

## **Concentrações de carbono e nitrogênio ao longo do rio Tietê**

**Gabrielle Segatti Soares Almeida**

**Prof. Dr. Ricardo Hideo Taniwaki**

**Universidade Federal do ABC**

## Introdução

A qualidade da água em rios é fortemente influenciada pelo uso e pela ocupação do solo nas bacias hidrográficas, que controlam a entrada de sedimentos, nutrientes e matéria orgânica nos sistemas aquáticos (ALLAN, 2004; BATTIN et al., 2023; PINHEIRO et al., 2014). O termo uso do solo refere-se às atividades humanas predominantes na bacia, como áreas urbanas, agrícolas ou remanescentes de vegetação natural, enquanto ocupação do solo diz respeito à forma como essas atividades se distribuem no território e se conectam aos cursos d'água (JAIN; DAS, 2010).

A substituição da cobertura natural por usos antrópicos modifica a hidrologia das bacias hidrográficas e a conectividade entre o ambiente terrestre e os rios, alterando o transporte de sedimentos, nutrientes e matéria orgânica e influenciando diretamente as características físico-químicas da água e o funcionamento dos ecossistemas fluviais (VIEIRA; RIBEIRO, 2021; DE MELLO et al., 2020). Esses efeitos tendem a variar espacialmente ao longo do rio, refletindo diferenças nos contextos territoriais e nas pressões exercidas em cada trecho da bacia (ALLAN; JOHNSON, 1997; GRABOWSKI et al., 2022).

Em áreas urbanizadas, a elevada densidade populacional, a impermeabilização do solo e as descargas de esgotos domésticos e industriais estão associadas ao aumento da entrada de matéria orgânica e nutrientes nos rios, além de modificações no regime de escoamento devido à drenagem urbana (BATTIN et al., 2023; PEIXOTO; SILVEIRA, 2017). Estudos indicam que esses fatores podem reduzir o tempo de retenção da água na bacia e alterar padrões de oxigênio dissolvido e demanda bioquímica de oxigênio ao longo do curso fluvial, especialmente em trechos metropolitanos (ANH et al., 2023).

Em bacias com predomínio de atividades agrícolas, os impactos sobre a qualidade da água estão mais frequentemente associados a fontes difusas, como o carreamento de sedimentos, fertilizantes e outros insumos aplicados ao solo, intensificado durante eventos de chuva (NURUZZAMAN; BAHAR; NAIDU, 2025; BIEROZA et al., 2014). Pesquisas mostram que a intensificação agrícola pode estar relacionada ao aumento das cargas de sedimentos em suspensão,

nitrogênio e fósforo nos rios, com reflexos sobre processos como eutrofização e variações nas concentrações de oxigênio dissolvido em determinados trechos (ALFREDO; RUSSO, 2017).

Em regiões tropicais, esses efeitos podem ser potencializados por condições climáticas que favorecem elevada conectividade hidrológica e rápidas taxas de transformação biogeoquímica (FINKLER et al., 2021; LACERDA; MOUNIER; ITTEKKOT, 2020; WARD et al., 2017). Além das alterações na qualidade da água e no transporte de nutrientes e matéria orgânica, essas condições também influenciam a dinâmica do carbono nos sistemas aquáticos continentais. Temperaturas mais elevadas e a sazonalidade das chuvas afetam o transporte e o processamento da matéria orgânica nos rios, com implicações para a produção, transformação e distribuição das diferentes formas de carbono presentes na água (SÁNCHEZ-MURILLO et al., 2019; BORGES et al., 2015; WARD et al., 2017).

Entre os parâmetros utilizados para compreender o funcionamento biogeoquímico dos rios, destacam-se o carbono dissolvido e o nitrogênio, elementos centrais nos ciclos da matéria orgânica e dos nutrientes em sistemas aquáticos continentais (BATTIN et al., 2023; MEYBECK, 1982; TRANVIK et al., 2009). O carbono dissolvido na água pode ser quantificado como carbono orgânico dissolvido (COD), associado à presença de compostos orgânicos provenientes da decomposição da matéria orgânica e do aporte terrestre, e como carbono inorgânico dissolvido (CID), relacionado principalmente a espécies dissolvidas como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) e carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ). O carbono total dissolvido (CTD), por sua vez, corresponde à soma das frações orgânica e inorgânica dissolvidas presentes no sistema aquático (BANSAL et al., 2023; NELSON; SOMMERS, 1982; ROEBUCK et al., 2019).

