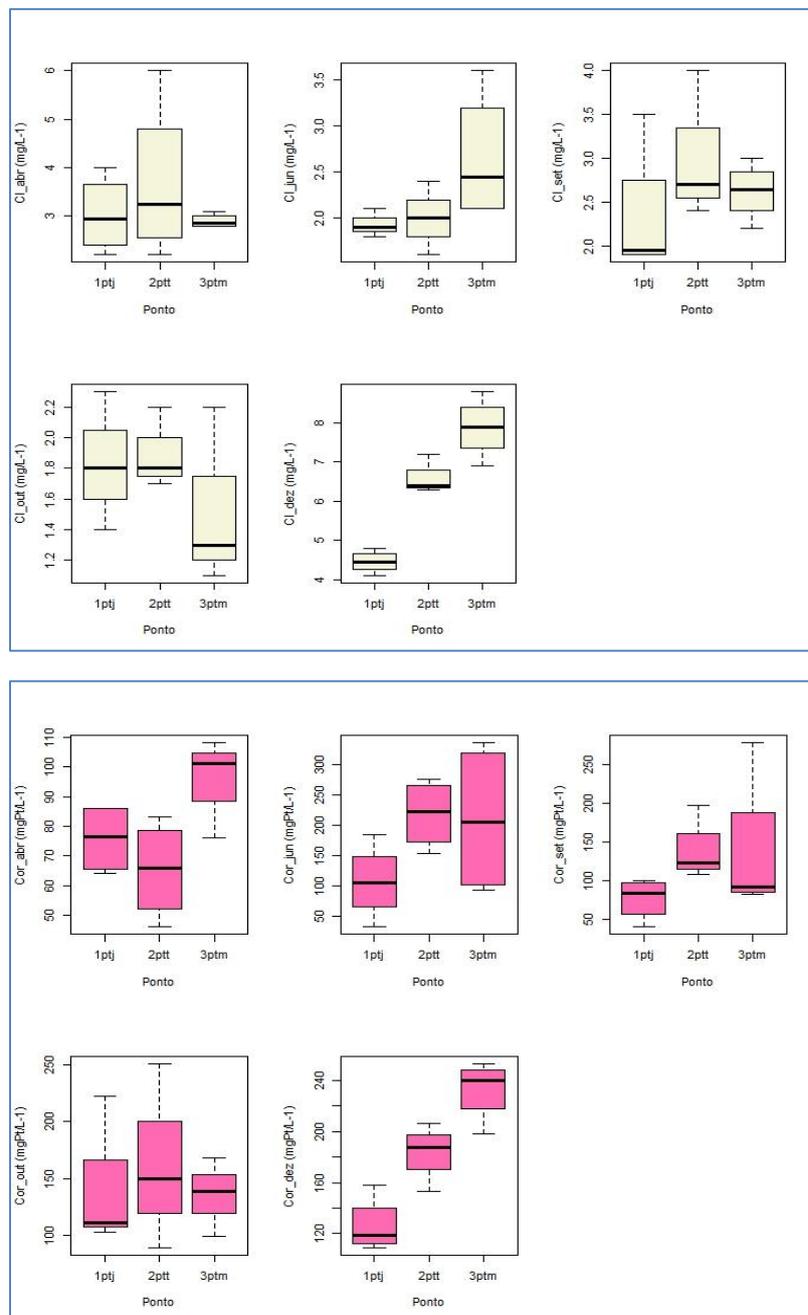


Figura 3 - Boxplot das variações espaciais e medianas dos pontos a jusante (ptj), a montante (ptm) e piscicultura de tanque-rede (ppt) para cloreto (Cl^-) e cor, para aos meses de abril, junho, setembro, outubro e dezembro, respectivamente, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil).

A Resolução CONAMA (357/2005) (Tabela 1) não apresenta especificamente valores máximos ou mínimos para DCa e DMg. Na figura 4, observamos médias de até $\approx 2,0$ mg/L⁻¹ no ponto “ptm” no mês de dezembro para DCa e médias de até $\approx 1,8$ mg/L⁻¹ no ponto “ptj” no mês de dezembro para DMg. O teste de Friedman (multicomparativo, $p < 0,05$) foi altamente significativo para DCa ($p = 0.0004$) e não significativo para DMg ($p = 0.1564$).

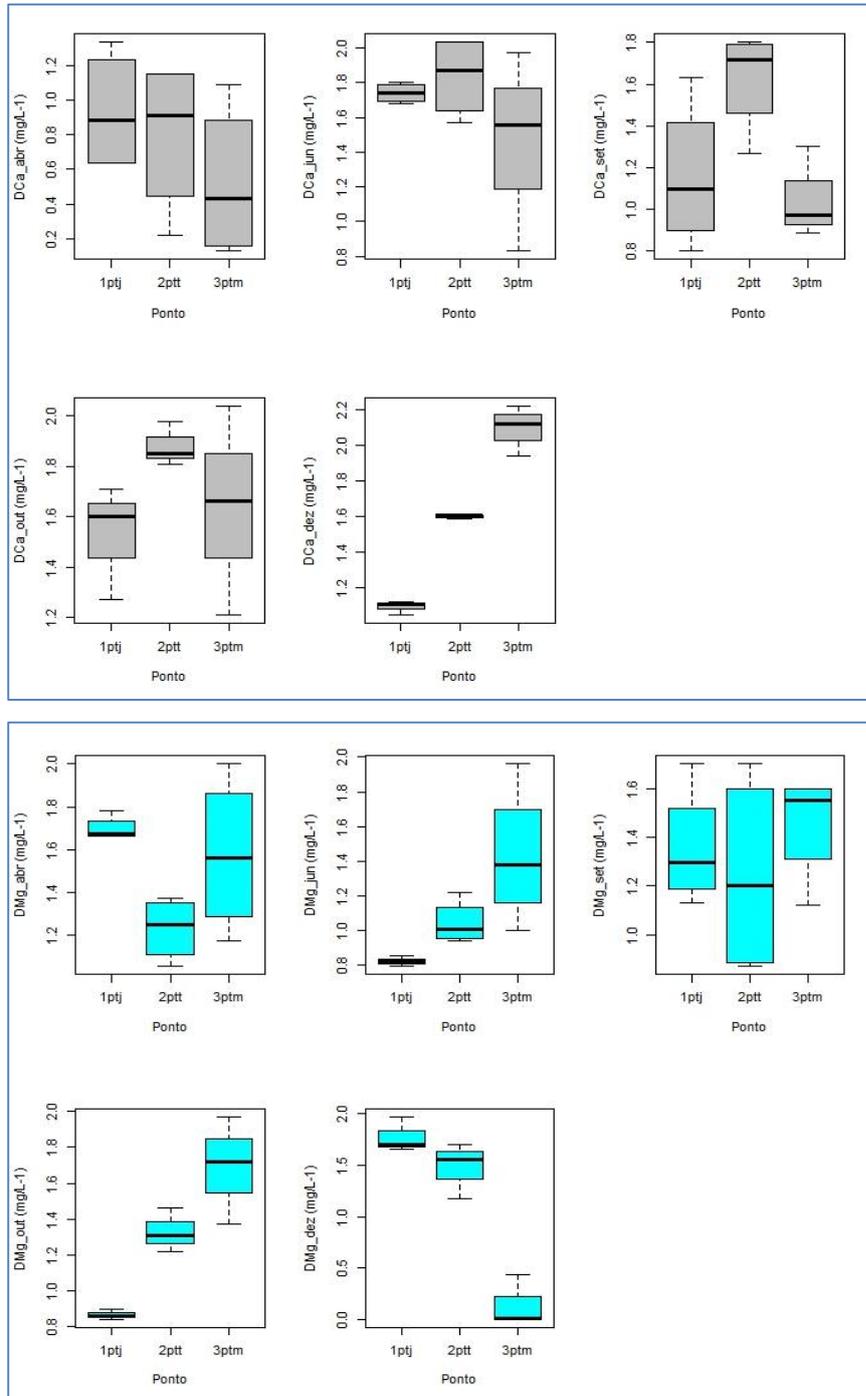


Figura 4 - Boxplot das variações espaciais e medianas dos pontos a jusante (ptj), a montante (ptm) e piscicultura de tanque-rede (ptt) para magnésio (DMg) e cálcio (DCa), para aos meses de abril, junho, setembro, outubro e dezembro, respectivamente, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil).

Na figura 5 observamos que os níveis de OD encontram-se em sua maioria dentro do permitido pela Resolução CONAMA (357/2005) (Tabela 1), com exceção dos meses de junho e outubro em todos os pontos de coleta, porém não apresentaram valores longínquos ao permitido. O teste de Friedman (multicomparativo, $p < 0,05$) não foi significativo para OD ($p > 0,05$)

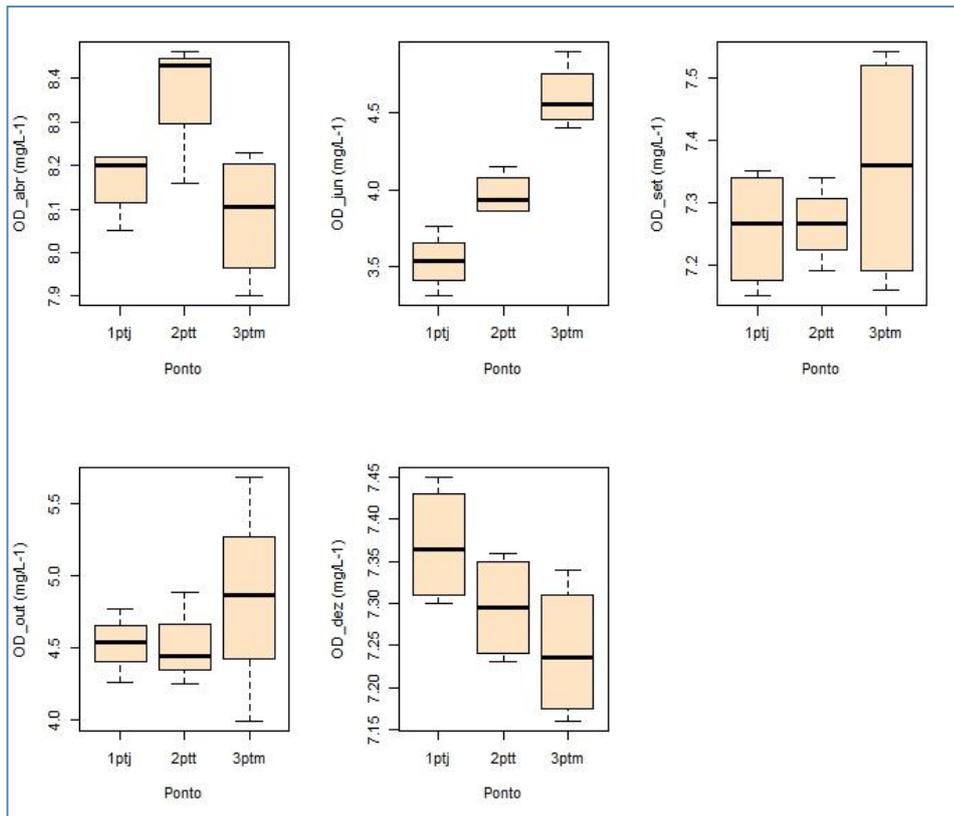


Figura 5 - Boxplot das variações espaciais e medianas dos pontos a jusante (ptj), a montante (ptm) e piscicultura de tanque-rede (ptt) para oxigênio dissolvido (OD) para aos meses de abril, junho, setembro, outubro e dezembro, respectivamente, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil).

Para DBO (Figura 6), não houve coleta no primeiro mês, porém em todos os outros meses e pontos, este parâmetro está de acordo com a Resolução CONAMA (357/2005) (Tabela 1), ou seja, a quantidade de OD presente no Rio Matapi é a necessária para a estabilização da matéria orgânica degradada pela ação de bactérias. O teste de Friedman (multicomparativo, $p < 0,05$) foi altamente significativo para DBO ($p = 0.0006$)

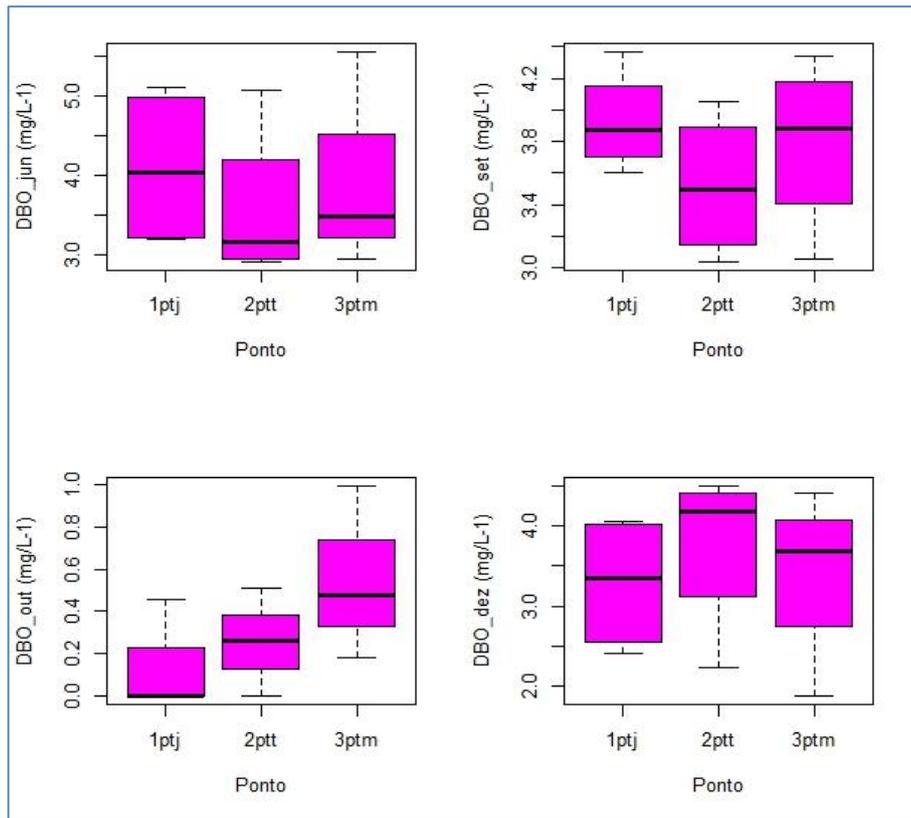


Figura 6 - Boxplot das variações espaciais e medianas dos pontos a jusante (ptj), a montante (ptm) e piscicultura de tanque-rede (ppt) para demanda bioquímica de oxigênio (DBO) para aos meses de abril, junho, setembro, outubro e dezembro, respectivamente, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil).

Com relação à figura 7, podemos observar o comportamento da maré, enchente e vazante, no decorrer dos meses, uma vez que os meses de dezembro à julho, são considerados os meses mais chuvosos do ano, para o nosso estado (Macapá-AP), sendo os meses de março, abril e junho de maior precipitação pluviométrico. O teste de Friedman (multicomparativo, $p < 0,05$) não foi significativo para Vazão ($p = 0.2977$).

Para o mês de abril não houve medições de marégrafo (figura 7). O marégrafo registra o quanto a coluna d'água do rio aumentou ou diminuiu, ou seja, a profundidade da faixa líquida, do solo à superfície, desde a preamar, à elevação máxima até a baixa-mar a elevação mínima, o que variou entre $\approx 0,0100$ m e $\approx 0,0350$ m. O teste de Friedman (multicomparativo, $p < 0,05$) não foi significativo para Marégrafo ($p > 0,05$).

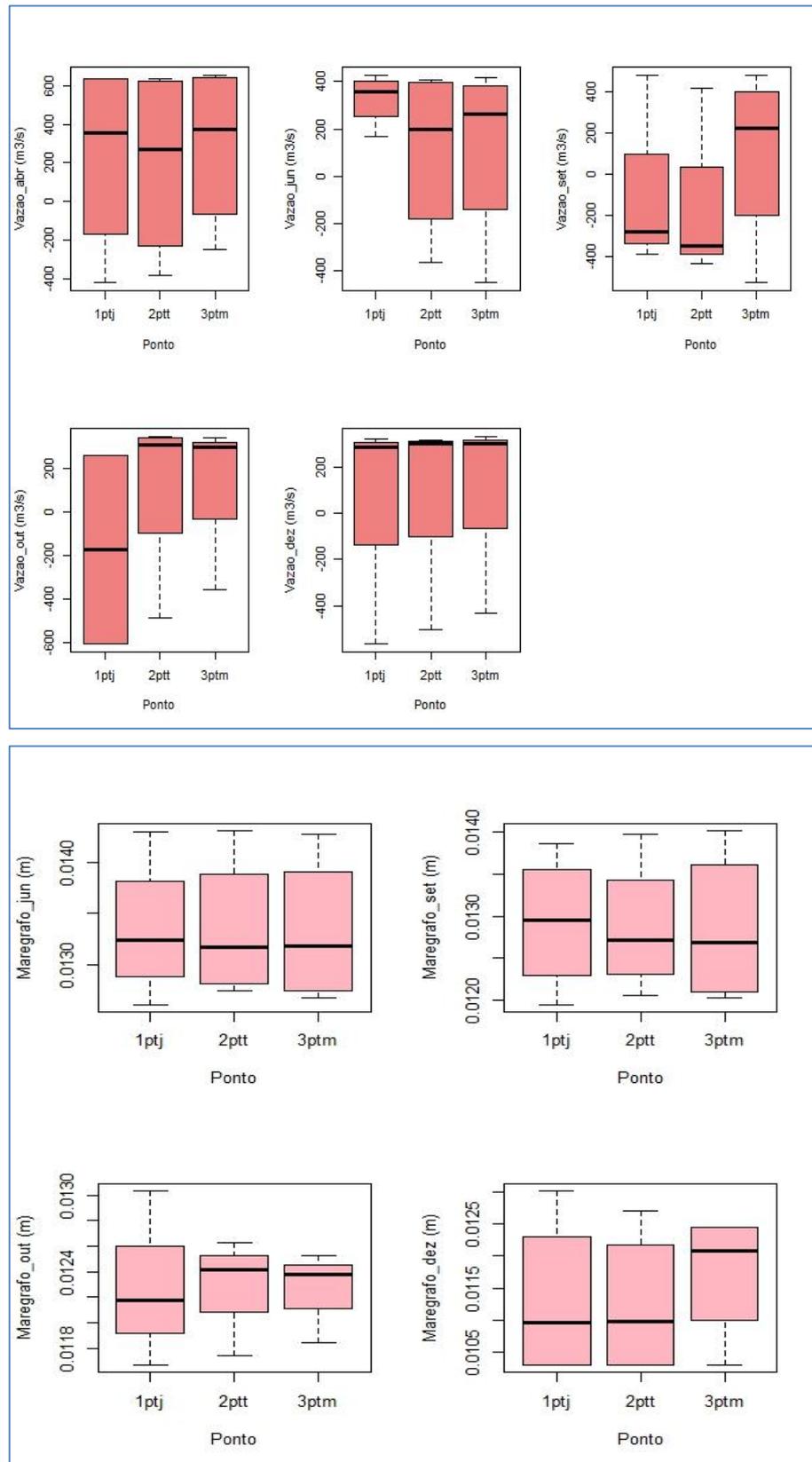


Figura 7 - Boxplot das variações espaciais e medianas dos pontos a jusante (ptj), a montante (ptm) e piscicultura de tanque-rede (ptt) para vazão e marégrafo, para aos meses de abril, junho, setembro, outubro e dezembro, respectivamente, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil).

Os níveis de Fe mantiveram-se dentro da Resolução CONAMA (357/2005) (Tabela 1), exceto os dados do ponto “ptm” no mês de outubro, que chegaram à médias de $\approx 4,5$ mg/L⁻¹. Para NH₃ apresentou valores dentro do previsto pela Resolução CONAMA (357/2005) (Figura 8). O teste de Friedman (multicomparativo, $p < 0,05$) não foi significativo para Fe e NH₃ ($p > 0,05$).

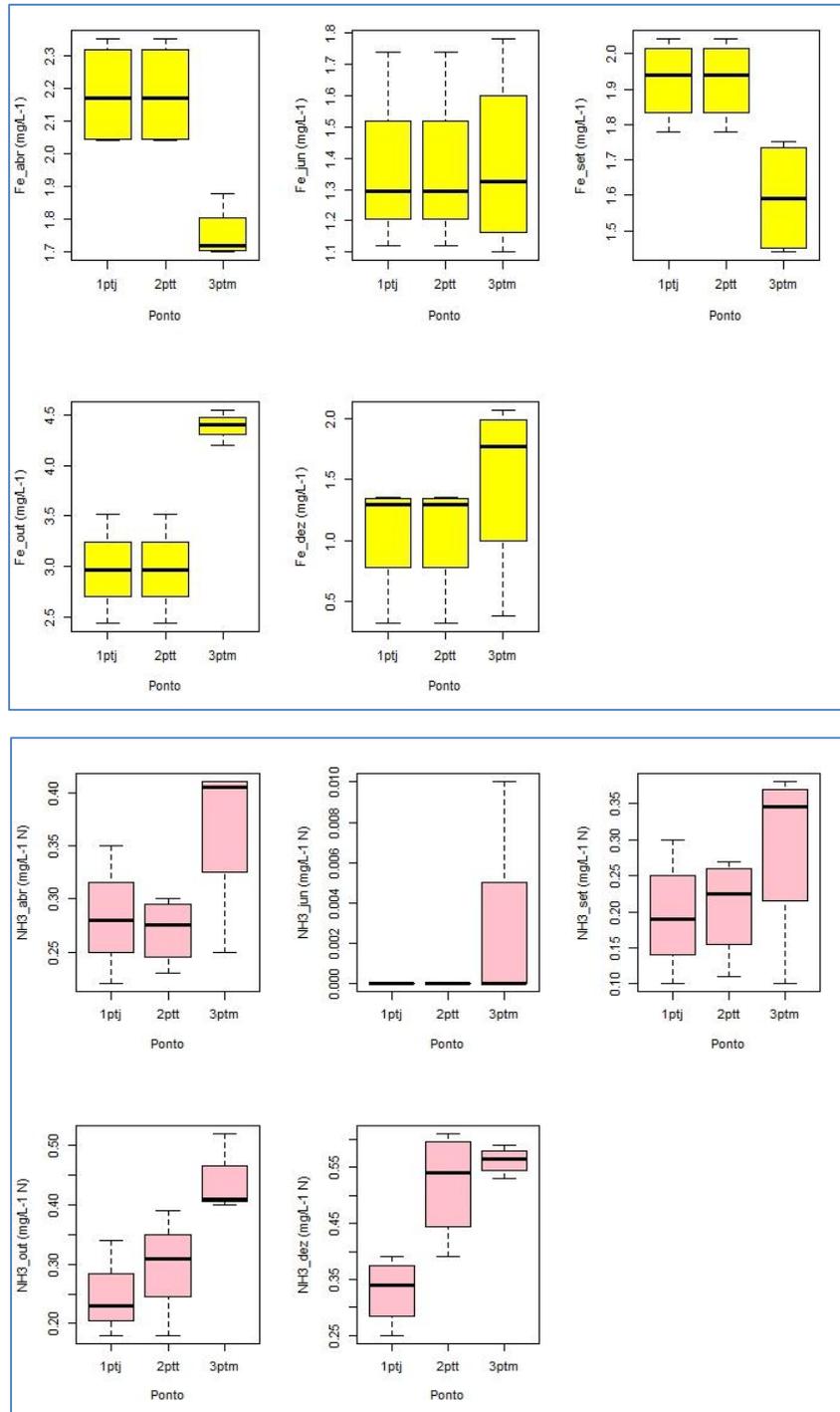


Figura 8 - Boxplot das variações espaciais e medianas dos pontos a jusante (ptj), a montante (ptm) e piscicultura de tanque-rede (ptt) para ferro (Fe) e amônia (NH₃), para aos meses de abril, junho, setembro, outubro e dezembro, respectivamente, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil).

Na figura 9, observamos que a presença de NO_2 na água foi praticamente zero, pois, a oxidação dos íons amônio produz nitritos como resíduos nitrogenados, que por sua vez são liberados para o ambiente ou oxidados a nitrato, essa oxidação acontece quase que de forma instantânea. Observamos também alta quantidade de NO_3 (Figura 10) presente na água, com médias de até $\approx 23 \text{ mg/L}^{-1}$ no mês de dezembro no ponto "ptt". Segundo a Resolução CONAMA (357/2005) (Tabela 1) temos que NO_2 está dentro do estabelecido e NO_3 encontra-se com valores bem acima do permitido. O teste de Friedman (multicomparativo, $p < 0,05$) não foi significativo para NO_2 ($p = 0.4768$) e NO_3 ($p > 0,05$)

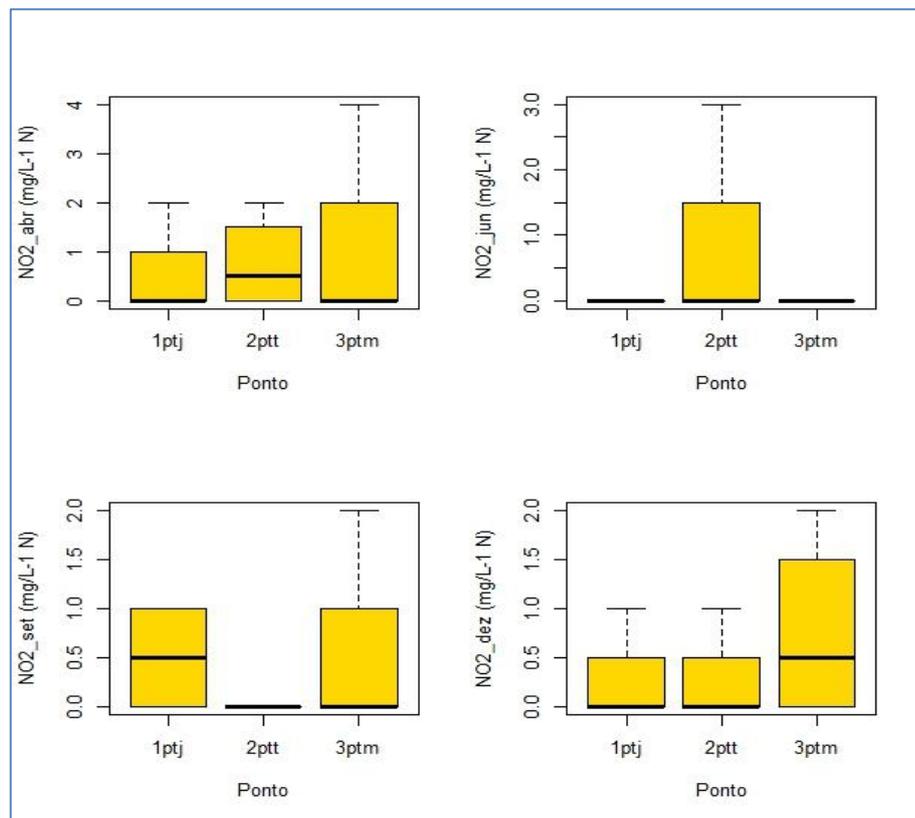


Figura 9 - Boxplot das variações espaciais e medianas dos pontos a jusante (ptj), a montante (ptm) e piscicultura de tanque-rede (ptt) para nitrito (NO_2), para os meses de abril, junho, setembro, outubro e dezembro, respectivamente, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil).

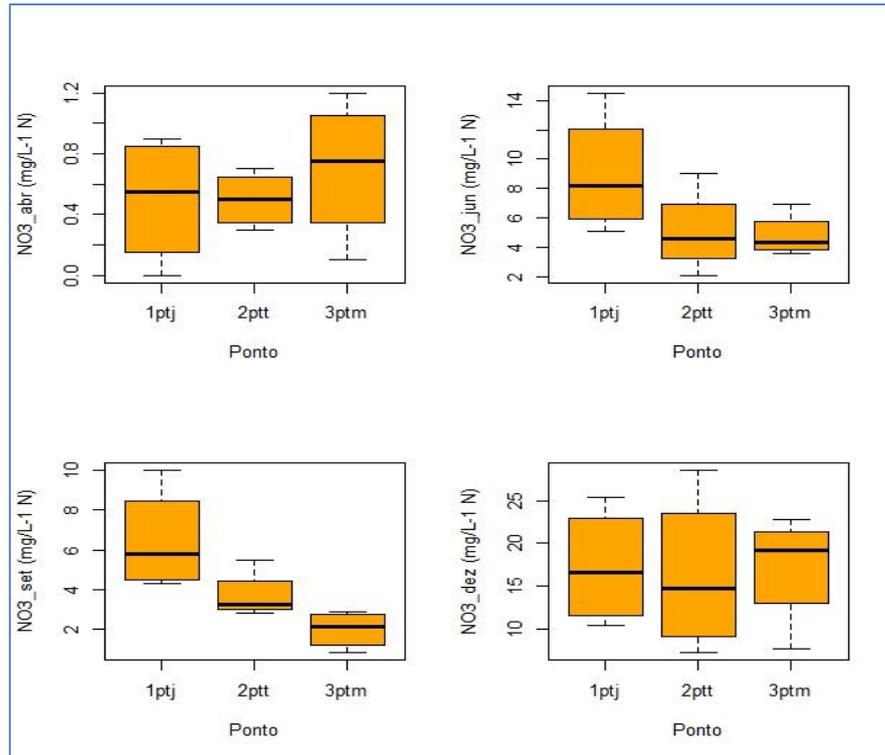


Figura 10 - Boxplot das variações espaciais e medianas dos pontos a jusante (ptj), a montante (ptm) e piscicultura de tanque-rede (ptt) para nitrato (NO₃), para aos meses de abril, junho, setembro, outubro e dezembro, respectivamente, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil).

Os valores para TSS, não apresentam valores máximo ou mínimo segundo a Resolução CONAMA (357/2005) (Tabela 1), porém a variação manteve-se entre $\approx 11 \text{ mg/L}^{-1}$ à $\approx 40 \text{ mg/L}^{-1}$ (Figura 11). O teste de Friedman (multicomparativo, $p < 0,05$) foi altamente significativo para TSS ($p = 0.0079$)

Para TDS, observamos que apresenta-se bem abaixo do permitido pela Resolução CONAMA (357/2005), com valor igual a zero no ponto “ptj” do mês de outubro, ressaltando que este ponto é o de maior fluxo de embarcações e ações antrópicas (Figura 11). O teste de Friedman (multicomparativo, $p < 0,05$) foi quase significativo para TDS ($p = 0.0924$).