A medição do carbono orgânico dissolvido é amplamente utilizada para avaliar o aporte e o processamento de matéria orgânica nos rios, refletindo contribuições tanto de fontes naturais quanto de atividades antrópicas ao longo da bacia hidrográfica, portanto sua origem pode ser tanto autóctone, proveniente da produção primária dentro do próprio corpo d'água, quanto

alóctone, oriunda de aportes terrestres advindos da bacia de drenagem, sendo significativamente influenciada pelas alterações do uso da terra (ROEBUCK et al., 2019; TRANVIK et al., 2009). Enquanto o carbono inorgânico dissolvido, está relacionado ao equilíbrio ácido-base (pH) da água e aos processos de respiração e mineralização da matéria orgânica, sendo um importante indicador do metabolismo aquático e das transformações biogeoquímicas ao longo do contínuo fluvial (COSTA, 2018; KRUSCHE et al., 2005; HOTCHKISS et al., 2015). Já o carbono total dissolvido permite uma visão integrada dessas dinâmicas, sendo frequentemente utilizado em estudos comparativos ao longo de gradientes espaciais em grandes sistemas fluviais (MEYBECK, 1982).

O nitrogênio total é outro parâmetro fundamental para a avaliação da qualidade da água, pois integra diferentes formas orgânicas e inorgânicas de nitrogênio presentes no sistema, refletindo tanto processos naturais quanto influências associadas ao uso e à ocupação do solo, como lançamentos de efluentes e atividades agrícolas (TORTI; PORTELA; ANDRIULO, 2020; HOWARTH et al., 2010). Em rios sujeitos a pressões urbanas e agrícolas, as concentrações de nitrogênio total podem apresentar alterações ao longo do curso fluvial em resposta às diferentes condições ambientais e às atividades desenvolvidas na bacia hidrográfica. (GALLOWAY et al., 2008; PENNINO et al., 2016).

No contexto brasileiro, estudos realizados em grandes rios tropicais indicam que as concentrações de carbono orgânico, carbono inorgânico, carbono total e nitrogênio total apresentam variações longitudinais associadas a mudanças no uso e na ocupação do solo, às condições hidrológicas e às características ambientais locais, especialmente em sistemas que conectam áreas de cabeceira, regiões urbanizadas, zonas agrícolas e trechos regulados por reservatórios (SAWAKUCHI et al., 2017; BORGES et al., 2015).

Nesse contexto, o rio Tietê destaca-se como um importante sistema fluvial tropical para a observação dessas variações espaciais, uma vez que atravessa o estado de São Paulo ao longo de aproximadamente 1.100 km, conectando áreas de cabeceira, regiões fortemente urbanizadas, extensas áreas agrícolas e trechos regulados por reservatórios, o que o torna

representativo dos múltiplos usos do solo e pressões antrópicas presentes em grandes rios tropicais (PIRES et al., 2015; CETESB, 2023). Estudos de qualidade da água ao longo do eixo longitudinal do rio indicam a existência de um gradiente espacial, com trechos mais críticos associados à urbanização intensa e melhorias parciais em segmentos a jusante, influenciadas por processos de diluição, autodepuração e retenção em barragens (PIRES et al., 2015; CUNHA; SABOGAL-PAZ; DODDS, 2016).

Portanto, este estudo teve como objetivo descrever e analisar a variação longitudinal das concentrações de carbono orgânico dissolvido (COD), carbono inorgânico dissolvido (CID), carbono total dissolvido (CTD) e nitrogênio total dissolvido (NTD) ao longo do rio Tietê, considerando os diferentes trechos do rio.

## **Metodologia**

As amostragens foram realizadas em 15 pontos previamente definidos ao longo do rio Tietê, desde a nascente até a foz. Os pontos amostrais foram identificados de P1 a P14, sendo que o ponto P1 corresponde à região da nascente, subdividida em dois locais distintos de coleta (P1.1 e P1.2), totalizando 15 pontos de amostragem ao longo do rio. Em cada ponto de coleta, a água foi inicialmente coletada utilizando um balde plástico com capacidade de 5 litros, permitindo a obtenção de um volume homogêneo representativo do trecho amostrado. As coletas foram realizadas na superfície do rio, a aproximadamente 40 cm de profundidade, de modo a evitar interferências diretas da interface ar-água e do fundo do canal.