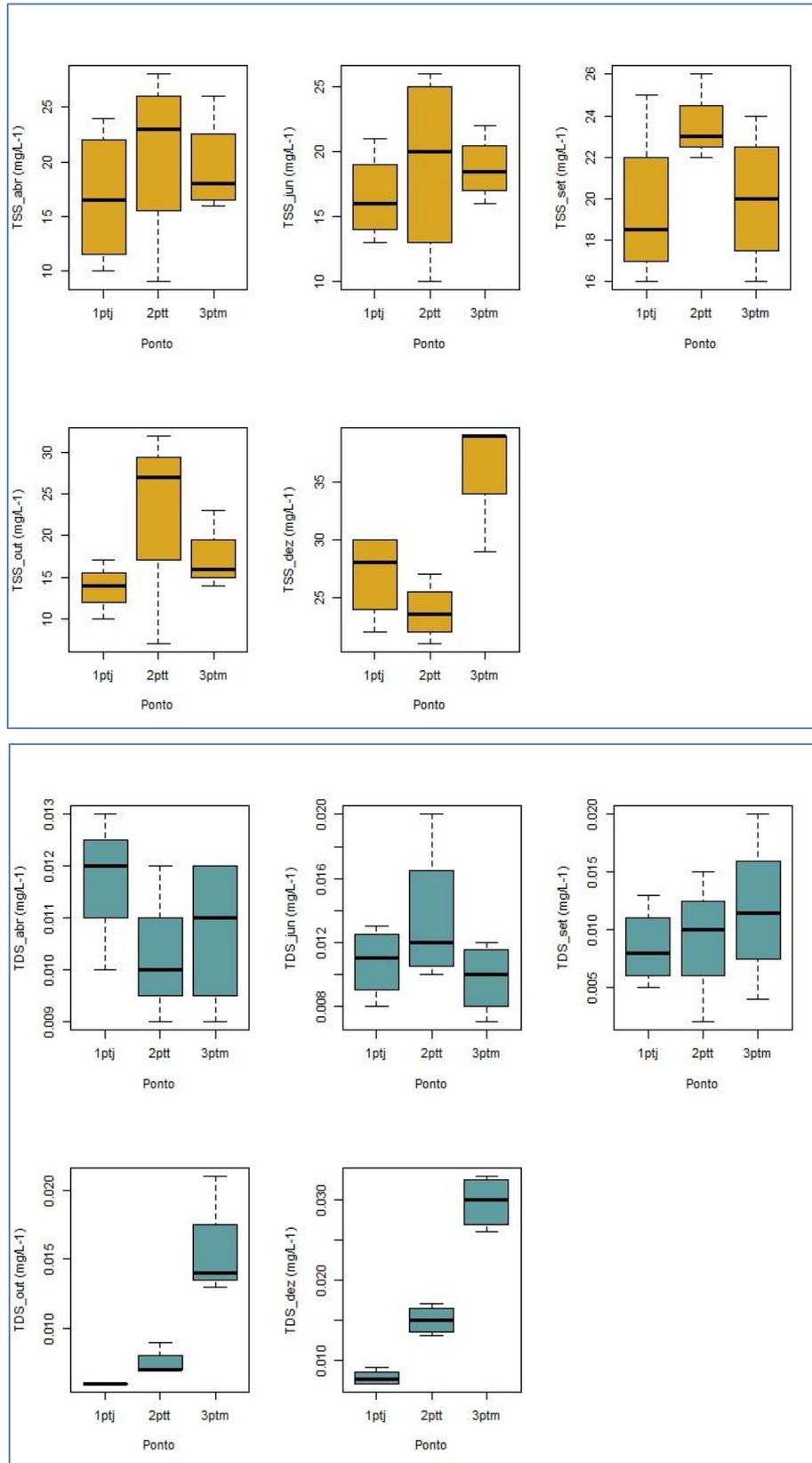


Figura 11 - Boxplot das variações espaciais e medianas dos pontos a jusante (ptj), a montante (ptm) e piscicultura de tanque-rede (ppt) para sólidos suspensos totais (TSS) e sólidos totais dissolvidos (TDS) para aos meses de abril, junho, setembro, outubro e dezembro, respectivamente, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil).

Na figura 12 observamos as medianas para Pt, com máxima de $\approx 0,370 \text{ mg/L}^{-1}$, no ponto “ptj” no mês de abril, uma vez que segundo a Resolução CONAMA (357/2005) (Tabela 1), a faixa ideal seria de no máximo $0,100 \text{ mg/L}^{-1}$. Com relação ao pH da água, manteve-se em sua faixa ideal somente no mês de outubro e em dois pontos do mês de dezembro (ptt e ptm). O teste de Friedman (multicomparativo, $p < 0,05$) não foi significativo para Pt ($p = 0.1221$)

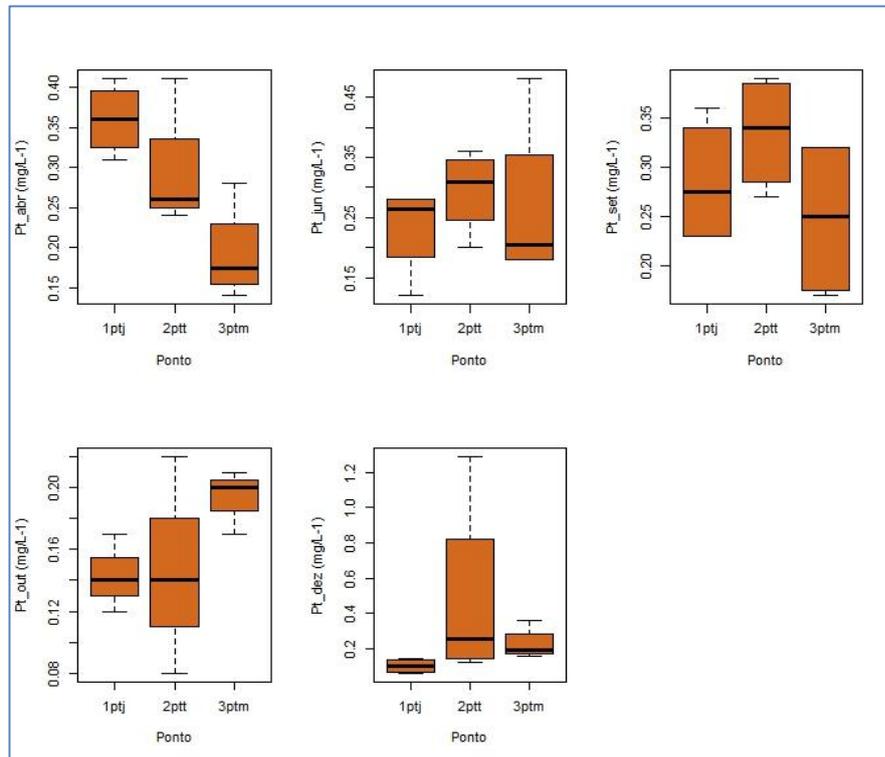


Figura 12 - Boxplot das variações espaciais e medianas dos pontos a jusante (ptj), a montante (ptm) e piscicultura de tanque-rede (ptt) para fósforo (Pt), para aos meses de abril, junho, setembro, outubro e dezembro, respectivamente, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil).

A variação do pH pode ser explicada pela temperatura do ambiente, que pode influenciar no comportamento de diversas variáveis, na figura 13, verificamos que nos três primeiros meses de coleta, tivemos temperaturas baixas e conseqüentemente o nível de pH foi menor exatamente nos três primeiros meses também. O teste de Friedman (multicomparativo, $p < 0,05$) não foi significativo para pH ($p > 0,05$)

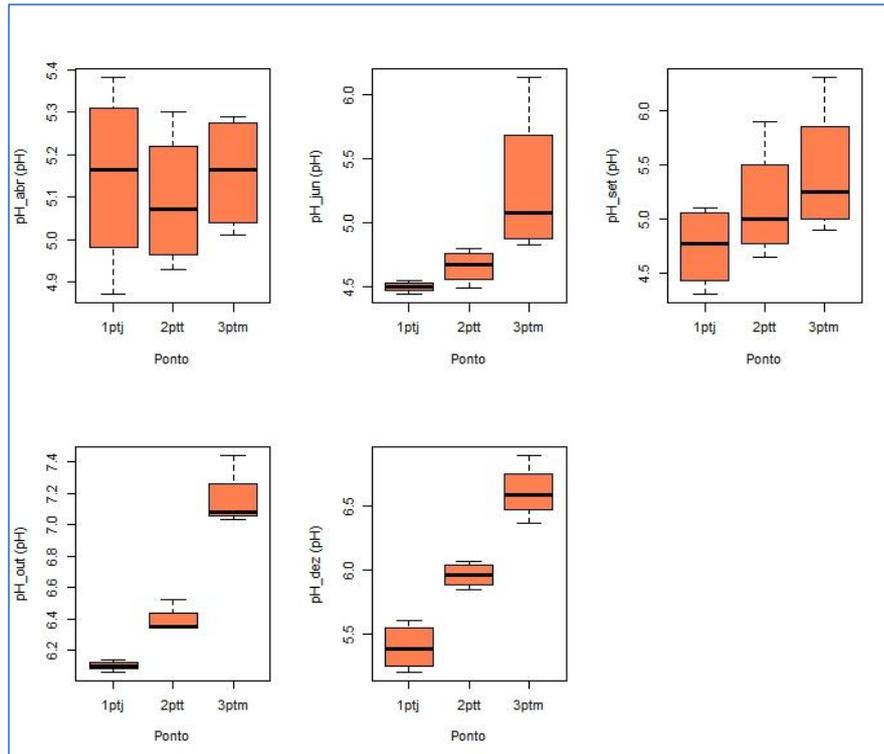


Figura 13 - Boxplot das variações espaciais e medianas dos pontos a jusante (ptj), a montante (ptm) e piscicultura de tanque-rede (ptt) para pH, para aos meses de abril, junho, setembro, outubro e dezembro, respectivamente, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil).

A Tbz manteve-se dentro da faixa ideal permitida pela Resolução CONAMA (357/2005) (Tabela 1) apresentando mínimo de aproximadamente 6 NTU, e máxima de ≈ 45 NTU (Figura 14). O teste de Friedman (multicomparativo, $p < 0,05$) não foi significativo para Tbz ($p > 0,05$)

A TA exerce maior influencia nas atividades biológicas e no crescimento dos indivíduos aquáticos, temperaturas ultrapassadas (tanto para cima como para baixo) podem reduzir o número de indivíduos das espécies. As medianas de temperaturas encontradas em todos os meses foram maiores que ≈ 27 °C, temperatura esta, em que se começa a reduzir a vida aquática (Figura 14). Nos meses de outubro e dezembro chegaram a atingir temperaturas superiores à 30 °C o que acaba influenciando em outros parametros da qualidade da água, como por exemplo, OD, DBO e NO_3 . Porém segundo a Resolução CONAMA (357/2005) (Tabela 1), não há valores máximos ou mínimos estipulado para normalidade em rios desse tipo. O teste de Friedman (multicomparativo, $p < 0,05$) não foi significativo para TA ($p > 0,05$)

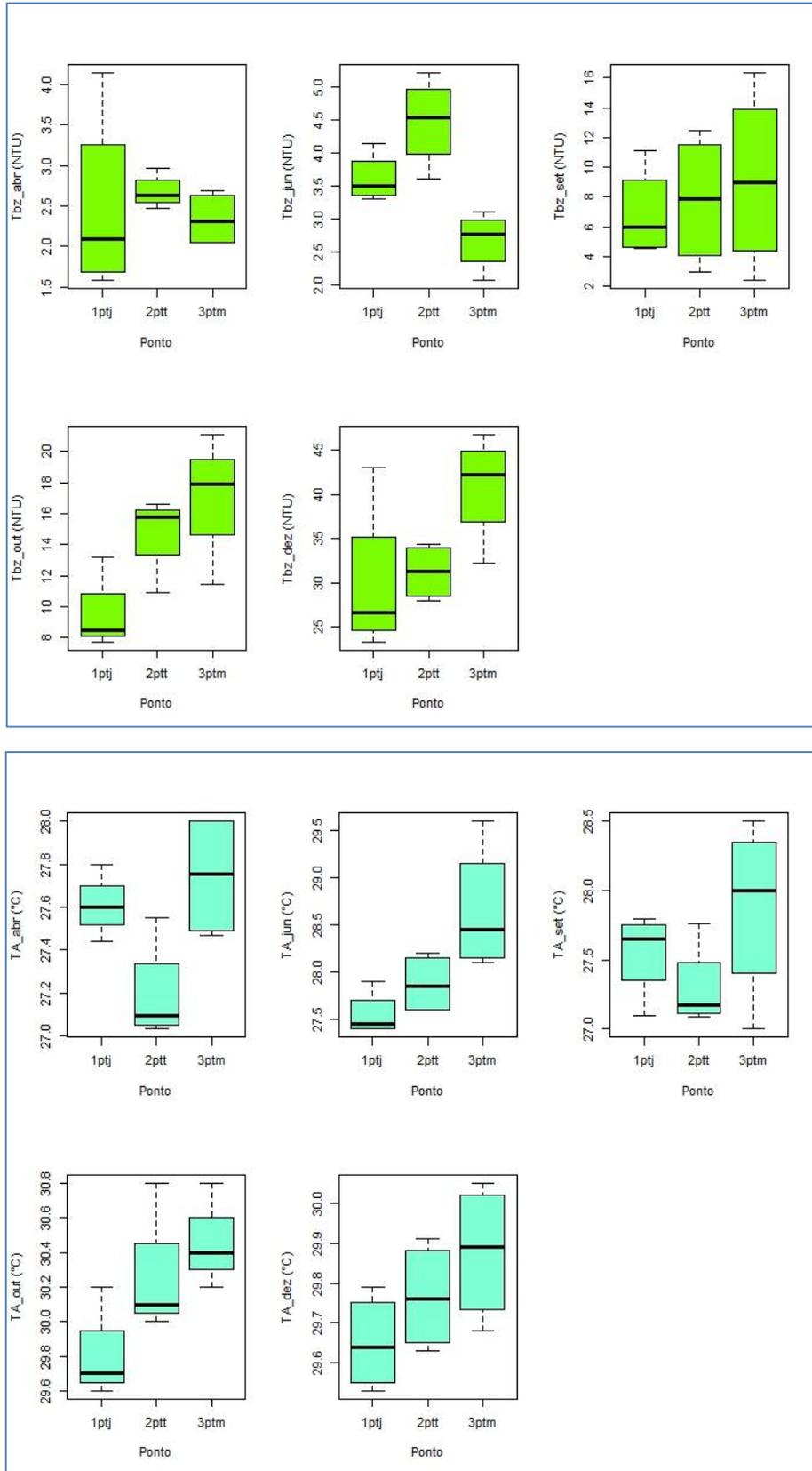


Figura 14 - Boxplot das variações espaciais e medianas dos pontos a jusante (ptj), a montante (ptm) e piscicultura de tanque-rede (ptt) para turbidez (Tbz) e temperatura da água (TA), para aos meses de abril, junho, setembro, outubro e dezembro, respectivamente, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil).

Os parâmetros CT e *E. coli* (Figura 15) apresentaram valores altos no primeiro mês de coleta (abril) estavam no nível máximo de acordo com a tabela Colilert (IDEXX Quanti-Tray®/2000 MPN Table), nos demais meses, *E. coli* manteve-se dentro dos padrões da Resolução CONAMA (357/2005), o mesmo aconteceu com o parâmetro CT, exceto pelo mês de abril que também apresentou resultados extremamente altos. O teste de Friedman (multicomparativo, $p < 0,05$) foi altamente significativo para CT ($p = 0.002114$) e Ec ($p = 0.0007$).

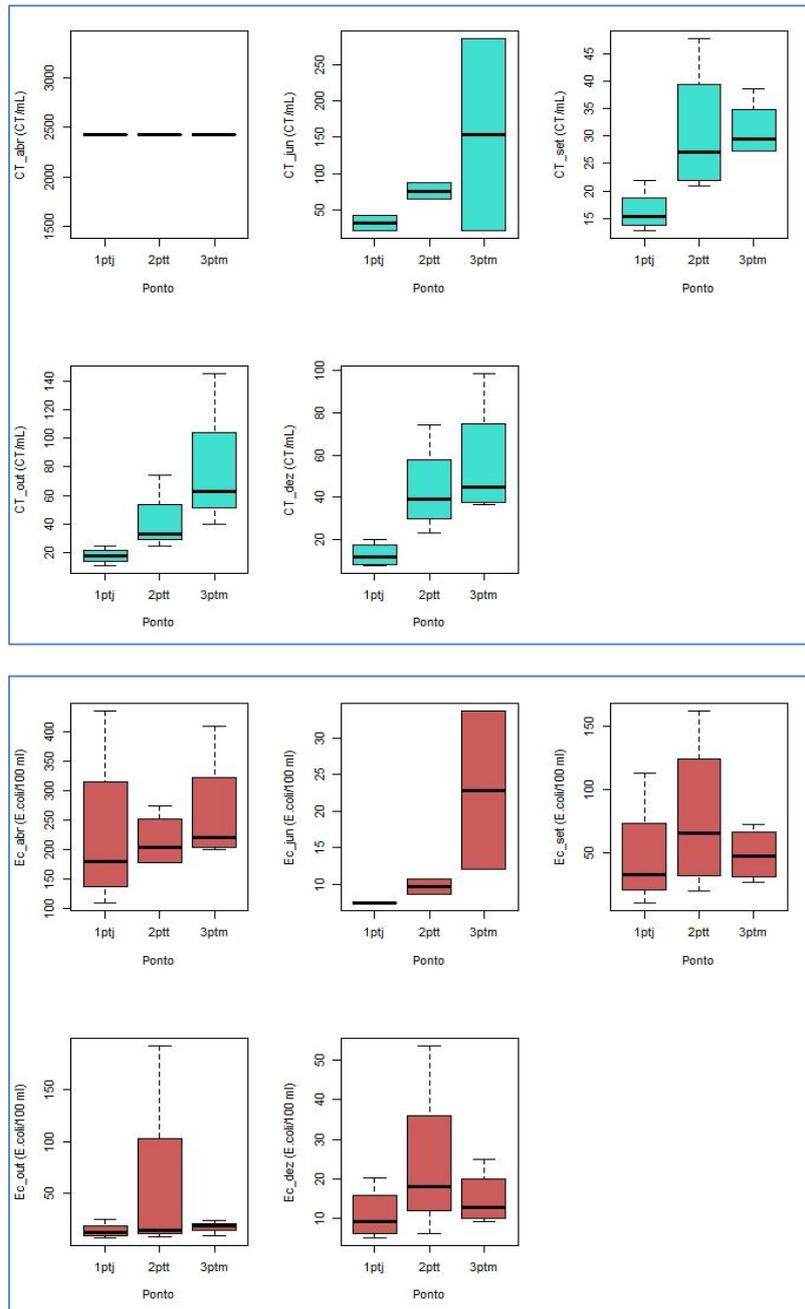


Figura 15 - Boxplot das variações espaciais e medianas dos pontos a jusante (ptj), a montante (ptm) e piscicultura de tanque-rede (ptt) para coliformes totais (CT) e *E. coli* (Ec), para aos meses de abril, junho, setembro, outubro e dezembro, respectivamente, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil).

Para SO_4 os dados apresentaram-se dentro dos permitido pela Resolução CONAMA (357/2005) (Tabela 1), porém foram muito inferiores com relação ao permitido (Figura 16). O teste de Friedman (multicomparativo, $p < 0,05$) não foi altamente significativo para SO_4 ($p > 0,05$)

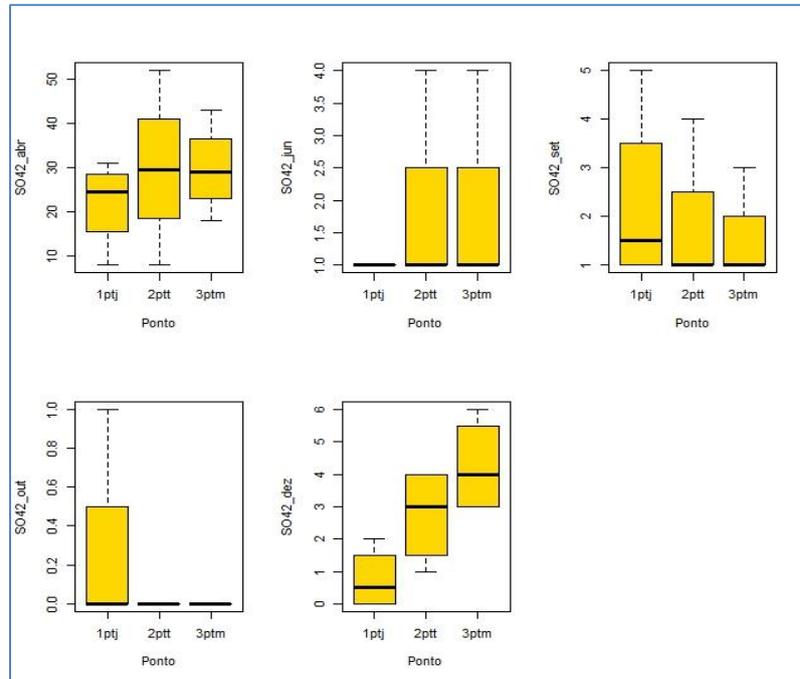


Figura 16 - Boxplot das variações espaciais e medianas dos pontos a jusante (ptj), a montante (ptm) e piscicultura de tanque-rede (ptt) para sulfato (SO_4), para aos meses de abril, junho, setembro, outubro e dezembro, respectivamente, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil).

As figuras 17 à 21 mostram as variações médias temporais dos diversos parâmetros da água (eixo das ordenadas - y), bem como suas amplitudes, em relação a vazão do Rio Matapi (eixo das abscissas - x). Esta variação foi monitorada para cada período amostral sazonal (abril, junho, setembro, outubro e dezembro), segundo a condicional "Data", como fator norteador deste teste. De acordo com a Resolução CONAMA (357/2005) os valores para cada parâmetro podem ser comparados ou observadas na Tabela 1. A maior variação ocorreu nos parâmetros DCa e DMg. Os parâmetros que menos variaram foram Al e CT. Presença de *outliers* em alguns parâmetros, como: Ec e CT, ambas variáveis microbiológicas.

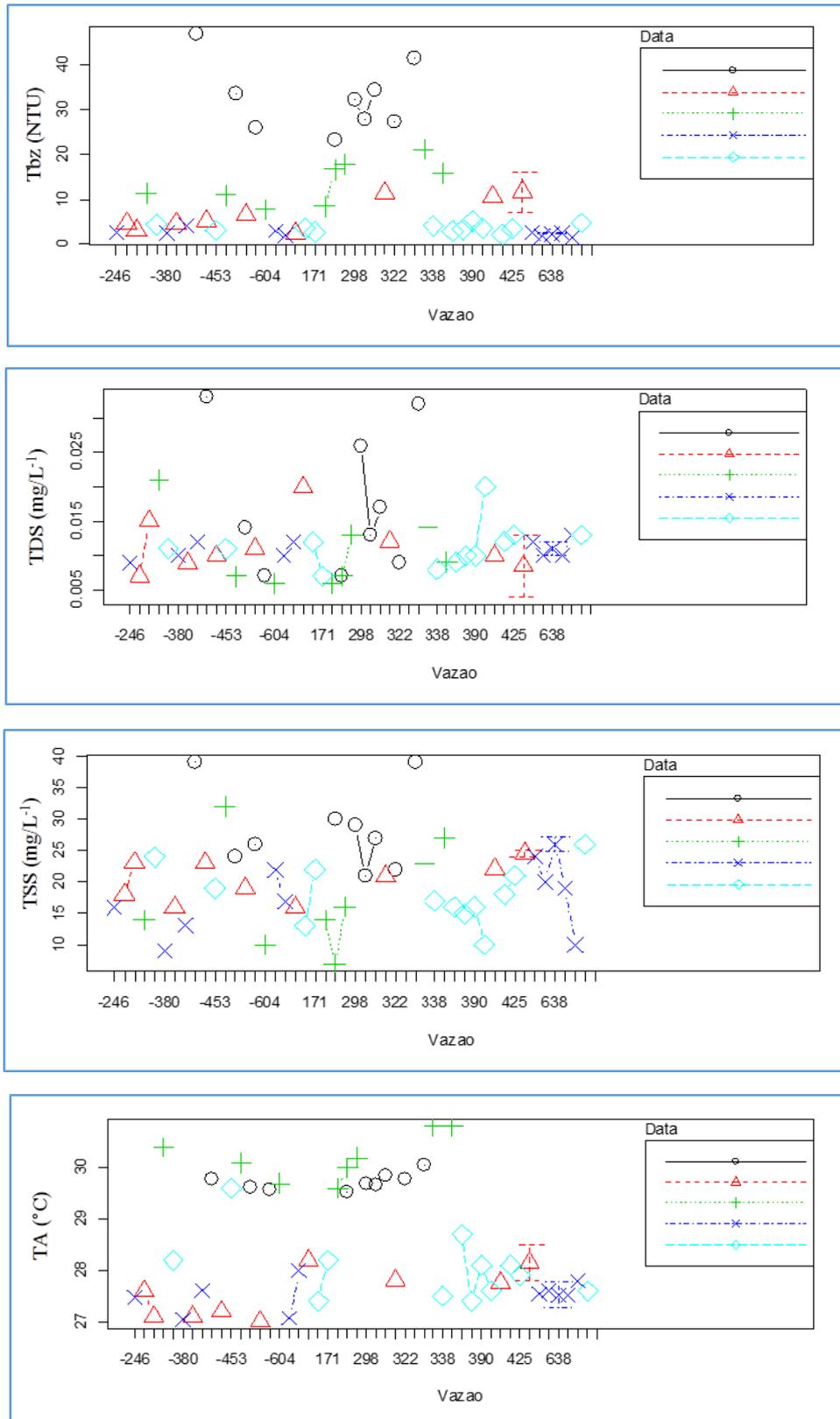


Figura 17 - Variações temporais da turbidez (Tbz), sólidos totais dissolvidos (TDS), sólidos suspensos totais (TSS) e temperatura da água (TA) em cada período amostral sazonal em relação a vazão do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). Legenda das cores: Preto (Abril), Vermelho (Junho), Verde (Setembro), Azul (Outubro), Água (Dezembro). Tbz e TA ($p>0,05$); TSS e TDS ($p<0,05$).

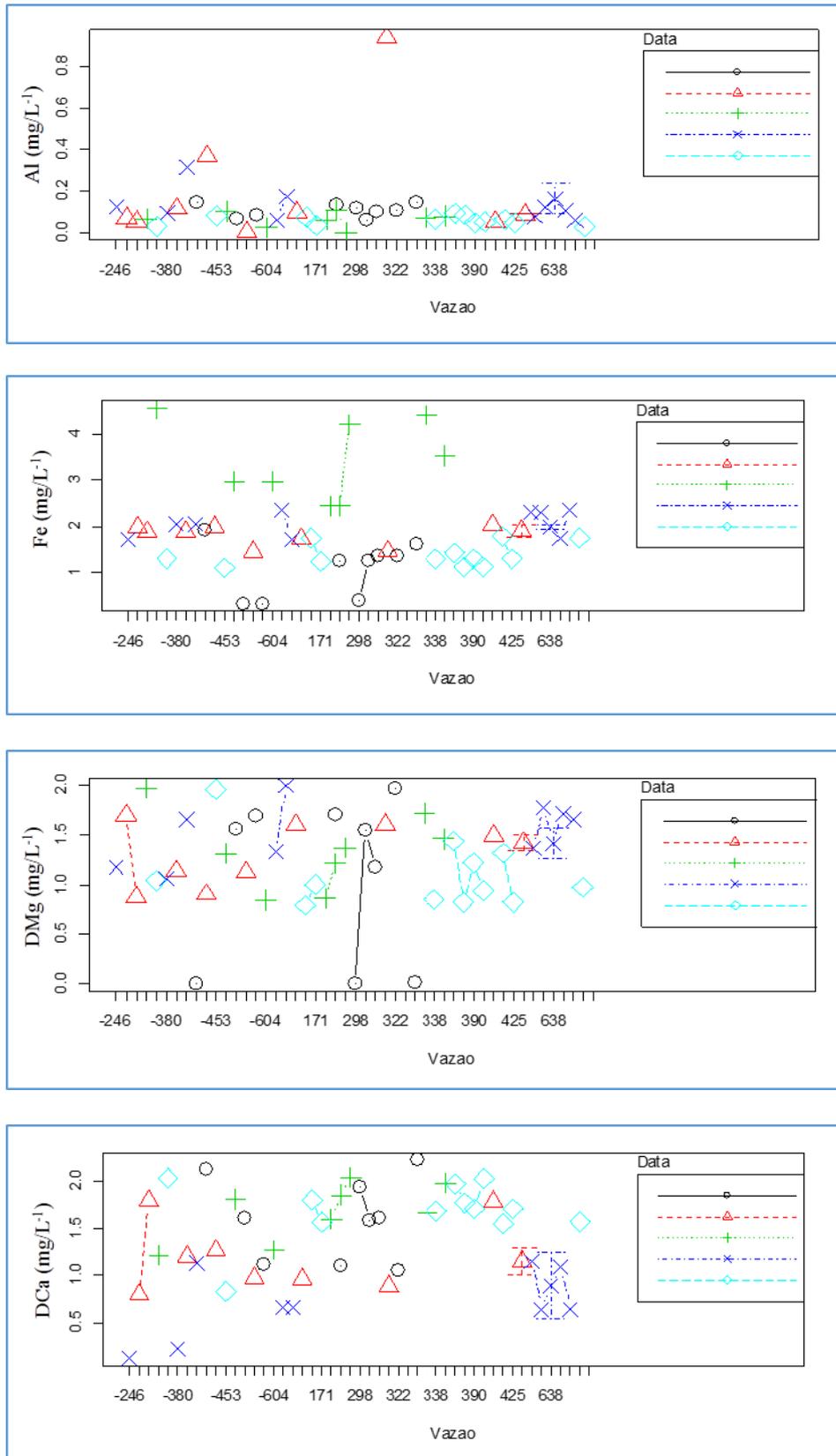


Figura 18 - Variações temporais do alumínio (Al), ferro (Fe), magnésio (DMg) e cálcio (DCa) em cada período amostral sazonal em relação a vazão do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). Legenda das cores: Preto (Abril), Vermelho (Junho), Verde (Setembro), Azul (Outubro), Água (Dezembro). Fe e DMg ($p>0,05$); Al e DCa ($p<0,05$).