Em cada ponto de coleta, foram obtidas três réplicas de amostras de água bruta para reserva e três réplicas de amostras previamente filtradas, totalizando seis amostras por ponto. A filtração foi realizada em campo utilizando filtros de fibra de vidro com porosidade de 0,45  $\mu\text{m}$  (Macherey-Nagel), com o objetivo de separar a fração dissolvida da fração particulada presente na água.

Após a coleta e o preparo, as amostras foram acondicionadas em tubos Falcon de 50 mL, previamente limpos e identificados. Em seguida, foram imediatamente armazenadas em caixas térmicas contendo gelo, de modo a minimizar alterações físico-químicas e biogeoquímicas até a realização das análises laboratoriais.

As amostras filtradas (0,45 µm) foram analisadas quanto aos seguintes parâmetros, representando a fração dissolvida na coluna d'água:

- Carbono Orgânico Dissolvido (COD)
- Carbono Total Dissolvido (CTD)
- Carbono Inorgânico Dissolvido (CID)
- Nitrogênio Total Dissolvido (NTD)

As análises de carbono e nitrogênio dissolvidos foram realizadas exclusivamente nas três réplicas filtradas de cada ponto de coleta, por meio de um analisador de carbono orgânico total (TOC Analyzer, marca Shimadzu, modelo TOC-L CPH/CPN), que permite a quantificação integrada das diferentes frações dissolvidas de carbono e nitrogênio presentes nas amostras.

Para cada ponto de coleta, os valores finais apresentados correspondem à média aritmética das três réplicas filtradas analisadas. Os gráficos apresentados neste relatório foram elaborados a partir desses valores médios, de forma a representar a condição observada em cada trecho do rio no momento da amostragem.

## **Resultados**

A avaliação dos parâmetros relacionados ao carbono e ao nitrogênio dissolvidos ao longo do rio Tietê revelou um gradiente ambiental associado aos diferentes contextos de uso do solo e às condições de processamento biogeoquímico do sistema fluvial. Nos dois primeiros pontos, localizados na nascente em Salesópolis (P1.1 e P1.2), observaram-se concentrações relativamente baixas de carbono e nitrogênio dissolvidos em comparação aos trechos mais urbanizados do rio, sugerindo menor influência antrópica no local. Os valores de Carbono Orgânico Dissolvido (COD) variaram de 0,105 a 0,986

mg/L, enquanto o Carbono Total Dissolvido (CTD) apresentou concentrações entre 5,24 e 5,95 mg/L. O Carbono Inorgânico Dissolvido (DIC), associado principalmente às formas dissolvidas de carbono inorgânico, manteve-se entre 5 e 7 mg/L. O Nitrogênio Total Dissolvido (NTD) foi igual a zero em ambos os pontos, indicando ausência de acúmulo detectável de compostos nitrogenados e caracterizando um trecho de cabeceira com baixa influência de fontes antrópicas.

Em Mogi das Cruzes (P2), verificou-se o primeiro aumento expressivo das concentrações de carbono e nitrogênio. O COD elevou-se para 5,885 mg/L, e o CTD atingiu 11,77 mg/L, enquanto o CID permaneceu em valores próximos de 5,88 mg/L. O NTD aumentou para 2,846 mg/L, indicando já uma contribuição moderada de matéria orgânica e compostos nitrogenados provenientes do início da área urbanizada. Esses resultados representam a transição entre o ambiente natural da nascente e o trecho urbano subsequente.

Na entrada da Região Metropolitana de São Paulo, no ponto de Guarulhos/São Paulo (P3), a influência antrópica tornou-se marcante. Houve um aumento significativo do COD para 9,48 mg/L, acompanhado de um crescimento expressivo do CTD para 36,00 mg/L e do CID para 26,52 mg/L, podendo indicar maior aporte de matéria orgânica e intensificação dos processos de mineralização no sistema aquático, associados à influência antrópica característica de áreas urbanizadas, incluindo o lançamento de esgoto doméstico, efluentes industriais e poluição difusa. O NTD dissolvido também apresentou aumento, atingindo 14,51 mg/L. Em Osasco (P4) ainda dentro da RMSP, os valores permaneceram elevados: COD de 13,07 mg/L, CTD de 36,07 mg/L, CID dissolvido de 22,99 mg/L e NTD dissolvido de 17,76 mg/L, evidenciando a persistência da carga poluidora.