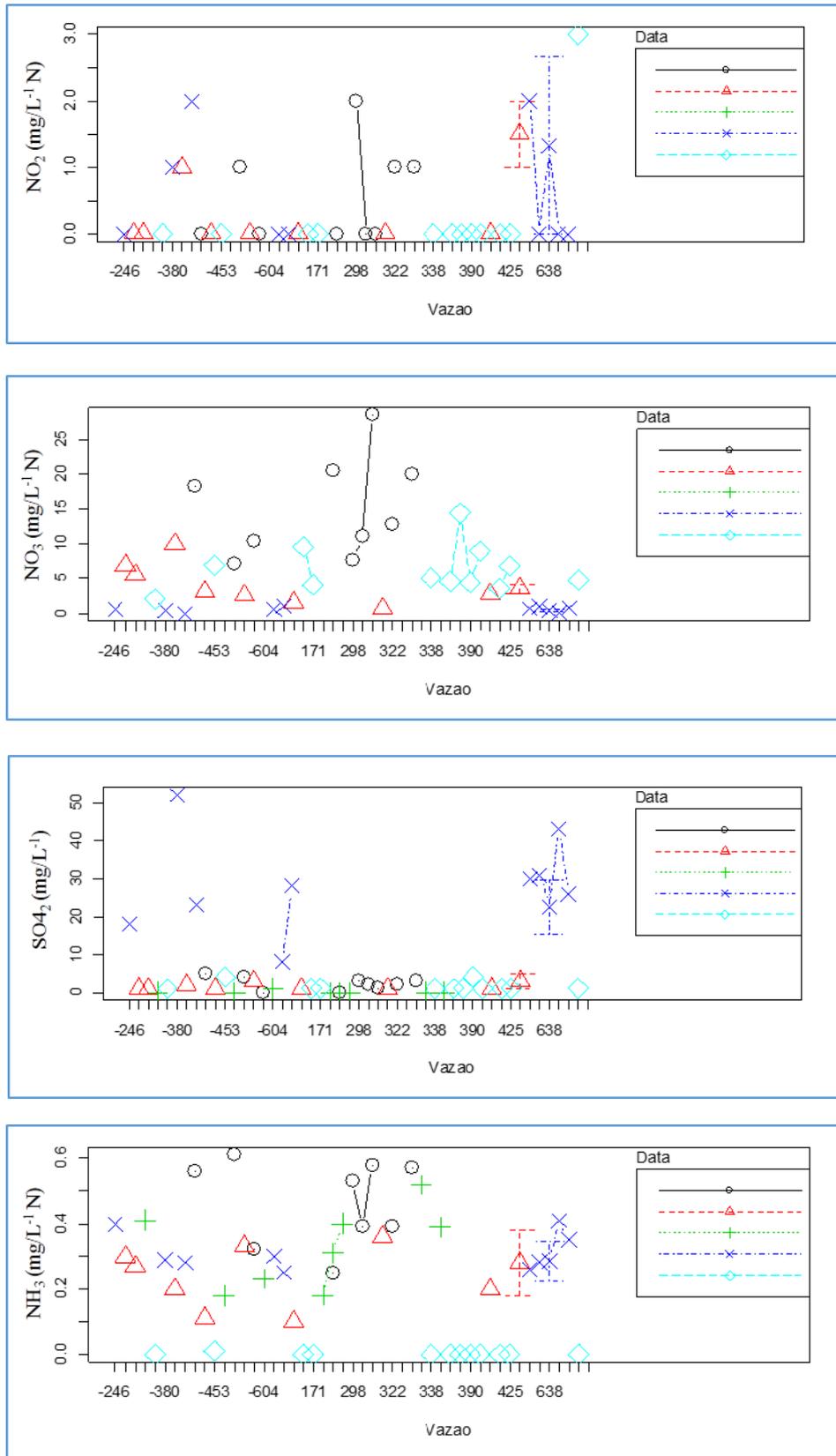


Figura 19 - Variações temporais da amônia (NH₃), nitrato (NO₃), nitrito (NO₂) e sulfato (SO₄) em cada período amostral sazonal em relação a vazão do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). Legenda das cores: Preto (Abril), Vermelho (Junho), Verde (Setembro), Azul (Outubro), Água (Dezembro). NH₃, NO₃, NO₂ e SO₄ (p>0,05).

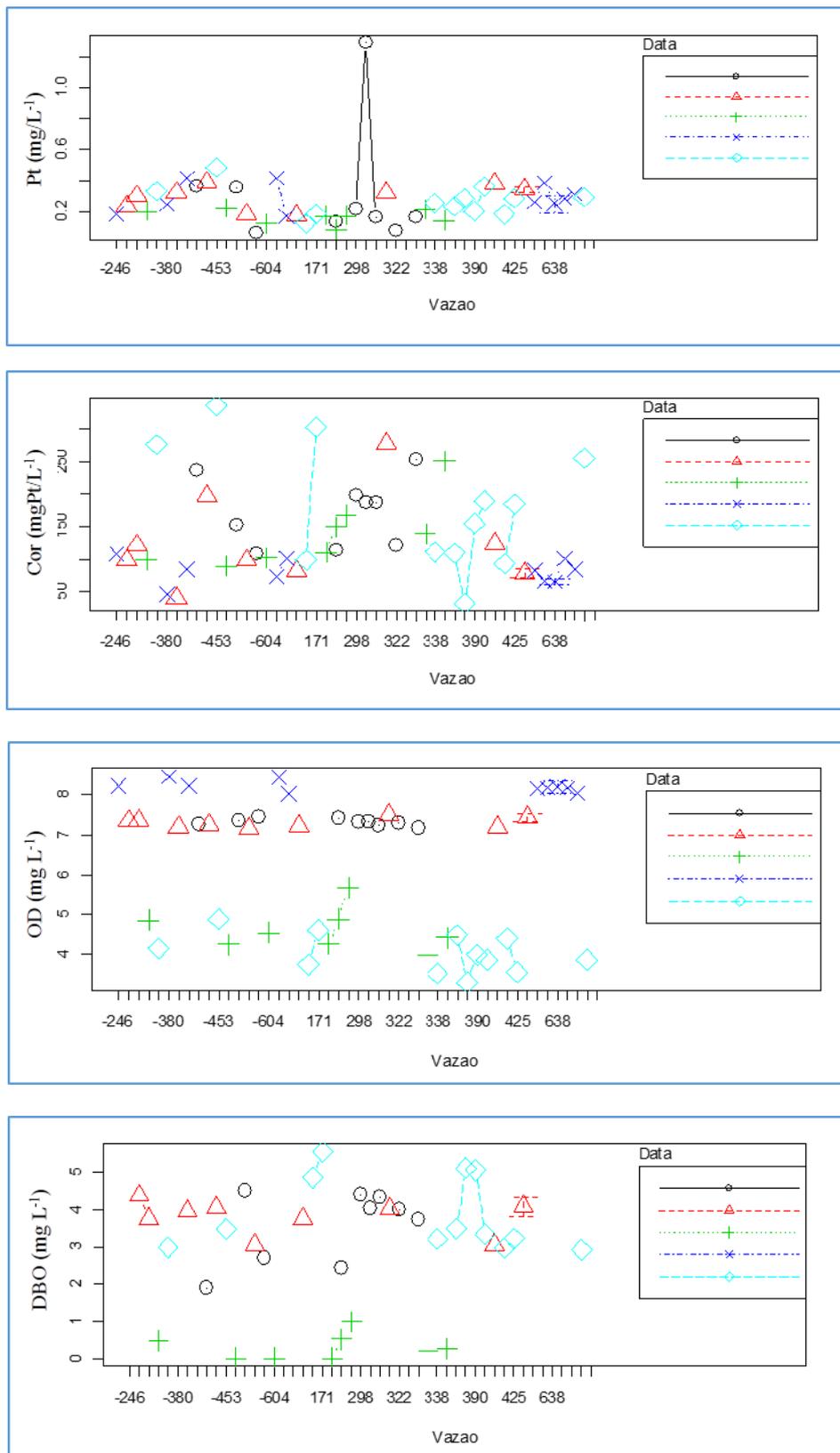


Figura 20 - Variações temporais do fósforo total (Pt), cor, oxigênio dissolvido (OD) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO), em cada período amostral sazonal em relação a vazão do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). Legenda das cores: Preto (Abril), Vermelho (Junho), Verde (Setembro), Azul (Outubro), Água (Dezembro). Pt e OD ($p > 0,05$); Cor e DBO ($p < 0,05$).

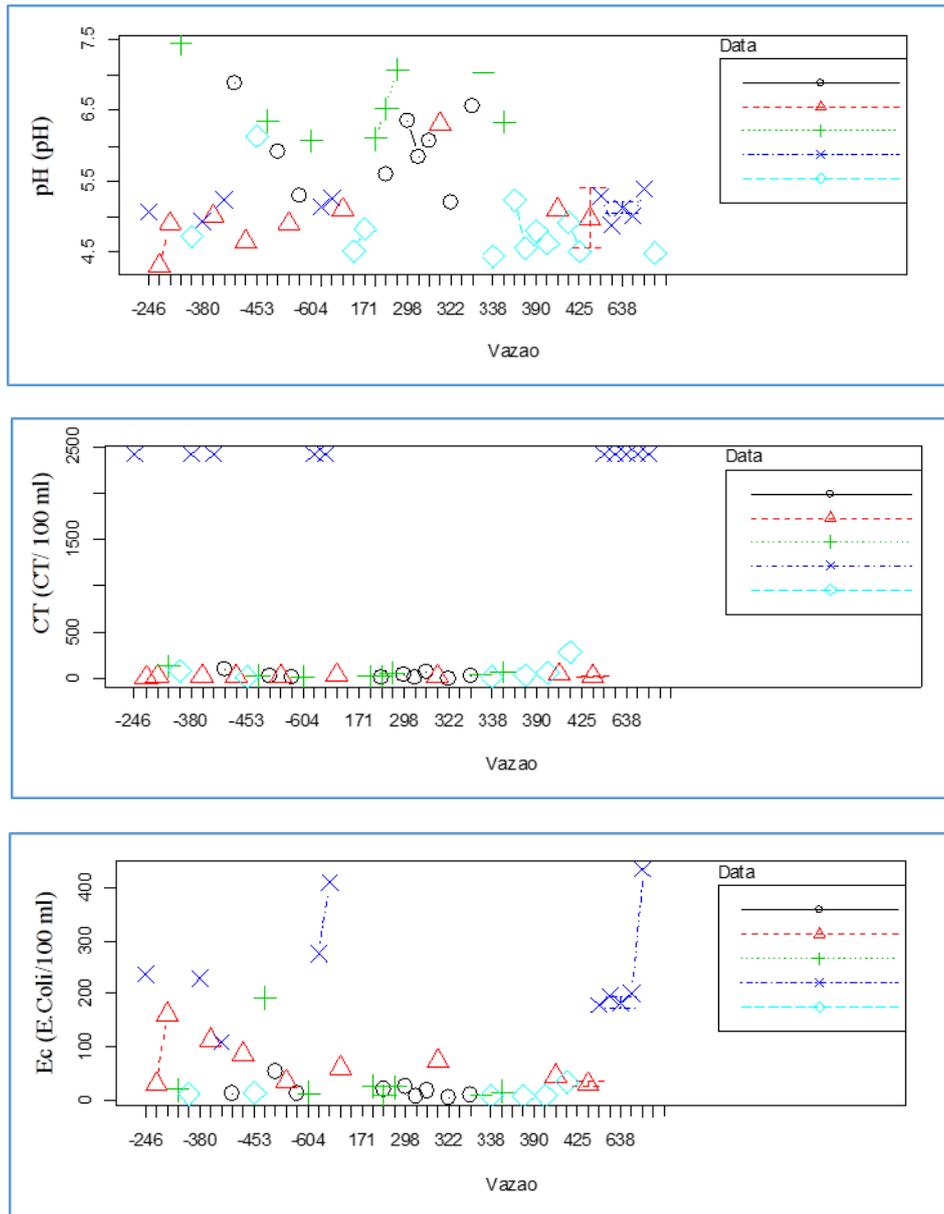


Figura 21 - Variações temporais de pH, coliformes totais (CT) e *Escherichia coli* (Ec) em cada período amostral sazonal em relação a vazão do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). Legenda das cores: Preto (Abril), Vermelho (Junho), Verde (Setembro), Azul (Outubro), Água (Dezembro). pH ($p > 0,05$); CT e Ec ($p < 0,05$).

As variações dos parâmetros da água do Rio Matapi (eixo das ordenadas - y) em relação a vazão (eixo das abscissas - x) durante o ciclo de maré semidiurna são apresentadas nas figuras 22 à 26. Valores negativos indicam o valor exato da vazão durante a maré ascendente (maré subindo), enquanto os valores positivos indicam maré descendente (Tratamento = "trat" - fases do ciclo de maré, isto é, enchendo = trat1, vazando = trat2, preamar/baixamar = trat3). O fator norteador para este teste foi o tipo de tratamento.

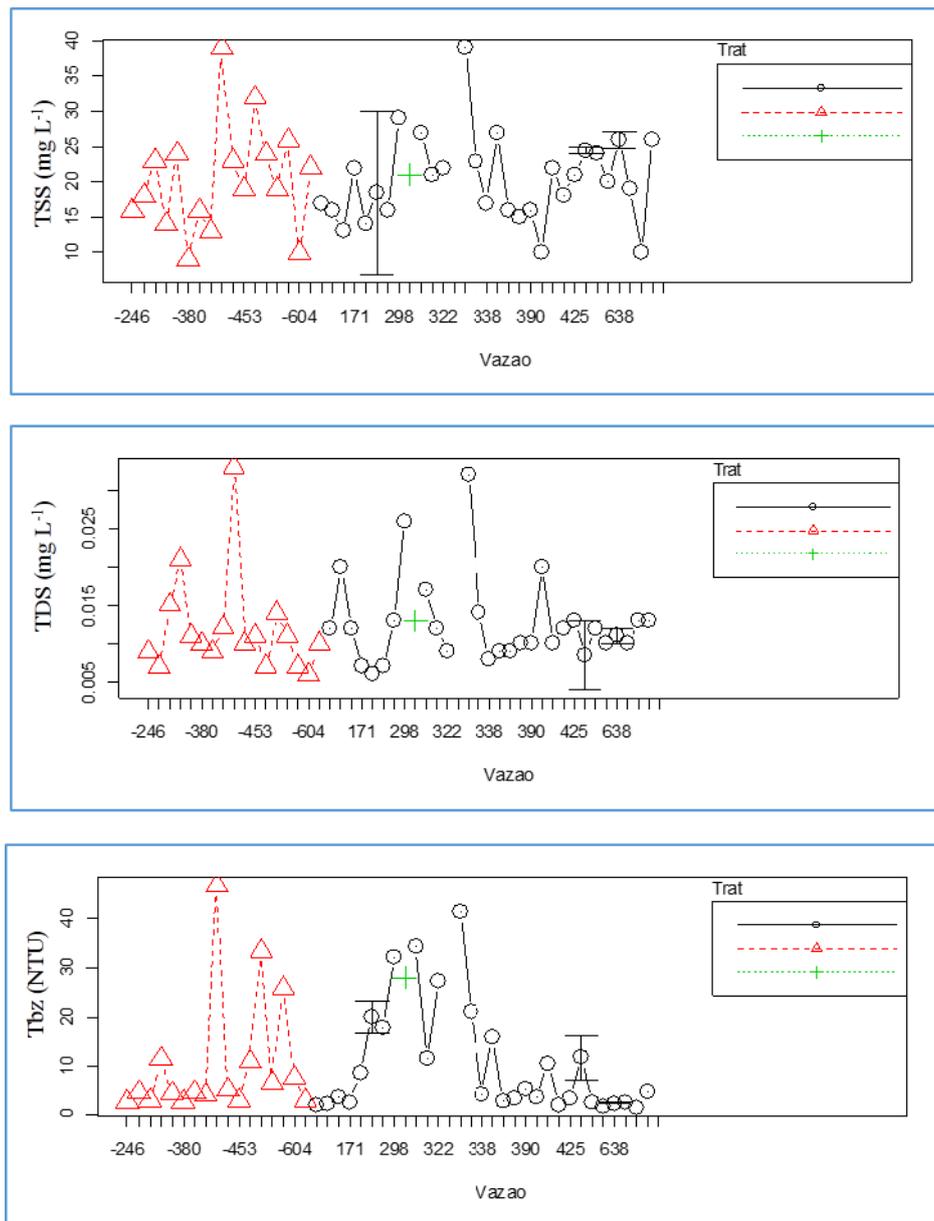


Figura 22 - Variações temporais na vazante, enchente, preamar e baixamar durante o ciclo de maré semidiurna, para sólidos totais dissolvidos (TDS), sólidos suspensos totais (TSS) e turbidez (Tbz) nos sítios de amostragem do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). Legenda de cores: Preto (vazando), vermelho (enchendo), verde (preamar/baixamar). Tbz ($p > 0,05$); TDS e TSS ($p < 0,05$).

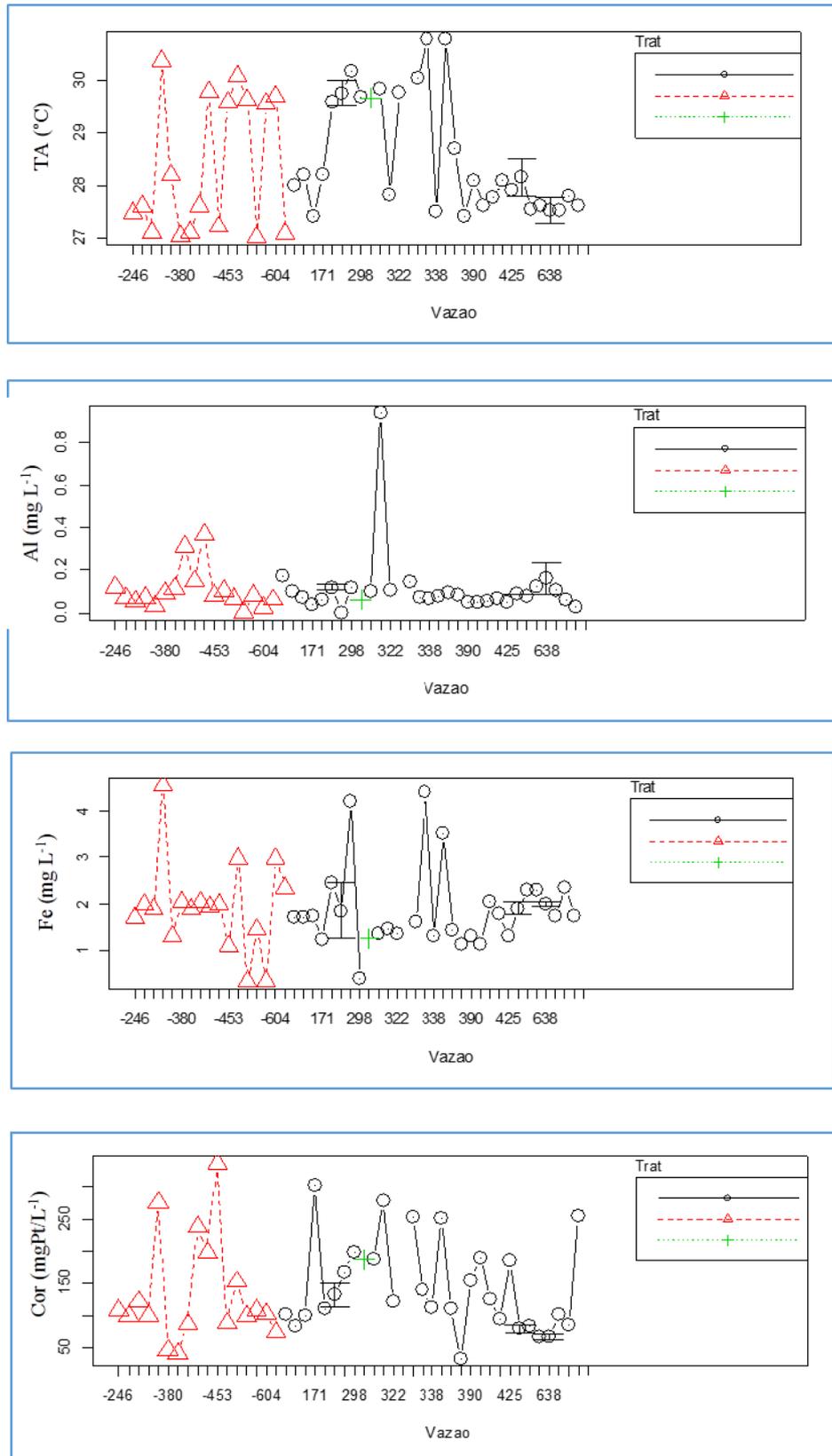


Figura 23 - Variações temporais na vazante, enchente, preamar e baixamar durante o ciclo de maré semidiurna, para temperatura da água (TA), alumínio (Al), ferro (Fe) e cor nos sítios de amostragem do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). Legenda de cores: Preto (vazando), vermelho (enchendo), verde (preamar/baixamar). TA e Fe ($p > 0,05$); Al e Cor ($p < 0,05$).

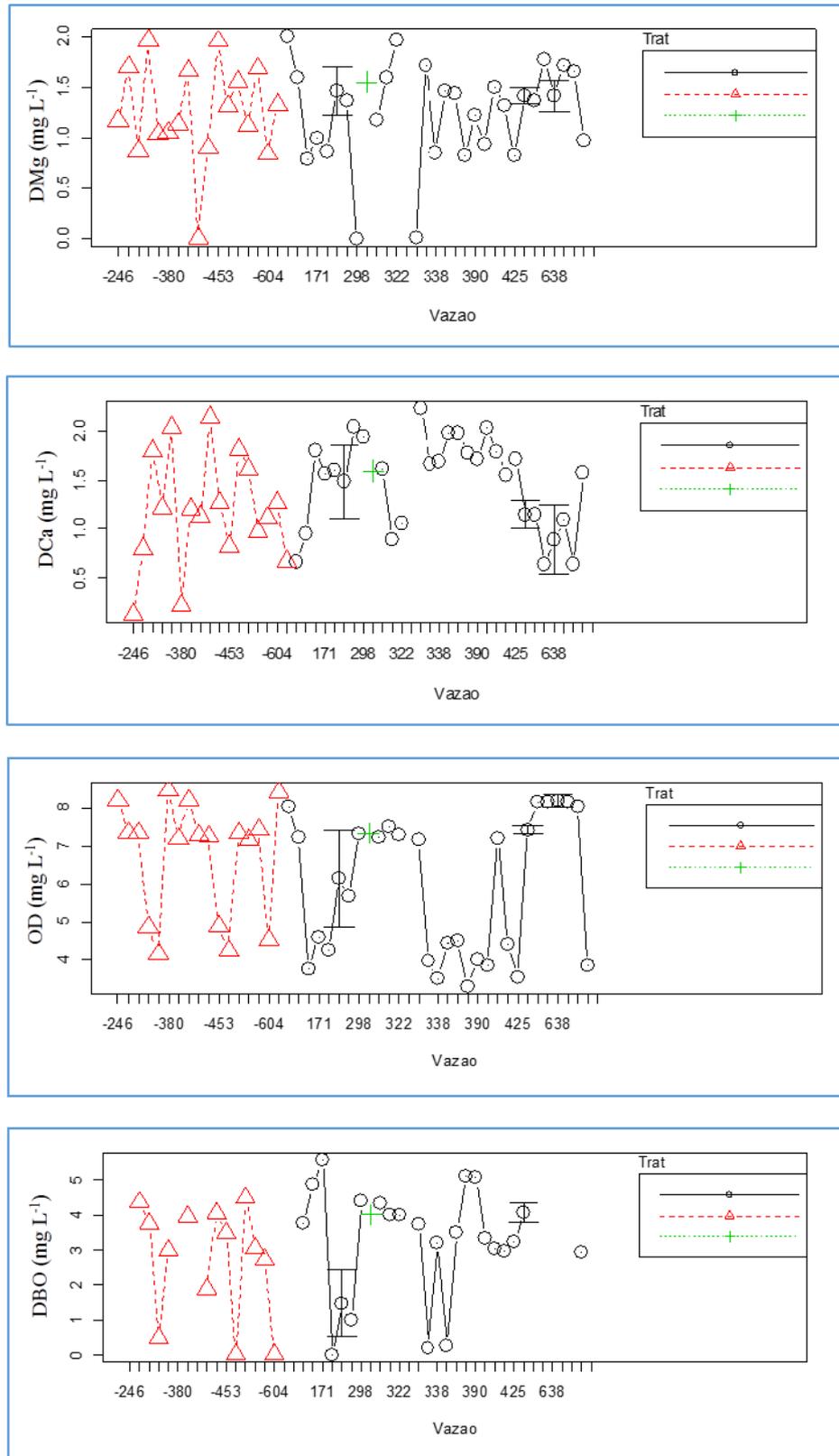


Figura 24 - Variações temporais na vazante, enchente, preamar e baixamar durante o ciclo de maré semidiurna, para magnésio (DMg) e cálcio (DCa), oxigênio dissolvido (OD) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO) nos sítios de amostragem do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). Legenda de cores: Preto (vazando), vermelho (enchendo), verde (preamar/baixamar). DMg e OD ($p > 0,05$); DCa e DBO ($p < 0,05$).

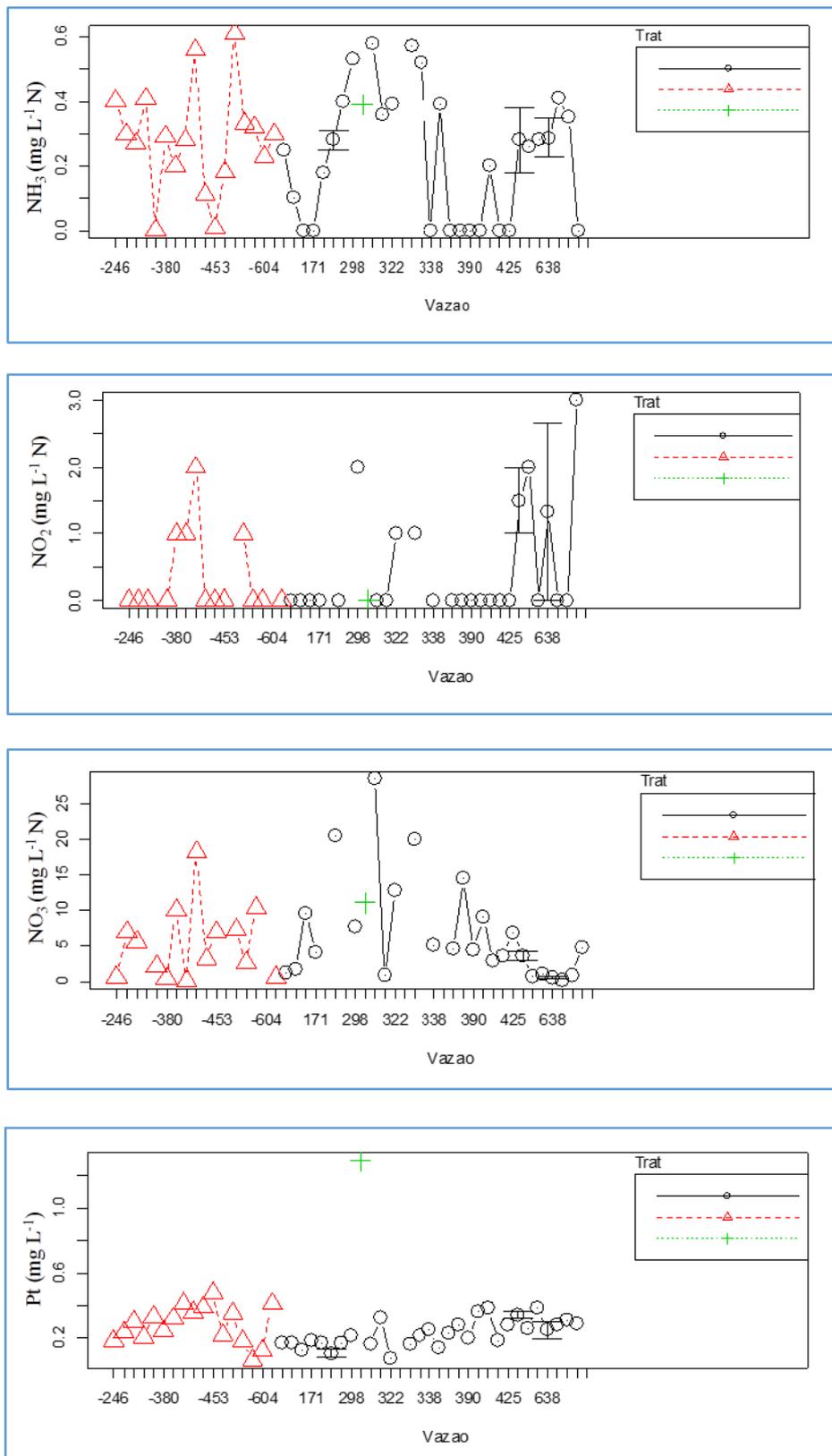


Figura 25 - Variações temporais na vazante, enchente, preamar e baixamar durante o ciclo de maré semidiurna, para amônia (NH_3), nitrito (NO_2), nitrato (NO_3) e fósforo total (Pt) nos sítios de amostragem do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). Legenda de cores: Preto (vazando), vermelho (enchendo), verde (preamar/baixamar). NH_3 , NO_2 , NO_3 e Pt ($p > 0,05$).

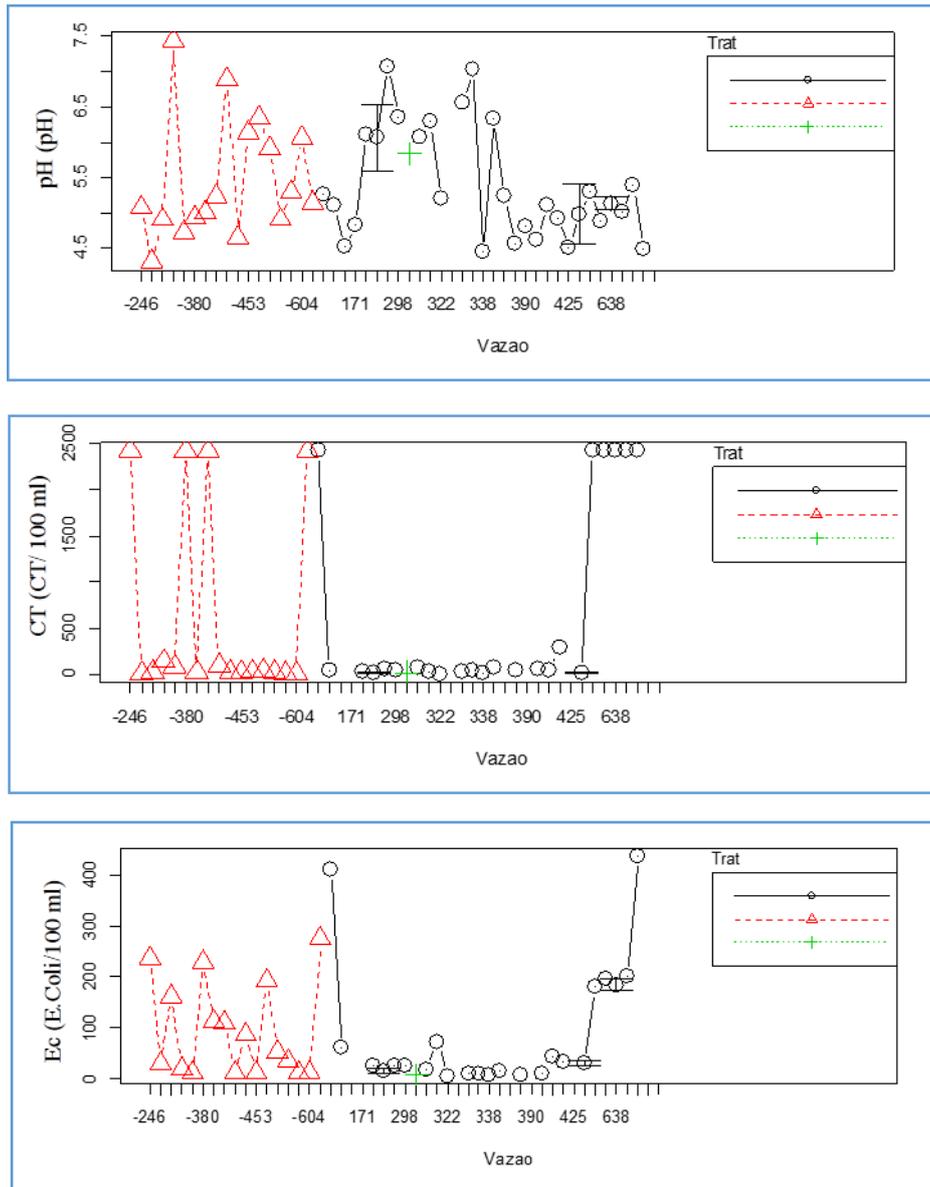


Figura 26 - Variações temporais na vazante, enchente, preamar e baixamar durante o ciclo de maré semidiurna, para pH, coliformes totais (CT) e *Escherichia coli* (Ec) nos sítios de amostragem do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). Legenda de cores: Preto (vazando), vermelho (enchendo), verde (preamar/baixamar). pH ($p > 0,05$); CT e Ec ($p < 0,05$).