Em Pirapora do Bom Jesus (P5), observou-se o maior valor de NTD de toda a série, 26,87 mg/L, indicando um acúmulo de compostos nitrogenados. O COD e o CTD também atingiram valores elevados, de 14,55 mg/L e 47,87 mg/L, respectivamente, enquanto o CID chegou a 33,32 mg/L. Os elevados valores observados para NTD, COD, CTD e CID sugerem intensa influência antrópica nesse trecho do rio, possivelmente associada ao acúmulo da carga

orgânica e nitrogenada transportada a partir da Região Metropolitana de São Paulo, além de contribuições locais e dos processos biogeoquímicos atuantes ao longo da bacia hidrográfica.

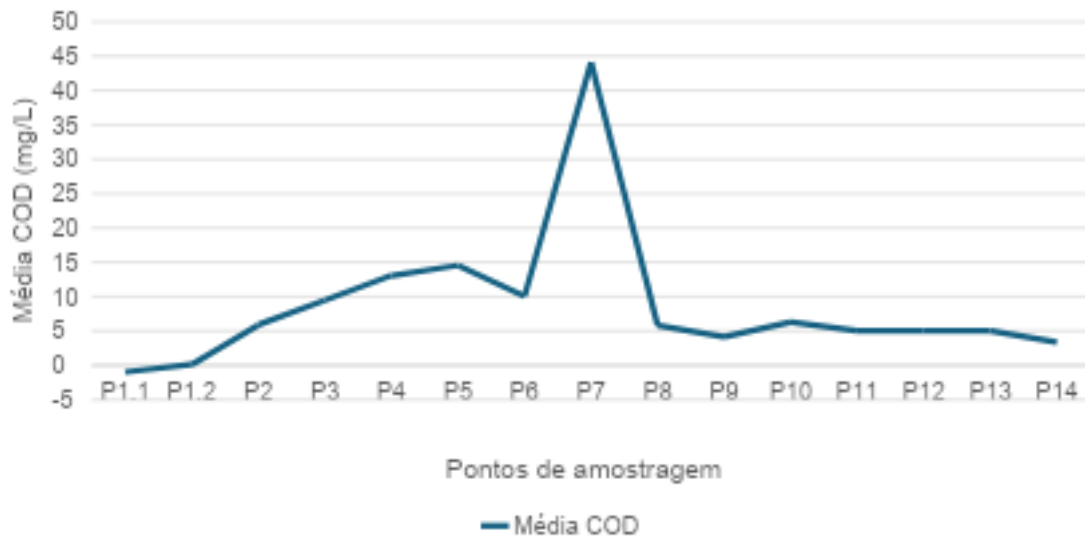
A partir de Salto (P6), o COD reduziu para 10,07 mg/L, o CTD diminuiu para 36,07 mg/L e o CID caiu para 25,99 mg/L. Embora o NTD ainda se mantivesse elevado (21,21 mg/L), houve uma pequena redução. Esse comportamento pode estar relacionado à maior turbulência promovida pelas quedas d'água presentes nesse trecho em Salto, favorecendo processos de mistura, aeração e transformação da matéria orgânica no sistema aquático

Em Anhembi (P7), o COD apresentou um pico isolado, atingindo 44,08 mg/L, o maior valor registrado ao longo de toda a extensão estudada. Esse aumento pontual não foi acompanhado por um pico equivalente em CID, que permaneceu em 25,24 mg/L, ou em NTD, que permaneceu em 17,44 mg/L, indicando a predominância da fração orgânica nesse trecho. Na sequência, em Botucatu (P8), o COD caiu para 5,80 mg/L, o CTD para 22,21 mg/L, o DIC para 16,28 mg/L e o NTD para 9,58 mg/L, indicando redução das concentrações das frações dissolvidas em comparação ao ponto anterior.