As variações temporais dos parâmetros da água durante o ciclo de maré (eixo das ordenadas - y) são mostradas nas figuras 27 à 30. Observa-se uma variação dos parâmetros em relação aos sítios de amostragem (eixo das abscissas - x) e localidade (jusante (ptj), montante (ptm) e piscicultura (ptt) de tanque-rede). O fator norteador para este teste foi o ponto de cada coleta. Desta maneira podemos observar como cada parâmetro se comportou em cada um dos pontos de coleta, principalmente no ponto de coleta ptt (triângulo em vermelho), ponto este onde se encontravam os tanques-rede.

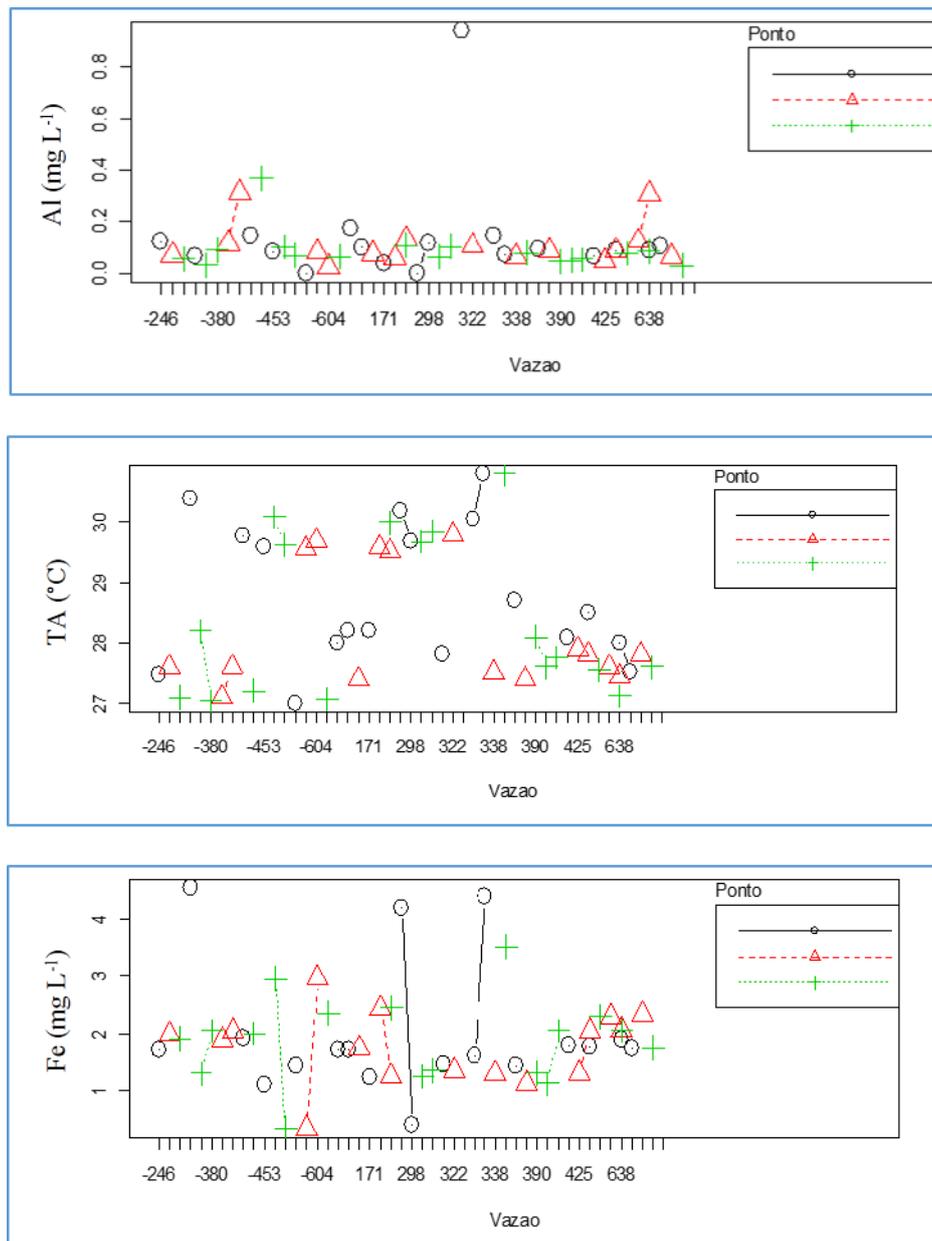


Figura 27 - Variações temporais em relação à vazão nos sítios de amostragem, para alumínio (Al), temperatura da água (TA) e ferro (Fe) nos sítios de amostragem do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). Legenda de cores: Preto (ptj), vermelho (ptm) e verde (ptt). TA e Fe ($p > 0,05$); Al ($p < 0,05$).

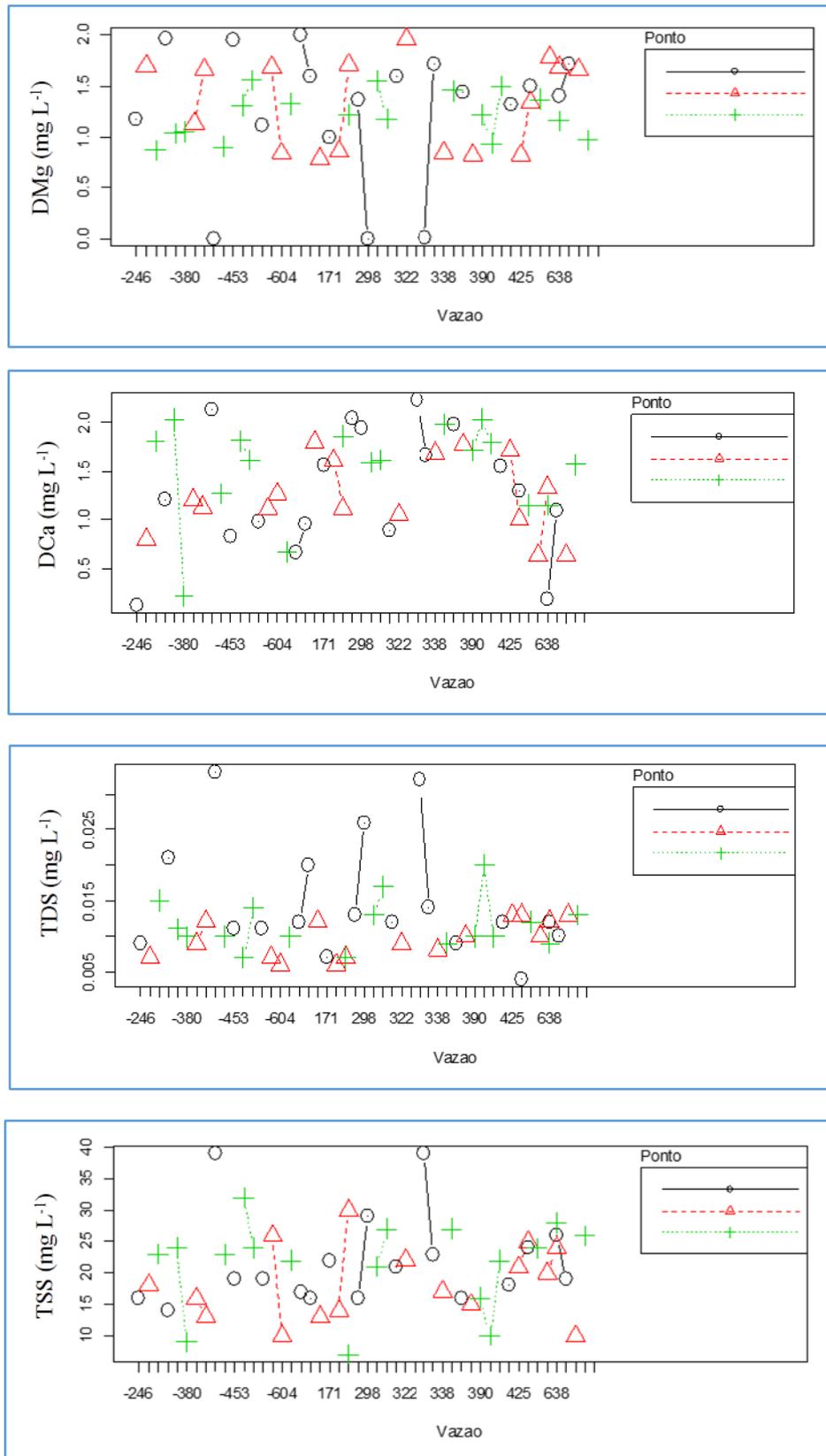


Figura 28 - Variações temporais em relação à vazão nos sítios de amostragem, para magnésio (DMg), cálcio (DCa), sólidos totais dissolvidos (TDS) e sólidos suspensos totais (TSS) nos sítios de amostragem do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). Legenda de cores: Preto (ptj), vermelho (ptm) e verde (ptt). DMg ($p > 0,05$); DCa, TDS e TSS ($p < 0,05$).

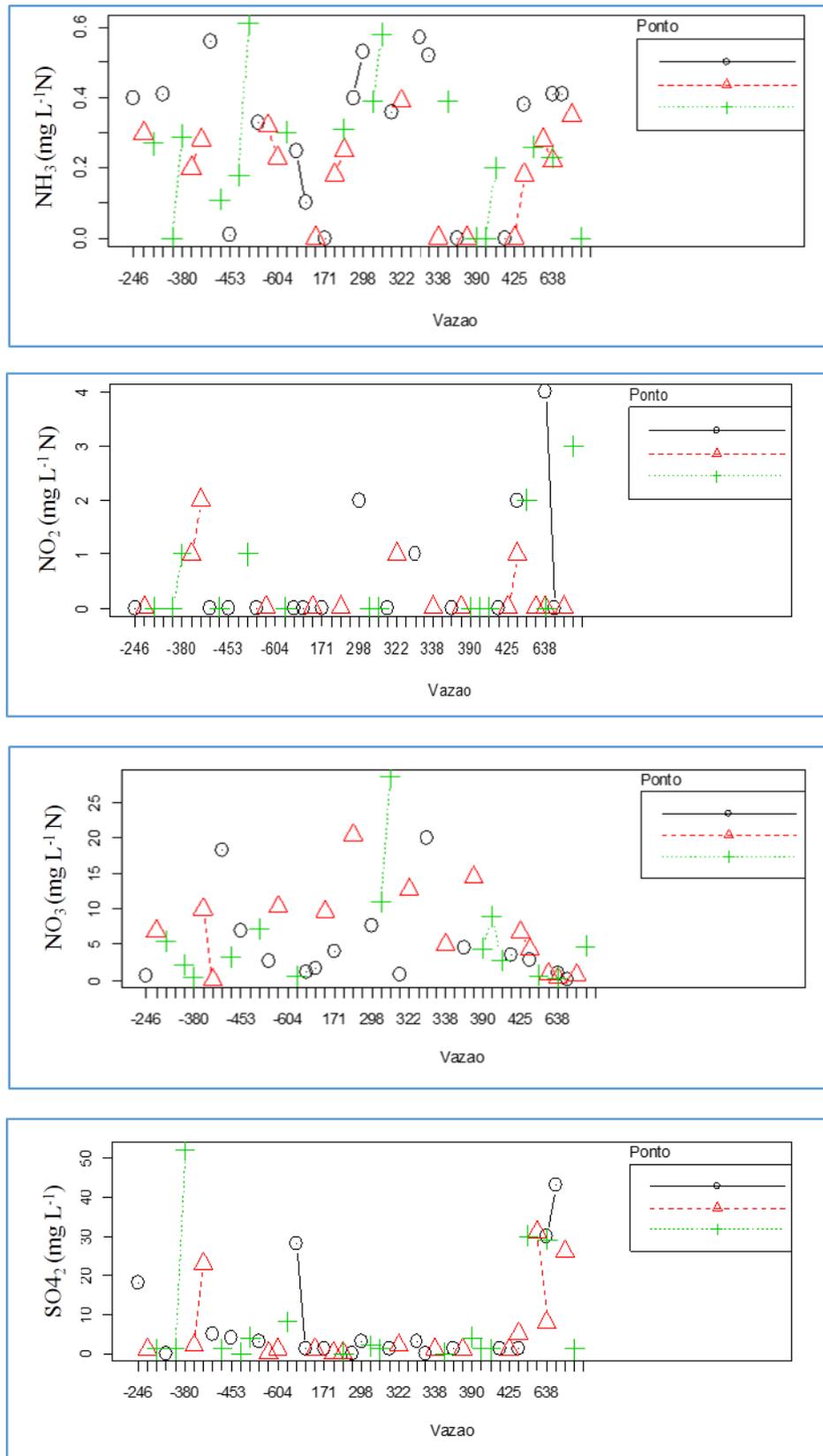


Figura 29 - Variações temporais em relação à vazão nos sítios de amostragem, para amônia (NH₃), nitrito (NO₂), nitrato (NO₃) e sulfato (SO₄₂) nos sítios de amostragem do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). Legenda de cores: Preto (ptj), vermelho (ptm) e verde (ppt). NH₃, NO₂, NO₃ e SO₄₂ (p>0,05).

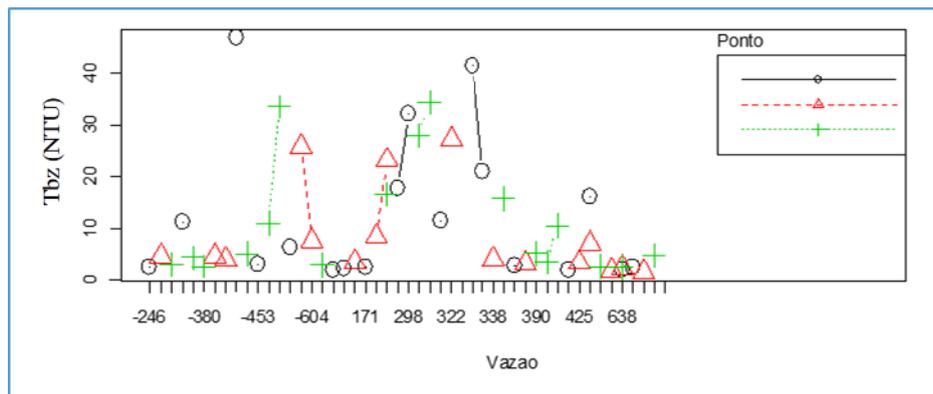


Figura 30 - Variações temporais em relação à vazão nos sítios de amostragem, para turbidez (Tbz) nos sítios de amostragem do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). Legenda de cores: Preto (ptj), vermelho (ptm) e verde (ptt). Tbz ($p > 0,05$).

As figuras 31 à 39 mostram as variações temporais dos parâmetros analisados a jusante, local da piscicultura de tanques-redes e a montante. Observa-se valores mais elevados, referentes a Tbz no decorrer de todos meses de coleta. Mês de dezembro apresentou alterações para 70% dos parâmetros estudados. O fator norteador foi o ponto de coleta. Ocorreram *outliers* em alguns dos parâmetros.

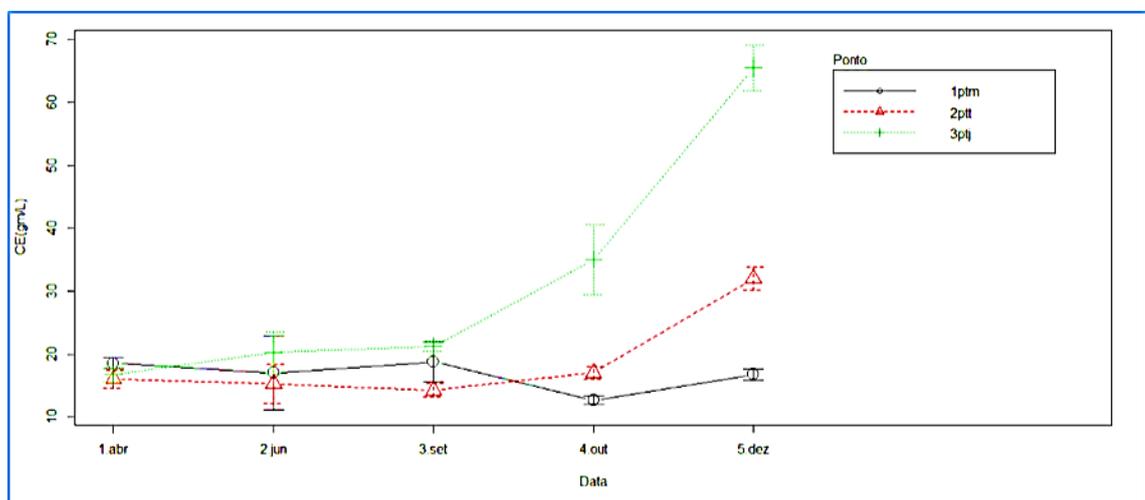


Figura 31 - Variações espaciais nos pontos a jusante (1), a montante (2) e piscicultura de tanque-rede (3) para condutividade elétrica (CE) com relação ao período de cada coleta, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). CE ($p < 0,05$).

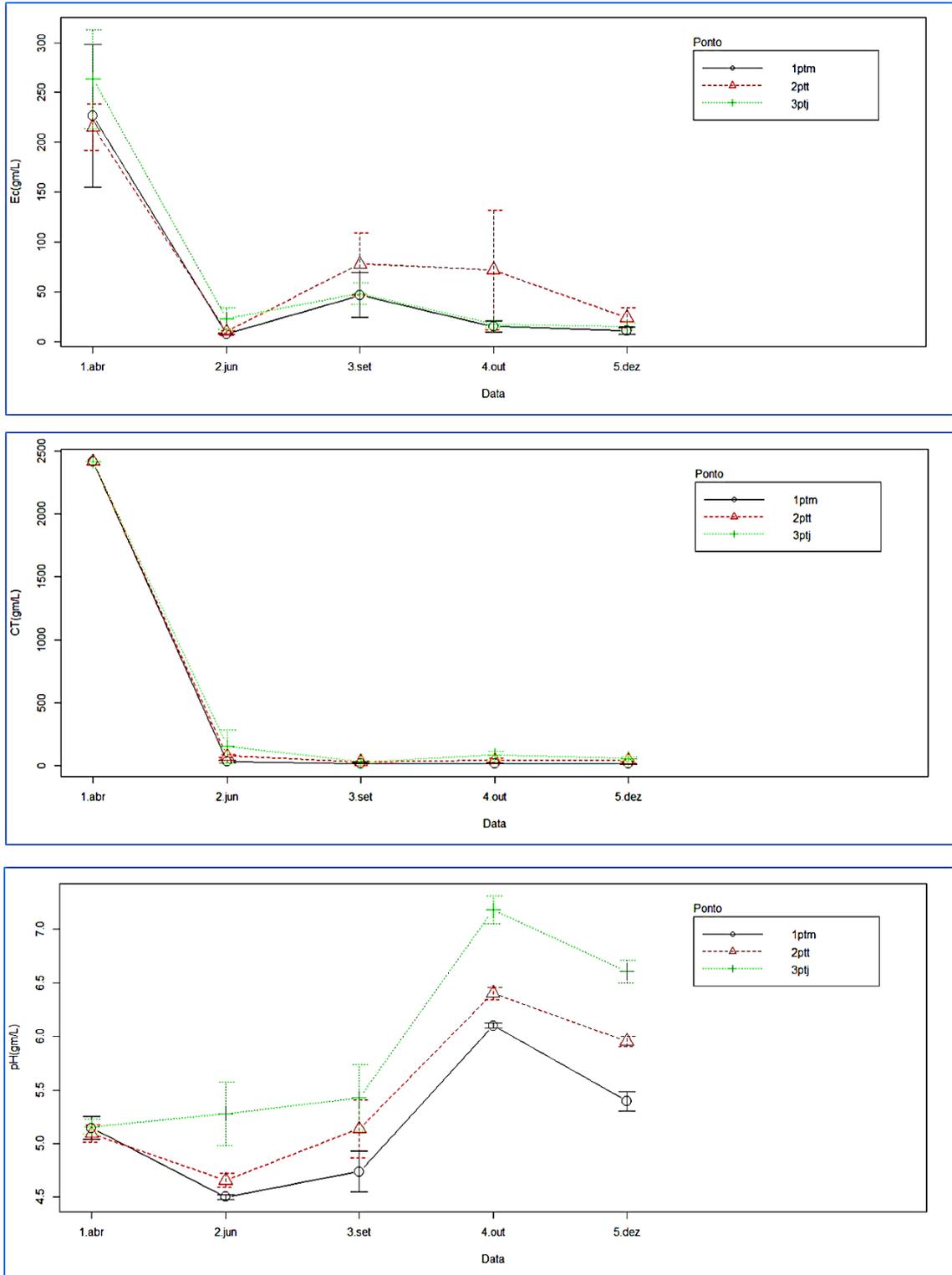


Figura 32 - Variações espaciais nos pontos a jusante (1), a montante (2) e piscicultura de tanque-rede (3) para *Escherichia coli* (Ec), coliformes totais (CT) e pH, com relação ao período de cada coleta, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). pH ($p > 0,05$); Ec e CT ($p < 0,05$).

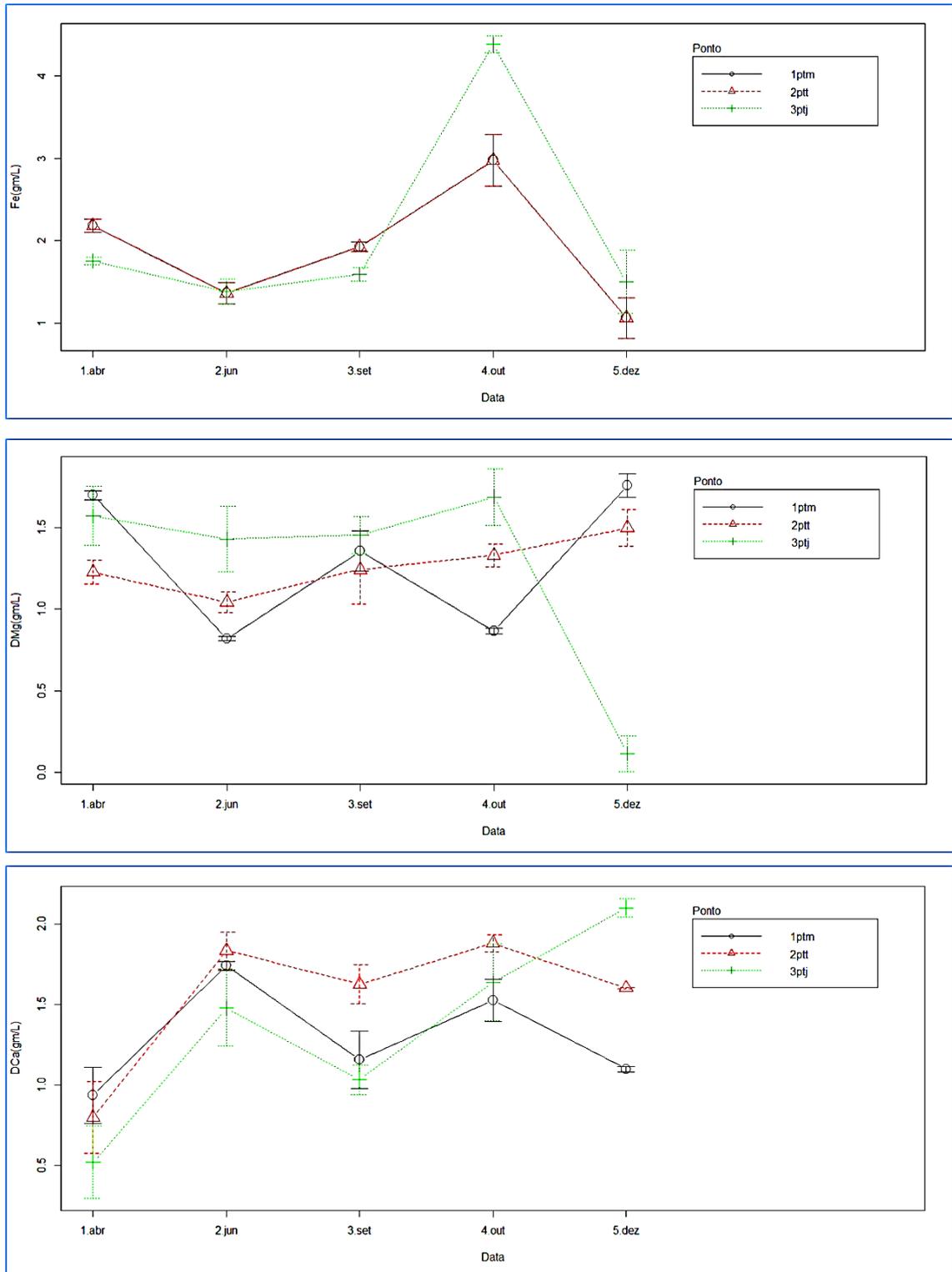


Figura 33 - Variações espaciais nos pontos a jusante (1), a montante (2) e piscicultura de tanque-rede (3) para ferro (Fe), cálcio (DCa) e magnésio (DMg), com relação ao período de cada coleta, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). DMg e Fe ($p > 0,05$); DCa ($p < 0,05$).

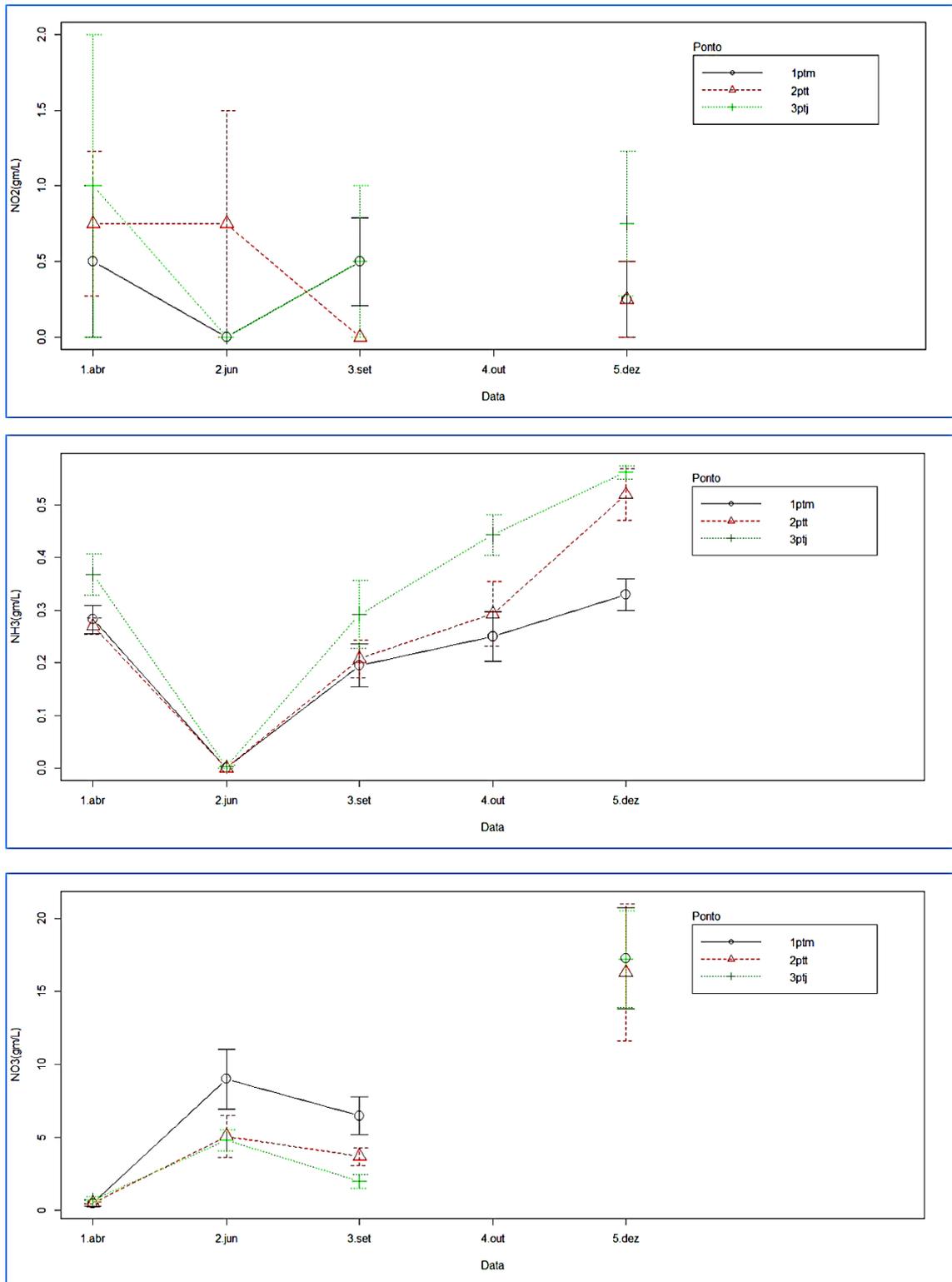


Figura 34 - Variações espaciais nos pontos a jusante (1), a montante (2) e piscicultura de tanque-rede (3) para nitrito (NO₂), amônia (NH₃) e nitrato (NO₃), com relação ao período de cada coleta, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). NO₂, NO₃ e NH₃ ($p > 0,05$).