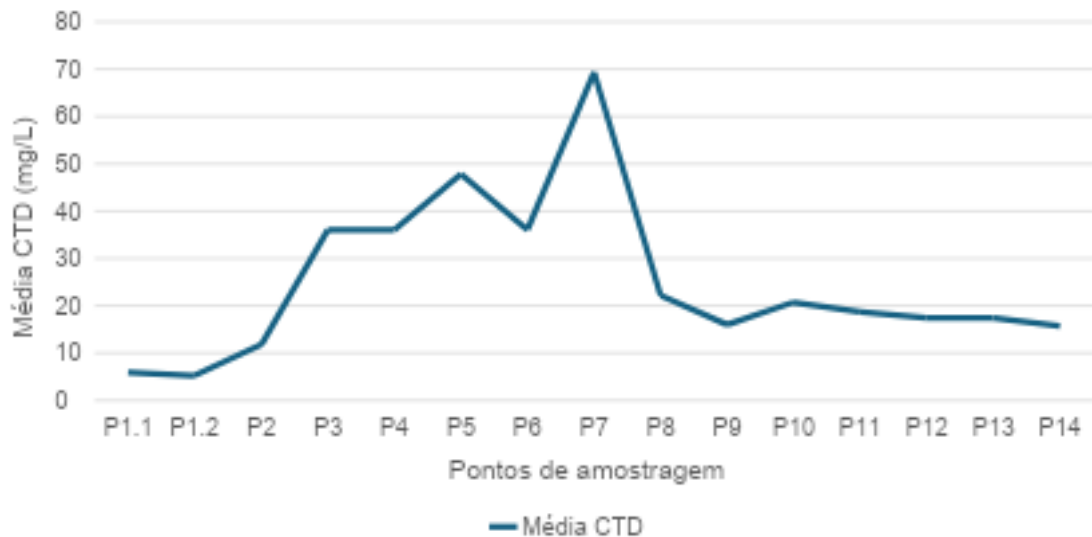
Nos reservatórios de Barra Bonita, Itapuí e Ibitinga (P9–P11), observou-se a estabilização dos parâmetros. Os valores de COD variaram entre 4 e 6 mg/L, enquanto o CTD oscilou entre 16 e 20 mg/L. O CID se manteve entre 11 e 14 mg/L, e o NTD diminuiu progressivamente, alcançando valores entre 4,69 e 0,76 mg/L. Esse comportamento indica um sistema mais equilibrado, com menor aporte de poluentes e predominância de processos naturais de ciclagem.

No trecho final do rio, abrangendo Promissão, Avanhandava e Itapura (P12–P14), observou-se um padrão estável e de baixa concentração de carbono e nitrogênio. Os valores de COD permaneceram entre 3,3 e 5 mg/L, enquanto o CTD se manteve entre 15 e 17 mg/L. O CID estabilizou-se em torno de 12 mg/L (12,35 / 12,44 / 12,42 mg/L) e o NTD atingiu seus menores valores depois da nascente, variando de 0,13 a 0,50 mg/L. Esses resultados demonstram que os últimos pontos apresentam melhores condições ambientais

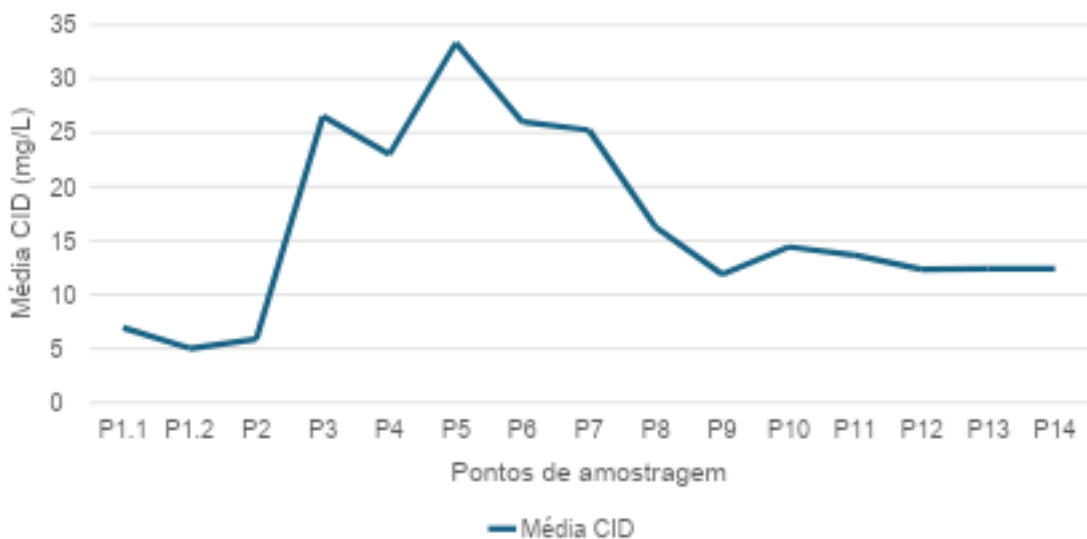
em comparação aos trechos mais impactados do rio, especialmente após a passagem pela Região Metropolitana de São Paulo e por áreas intermediárias ao longo da bacia, evidenciando a capacidade de autodepuração do sistema.