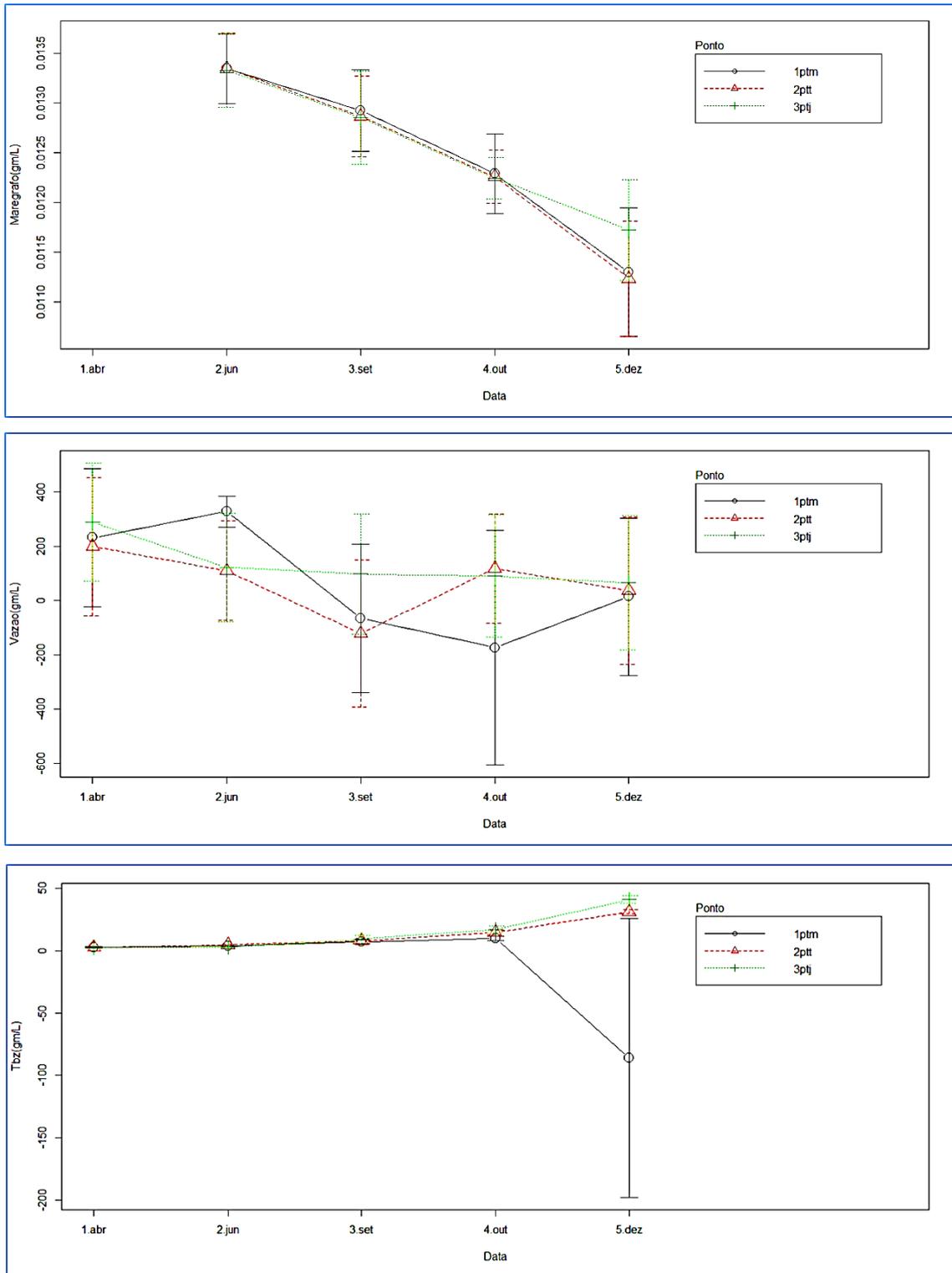


Figura 35 - Variações espaciais nos pontos a jusante (1), a montante (2) e piscicultura de tanque-rede (3) para marégrafo, vazão e turbidez (Tbz), com relação ao período de cada coleta, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). Marégrafo, Vazão e Tbz ($p > 0,05$).

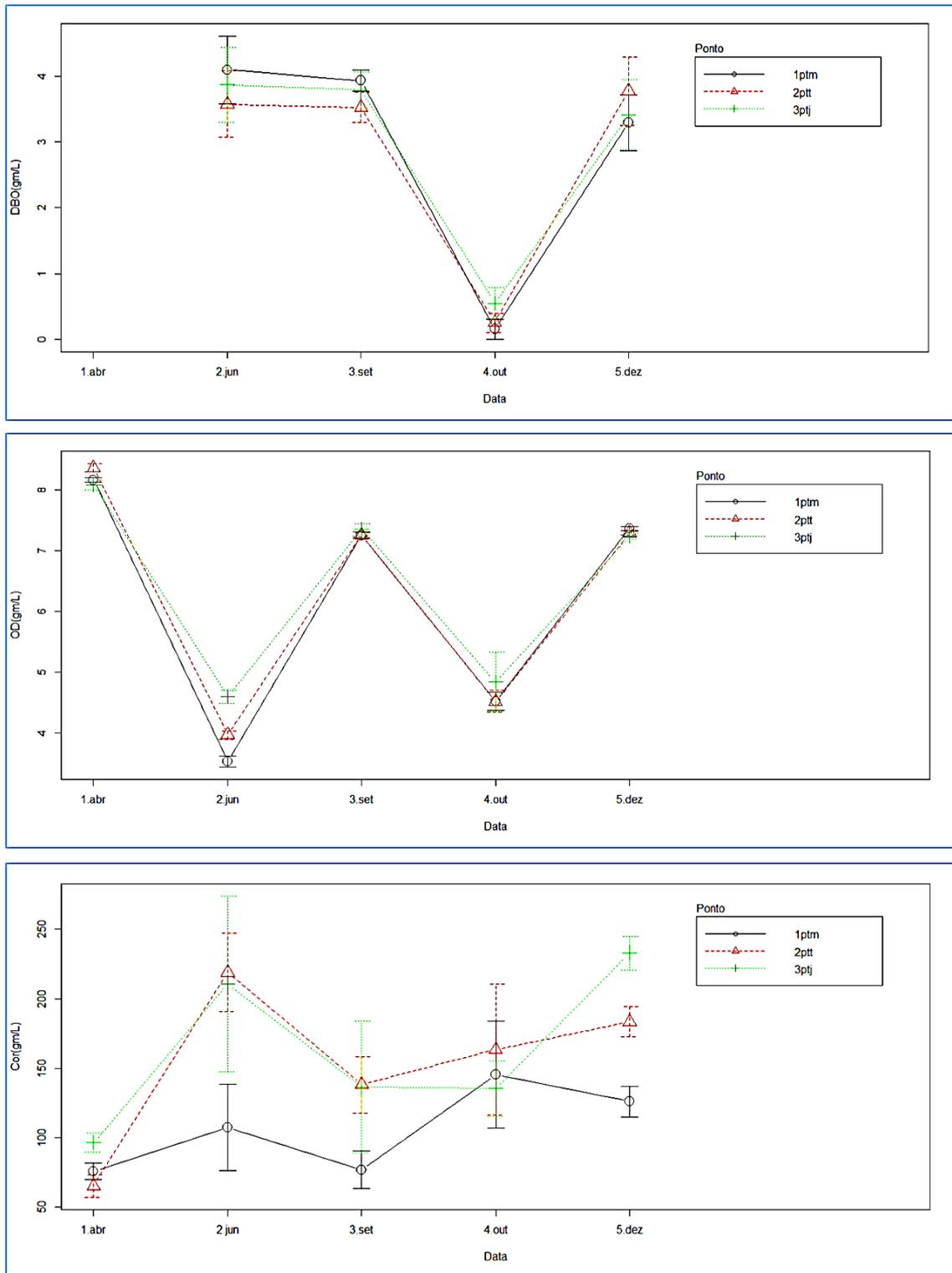


Figura 36 - Variações espaciais nos pontos a jusante (1), a montante (2) e piscicultura de tanque-rede (3) para demanda bioquímica de oxigênio (DBO), oxigênio dissolvido (OD) e cor, com relação ao período de cada coleta, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). OD ($p>0,05$); DBO e Cor ($p<0,05$).

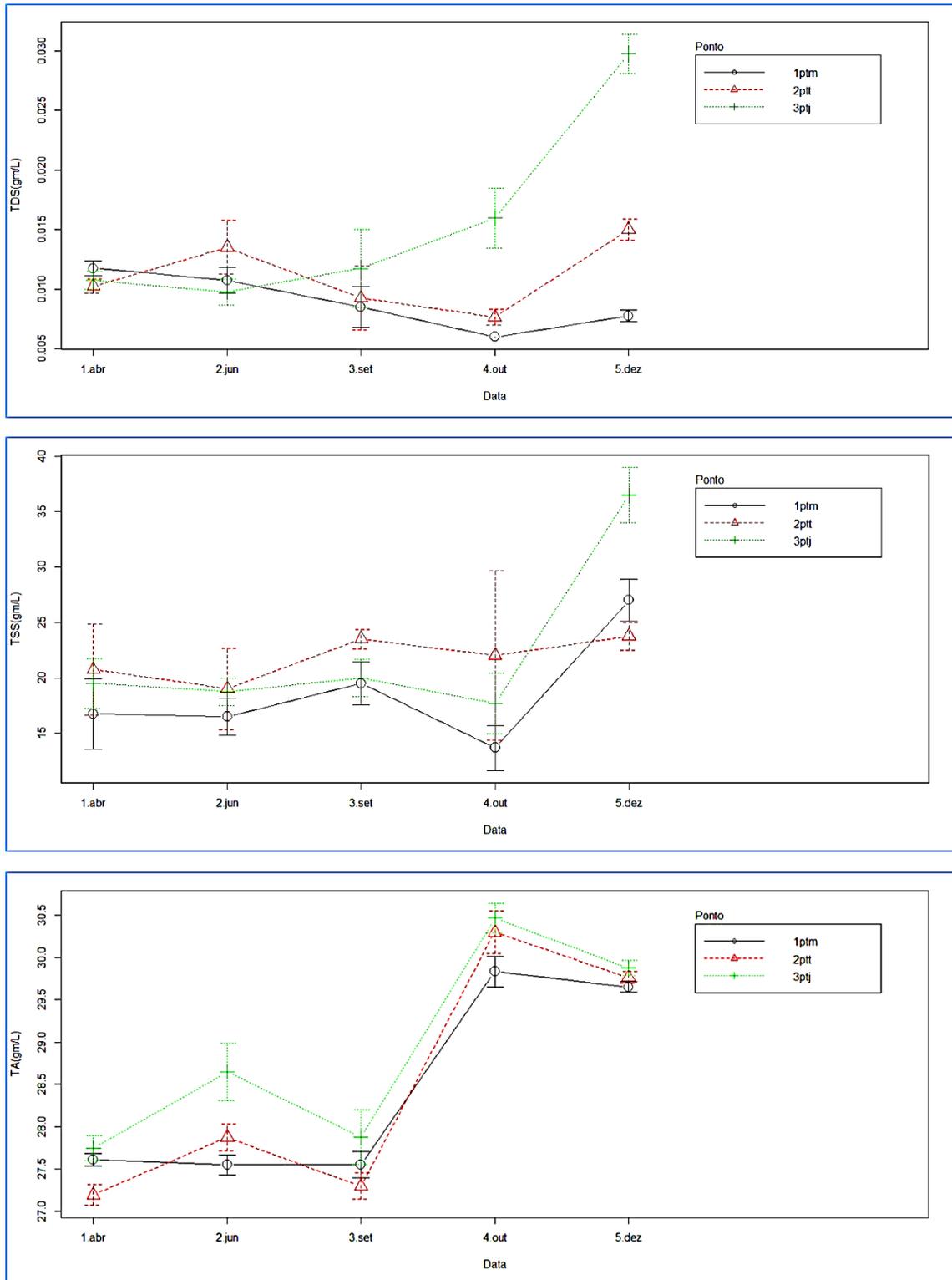


Figura 37 - Variações espaciais nos pontos a jusante (1), a montante (2) e piscicultura de tanque-rede (3) para sólidos totais dissolvidos (TDS), sólidos suspensos totais (TSS) e temperatura da água (TA), com relação ao período de cada coleta, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). TA ($p > 0,05$); TDS e TSS ($p < 0,05$).

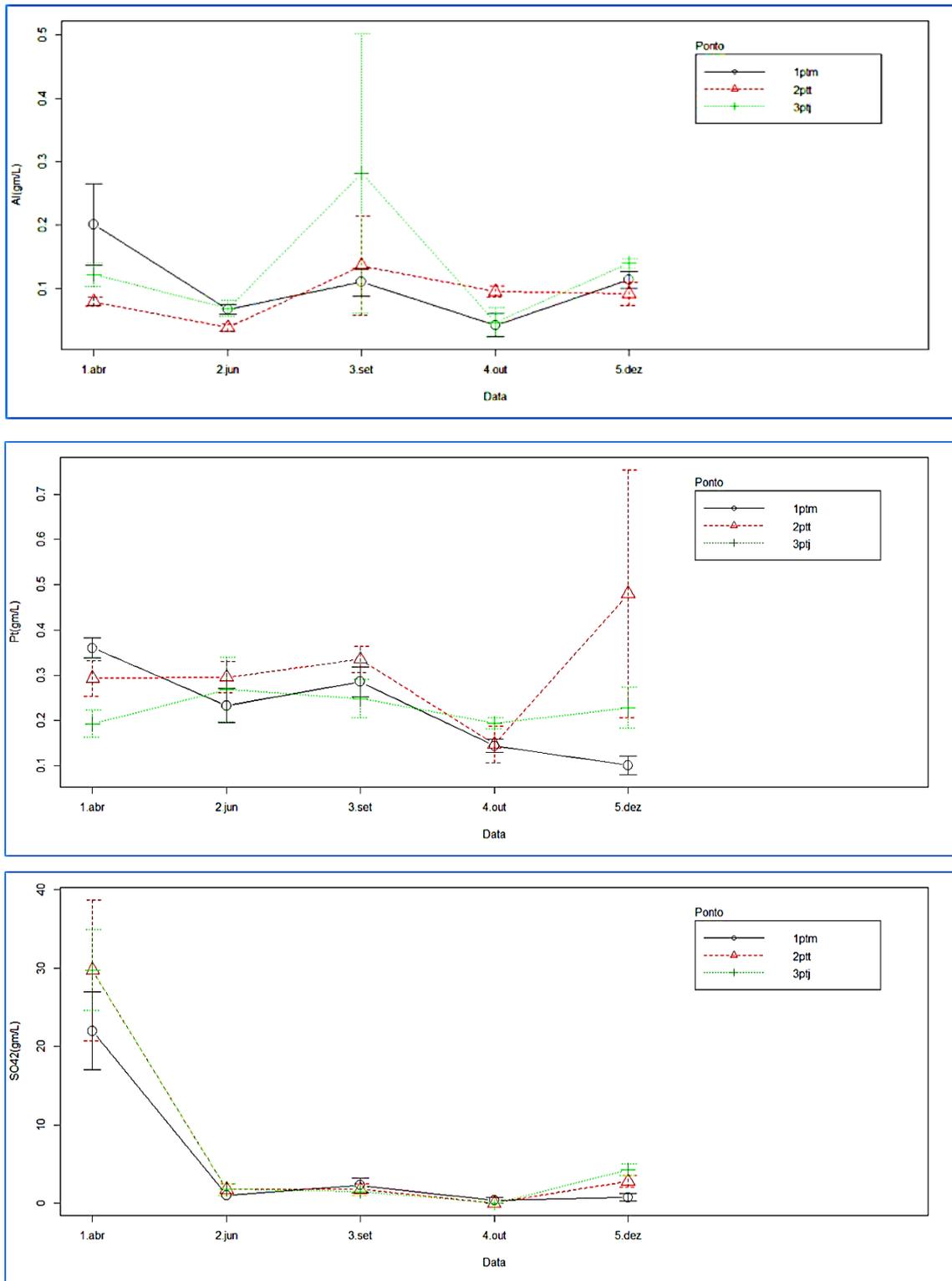


Figura 38 - Variações espaciais nos pontos a jusante (1), a montante (2) e piscicultura de tanque-rede (3) para alumínio (Al), fósforo total (Pt) e sulfato (SO₄₂), oxigênio dissolvido (OD) e cor, com relação ao período de cada coleta, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). Pt e SO₄₂ ($p > 0,05$); Al ($p < 0,05$).

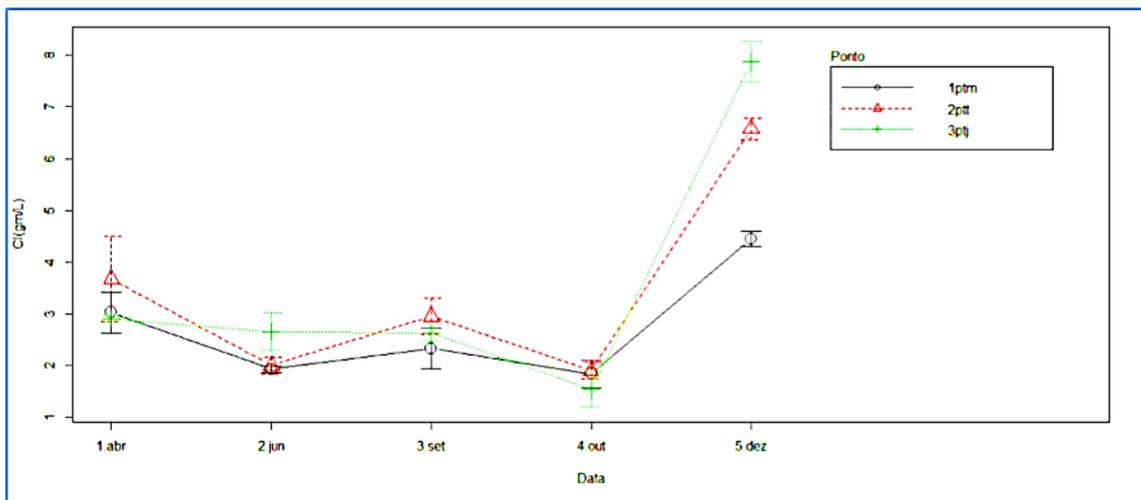


Figura 39 - Variações espaciais nos pontos a jusante (1), a montante (2) e piscicultura de tanque-rede (3) para cloreto (Cl⁻), com relação ao período de cada coleta, da água do Rio Matapi, Estado do Amapá (Brasil). Cl⁻ (p>0,05)

Análise de Componentes Principais (PCA), sem transformação das variáveis originais, foi utilizada para avaliar aproximadamente a importância das variâncias "reduzidas" e proporcionais acumulativas, resultando em PC1 \approx 37%, PC2 \approx 11% e PC3 \approx 8%. Isto é, o primeiro componente explica 37% da variância total das variáveis, enquanto que os eixos 2 e 3 explicam cumulativamente 47% e 55%, respectivamente. Os "loadings" foram significativos para a Componente 1 com destaque para (CE, Ca, -Mg, CT, -Ec, TDS - com variância proporcional de 17%), Componente 2 (Cl, Cor, -Ec, Fe, NO₃, pH, Temperatura - com variância proporcional de 16%) e Componente 3 (Cl, NH₃, OD, pH e TSS - com variância proporcional de 15,8%). Portanto, todas as três componentes apresentam valores aproximados (circulares), com teste $\chi^2 = 195,26$ com 168 graus de liberdade e $p = 0.0736$ ($p > 0,05$, no limite da significância). Ou seja, quando agrupados os parâmetros explicam diferentes proporções de variância, sendo estas autoexplicativas.

Em geral, de acordo com a média dos pontos em relação aos parâmetros de qualidade da água e a hidrodinâmica, observa-se diferenças significativas entre valores de concentração quando comparados os 3 pontos investigados, principalmente em abril (pH, Cor, E.coli, NO₃ e P_i).

Um resumo de uma análise multivariada de variância (MANOVA) mostrou que quando são consideradas os fatores (ponto de coleta, tratamento, mês e hora da campanha) em relação a todos as demais variáveis de qualidade da água, os resultados foram significativos: ponto de amostragem ($p = 0.005075^{**}$), "trat" - fase da maré ($p = 0.028323^*$), mês

da amostragem ($p < 0,01$ ***) e hora da amostragem ($p = 0,044215^*$). Todos estes fatores somados ou independentes apresentam significância ($p < 0,05$) em relação à qualidade global da água. Contudo, os efeitos mais significativos sobre a variação da qualidade da água foram: mês (Sazonalidade) e o ponto (Estações de Monitoramento - variações espaciais reduzidas, mas significativas). Para avaliarmos os efeitos de interação entre os fatores (ponto de amostragem, tratamento, mês e hora) foi necessário modificar os parâmetros da MANCOVA (multiplicativos ou tipo interativo, por exemplo, ponto*hora+mês (contribuição das interações entre local e hora da coleta e o período sazonal). Deste modo, obtivemos os seguintes resultados: ponto ou variação espacial ($p = 0,003087^{**}$), hora ou fase do ciclo da maré ($p = 0,008899^{**}$), mês ou sazonalidade ($p < 0,01$ ***) e interações entre localização e ciclo da maré - ponto: hora ($p = 0,090934$, ou $\approx 90\%$ de significância).

Uma terceira análise complementar foi executada para avaliar somente os efeitos de dois fatores independentes: ponto de amostragem e período sazonal (mês) e suas potenciais interações. Os resultados da MANOVA foram os seguintes: variação espacial no limite da significância ($p = 0,0537$, ou $\approx 94,7\%$ de significância). Porém, os resultados indicaram novamente a forte significância da sazonalidade ($p = 0,001897^{**}$).

Em contrapartida a ANCOVA mostrou que há efeitos individuais significativos (e aditivos) de cada um desses fatores, mas não foi observada nenhuma interação entre estes fatores quando analisados conjuntamente.

A figura 40 mostra a variação da vazão em um único ciclo de maré, em abril de 2015, período chuvoso. Os valores positivos da vazão indicam escoamento da maré vazante. De modo contrário, valores negativos significam maré ascendente (enchente). Valores próximos de zero indicam preamar ou baixa mar (inflexão ou inversão dos fluxos). Sua importância é evidente em relação a qualidade da água, pois durante as inversões de marés ($Q \approx 0 \text{ m}^3/\text{s}$) freqüentemente inicia-se um forte processo de hidrossedimentação. Isto é "oportunidade" em que as partículas maiores (TSS) tendem a se sedimentar no fundo do leito do rio. Como pode ser observado na Figura 40, há intervalos de tempo relativamente curtos, entre 15 a 20 minutos, e logo depois dá-se início a outro ciclo de maré com reversão do fluxo (por exemplo, no tempo = 06:19:00 até 06:33:24 e 10:19:25 até 10:35:29).

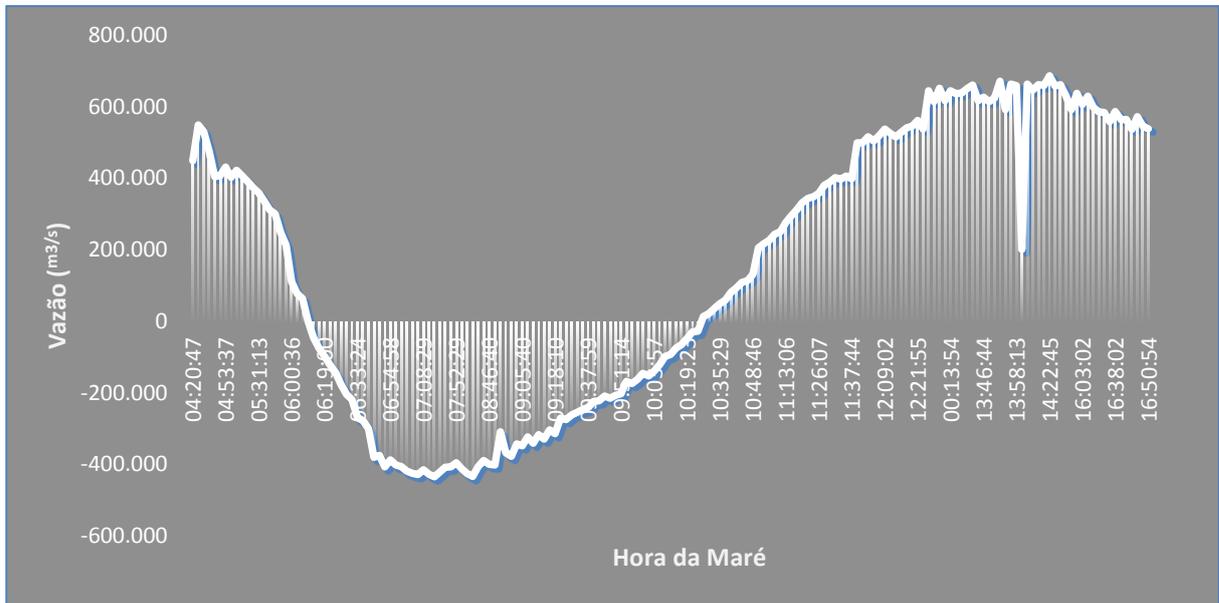


Figura 40 - Variação da descarga líquida (Q - m^3/s) medida em abril/2015 na seção de monitoramento da piscicultura de tanques-rede instalada no Rio Matapi, estado do Amapá (Brasil).

DISCUSSÃO

De acordo com os resultados obtidos, onde os dados de cada parâmetro em cada ponto de coleta variaram significativamente tanto espacial quanto sazonalmente, e não seguiram uma linearidade, julgamos em parte a hipótese 1 como verdadeira, pois vimos que há outros fatores que alteram a qualidade da água e não somente a criação de peixes em tanques-rede, propriamente dita.

Para a hipótese 2, confirma-se também por conta que nos períodos chuvosos os parâmetros sofreram maior variação, e a sazonalidade do ambiente também ajudou na alteração dos dados, porém não tanto, quanto os fatores antrópicos.

A intensificação dos processos de eutrofização leva a alterações de pH, possibilitando o aumento da toxicidade do amoníaco não ionizado (NH_3) e nitrito (NO_2) no ambiente aquático (SÁ, 2012; GORLACH-LIRA *et. al* 2013; BRITO, 2013; ABREU, 2014; SILVA, 2015). A eutrofização é um dos fatores que podem afetar o cultivo de peixes em tanque-rede, devido às alterações na qualidade da água causadas por elevadas concentrações de nutrientes, principalmente, nitrogênio e fósforo (TACON and HALWART, 2007; BUENO *et. al.*, 2013).

Neste estudo, cerca de 90% dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos da água do Rio Matapi estavam fora dos valores de referência indicados como favoráveis à aquicultura, recomendados pela Resolução n.º. 357, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2005), ou apresentavam amplas e frequentes variações temporais. Foi observado tanto na

avaliação espacial quanto sazonal (período chuvoso e estiagem) e que no trecho de estudo a concentração de nutrientes medidas próximas aos tanques-rede apresentou diferenças entre si. Esses reflexos devem-se provavelmente à alteração da qualidade da água por qualquer tipo de degradação tais como poluição orgânica, fezes de peixes ou mesmo restos de alimentos ou influências difusas do ambiente de entorno (PINHEIRO *et. al.*, 2008; SÁ, 2012) e/ou processos de respiração dos peixes e processos biogeoquímicos fortemente atuantes no ambiente (WARD *et. al.*, 2013), além da presença de matéria sólida suspensa e/ou dissolvida. Porém, o Rio Matapi é um corpo d'água com múltiplos usos (moradias, distrito industrial, portos, agricultura, outros), cujas atividades têm potenciais riscos aos ecossistemas aquáticos. Assim, deve ser recomendado o monitoramento constante de variáveis hidrológicas e biológicas, para garantir a segurança sanitária do cultivo de tanque-rede, evitando a elevação de coliformes totais, *E. coli* e amônia.

O fósforo é o principal fator poluente da produção de peixes (BEVERIDGE, 1984; LI *et. al.* 1994; LIN and ZHANG, 1995; SÁ, 2012) e tem um efeito significativo na eutrofização do ambiente aquático (JONES and LEE, 1982; KETOLA, 1982; KELLY, 1992; SÁ, 2012). Os níveis de fósforo no ambiente deste estudo apresentaram poucas variações entre os três locais monitorados.

A variação de pH da água do Rio Matapi foi de 4,3 a 7,4, abaixo da faixa ideal 6,5-9,0 para a produção de peixes (SÁ, 2012) e mostrou poucas variações sazonais. Entretanto, os ambientes aquáticos amazônicos são, em geral, de água ácida devido à decomposição de material orgânica (OLIVEIRA and CUNHA, 2014; ABREU and CUNHA, 2015). A temperatura da água nos três locais de amostragem apresentou variação sazonal, mas as variações espaciais, sazonais ou entre os locais não foram significativas. Além disso, nos meses mais quentes do ano os valores de nitrato aumentaram, provavelmente devido ao efeito da temperatura sobre a nitrificação (DEMIR *et. al.*, 2001). Porém, as concentrações de nitrito não variaram entre as estações sazonais investigadas, mas a amônia e nitrato podem diferir entre estações próximas (DEMIR *et. al.*, 2001). A dinâmica de transporte e decomposição cinética de nutrientes, gerando amônia e nitrito podem afetar o cultivo de peixes, pois interações desses com fatores ambientais podem influenciar na taxa de conversão alimentar e reduzir o ganho de peso (GORLACH-LIRA *et. al.* 2013).

Baixos níveis de OD foram encontrados nos meses de junho e outubro nos três locais investigados. Porém, no local da instalação dos tanques-redes os resultados podem ser devido a um aumento da demanda bioquímica de oxigênio para as atividades fisiológicas dos peixes estocados em elevadas densidades. O consumo de oxigênio dissolvido por uma população de

peixe em cultivo pode ser significativo (SÁ, 2012). Também pode ser em decorrência de um aumento da carga de matéria orgânica no local, a partir dos resíduos metabólicos de alimentação dos peixes, que também exige elevadas concentrações oxigênio dissolvido para ser degradados ou particulados (SÁ, 2012; WARD *et. al.*, 2013). De acordo com Esteves (1998), na estação chuvosa há frequentemente aumento da concentração de material orgânico dissolvido e em suspensão no meio aquático, contribuindo então para a redução do oxigênio e transparência da água em lagos tropicais, o que não ocorreu na bacia do Rio Matapi. Assim, tal variação afeta os outros locais amostrados, à jusante e à montante, dependendo do fluxo e sentido da maré e demanda natural do consumo de oxigênio (CUNHA *et. al.*, 2004; BRITO, 2013). Todavia, estudos conduzidos em reservatórios mostram estabilidade nos parâmetros físicos e químicos da água (GORLACH-LIRA *et. al.*, 2013; FEIDEN *et. al.*, 2015), mostrando assim uma diferença e complexidade na dinâmica quando comparados ao ambiente do presente estudo, que sofre significativo e constante efeitos das marés diárias do Rio Amazonas, somados aos efeitos hidrometeorológicos da bacia do Rio Matapi. Em contraste, o tempo de renovação da água é menor em reservatórios, pois depende das características geomorfológicas, hidráulicas e hidroclimáticas locais de menor turbulência e velocidade (BÁRBARA *et. al.*, 2010; CUNHA *et. al.*, 2011; SILVA, 2015).

A condutividade elétrica é um potencial indicador de eutrofização no ambiente aquático (WARD *et. al.*, 2015). Porém, em regiões tropicais, este parâmetro é afetado principalmente pelas características geoquímicas da região e normalmente pode estar relacionado com processos de mistura entre diferentes corpos de água (Esteves, 1998). Além disso, como a precipitação pluviométrica causa uma diluição de íons na água, a condutividade elétrica tende a reduzir na estação chuvosa e aumentar na estação de estiagem (ALVES and BACCARIN, 2005; HENRY *et. al.*, 2005). No local de instalação de tanques-rede no Rio Matapi, a condutividade elétrica apresentou elevada variação, não observada nos demais locais.

Neste estudo, assim como outros similares, mostrou-se que ambientes de cultivo de peixes são caracterizados por flutuações de parâmetros físico-químicos e indicadores microbiológicos, devido as cargas de nutrientes, alterações tróficas, características climáticas e outros fatores (BACCARIN *et. al.*, 2005; DEGEFU *et. al.*, 2011; SANTOS *et. al.*, 2012). Conseqüentemente, esse processo tende a influenciar a qualidade microbiológica da água do ecossistema a piscicultura de tanque-rede está instalada (GORLACH-LIRA *et. al.* 2013). Na região estuarina do Rio Amazonas e seus afluentes, no Estado do Amapá, relativa abundância de bactérias tem sido observada na água por contribuição difusa das bacias (CUNHA *et. al.* 2004), o que poderia somar e refletir no cultivo de peixes em tanque-rede e no ambiente do

entorno, dependendo da carga de resíduos produzidos. Porém, aparentemente este fato não ocorreu na presente investigação, haja vista o anormalmente seco período de precipitação em toda a Amazônia em 2015. Todavia, o ambiente fluvial aqui estudado necessita de um monitoramento sistemático, uma vez que é extremamente dinâmico e complexo, e cujos processos de assimilação e dispersão de resíduos e efluentes recebidos são pouco conhecidos (CUNHA *et. al.*, 2011).

Os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos estudados mostraram que a variação temporal não foi significativamente afetada pela precipitação sazonal, provavelmente devido ao atraso do escoamento em relação a precipitação - tempo de residência dependentemente da morfologia e tamanho da bacia hidrográfica (CUNHA *et. al.*, 2012). Porém, em geral, alterações são influenciadas pela sazonalidade na bacia, principalmente em relação ao sistema de precipitação, atividade biológica resultante de poluição antrópica e influência das marés do Rio Amazonas (CUNHA *et. al.*, 2004; SOUSA e CUNHA, 2010; PEREIRA *et. al.*, 2014).

Todavia, no Rio Matapi, percebe-se perturbações da qualidade da água devido à presença de outras fontes de poluição, sensivelmente perceptíveis nesta região estuarina (CUNHA *et. al.*, 2004; PEREIRA *et. al.*, 2014), frequentemente atribuídas a falta de infraestrutura de saneamento básico e impactos ambientais decorrentes de poluição difusa nas bacias hidrográficas ou no entorno. Principalmente aqueles próximos de áreas urbanas, periurbanas e industriais, como é o caso do Rio Matapi (CUNHA *et. al.*, 2004).

Por outro lado, como essa região estuarina é caracterizada como de ambientes costeiros de transição que, além de serem inundadas pelas marés, incluindo-se o trecho do Rio Matapi, pode ser influenciado também por diferentes regimes energéticos tais como as descargas de água da própria bacia de drenagem do Rio Amazonas (MIRANDA *et. al.*, 2002), que mantém a capacidade de dispersão, diluição e autodepuração desses corpos d'água, por isso apresentam características peculiares do ambiente. Assim, as características dos fenômenos e processos hidrodinâmicos são resultados das interações hidrológicas complexas entre a água, canal de escoamento e cobertura de vegetação, e por estes motivos são relativamente variáveis no tempo e espaço (CUNHA *et. al.*, 2004).

A precipitação pluviométrica, em combinação com os efeitos das marés do Rio Amazonas desempenham um papel importante na qualidade da água, tanto direto quanto indiretamente, como já foi observado aqui. Mas, a precipitação está intimamente relacionada com os processos hidrológicos que controlam a hidrodinâmica em combinação com as marés semidiurnas do Rio Amazonas, as quais são co-responsáveis pela dinâmica de transporte de

nutrientes e matéria em suspensão a partir das zonas terrestres e sistemas de afluentes naturais (PINHEIRO *et. al.*, 2008; BRITO, 2013; CUNHA *et. al.*, 2012).

O tempo de residência da água é também uma componente que contribui com o período ou tempo de retenção de nutrientes e poluentes na água. Todos estes fatores podem contribuir ou alterar a dinâmica dispersiva no ecossistema aquático, tanto em menor ou maior grau de interferência (MALLASEN *et. al.*, 2012).

Por exemplo, as figuras 41 e 42 simulam o comportamento de plumas de poluentes se dispersando próximas da foz do Rio Matapi, região do Distrito Industrial de Santana, em quatro cenários: duas fontes distintas e contínuas de poluentes (combustível derramando no meio do rio, por exemplo), (i) no início da vazante, (ii) próximo da baixa-mar, (iii) início da enchente e (iv) próximo da baixa-mar. Cunha *et. al.* (2011) observou em suas simulações que, é extremamente complexa a previsão do comportamento dessas plumas devido o comportamento hidrodinâmico, recirculação e turbulência locais. Além disso, mostrou que dependendo do local de monitoramento, por exemplo quatro observadores de diferentes posições em menos de 7 km entre si e em relação ao ponto de monitoramento virtual, notaram diferentes respostas no comportamento da concentração dos poluentes, o que eleva sobremaneira o nível de incerteza e interpretação deste tipo de análise, inclusive experimental.

O referido panorama, sugere que a abordagem observacional ou experimental do escoamento e sua influência nos tanques-rede instalados no Rio Matapi, é necessária na avaliação de impactos, visto que a descarga líquida ou a velocidade da corrente influencia a maioria dos mais importantes processos de mistura e o transporte de massa nesses habitats aquáticos tropicais (MUSTE *et. al.*, 2010; SOUZA *et. al.*, 2011).

Em resumo, as simulações obtidas das figuras 41 e 42 (Cunha *et al.*, 2011) podem ser consideradas como boas aproximações ou sínteses dos fenômenos hidrodinâmicos e da qualidade apresentados experimentalmente na presente investigação. Isto é, visualmente, é o que se observa em situações reais nestes ambientes complexos e dinâmicos.

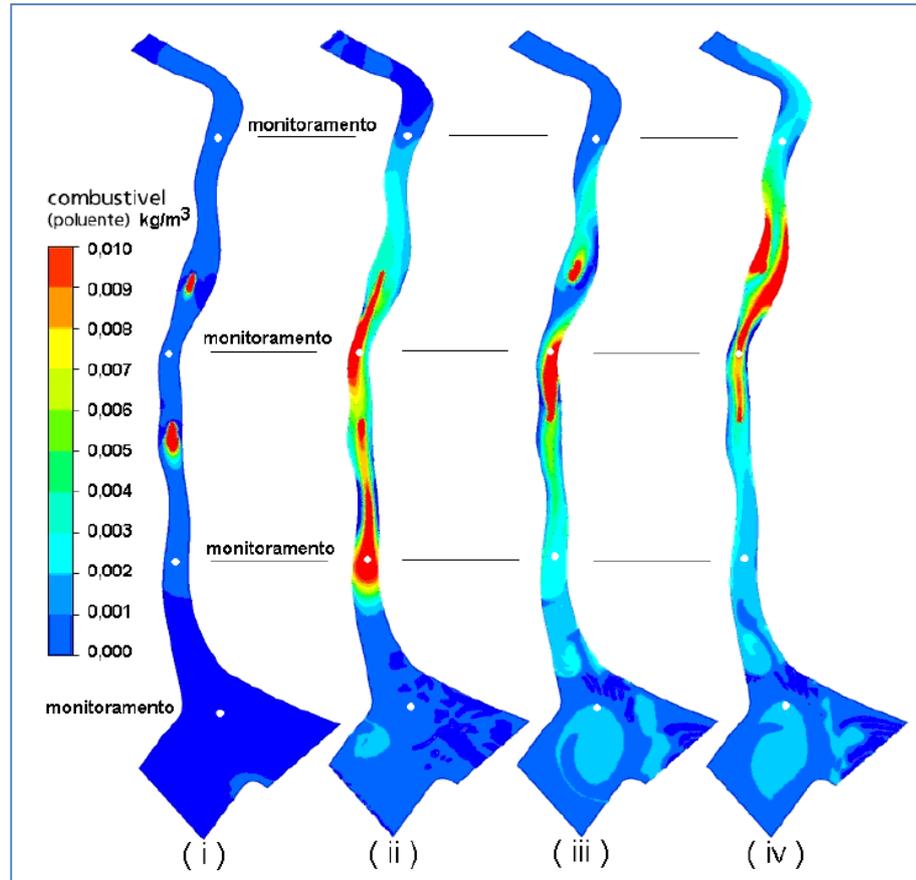


Figura 41 – Simulação de processos hidrodinâmicos acoplados à dispersão de plumas de poluentes em cinco pontos de monitoramento (virtual) em um ciclo de maré próximo e a jusante da área de instalação do cultivo em de tambaqui em tanque-rede (círculo amarelo superior). Fonte: Cunha *et. al.* (2011).

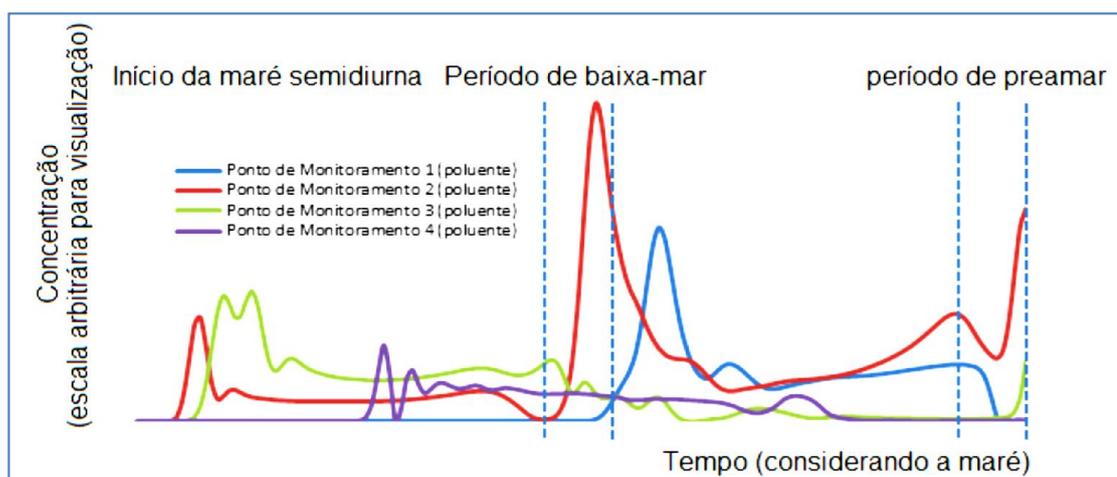


Figura 42 - Percepção de quatro diferentes observadores virtuais em relação a variação da concentração de poluentes (simulada) em um ciclo de maré semidiurno no Rio Matapi, 15 km a jusante da área da piscicultura de tanque-rede. Fonte: Cunha *et. al.* (2011).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados e análises de tópicos anteriores, são apresentadas as seguintes conclusões:

1) As variações espaço-sazonais da qualidade da água, ao longo do período de estudo, são significativas. Assim, durante as etapas de produção de piscicultura do Projeto Tecnologias para Produção do Tambaqui em Sistemas de Tanque-Rede -TecRede, é possível aceitar a hipótese de variação da qualidade da água, mas depende de qual parâmetro da qualidade da água está sendo avaliado.

2) Por outro lado, aceita-se a hipótese de que apenas 3 sítios de amostragem de água (monitoramento) são suficientes para identificar significativas variações espaço-sazonais (ptt, ptm e ptj - ≈ 15 km de distância entre si no Rio Matapi). Isto significa que, as variações dos parâmetros seguem um padrão espacial-temporal extremamente complexo (turbulência, recirculação, elevação da coluna d'água, etc), governado tanto pela hidrodinâmica do escoamento quanto pelo período sazonal do ciclo hidrológico da bacia hidrográfica. Estes parâmetros interagem com a dinâmica hidrológica do Rio Amazonas, tais como fontes pontuais e difusas de matéria orgânica/inorgânica do entorno, influenciando também em potenciais processos de dispersão de microrganismos indicadores sanitários (CT e Ecoli), de elevado interesse sanitário e ao cultivo em tanques-rede. Nesses casos, observou-se que, em 90% das amostras, havia pelo menos um parâmetro da qualidade da água em não conformidade (CONAMA, 357/2005) para corpos d'água classe II. Isto é, ao uso da água para fins de abastecimento, por exemplo, para sistemas de tratamento, até o nível secundário.

3) Os impactos ambientais mais visíveis e ou significativos sobre a qualidade da água ocorreram principalmente em períodos chuvosos (abril), nas marés enchentes, podendo ser intensificados pelo período sazonal, "Data", e etapa da fase da maré - "Trat", principalmente próximo do local crítico ou de maior intensidade dos tanques-rede (ptt).

4) Especialmente, apesar do ponto ptm (montante) encontrar-se mais próximo dos tanques-rede - ptt, houve maior correlação ($r^2 = 0,85$) entre os pontos ptt x ptj (distantes 9 km entre si) do que ptt x ptm ($r^2 = 0,65$) (distantes 6,0 km entre si). Isto significa que, pela posição geográfica do local de cultivo (ptt), neste ano climático muito seco, ocorreu mais influência de variação da qualidade da água pelo Rio Amazonas do que dos trechos de montante da própria bacia do Matapi.

AGRADECIMENTOS

À **Deus** por me proporcionar esta oportunidade.

À minha família, a qual amo muito, pelo carinho, paciência e incentivo.

Ao *Prof.º Dr. Alan Cavalcanti da Cunha* pela oportunidade, orientação, sugestões e discussões no decorrer do trabalho, desde a elaboração do projeto até a redação final, que foram fundamentais para o desenvolvimento desta dissertação.

Ao *Prof.º Dr. Marcos Tavares Dias* pelo apoio na co-orientação do trabalho contribuindo com sugestões para melhoria dos estudos, e mediação do apoio logístico

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq: 475614/2012-7) e Embrapa (Projeto Tec Rede), pelo apoio financeiro, e pela bolsa de produtividade em pesquisa para Marcos Tavares-Dias e Alan Cavalcante Cunha.

Ao Projeto Tecnologias para produção do tabaqui em sistemas de tanque-rede, coordenado pelo meu co-orientador e professor Marcos Tavares Dias, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento - **EMBRAPA**, pelo apoio logístico e financeiro, no deslocamento até local de estudo e pela oportunidade de somar informações à este projeto.

Ao Laboratório de Química, Saneamento e Modelagem de Sistemas Ambientais (**LQSAMSA/UNIFAP**) pelo apoio logístico e laboratorial.

À Companhia de Água e Esgoto do Amapá - **CAESA**, pela disponibilização do laboratório para realização das análises químicas da água.

REFERÊNCIAS

- ABREU, C. H. M. 2014. Variações Espaço-Sazonais da Qualidade da Água e da hidrodinâmica em Ecossistemas Aquáticos Sob Impactos Ambientais no Baixo Rio Jari - AP. Dissertação de Mestrado. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical. 91-97.
- ASHMORE P.; BERGERON N.; BIRON P.; BUFFIN-BÉLANGER T.; CHURCH M.; RENNIE C.; ROY A. M. 2010. Instruments and Techniques for Hydrodynamic and Morphologic Characterization of Streams, Chapter 7 in Gravel Bed Rivers 7: Developments in Earth Surface Processes. New York. 580. ISBN: 978-0-470-68890-8
- BÁRBARA, V. F.; CUNHA, A. C.; SIQUEIRA, E. Q. 2010. Monitoramento sazonal da qualidade da água do rio Araguari/AP. Revista de Biociências, UNITAU. **16** (1):57-72.
- BEVERIDGE, M. 1996. Cage aquaculture. Oxford: Fishing News Books. 2:346
- BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. 1993. Manual de tratamento de águas residuárias. São Paulo: CETESB.
- BRITO, D. C. 2013. Dinâmica do rio Amazonas : biogeoquímica da pluma de montante à foz. Tese (Doutorado em Biodiversidade Tropical) - Universidade Federal do Amapá.
- BRITO, D. C. B. 2008. Aplicação do Sistema de Modelagem da Qualidade da Água qual 2kw em Grandes Rios: O Caso do Alto e Médio Rio Araguari - AP. Dissertação. Mestrado em Biodiversidade Tropical, Universidade Federal do Amapá. 152.
- BUENO, G. W; OSTRENSKY, A.; CANZI, C.; MATOS, F. T.; ROUBACH, R. 2013. Implementation of aquaculture parks in Federal Government waters in Brazil. Reviews in Aquaculture, 5. 7:1-12.
- CAPOD - University of St Andrews. MANOVA e MANCOVA. Disponível em: <<https://www.st-andrews.ac.uk/media/capod/students/mathssupport/MANOVA.pdf>>. Acesso em: 06 de maio de 2016.
- CHAGAS, E. C.; LOURENÇO, J. N. P.; GOMES, L. C.; VAL, A. L. 2003. Desempenho e estado de saúde de tambaquis cultivados em tanques-rede sob diferentes densidades de estocagem. In: Urbinati, E.C.; Cyrino, J.E.P. (Eds.). XII Simpósio Brasileiro de Aqüicultura. Aquabio, Jaboticabal, SP. 83-93.
- CONGRESSO DA ASSOC. BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 8. Imbé-RS.
- CRAWLEY, M. J. 2007. The R Book. John Wiley & Sons Ltd. Imperial College London at Silwood Park, UK. 948 (ISBN: 978-0-470-97392-9)

- CUNHA, A. C., PINHEIRO, L. A. R., CUNHA, H. F. A., SCHULZ, H. E., BRASIL JR., A. C. P. E SOUZA, E. B. 2011. Simulação da Hidrodinâmica e Dispersão de Poluentes com Monitoramento Virtual no Rio Matapi - AP. Revista de estudos ambientais (Online) - REA. **13** (2):18-32.
- CUNHA, A. C.; BRITO, D. C ; BRASIL JUNIOR, A. C. ; PINHEIRO, L. A. R. ; CUNHA, H. F. A. ; KRUSCHE, A. V. 2012. Challenges and Solutions for Hydrodynamic and Water Quality in Rivers in the Amazon Basin. In: Harry E. Schulz; André L. A. Simões; Raquel J. Lobosco. (Org.). Hydrodynamics: Natural Water Bodies. Book 3. 1ed. Janeza Trdine 9, 51000 Rijeka,: InTech - Croacia. **3**:67-88
- CUNHA, A. C; CUNHA, H. F. A.; BRASIL JR., A. C. P; DANIEL, L. A; SCHULZ, H. E. 2004. Qualidade microbiológica da água de rios de áreas urbanas e periurbanas no baixo Amazonas: o caso do Amapá. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro. **9** (4):322-328.
- DAGNELIE, P. Théorie et méthodes statistiques. Paris: Agronomiques de Gembloux, 1977. **2**:248
- DIEMER, O.; NEU, D. H.; FEIDEN, A.; LORENZ, E. K.; BITTENCOURT, F.; BOSCOLO, W. R. 2010. Dinâmica nictimeral e vertical das características limnológicas em ambiente de criação de peixes em tanques-rede. Ciência Animal Brasileira. **11** (1):24-31.
- DORSCH, S.; KAUFMANN, B.; SCHAIBLE, U.; PROHASKA, E.; WOLF, H. and MODROW, S. 2001. The VP1 - unique region of parvovirus B19 amino and variability and antigenic stability. Journal of General Virology **82**: 199-9
- ECHANIZ, S.; VIGNATTI, A. 2009. Determinación del estado trófico y de la capacidad de carga de embalse casa de piedra. BioScriba. **2** (1):41-51.
- FEIDEN, I. F.; OLIVEIRA, J. D. S.; DIEMER, O.; FEIDEN, A. 2015. Qualidade da água, capacidade de suporte e melhor período para criação de peixes em tanques-rede no reservatório de Salto Caxias. EngSanitAmbiental. **20** (4):589-594 (DOI: 10.1590/S1413-41522015020040114845).
- FIELD, A. 2012. Analysis of Covariance (ANCOVA). Discovering Statistics. Disponível em: www.statisticshell.com/docs/ancova.pdf. 14
- FREITAS, F. C.; SILVA, E. N. S.; DARWICH, A. J. 2011. Influência do cultivo de peixes em tanque-rede nos teores de nitrogênio e fósforo no lago Tupé, Manaus-AM. BioTupé: Meio Físico, Diversidade Biológica e Sociocultural do Baixo Rio Negro, Amazônia Central. Manaus. **3**.

- GUENNE, B. E.; STRASSE, M. A. 2009. O Transporte de sedimento em suspensão no rio Amazonas – o papel do leito médio e maior na avaliação da capacidade de transporte dos sedimentos finos em regime não-permanente. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.
- IAP – INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. 2012. Aspectos legais da Tilápia do Nilo em sistemas de cultivo em tanques redes nos reservatórios da bacia do Rio Iguaçú. Encontro, Boa Vista da Aparecida, Paraná.
- LIU, Y.; YANG, P.; HU, C.; GUO, H. 2008. Water quality modeling for load reduction under uncertainty: a Bayesian approach. *Water Quality*. **42** (13):3305-3314.
- MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M; KJIERFVE. 2002. Princípios da Oceanografia Física de Estuários. São Paulo, EditoraEdusp. 414
- MUSTE, M; KIM, D.; MERWADE, V. 2010. Modern Digital.
- OLIVEIRA, B. S. S.; CUNHA, A. C. 2014. Correlação entre qualidade da água e variabilidade da precipitação no sul do Estado do Amapá. *Revista Ambiente & 39. Água*. Taubaté. **9** (2). (ISSN 1980-993X – DOI: 10.4136/1980-993X).
- PEREIRA, N. N.; BOTTER, R. C.; FOLENA, R. D.; PEREIRA, J. P. F. N.; CUNHA, A. C. 2014. Ballastwater: A threat to the Amazon Basin. *Marine Pollution Bulletin*. **84**:330-338.
- PINHEIRO. L. A. R. 2008. Simulação Computacional Aplicada à Dispersão de Poluentes e Análises de Riscos à Captação de Água na Orla de Macapá-AP. *Pesquisa & Iniciação Científica Amapá*. Macapá. **1** (4):58-61.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0. URL: <http://www.R-project.org>
- REIS, E. 1997. Estatística Multivariada Aplicada. Lisboa: Edições Sílabo.
- ROSMAN, P. C. C. 2012. Referência Técnica do Sistema de Modelagem Hidrodinâmica e Ambiental - SisBaHiA. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro-RJ.
- SILVA, G. C. X. 2015. Alterações de qualidade da água devido ao enchimento de reservatório pós-fragmentação do escoamento natural livre. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Tropical) - Universidade Federal do Amapá. 90
- SILVA, M. S.; KOSUTH, P. 2000. Comportamento das Vazões do Rio Matapi.
- SOUZA, E. B.; CUNHA, A. C. 2010. Climatologia de Precipitação no Amapá e Mecanismos Climáticos de Grande Escala. In: CUNHA, A.C., SOUZA, E.B. e CUNHA, H.F.A. (Org.). Tempo, Clima e Recursos Hídricos: Resultados do Projeto REMETAP. 1ed. Macapá - AP: Instituto de Pesquisas Cient. e Tec. Estado do Amapá – IEPA. **1**:177-196.

- STONES, M. C.; HOTCHKISS, R. H. 2007. Evaluating velocity measurement techniques in shallow streams. *Journal of Hydraulic Research*. **45** (6):752-762.
- TACON, A. G. J.; HALWART, M. 2007. Cage aquaculture: a global overview. In M. Halwart, D. Soto and J.R. Arthur (eds). *Cage aquaculture - Regional reviews and global overview*. 1-16. FAO Fisheries Technical Paper. (498). Rome, FAO. 241.
- THOMAS, Jerry R. e NELSON, Jack K. (1996) *Research methods in physical activity*. **3** Champaign : Human Kinetics.
- TUNDISI, J. G. 2005. Gerenciamento integrado de bacias hidrográficas e reservatórios estudos de caso e perspectivas. In: NOGUEIRA *et. al.* *Ecologia de reservatórios: impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascata*. S. Carlos: Rima. 1-21.
- VASCONCELOS, S. Análises dos Componentes Principais (PCA). Disponível em: <http://www2.ic.uff.br/~aconci/PCA-ACP.pdf>. Acesso em: 06 de maio de 2016.
- VERA-CALDERÓN, L. E. V.; FERREIRA, A. C. M. 2004. Estudo da economia de escala na piscicultura em tanque-rede, no estado de São Paulo. *Informações Econômicas*. **34** (1):7-17.
- WARD, N. D.; KEIL, R. G.; MEDEIROS, P. M.; BRITO, D. C.; CUNHA, A. C.; DITTMAR, T.; YAGER, P. L.; KRUSCHE, A. V.; RICHEY, J. E. 2013. Degradation of terrestrially derived macromolecules in the Amazon River. *Nature Geoscience* (Print). **6**:530-533.
- WARD, N. D.; KRUSCHE, A. V.; SAWAKUCHI, H. O.; BRITO, D. C.; CUNHA, A. C.; MOURA, J. M. S.; SILVA, R.; YAGER, P. L.; KEIL, R. G. ; RICHEY, J. E. 2015. The compositional evolution of dissolved and particulate organic matter along the lower Amazon River-Óbidos to the ocean. *Marine Chemistry* (Print). **177**:244-256.
- WASHINGTON, D. C. 2005. APHA - American Public Health Association; AWWA - American Water Works Association; WPCF - Water Pollution Control Facilities. *Standard methods for examination of water and wastewater*. **21**.

7. CONCLUSÃO

Estes resultados são uma contribuição científica e um subsídio ao pacote tecnológico do projeto tanques-rede e como base de estudos de impactos ambientais desta modalidade de cultivo em ecossistemas aquáticos da Amazônia Estuarina.

Por intermédio deste trabalho de pesquisa, é possível inferir que muitos são os fatores que interferem na qualidade da água no trecho específico de estudo, mas também extrapolam uma longa extensão a montante do ponto ptt no Rio Matapi.

Da análise dos dados coletados infere-se que a qualidade da água é afetada por fatores externos ao cultivo da piscicultura em tanques-rede, podendo-se destacar a degradação ambiental do entorno causada pela expansão urbana e rural, presença constante de moradias ribeirinhas, presença do Porto de Santana e o Distrito industrial de Santana. Todos estes atores, conjuntamente, são influenciados direta e indiretamente pelo Rio Amazonas a partir dos fluxos de marés.

Neste cenário, a presente investigação é uma contribuição básica, mas fundamental, para a análise ambiental e avaliação do estado atual da qualidade da água nestes ambientes com vistas ao fomento e suporte de pesquisas do cultivo da piscicultura em tanques-rede. Portanto, é imprescindível o estudo da qualidade da água e o seu estado atual, como uma referência ou linha básica de estudos futuros na área da piscicultura. Por outro lado, as informações geradas na presente pesquisa pode ser extremamente útil como referência à análise ambiental do entorno e sua relação com o sistema tanques-rede, pois a qualidade da água alterada ou poluída pode, de modo inverso, influenciar espacial e sazonalmente a produtividade e/ou a eficiência de processos de cultivo nos ambientes de várzea.

O sucesso das atividades de cultivo dependerá do comportamento hidrodinâmico que interage com os parâmetros da qualidade da água, pois a interpretação sobre as condições ambientais podem ser explicadas por muitas variáveis que, por seu turno, variam no espaço e no tempo ao longo de um único período sazonal.

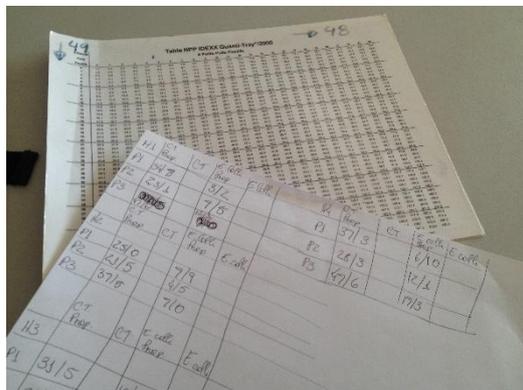
APÊNDICE 1

Tanques-rede em operação ao largo e próximos das margens do rio para a realização das operações de cultivo. Água proveniente do próprio curso do rio.



APÊNDICE 2

Procedimentos de coleta da água para análises *in loco* e posteriores





ANEXO 1

E-mail de Notificação de Submissão do Artigo no Anais da Academia Brasileira de Ciências
(Qualis A2 em biodiversidade)

13-Apr-2016

Dear Miss Araújo Souza:

Your manuscript entitled "WATER QUALITY AND HYDRODINAMIC MONITORING AS SUBSIDIES FOR CAGE CULTURE OF TAMBAQUI (COLOSSOMA MACROPOMUM) IN RIVER INFLUENCED BY TIDES IN EASTERN AMAZON – AMAPÁ/BRASIL" has been successfully submitted online and is presently being given full consideration for publication in the Anais da Academia Brasileira de Ciências.

Your manuscript ID is AABC-2016-0209.

Please mention the above manuscript ID in all future correspondence or when calling the office for questions. If there are any changes in your street address or e-mail address, please log in to ScholarOne Manuscripts at <https://mc04.manuscriptcentral.com/aabc-scielo> and edit your user information as appropriate.

You can also view the status of your manuscript at any time by checking your Author Center after logging in to <https://mc04.manuscriptcentral.com/aabc-scielo>.

Thank you for submitting your manuscript to the Anais da Academia Brasileira de Ciências.

Sincerely,

Anais da Academia Brasileira de Ciências Editorial Office

QUALIDADE DA ÁGUA E HIDRODINÂMICA NO RIO MATAPI COMO SUBSÍDIOS
À PISCICULTURA DE TANQUE-REDE EM REGIÃO ESTUARINA DO BAIXO
AMAZONAS - ESTADO AMAPÁ (BRASIL)

Luany Jaine de Araújo SOUZA¹

José da Costa FELIX NETO¹

Marcos TAVARES-DIAS^{1,2}

Alan Cavalcanti da CUNHA¹

¹Universidade Federal do Amapá – UNIFAP. Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical. Rod. Juscelino Kubitscheck, Km-02. Jardim Marco Zero. Macapá-AP. CEP 68903-419. E-mail: luanyjaine.souza@gmail.com.

²Embrapa Amapá, Laboratório de Sanidade de organismos Aquáticos. Rod. Juscelino Kubitscheck. Km-05, nº 2.600, Caixa Postal 10, CEP 68903-419, Macapá-AP. E-mail: marcos.tavares@embrapa.br.

RESUMO

O cultivo de peixes em tanques-rede é uma atividade não somente sensível à poluição da água do entorno onde estão instalado, mas também apresenta potencial capacidade de causar danos ao meio ambiente aquático. Neste sentido, o monitoramento da qualidade da água (QA) apresenta uma dupla vantagem: a) conhecer a dinâmica e a variação dos parâmetros de QA e b) identificar as potenciais ameaças poluidoras à sua operação, sendo de interesse à gestão e gerenciamento dos ecossistemas aquáticos potencialmente impactados. Neste contexto, o objetivo principal da pesquisa é estudar as variações de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos da QA em um trecho do Rio Matapi-AP, utilizado no cultivo da espécie regional *Colossoma macropomum* (tambaqui) em tanques-rede. A metodologia de investigação compreendeu duas abordagens chave: a) monitoramento da QA em 3 sítios amostrais (ptj, ptt e ptm) em ≈ 15 km de extensão do rio para avaliar variações espaço-temporal desses parâmetros (pH, OD, DBO, NO_3P , etc); b) medidas de descargas líquidas (vazão) com uso de técnicas acústicas (Acoustic Doppler Profiler - ADP), como gradientes hidrodinâmicos de influência sobre a qualidade da água (hidrológico-sazonal e marés semidiurnas). Uma série de análises estatísticas indicaram influência sazonal hidrodinâmica ($p < 0,05$) sobre os parâmetros da QA e reduzida influência espacial em relação aos impactos de cultivo em tanques-rede. Análises multivariadas de co-variância (ANCOVA) indicaram significativas influências entre os períodos hidrológico-sazonal, a fase da maré e local de monitoramento, incluindo-se interações entre as mesmas ($p < 0,05$). Concluímos que a criação de peixes em tanques-rede é uma técnica ambientalmente viável, cujo sucesso dependerá da variação hidrodinâmica e da QA no ambiente. Potenciais impactos ambientais, decorrentes do lançamento de resíduos no entorno, também são fatores relevantes a serem considerados, haja vista que o manuseio da produção aquícola depende de outros fatores ambientais externos, porém inter-relacionados, requerendo prioritariamente o monitoramento para avaliar potenciais influências de contaminação/degradação em simultaneidade nestes ecossistemas dinâmicos, pois são muito sensíveis a impactos antrópicos.

Palavras-chave: monitoramento, gradientes hidrológicos, externalidades ambientais; interações multivariadas; várzea; impacto ambiental

**HYDRODYNAMIC AND WATER QUALITY IN THE RIVER MATAPI AS SUBSIDIES FISH
FARMING CAGES IN ESTUARINE REGION OF LOWER AMAZONAS - STATE
AMAPÁ (BRAZIL)**

Luany Jaine de Araújo SOUZA¹

José da Costa FELIX NETO¹

Marcos TAVARES-DIAS^{1,2}

Alan Cavalcanti da CUNHA¹

¹*Universidade Federal do Amapá – UNIFAP. Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical. Rod. Juscelino Kubitscheck, Km-02. Jardim Marco Zero. Macapá-AP. CEP 68903-419. E-mail: luanyjaine.souza@gmail.com.*

²*Embrapa Amapá, Laboratório de Sanidade de organismos Aquáticos. Rod. Juscelino Kubitscheck. Km-05, nº 2.600, Caixa Postal 10, CEP 68903-419, Macapá-AP. E-mail: marcos.tavares@embrapa.br.*

ABSTRACT

The cultivation of fish in cages and is an activity not only sensitive to water pollution in the surroundings where they are installed, but also presents potential ability to cause damage to the aquatic environment. In this sense, the monitoring of water quality (WQ) offers a double advantage: the) know the dynamic and the variation of the parameters of WQ and b) identify potential pollution threats to its operation, being of interest to management and management of aquatic ecosystems potentially impacted. In this context, the main objective of this research is to study the changes in physical, chemical and microbiological parameters of WQ on a stretch of the river Matapi-AP, used in the cultivation of the species *Colossoma macropomum* (tambaqui) regional in cages. The research methodology comprised two key approaches: a) WQ monitoring in 3 sampling sites (ptj, ptt and ptm) in ≈ 15 km of the River to assess spatial and temporal variations of these parameters (pH, OD, DBO, NO₃, P, etc); b) discharge liquid measures (flow) using acoustic techniques (Acoustic Profiler Doppler-ADP), such as gradients of hydrodynamic influence on the WQ (seasonal-hydrological and tides semidiurnas). A series of statistical analyses indicated seasonal-hydrodynamic influence ($p < 0.05$) on the parameters of the WQ and reduced influence in relation to spatial impacts of cultivation in cages. Multivariate analyses of co-variância (ANCOVA) indicated significant influences among the seasonal-hydrological periods, the stage of the tide and site monitoring, including interactions between them ($p < 0.05$). We conclude that fish in cages is an environmentally viable technique, whose success will depend on the hydrodynamic and variation of WQ in the environment. Potential environmental impacts arising from the release of waste in the environment, are also relevant to consider, given that the handling of aquaculture production depends on external environmental factors, however interrelated, requiring primarily the monitoring to assess potential contamination/ degradation influences on these ecosystems dynamic concurrency, however very sensitive to anthropogenic impacts.

Keywords: monitoring, hydrologic gradients, environmental externalities, multivariate, lowland interactions, environmental impact.

INTRODUÇÃO

A população mundial tem crescido de maneira acelerada, gerando proporcionalmente a necessidade de produção de alimentos de qualidade e quantidade capaz de suprir a esta demanda. No Brasil, a atividade de piscicultura vem se destacando com uma produção de 1,4 milhões de toneladas em 2014 (IGBE, 2015).

O cultivo em tanque-rede é um sistema no qual os peixes são mantidos em estruturas flutuantes, compostas por uma armação rígida revestida por redes. Esse sistema de produção intensiva é uma alternativa com menor investimento e maior rapidez de implantação (VERA-CALDERÓN & FERREIRA, 2004; TACON & HALWART, 2007). Contudo, para produção nessa modalidade de piscicultura intensiva são necessárias condições ambientais adequadas, especialmente da qualidade da água (VERA-CALDERÓN & FERREIRA, 2004; FREITAS *et. al.*, 2011; FEIDEN *et. al.*, 2015).

O sistema de cultivo em tanques-rede é uma modalidade que utiliza corpos d'água naturais para obter elevada produtividade usando altas taxas de densidade de estocagem de peixe (CHAGAS *et. al.*, 2003), os quais são confinados e mantidos em volume limitado, possibilitando a livre e constante circulação de água. Na Amazônia, o uso de peixes nativos como o tambaqui (*Colossoma macropomum*), são de grande interesse ambiental e econômico para implementação sustentável deste tipo de atividade aquícola, especialmente em tanque-rede (CUNHA *et. al.*, 2011).

Nos cultivos intensivos, principalmente em tanque-rede, a alimentação dos animais pode causar severo impacto ambiental, decorrente do aumento da carga de nutrientes ou poluentes oriundos da piscicultura, podendo gerar o enriquecimento (eutrofização), que pode ser benéfico até o ponto em que não interfira na saúde da população de peixes e qualidade do ambiente natural (ECHANIZ and VIGNATTI, 2009; FREITAS *et. al.* 2011; BUENO *et. al.*, 2013). A gestão e monitoramento da qualidade hídrica são fundamentais para os usos múltiplos dos ambientes naturais, especialmente para a geração de indicadores ambientais como no caso do cultivo de peixes em tanques-rede (TACON and HALWART, 2007; ECHANIZ and VIGNATTI, 2009; BUENO *et. al.*, 2013; FEIDEN *et. al.*, 2015).

Caso ocorram problemas na qualidade de água próximo ou no entorno da área de cultivo, alguns tipos de poluentes podem inviabilizar a produção ou reduzir a produtividade da piscicultura em tanque-rede (TACON and HALWART, 2007; BUENO *et. al.*, 2013).

O baixo estuário amazônico, e sua zona costeira no Estado do Amapá (Brasil), são ambientes hidrossedimentares com características biogeoquímicas peculiares (WARD *et. al.*, 2013), com complexa influência hidrológica sazonal do Rio Amazonas e Oceano Atlântico

(KIERVE *et. al.*, 2006). Por estes motivos apresenta características hidrodinâmicas e de qualidade da água interdependentes, pois, por exemplo, apresenta forte influência de marés semidiurnas, com recirculação do escoamento, tornando bastante complexas as condições de monitoramento de descargas líquidas e substâncias presentes na água (MIRANDA *et. al.*, 2002; CUNHA *et. al.*, 2011; CUNHA *et. al.*, 2012). Tais fatores sugerem a necessidade de análise integrada entre os parâmetros físicos (inclusive os hidrodinâmicos), químicos e microbiológicos, visto que cultivo de peixes em tanques-rede é uma atividade cujo sucesso depende efetivamente das condições do ambiente (TACON and HALWART, 2007; FREITAS *et. al.*, 2011).

Portanto, é necessário considerar também as marés, as quais influencia a qualidade da água que, por seu turno, afetam os sistemas produtivos primários e os ambientes dos sistemas tanques redes. Isto explica o porquê do estudar de sistemas de cultivo integrados aos ambientes próximos de zonas agropecuárias, urbanas, e até industriais. Isto é, o ambiente do entorno potencialmente pode ser uma ameaça ambiental ao cultivo em sistema tanque-rede, principalmente quando há fontes de poluentes relativamente próximas do sítio de produção. Por exemplo, há uma década tem sido realizado monitoramento de alguns rios próximos de Macapá e Santana, onde já foram observadas algumas concentrações elevadas de coliformes totais (CT) e fecais devido a poluição urbana (CUNHA *et. al.*, 2004, PINHEIRO *et. al.*, 2008; CUNHA *et. al.*, 2012).

Partindo-se então desses pressupostos, a presente investigação objetiva responder à seguinte questão: Ocorrem significativas variações espaciais-temporais dos parâmetros de qualidade da água durante o período de produção da piscicultura referente ao projeto Tecnologias para Produção do Tambaqui em Sistemas de Tanque-Rede - TecRede? Em caso positivo, apenas 3 seções de monitoramento são suficientes para capturar tais variações (jusante - ptj, tanque-rede - ptt e montante - ptm), ao longo de ≈ 15 km de um trecho estudado do Rio Matapi?

Assim, os objetivos da presente investigação, é estudar a variação da qualidade da água em área estritamente influenciada pelo cultivo da piscicultura em tanque-rede, mediante monitoramento em 6 campanhas (março/2015 a dezembro/2015 em três pontos amostrais (ptj, ptt e ptm) no trecho pré-definido do rio Matapi.

MATERIAL E MÉTODOS

Local e período de estudo

O Rio Matapi nasce no município de Porto Grande, Estado do Amapá (Brasil) e flui em direção ao sul, desaguardo no canal do Norte do delta do Rio Amazonas, próximo da Ilha de Santana (Anexo - Figura 1). A área de investigação escolhida foi um trecho de ≈ 15 km divididos em 3 pontos principais de coleta (piscicultura de tanque-rede - ptt, um ponto a 6 km a montante - ptm, e um ponto a 9 km a jusante - ptj). O ponto ptt encontra-se a ≈ 20 km da foz do rio Matapi, desaguardo no estuário do baixo Rio Amazonas. O ponto central (ptt) é o local onde foram executadas todas as principais fases de monitoramento hidrodinâmico e da qualidade da água porque é onde está instalado o sistema de piscicultura tanques-rede. Nos pontos ptm e ptj foram avaliadas apenas a qualidade da água.

As campanhas para coleta de amostras de água foram realizadas em março (piloto), abril, junho, setembro, outubro e dezembro de 2015. Porém, somente os dados das cinco últimas campanhas foram utilizados nas análises dos testes multicomparativos e multivariados. De acordo com a Figura 1 (Anexo), o sítio ptt é, especialmente considerado o ponto central de monitoramento hidrodinâmico e da qualidade da água. O segundo sítio (ptj) encontra-se a jusante do Rio Matapi, a ≈ 9 km de ptt e mais próximo da foz (Anexo - Figura 1). O terceiro sítio amostral (ptm) encontra-se a uma distância ≈ 6 km dos tanques-rede, totalizando ≈ 15 km de trecho de estudo.

Cinco tanques-rede estavam em operação com ≈ 130 indivíduos de tambaqui em cada tanque durante o início e desenvolvimento do presente estudo pesquisa. Também haviam outros dez tanques-redes em operação, só que com outras espécies de peixes, como pirapitinga e tambatinga (híbrido). Os tanques-rede operam próximos às margens do rio para a realização das operações de cultivo, mas também para evitar o intenso tráfego de embarcações. Deste modo, a água utilizada nos tanques provém diretamente das correntes do seu curso principal.

Procedimentos amostral e métodos de análises da qualidade da água

Os procedimentos de coleta, conservação, transporte e análise da água do Rio Matapi seguiram as recomendações da APHA (2005). Os dados de qualidade de água foram coletados entre as 6 e 18 h e 40 min, com intervalos de 3 h entre si, levando-se em consideração o ciclo da maré semidiurna local (12 h e 40 min) (CUNHA *et. al*, 2012). Na Tabela 1 estão indicados os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos analisados pelos respectivos métodos/equipamento para cada finalidade.

Como alguns dos parâmetros possuem valores máximos e/ou mínimos (VMP) estipulados pelo CONAMA, Resolução no 357/2005, esses serão usados como limite-padrão da qualidade da água em termos legais (Tabela 1).

Os parâmetros físicos utilizados nesta investigação da qualidade da água foram: cor, temperatura (TA), condutividade elétrica (CE), turbidez (Tbz) e a concentrações de sólidos que podem ser encontrados em suspensão (Sólidos Suspensos Totais - TSS) ou dissolvidos (Sólidos Totais Dissolvidos - TDS). Os parâmetros químicos foram: concentração de Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), pH (Potencial Hidrogênico), Ferro (Fe^{+2}), Alumínio (Al^{+2}), Cloreto (Cl^-) Nitrato (NO_3), Nitrito (NO_2) e Amônia (NH_3). Coliformes Totais (CT) e *Escherichia coli* (*Ec*), foram os dois parâmetros microbiológicos escolhidos para compor a pesquisa.

Procedimentos de Coleta e Análises de Dados Hidrodinâmicos: Medidas de Descarga Líquida

Para a análise da descarga líquida foi utilizado o equipamento Perfilador Acústico de Doppler (*Acoustic Doppler Profiler/ADP*), marca SonTek, modelo RiverSurveyor M9. A coleta ocorreu deslocando-se em velocidade próxima à velocidade da água, transversalmente ao rio. O equipamento divide o trajeto em três etapas: descarga líquida da margem inicial, descarga líquida do meio e descarga líquida da margem final. A profundidade dos transdutores foi definida como 0,3 m e a declinação magnética, para correções internas da bússola, como $-19,2^\circ$.

Para verificar a alteração do nível da coluna d'água durante o ciclo de maré semidiurna foi utilizado um medidor de pressão marca Onset, modelo HOBOWare U20, que registra a pressão absoluta em intervalos de tempo pré-determinados. O comando para medição é acionado através do software HOBOWare, possuindo um número fixo de medições. Assim, o intervalo de coleta define o tempo total de coleta.

Tabela 1 - Parâmetros, unidades de medida, métodos de análise e valores máximos e mínimos permitidos (VMP) pela Resolução CONAMA, 357/2005.

	Parâmetro	Unidade	Método/ Equipamento	CONAMA, 2005	Validade
Físico	Cor	mgPt L ⁻¹	Padrão de Platina-Cobalto	máx 75	
	Turbidez ²	NTU	Turbidímetro HACH	máx. 100	24 Horas
	TSS ¹	mg L ⁻¹	Fotométrico	-	7 Dias
	TDS ²	mg L ⁻¹	Fotométrico	máx. 500	2 Dias
	Temperatura	°C	Sonda Multiparâmetros YSI 556 MPS	-	
	Condutividade Elétrica ²	µScm ⁻¹	Sonda Multiparâmetros YSI 556 MPS	-	24 Horas
Químico	Oxigênio Dissolvido	mg L ⁻¹	Sonda Multiparâmetros YSI 556 MPS	≥ 5	24 Horas
	DBO _{5,20} ³	mg L ⁻¹	DBO _{5, 20} ^o	20 ^o - ≤ 5	24 Horas
	Nitrito ¹	mg L ⁻¹ N	Redução de Cádmio	máx. 10	24 Horas
	Nitrato ¹	mg L ⁻¹ N	Redução de Cádmio	máx. 10	24 Horas
	Amonia ¹	mg L ⁻¹ N	Nessler Sonda	máx. 3,7	28 Dias
	Ph	pH	Multiparâmetros YSI 556 MPS	6 - 9	
	(P) Total ¹	mg L ⁻¹	Phosver3	máx. 0,100	28 Dias
	Magnésio	mg L ⁻¹	Calmagita Colorimétrica	-	
	Cálcio	mg L ⁻¹	Calmagita Colorimétrica	-	
	Sulfato	mg L ⁻¹	Metodo Sulfaver	< 250	
	Cloreto ¹	mg L ⁻¹	Tiocianato Mercúrico	< 250	28 Dias
	Alumínio	mg L ⁻¹	AluVer	máx. 0,200	6 meses
	Ferro ¹	mg L ⁻¹	FerroVer	máx. 0,300	6 meses
Microbiológ.	CT*	CT/ ml	Substrato Cromogênico	máx. 1000/100	
	E-Coli*	E.Coli/100 ml	Substrato Cromogênico	Ausente em 100mL	

¹(DR/2800, 2005), ² (BRAILE eCAVALCANTI, 1993), ³OLIVEIRA e CUNHA (2014); ABREU (2014).

Análises Estatísticas

Todos os dados coletados geraram um *data frame* (“matriz”) de 60 x 26 variáveis (independentes, dependentes e fatores ou gradientes explicativos). O *data frame* (variáveis contínuas e categóricas) foi processado por diversos métodos multivariados e multitestes

comparativos (variações espaciais e temporais) (R CORE TEAM, 2016) com o objetivo de testar as hipóteses da presente investigação.

Previamente aos testes estatísticos (ANCOVA, Correlações de Spearman, Multicomparações de Friedman, Regressões Múltiplas Generalizadas/GLM) foram observadas algumas premissas indicadas pelos testes de avaliação da normalidade das distribuições (Wilcoxon), homogeneidade das variâncias variância (χ^2) e interdependências amostrais (Bartlett) (R CORE TEAM, 2016). Como a distribuição dos dados não apresentou distribuição normal, foram utilizadas análises não paramétricas. Portanto, sem transformação dos dados ($\log(x)$, teste z).

Aplicamos a Análise dos Componentes Principais (PCA) afim de analisar os dados usados visando sua redução, eliminação de sobreposições mais representativas de dados, e a partir de combinações lineares das variáveis originais (VASCONCELOS, 2016).

A análise de covariância (ANCOVA) foi realizada afim de reduzir o erro experimental na comparação dos tratamentos (FIELD, 2012). A análise de variância multivariada (MANOVA) foi utilizada para explorar o efeito das variáveis independentes sobre as variáveis dependentes (CAPOD, 2016). A análise multivariada de covariância (MANCOVA) foi utilizada para suprir casos em que existe mais que uma variável dependente quando é necessário o controle das variáveis independentes contínuas (CAPOD, 2016).

RESULTADOS

Entre os diferentes locais investigados e parâmetros da qualidade da água houve correlação positiva com a variação da vazão (Tabela 2), onde , a correlação do ponto a montante e ponto de jusante foi menor que as demais, como esperado, pois os ambos pontos estão mais distantes entre si em ≈ 15 km. Estes resultados mostram uma relativa equivalência espacial entre os pontos estudados.

Tabela 2: Correlação entre os pontos de coleta, de acordo com a variação da vazão.

Correlação entre os pontos de coleta					
Jusante x Tanques-Rede		Tanques-Rede x Montante		Jusante x Montante	
rs	p	Rs	p	rs	p
0,84	<0,001	0,85	<0,001	0,65	<0,001

O teste de Friedman (multicomparativo), mostrou que os parâmetros de qualidade da água e hidrodinâmicos dos três pontos de coleta (piscicultura de tanque rede, montante e jusante) sugerem variações espaciais sensíveis, porém significativas ($p < 0,001$), indicando que

biogeoquimicamente podem ser considerados distintos ou apresentam influência dos tanques-rede. Tais diferenças ($p < 0,05$) também ocorreram nas mudanças dos padrões espaciais e sazonais da qualidade da água (em geral) e no padrão hidrodinâmico, quando analisados isoladamente.

Em relação às variações espaciais, a tabela 3 descreve as amplitudes de variação de cada parâmetro, destacando os picos máximos e mínimos das amostras e em qual das três seções de monitoramento as mesmas ocorreram, bem como o período em que ocorreram. Os intervalos de confiança indicam a presença de alguns "outliers" que, ocasionalmente, infringem a norma preconizada pela Resolução CONAMA (357/2005).

Tabela 3: Descrição dos boxplots da variação de cada parâmetro.

Parâmetro	Resolução CONAMA (357/2005)	Variações		Intervalo de confiança (p=0,05)	Significativo
		Ponto/ Mín. (≈)	Ponto/Máx. (≈)		
Cor	Sim	Abr - ptt/ 50 mgPt L ⁻¹	Jun - ptm/ 300 mgPt L ⁻¹	p = 0.0099	Sim
Tbz	Sim	Set - ptj/6 NTU	Dez - ptm/ 45 NTU	p > 0,05	Não
TSS	-	Abr - ptj/ 11 mg/L ⁻¹	Dez - ptm/ 40 mg/L ⁻¹	p = 0.0079	Sim
TDS	Sim	Dez - ptj/ 0 mg/L ⁻¹	Abr - ptj/ 0,125 mg/L ⁻¹	p = 0.0924	Quase
TA	-	Jun - ptj/27°C	Dez - ptm/30°C	p > 0,05	Não
CE	-	Out - ptj/ 10 µScm ⁻¹	Dez - ptm/ 70 µScm ⁻¹	p = 0.0171	Sim
OD	Sim	Jun - ptj/ 3,4 mg L ⁻¹	Abr - ptt/ 8,5 mg L ⁻¹	p > 0,05	Não
DBO	Sim	Out - ptj/ 0 mg L ⁻¹	Abr - ptj/ 5 mg L ⁻¹	p = 0.0006	Sim
NO ₂	Sim	90%/0 mg L ⁻¹	Dez - ptm/ 2 mg L ⁻¹	p = 0.4768	Não
NO ₃	Não	Abr - ptj 0,2 mg/L ⁻¹ N	Dez - ptt/ 23 mg/L ⁻¹ N	p > 0,05	Não
NH ₃	Sim	Jun - ptj e ptt/ 0 mg L ⁻¹	Dez - ptt/ 0,6 mg L ⁻¹	p > 0,05	Não
pH	Sim	Jun - ptj/ 4,5 pH	Out - ptm/ 7,3 pH	p > 0,05	Não
Pt	Não	Dez - ptj/ 0,100 mg/L ⁻¹	Abr - ptj/ 0,370 mg/L ⁻¹	p = 0.1221	Não
DCa	-	Ab - ptj/ 0,2 mg L ⁻¹	Dez - ptm/ 2,0 mg/L ⁻¹	p = 0.0004	Sim
DMg	-	Dez - ptm/ 0 mg L ⁻¹	Dez - ptj/ 1,8 mg/L ⁻¹	p = 0.1564	Não
SO ₄ ₂	Sim	Out - ptt e ptm/0 mg/L ⁻¹	Abr - ptt/ 40 mg/L ⁻¹	p > 0,05	Não
Cl ⁻	Sim	Out - ptm/ 1,2 mg L ⁻¹	Dez - ptm/ 8 mg/L ⁻¹	p > 0,05	Não
Al	Sim	Out - ptj/ 0,03 mg L ⁻¹	Abr - ptj/ 0,300 mg L ⁻¹	p = 0.0458	Sim
Fe	Sim	Dez - ptj e ptt/ 0,8 mg L ⁻¹	Out - ptm/ 4,5 mg L ⁻¹	p > 0,05	Não
CT	Sim	Set - ptj/ 16 CT/ ml	Jun - ptm/ 250 CT/ ml	p = 0.002114	Sim
<i>E. coli</i> (Ec)		Jun - ptj/ 0 <i>E. coli</i> /ml	Abr - ptj/ 320 <i>E. coli</i> /ml	p = 0.0007	Sim
Vazão	-	Out - ptj/ -600 m ³ /s	Abr - ptj/ 600 m ³ /s	p = 0.2977	Não
Marégrafo	-	Dez - ptj/ 0,0100 m	Jun - ptm/ 0350m	p > 0,05	Não

As variações médias temporais dos diversos parâmetros da água, bem como suas amplitudes, em relação à vazão do Rio Matapi, foram monitoradas em cada período amostral sazonal (abril, junho, setembro, outubro e dezembro), seguindo uma condicional "Data", como fator norteador do teste. A maior variação ocorreu nos parâmetros DCa e DMg, independentemente do fluxo de maré (se vazando ou enchendo). Tbz, TDS, TSS, TA e NO₃ mostraram valores altos no mês de abril, considerado o mês mais chuvoso, durante o período de vazante da maré. Para o íon Al, *outliers* no mês de junho, chegou à $\approx 1 \text{ mg/L}^{-1}$, durante a vazante, para os demais meses a variação manteve-se em até $\approx 0,4 \text{ mg/L}^{-1}$ tanto na enchente quanto na vazante da maré. Os parâmetros que menos variaram foram Al e CT. Presença de *outliers* em alguns parâmetros, como: Ec e CT, ambas variáveis microbiológicas.

As variações dos parâmetros da água do Rio Matapi em relação ao ciclo de maré semidiurna apresentaram valores exatos da vazão durante a maré ascendente (maré subindo) e maré descendente. O fator norteador para este teste foi o tipo de tratamento. Os parâmetros TDS e TA apresentaram quedas em suas concentrações na água durante a maré descendente. Os íons Al e Pt mantiveram baixas concentrações durante o ciclo de maré. Altas concentrações tanto na maré ascendente como descendente foram observadas principalmente nos parâmetros DMg, DCa, OD e DBO.

Nas variações temporais dos parâmetros da água durante o ciclo de maré, observou-se a variação dos parâmetros em relação aos sítios de amostragem e localidade (jusante (ptj), montante (ptm) e piscicultura (ptt) de tanque-rede). O fator norteador para este teste foi o ponto de cada coleta. Desta maneira pudemos observar como cada parâmetro se comportou em cada um dos pontos de coleta, principalmente no ponto de coleta ptt (triângulo em vermelho), ponto este onde se encontravam os tanques-rede. Observamos que não houve tanta variação de concentração dos parâmetros com relação ao local em que foram coletados.

Análise de Componentes Principais (PCA), sem transformação das variáveis originais, foi utilizada para avaliar aproximadamente a importância das variâncias "reduzidas" e proporcionais acumulativas (Tabela 4). Todas as três componentes apresentam valores aproximados (circulares), com teste $\chi^2 = 195,26$ com 168 graus de liberdade e $p = 0,0736$ ($p > 0,05$, no limite da significância). Ou seja, quando agrupados os parâmetros explicam diferentes proporções de variância, sendo estas autoexplicativas.

Tabela 4: Análise de Componentes Principais (PCA). Avaliação das variâncias "reduzidas" e proporcionais acumulativas.

	PC1	PC2	PC3
% Variância Total	37%	47%	55%
"Loading" significativos	Sim	Sim	Sim
Destaque para	CE, Ca, -Mg, CT, -Ec e TDS	Cl, Cor, -Ec, Fe, NO ₃ , pH e TA	Cl, NH ₃ , OD, pH e TSS
Variância Proporcional	17%	16%	15,8%

Em geral, de acordo com a média dos pontos em relação aos parâmetros de qualidade da água e a hidrodinâmica, observa-se diferenças significativas entre valores de concentração quando comparados os 3 pontos investigados, principalmente em abril (pH, Cor, E.coli, NO₃ e P_i).

Um resumo de uma análise multivariada de variância (MANOVA) mostrou que quando são consideradas os fatores (ponto de coleta, tratamento, mês e hora da campanha) em relação a todos as demais variáveis de qualidade da água, os resultados foram significativos: ponto de amostragem ($p = 0.005075^{**}$), "trat" - fase da maré ($p = 0.028323^*$), mês da amostragem ($p < 0,01^{***}$) e hora da amostragem ($p = 0.044215^*$). Todos estes fatores somados ou independentes apresentam significância ($p < 0,05$) em relação à qualidade global da água. Contudo, os efeitos mais significativos sobre a variação da qualidade da água foram: mês (Sazonalidade) e o ponto (Estações de Monitoramento - variações espaciais reduzidas, mas significativas). Para avaliarmos os efeitos de interação entre os fatores (ponto de amostragem, tratamento, mês e hora) foi necessário modificar os parâmetros da MANCOVA (multiplicativos ou tipo interativo, por exemplo, ponto*hora+mês (contribuição das interações entre local e hora da coleta e o período sazonal). Deste modo, obtivemos os seguintes resultados: ponto ou variação espacial ($p = 0.003087^{**}$), hora ou fase do ciclo da maré ($p = 0.008899^{**}$), mês ou sazonalidade ($p < 0,01^{***}$) e interações entre localização e ciclo da maré - ponto: hora ($p = 0.090934$, ou $\approx 90\%$ de significância).

Uma terceira análise complementar foi executada para avaliar somente os efeitos de dois fatores independentes: ponto de amostragem e período sazonal (mês) e suas potenciais interações. Os resultados da MANOVA foram os seguintes: variação espacial no limite da significância ($p = 0.0537$, ou $\approx 94,7\%$ de significância). Porém, os resultados indicaram novamente a forte significância da sazonalidade ($p = 0.001897^{**}$).

Em contrapartida a ANCOVA mostrou que há efeitos individuais significativos (e aditivos) de cada um desses fatores, mas não foi observada nenhuma interação entre estes fatores quando analisados conjuntamente.

A figura 2 (Anexo) mostra a variação da vazão em um único ciclo de maré, em abril de 2015, período chuvoso. Os valores positivos da vazão indicam escoamento da maré vazante. De modo contrário, valores negativos significam maré ascendente (enchente). Valores próximos de zero indicam preamar ou baixa mar (inflexão ou inversão dos fluxos). Sua importância é evidente em relação a qualidade da água, pois durante as inversões de marés ($Q \approx 0 \text{ m}^3/\text{s}$) freqüentemente inicia-se um forte processo de hidrossedimentação. Isto é "oportunidade" em que as partículas maiores (TSS) tendem a se sedimentar no fundo do leito do rio. Como pode ser observado na Figura 2 (Anexo), há intervalos de tempo relativamente curtos, entre 15 a 20 minutos, e logo depois dá-se início a outro ciclo de maré com reversão do fluxo (por exemplo, no tempo = 06:19:00 até 06:33:24 e 10:19:25 até 10:35:29).

DISCUSSÃO

De acordo com os resultados obtidos, onde os dados de cada parâmetro em cada ponto de coleta variaram significativamente tanto espacial quanto sazonalmente, e não seguiram uma linearidade, julgamos em parte a hipótese de que a qualidade da água varia significativamente tanto espacial quanto sazonalmente, e os efeitos gerados pelos efluentes provenientes desse cultivo tendem a modificar o ecossistema natural do entorno do projeto piloto, como verdadeira, pois vimos que há outros fatores que alteram a qualidade da água e não somente a criação de peixes em tanques-rede, propriamente dita.

Damos, a hipótese de que se ocorresse variações significativas de parâmetros da qualidade da água, causado pela atividade produtiva do tanque rede (ou externa sobre o sistema produtivo), os impactos mais significativos na qualidade da água ocorreriam principalmente em períodos específicos durante a maré semi-diurna – podendo ser intensificado pelo efeito sazonal e hidrodinâmica, mas principalmente próximo do local crítico (ptt), e não além de 9 km a jusante (ptj) e 6 km a montante (ptm) dos tanques-redes – por confirmada por conta que nos períodos chuvosos os parâmetros sofreram maior variação, e a sazonalidade do ambiente também ajudou na alteração dos dados, porém não tanto, quanto os fatores antrópicos.

Neste estudo, cerca de 90% dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos da água do Rio Matapi estavam fora dos valores de referência indicados como favoráveis à aquicultura, recomendados pela Resolução nº. 357, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2005), não por estarem acima, mas muito abaixo dos valores indicados, ou apresentavam

amplas e frequentes variações temporais. Foi observado tanto na avaliação espacial quanto sazonal (período chuvoso e estiagem) e que no trecho de estudo a concentração de nutrientes medidas próximas aos tanques-rede apresentou diferenças entre si. Esses reflexos devem-se provavelmente à alteração da qualidade da água por qualquer tipo de degradação tais como poluição orgânica, fezes de peixes ou mesmo restos de alimentos ou influências difusas do ambiente de entorno (PINHEIRO *et. al.*, 2008; SÁ, 2012) e/ou processos de respiração dos peixes e processos biogeoquímicos fortemente atuantes no ambiente (WARD *et. al.*, 2013), além da presença de matéria sólida suspensa e/ou dissolvida. Porém, o Rio Matapi é um corpo d'água com múltiplos usos (moradias, distrito industrial, portos, agricultura, outros), cujas atividades têm potenciais riscos aos ecossistemas aquáticos. Assim, deve ser recomendado o monitoramento constante de variáveis hidrológicas e biológicas, para garantir a segurança sanitária do cultivo de tanque-rede, evitando a elevação de coliformes totais, *E. coli* e amônia.

Os níveis de fósforo no ambiente deste estudo apresentaram poucas variações entre os três locais monitorados. Sendo este o principal fator poluente da produção de peixes (BEVERIDGE, 1984; LI *et. al.* 1994; LIN and ZHANG, 1995; SÁ, 2012).

A variação de pH da água do Rio Matapi foi de 4,3 a 7,4, abaixo da faixa ideal 6,5-9,0 para a produção de peixes (SÁ, 2012) e mostrou poucas variações sazonais. Entretanto, os ambientes aquáticos amazônicos são, em geral, de água ácida devido à decomposição de material orgânica (OLIVEIRA and CUNHA, 2014; ABREU and CUNHA, 2015). A temperatura da água nos três locais de amostragem apresentou variação sazonal, mas as variações espaciais, sazonais ou entre os locais não foram significativas. Além disso, nos meses mais quentes do ano os valores de nitrato aumentaram, provavelmente devido ao efeito da temperatura sobre a nitrificação (DEMIR *et. al.*, 2001). Porém, as concentrações de nitrito não variaram entre as estações sazonais investigadas, mas a amônia e nitrato podem diferir entre estações próximas (DEMIR *et. al.*, 2001). A dinâmica de transporte e decomposição cinética de nutrientes, gerando amônia e nitrito podem afetar o cultivo de peixes, pois interações desses com fatores ambientais podem influenciar na taxa de conversão alimentar e reduzir o ganho de peso (GORLACH-LIRA *et. al.* 2013).

Baixos níveis de OD foram encontrados nos meses de junho e outubro nos três locais investigados. Porém, no local da instalação dos tanques-redes os resultados podem ser devido a um aumento da demanda bioquímica de oxigênio para as atividades fisiológicas dos peixes estocados em elevadas densidades. O consumo de oxigênio dissolvido por uma população de peixe em cultivo pode ser significativo (SÁ, 2012). Também devido ao aumento da carga de matéria orgânica no local, a partir dos resíduos metabólicos de alimentação dos peixes, que

também exige elevadas concentrações de oxigênio dissolvido para ser degradados ou particulados (SÁ, 2012; WARD *et. al.*, 2013). De acordo com Esteves (1998), na estação chuvosa há frequentemente aumento da concentração de material orgânico dissolvido e em suspensão no meio aquático, contribuindo então para a redução do oxigênio e transparência da água em lagos tropicais, o que não ocorreu na bacia do Rio Matapi. Assim, tal variação afeta os outros locais amostrados, à jusante e à montante, dependendo do fluxo e sentido da maré e demanda natural do consumo de oxigênio (CUNHA *et. al.*, 2004; BRITO, 2013). Todavia, estudos conduzidos em reservatórios indicam estabilidade nos parâmetros físicos e químicos da água (GORLACH-LIRA *et. al.*, 2013; FEIDEN *et. al.*, 2015), mostrando assim uma diferença e complexidade na dinâmica quando comparados ao ambiente do presente estudo, que sofre significativo e constante efeitos das marés diárias do Rio Amazonas, somados aos efeitos hidrometeorológicos da bacia do Rio Matapi.

A condutividade elétrica é um potencial indicador de eutrofização no ambiente aquático (WARD *et. al.*, 2015). Como a precipitação pluviométrica causa uma diluição de íons na água, a condutividade elétrica tende a reduzir na estação chuvosa e aumentar na estação de estiagem (ALVES and BACCARIN, 2005; HENRY *et. al.*, 2005). No local de instalação de tanques-rede no Rio Matapi, a condutividade elétrica apresentou elevada variação, não observada nos demais locais.

Neste estudo, assim como outros similares, mostrou-se que ambientes de cultivo de peixes são caracterizados por flutuações de parâmetros físico-químicos e indicadores microbiológicos, devido as cargas de nutrientes, alterações tróficas, características climáticas e outros fatores (BACCARIN *et. al.*, 2005; DEGEFU *et. al.*, 2011; SANTOS *et. al.*, 2012).

Os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos estudados mostraram que a variação temporal não foi significativamente afetada pela precipitação sazonal, provavelmente devido ao atraso do escoamento em relação a precipitação - tempo de residência dependente da morfologia e tamanho da bacia hidrográfica (CUNHA *et. al.*, 2012). Porém, em geral, alterações são influenciadas pela sazonalidade na bacia, principalmente em relação ao sistema de precipitação, atividade biológica resultante de poluição antrópica e influência das marés do Rio Amazonas (CUNHA *et. al.*, 2004; SOUSA e CUNHA, 2010; PEREIRA *et. al.*, 2014).

Todavia, no Rio Matapi, percebe-se perturbações da qualidade da água devido à presença de outras fontes de poluição, sensivelmente perceptíveis nesta região estuarina (CUNHA *et. al.*, 2004; PEREIRA *et. al.*, 2014), frequentemente atribuídas a falta de infraestrutura de saneamento básico e impactos ambientais decorrentes de poluição difusa nas

bacias hidrográficas ou no entorno. Principalmente aqueles próximos de áreas urbanas, periurbanas e industriais, como é o caso do Rio Matapi (CUNHA *et. al.*, 2004).

A precipitação pluviométrica, em combinação com os efeitos das marés do Rio Amazonas desempenham um papel importante na qualidade da água, tanto direto quanto indiretamente, como já foi observado aqui. Mas, a precipitação está intimamente relacionada com os processos hidrológicos que controlam a hidrodinâmica em combinação com as marés semidiurnas do Rio Amazonas, as quais são co-responsáveis pela dinâmica de transporte de nutrientes e matéria em suspensão a partir das zonas terrestres e sistemas de afluentes naturais (PINHEIRO *et. al.*, 2008; BRITO, 2013; CUNHA *et. al.*, 2012).

As figuras 3 e 4 (Anexo) simulam o comportamento de plumas de poluentes se dispersando próximas da foz do Rio Matapi, em quatro cenários: duas fontes distintas e contínuas de poluentes (combustível derramando no meio do rio, por exemplo), (i) no início da vazante, (ii) próximo da baixa-mar, (iii) início da enchente e (iv) próximo da baixa-mar. Cunha *et. al.* (2011) observou em suas simulações que, é extremamente complexa a previsão do comportamento dessas plumas devido o comportamento hidrodinâmico, recirculação e turbulência locais. Além disso, mostrou que dependendo do local de monitoramento, por exemplo quatro observadores de diferentes posições em menos de 7 km entre si e em relação ao ponto de monitoramento virtual, notaram diferentes respostas no comportamento da concentração dos poluentes, o que eleva sobremaneira o nível de incerteza e interpretação deste tipo de análise, inclusive experimental.

O referido panorama, sugere que a abordagem observacional ou experimental do escoamento e sua influência nos tanques-rede instalados no Rio Matapi, é necessária na avaliação de impactos, visto que a descarga líquida ou a velocidade da corrente influencia a maioria dos mais importantes processos de mistura e o transporte de massa nesses habitats aquáticos tropicais (MUSTE *et. al.*, 2010; SOUZA *et. al.*, 2011). Em resumo, tais simulações podem ser consideradas como boas aproximações ou sínteses dos fenômenos hidrodinâmicos e da qualidade apresentados experimentalmente na presente investigação. Isto é, visualmente, é o que se observa em situações reais nestes ambientes complexos e dinâmicos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados e análises de tópicos anteriores, são apresentadas as seguintes conclusões:

1) As variações espaço-sazonais da qualidade da água, ao longo do período de estudo, são significativas. Assim, é possível aceitar a hipótese de variação da qualidade da água, mas depende de qual parâmetro da qualidade da água está sendo avaliado.

2) Aceita-se a hipótese de que apenas 3 sítios de amostragem de água (monitoramento) são suficientes para identificar significativas variações espaço-sazonais (ptt, ptm e ptj - ~15km de distância entre si no Rio Matapi). Observou-se que, em 90% das amostras, havia pelo menos um parâmetro da qualidade da água em não conformidade (CONAMA, 357/2005) para corpos d'água classe II. Isto é, ao uso da água para fins de abastecimento, por exemplo, para sistemas de tratamento, até o nível secundário.

3) Espacialmente, apesar do ponto ptm (montante) encontrar-se mais próximo dos tanques-rede - ptt, houve maior correlação ($r^2 = 0,85$) entre os pontos ptt x ptj (distantes 9 km entre si) do que ptt x ptm ($r^2 = 0,65$) (distantes 6,0 km entre si). Isto significa que, pela posição geográfica do local de cultivo (ptt), neste ano climático muito seco, ocorreu mais influência de variação da qualidade da água pelo Rio Amazonas do que dos trechos de montante da própria bacia do Matapi.

AGRADECIMENTOS

À **Deus** por me proporcionar esta oportunidade.

À minha família e amigos, a qual amo muito, pelo carinho, paciência e incentivo.

Ao *Prof.º Dr. Alan Cavalcanti da Cunha* pela oportunidade, orientação, sugestões e discussões no decorrer do trabalho, desde a elaboração do projeto até a redação final, que foram fundamentais para o desenvolvimento desta dissertação.

Ao *Prof.º Dr. Marcos Tavares Dias* pelo apoio na co-orientação do trabalho contribuindo com sugestões para melhoria dos estudos, e mediação do apoio logístico

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq: 475614/2012-7) e Embrapa (Projeto Tec Rede); Ao Laboratório de Química, Saneamento e Modelagem de Sistemas Ambientais (LQSAMSA/UNIFAP). À Companhia de Água e Esgoto do Amapá - CAESA.

REFERÊNCIAS

- ABREU, C. H. M. 2014. **Variações Espaço-Sazonais da Qualidade da Água e da hidrodinâmica em Ecossistemas Aquáticos Sob Impactos Ambientais no Baixo Rio Jari - AP**. Dissertação de Mestrado. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical. p. 91-97.
- ASHMORE P.; BERGERON N.; BIRON P.; BUFFIN-BÉLANGER T.; CHURCH M.; RENNIE C.; ROY A. M. 2010. **Instruments and Techniques for Hydrodynamic and Morphologic Characterization of Streams**, Chapter 7 in Gravel Bed Rivers 7: Developments in Earth Surface Processes. New York. p. 580. ISBN: 978-0-470-68890-8
- BÁRBARA, V. F.; CUNHA, A. C.; SIQUEIRA, E. Q. 2010. **Monitoramento sazonal da qualidade da água do rio Araguari/AP**. Revista de Biociências, UNITAU, v. 16, n. 1, p. 57-72.
- BEVERIDGE, M. 1996. **Cage aquaculture**. 2th ed. Oxford: Fishing News Books. p. 346
- BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. 1993. **Manual de tratamento de águas residuárias**. São Paulo: CETESB.
- BRITO, D. C. 2013. **Dinâmica do rio Amazonas : biogeoquímica da pluma de montante à foz**. Tese (Doutorado em Biodiversidade Tropical) - Universidade Federal do Amapá.
- BRITO, D. C. B. 2008. **Aplicação do Sistema de Modelagem da Qualidade da Água qual 2kw em Grandes Rios: O Caso do Alto e Médio Rio Araguari - AP**. Dissertação. Mestrado em Biodiversidade Tropical, Universidade Federal do Amapá. p. 152.
- BUENO, G. W; OSTRENSKY, A.; CANZI, C.; MATOS, F. T.; ROUBACH, R. 2013. **Implementation of aquaculture parks in Federal Government waters in Brazil**. *Reviews in Aquaculture*, 5. p. 1-12.
- CAPOD - University of St Andrews. MANOVA e MANCOVA. Disponível em: <https://www.st-andrews.ac.uk/media/capod/students/mathssupport/MANOVA.pdf>. Acesso em: 06 de maio de 2016.
- CHAGAS, E. C.; LOURENÇO, J. N. P.; GOMES, L. C.; VAL, A. L. 2003. **Desempenho e estado de saúde de tambaquis cultivados em tanques-rede sob diferentes densidades de estocagem**. In: Urbinati, E.C.; Cyrino, J.E.P. (Eds.). XII Simpósio Brasileiro de Aqüicultura. Aquabio, Jaboticabal, SP. p. 83-93.
- CONGRESSO DA ASSOC. BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 8. Imbé-RS.
- CRAWLEY, M. J. 2007. **The R Book**. John Wiley & Sons Ltd. Imperial College London at Silwood Park, UK. p. 948

- CUNHA, A. C., PINHEIRO, L. A. R., CUNHA, H. F. A., SCHULZ, H. E., BRASIL JR., A. C. P. E SOUZA, E. B. 2011. **Simulação da Hidrodinâmica e Dispersão de Poluentes com Monitoramento Virtual no Rio Matapi - AP**. Revista de estudos ambientais (Online) - REA. v.13, n. 2, p. 18-32.
- CUNHA, A. C.; BRITO, D. C ; BRASIL JUNIOR, A. C. ; PINHEIRO, L. A. R. ; CUNHA, H. F. A. ; KRUSCHE, A. V. 2012. **Challenges and Solutions for Hydrodynamic and Water Quality in Rivers in the Amazon Basin**. In: Harry E. Schulz; André L. A. Simões; Raquel J. Lobosco. (Org.). Hydrodynamics: Natural Water Bodies. Book 3. 1ed. Janeza Trdine 9, 51000 Rijeka,: InTech - Croacia, v. 3, p. 67-88
- CUNHA, A. C; CUNHA, H. F. A.; BRASIL JR., A. C. P; DANIEL, L. A; SCHULZ, H. E. 2004. **Qualidade microbiológica da água de rios de áreas urbanas e periurbanas no baixo Amazonas: o caso do Amapá**. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 9, n. 4, p. 322-328.
- DAGNELIE, P. **Théorie et méthodes statistiques**. Paris: Agronomiques de Gembloux, 1977. v. 2, p. 248
- DIEMER, O.; NEU, D. H.; FEIDEN, A.; LORENZ, E. K.; BITTENCOURT, F.; BOSCOLO, W. R. 2010. **Dinâmica nictimeral e vertical das características limnológicas em ambiente de criação de peixes em tanques-rede**. Ciência Animal Brasileira, v.1 1, n. 1, p. 24-31.
- DORSCH, S.; KAUFMANN, B.; SCHAIBLE, U.; PROHASKA, E.; WOLF, H. and MODROW, S. 2001. The VP1 - unique region of parvovirus B19 amino and variability and antigenic stability. Journal of General Virology 82: 199-9
- ECHANIZ, S.; VIGNATTI, A. 2009. **Determinación del estado trófico y de la capacidad de carga de embalse casa de piedra**. BioScriba, v. 2, n. 1, p. 41-51.
- FEIDEN, I. F.; OLIVEIRA, J. D. S.; DIEMER, O.; FEIDEN, A. 2015. **Qualidade da água, capacidade de suporte e melhor período para criação de peixes em tanques-rede no reservatório de Salto Caxias**. EngSanitAmbiental, v.20 n.4, 589-594 (DOI: 10.1590/S1413-41522015020040114845).
- FIELD, A. 2012. Analysis of Covariance (ANCOVA). Discovering Statistics. Disponível em: www.statisticshell.com/docs/ancova.pdf. p. 14
- FREITAS, F. C.; SILVA, E. N. S.; DARWICH, A. J. 2011. **Influência do cultivo de peixes em tanque-rede nos teores de nitrogênio e fósforo no lago Tupé, Manaus-AM**. BioTupé: Meio Físico, Diversidade Biológica e Sociocultural do Baixo Rio Negro, Amazônia Central - Vol. 03. Manaus.

- GUENNE, B. E.; STRASSE, M. A. 2009. **O Transporte de sedimento em suspensão no rio Amazonas - o papel do leito médio e maior na avaliação da capacidade de transporte dos sedimentos finos em regime não-permanente**. XVII Simp. Brasileiro de Rec. Hídricos. IAP - INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. 2012. **Aspectos legais da Tilápia do Nilo em sistemas de cultivo em tanques redes nos reservatórios da bacia do Rio Iguaçu**. Encontro, Boa Vista da Aparecida, Paraná.
- LIU, Y.; YANG, P.; HU, C.; GUO, H. 2008. **Water quality modeling for load reduction under uncertainty: a Bayesian approach**. *Water Quality*, v. 42, n.1 3, p. 3305-3314.
- MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M; KJIERFVE. 2002. **Princípios da Oceanografia Física de Estuários**. São Paulo, Editora Edusp, p. 414
- MUSTE, M; KIM, D.; MERWADE, V. 2010. *Modern Digital*.
- OLIVEIRA, B. S. S.; CUNHA, A. C. 2014. **Correlação entre qualidade da água e variabilidade da precipitação no sul do Estado do Amapá**. *Revista Ambiente & 39. Água*. ISSN 1980-993X - doi:10.4136/1980-993X. Vol. 9 n. 2 Taubaté.
- PEREIRA, N. N.; BOTTER, R. C.; FOLENA, R. D.; PEREIRA, J. P. F. N.; CUNHA, A. C. 2014. **Ballastwater: A threat to the Amazon Basin**. *Marine Pollution Bulletin.*, v. 84, p. 330-338.
- PINHEIRO, L. A. R. 2008. **Simulação Computacional Aplicada à Dispersão de Poluentes e Análises de Riscos à Captação de Água na Orla de Macapá-AP**. *Pesquisa & Iniciação Científica Amapá, Macapá*, v.1, n. 4, p. 58-61.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM 2016. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL: <http://www.R-project.org>
- REIS, E. 1997. *Estatística Multivariada Aplicada*. Lisboa: Edições Sílabo.
- ROSMAN, P. C. C. 2012. **Referência Técnica do Sistema de Modelagem Hidrodinâmica e Ambiental - SisBaHiA**. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro-RJ.
- SILVA, G. C. X. 2015. **Alterações de qualidade da água devido ao enchimento de reservatório pós-fragmentação do escoamento natural livre**. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Tropical) - Universidade Federal do Amapá. p. 90
- SILVA, M. S.; KOSUTH, P. 2000. *Comportamento das Vazões do Rio Matapi*.
- SOUZA, E. B.; CUNHA, A. C. 2010. **Climatologia de Precipitação no Amapá e Mecanismos Climáticos de Grande Escala**. In: CUNHA, A.C., SOUZA, E.B. e CUNHA, H.F.A.. (Org.). *Tempo, Clima e Recursos Hídricos: Resultados do Projeto REMETAP*. 1ed. Macapá - AP: Instituto de Pesquisas Cient. e Tec. Estado do Amapá - IEPA, v. 1, p. 177-196.

- STONES, M. C.; HOTCHKISS, R. H. 2007. **Evaluating velocity measurement techniques in shallow streams.** *Journal of Hydraulic Research*. Vol. 45, No. 6, p. 752-762.
- TACON, A. G. J.; HALWART, M. 2007. **Cage aquaculture: a global overview.** In M. Halwart, D. Soto and J.R. Arthur (eds). *Cage aquaculture – Regional reviews and global overview*, p. 1-16. FAO Fisheries Technical Paper. No. 498. Rome, FAO. p. 241.
- THOMAS, Jerry R. e NELSON, Jack K. (1996) *Research methods in physical activity*. 3.ed. Champaign : Human Kinetics.
- TUNDISI, J. G. 2005. **Gerenciamento integrado de bacias hidrográficas e reservatórios estudos de caso e perspectivas.** In: NOGUEIRA *et. al.* *Ecologia de reservatórios: impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascata*. S. Carlos: Rima. p. 1-21.
- VASCONCELOS, S. *Análises dos Componentes Principais (PCA)*. Disponível em: <http://www2.ic.uff.br/~aconci/PCA-ACP.pdf>. Acesso em: 06 de maio de 2016.
- VERA-CALDERÓN, L. E. V.; FERREIRA, A. C. M. 2004. **Estudo da economia de escala napiscicultura em tanque-rede, no estado de São Paulo.** *Informações Econômicas*, v. 34, n. 1, p. 7-17.
- WARD, N. D.; KEIL, R. G.; MEDEIROS, P. M.; BRITO, D. C.; CUNHA, A. C.; DITTMAR, T.; YAGER, P. L.; KRUSCHE, A. V.; RICHEY, J. E. 2013. **Degradation of terrestrially derived macromolecules in the Amazon River.** *Nature Geoscience (Print)*, v. 6, p. 530-533.
- WARD, N. D.; KRUSCHE, A. V.; SAWAKUCHI, H. O.; BRITO, D. C.; CUNHA, A. C.; MOURA, J. M. S.; SILVA, R.; YAGER, P. L.; KEIL, R. G. ; RICHEY, J. E. 2015. **The compositional evolution of dissolved and particulate organic matter along the lower Amazon River-Óbidos to the ocean.** *Marine Chemistry (Print)*, v. 177, p. 244-256.
- WASHINGTON, D. C. 2005. APHA - American Public Health Association; AWWA - American Water Works Association; WPCF - Water Pollution Control Facilities. **Standard methods for examination of water and wastewater**. 21th Edition.

ANEXO

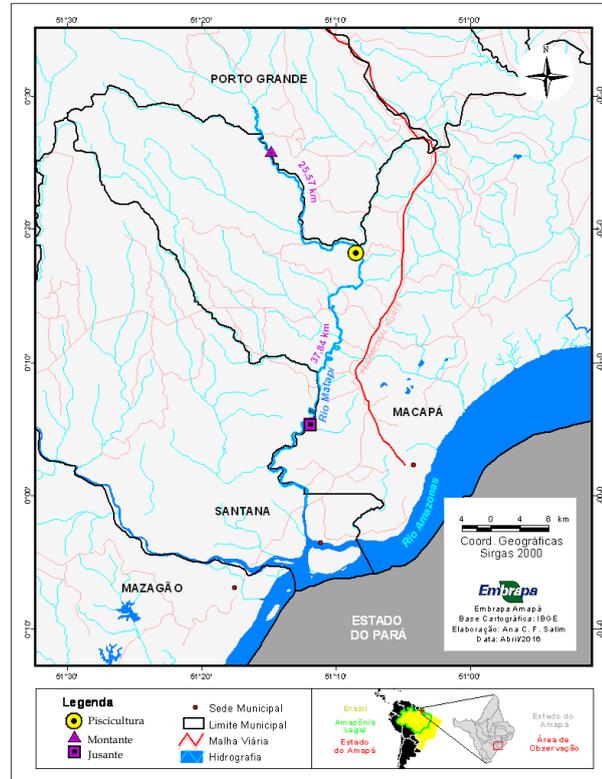


Figura 1 - Área de estudo no baixo Rio Matapi, próximo a sua foz, Estado do Amapá (Brasil).

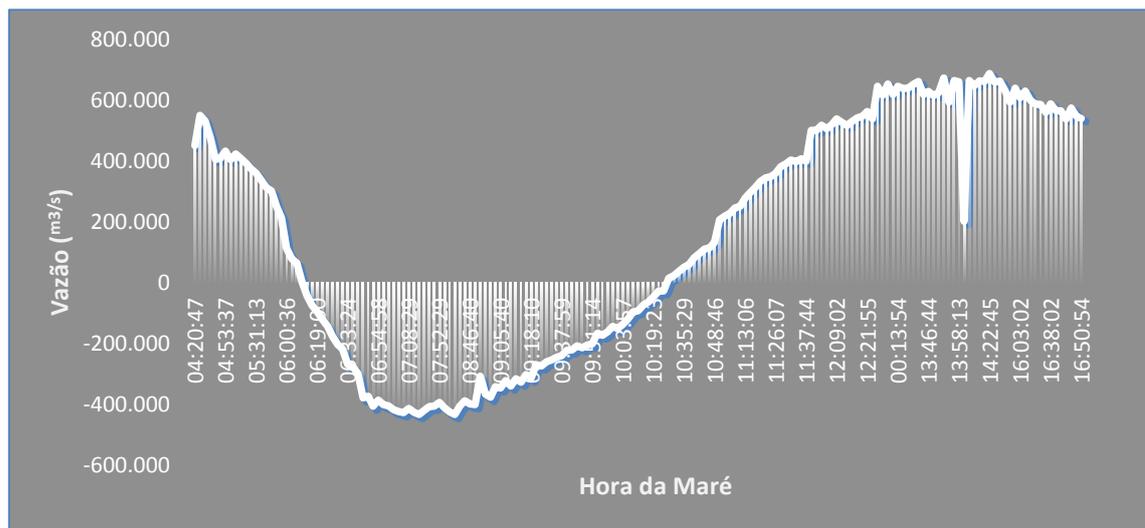


Figura 2 - Variação da descarga líquida (Q - m^3/s) medida em abril/2015 na seção de monitoramento da piscicultura de tanques-rede instalada no Rio Matapi, estado do Amapá (Brasil).

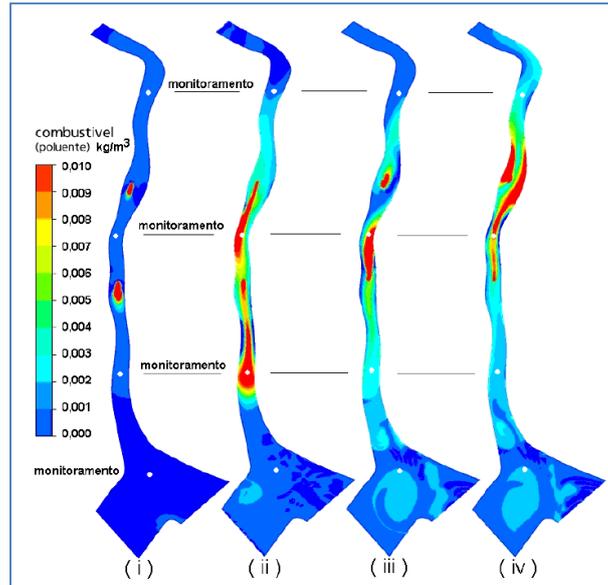


Figura 3 - Simulação de processos hidrodinâmicos acoplados à dispersão de plumas de poluentes em cinco pontos de monitoramento (virtual) em um ciclo de maré próximo e a jusante da área de instalação do cultivo de tabaqui em tanque-rede (círculo amarelo superior). Fonte: Cunha *et. al.* (2011).

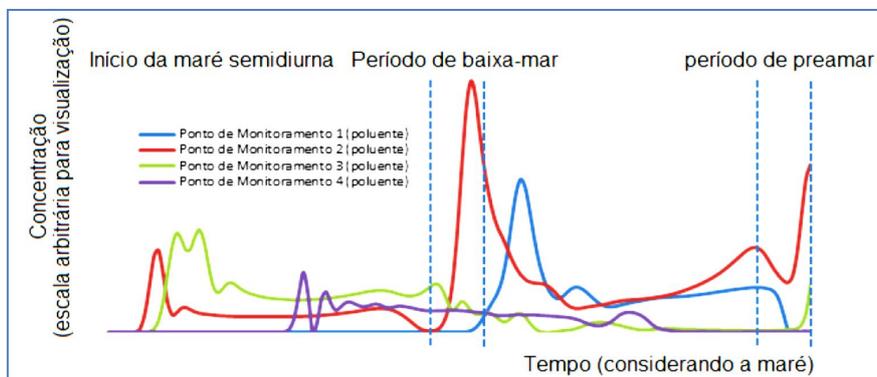


Figura 4 - Percepção de quatro diferentes observadores virtuais em relação a variação da concentração de poluentes (simulada) em um ciclo de maré semi-diurno no Rio Matapi, 15 km a jusante da área da piscicultura de tanque-rede. Fonte: Cunha *et. al.* (2011).