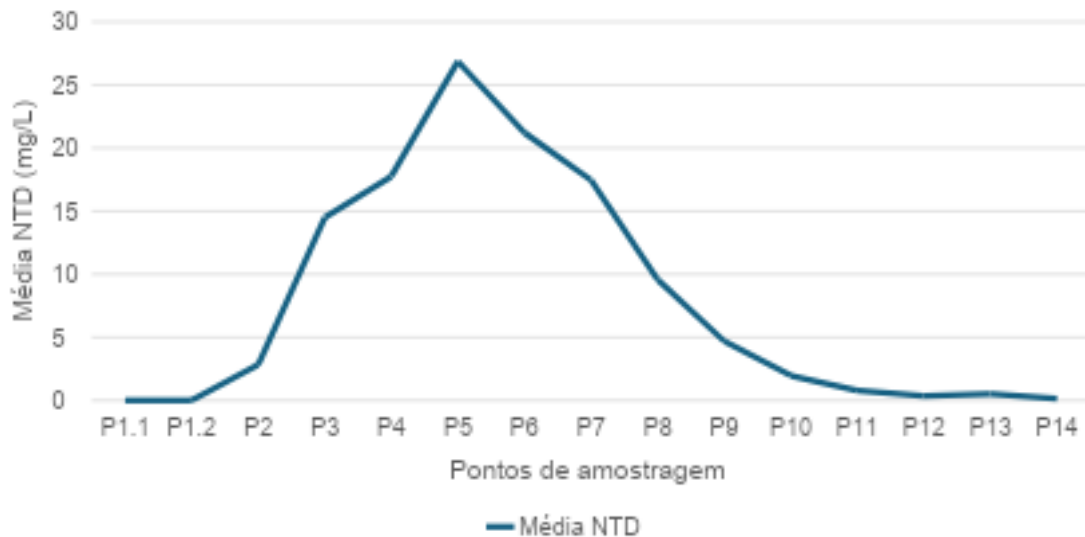
**Gráfico 1-** Variação longitudinal do carbono orgânico dissolvido (COD) ao longo do rio Tietê, expressa em mg/L. Observa-se aumento expressivo nas áreas sob influência urbana da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), com pico em Anhembi, seguido de declínio progressivo nos trechos a jusante, indicando redução da carga orgânica dissolvida ao longo do sistema.



**Gráfico 2-** Distribuição espacial do carbono total dissolvido (CTD) ao longo do rio Tietê (mg/L). Os maiores valores concentram-se no trecho urbano da RMSP e em Pirapora do Bom Jesus, refletindo intenso aporte de matéria orgânica. A jusante, observa-se tendência de estabilização e redução das concentrações.



**Gráfico 3-** Gradiente longitudinal do carbono inorgânico dissolvido (CID) ao longo do rio Tietê (mg/L). Observam-se maiores concentrações no trecho metropolitano, seguidas de redução e posterior estabilização nos reservatórios.



**Gráfico 4-** Variação espacial do nitrogênio total dissolvido (NTD) ao longo do rio Tietê (mg/L). Verifica-se aumento das concentrações no trecho da Região Metropolitana de São Paulo, com valores máximos em Pirapora do Bom Jesus, seguido de declínio progressivo a jusante.

### Discussão

A variação longitudinal das concentrações de carbono e compostos nitrogenados ao longo do rio Tietê evidencia a forte influência dos contextos territoriais sobre a qualidade da água, refletindo diferenças entre trechos de cabeceira, áreas urbanizadas, zonas agrícolas e segmentos regulados por reservatórios. Esse padrão é amplamente descrito na literatura para grandes rios tropicais e subtropicais, nos quais gradientes de uso e ocupação do solo estão associados a mudanças nas cargas de matéria orgânica e nutrientes transportadas pelo sistema fluvial (ALLAN, 2004; KRUSCHE, 2005).

Os baixos valores observados nos pontos de cabeceira em Salesópolis são compatíveis com áreas de nascente sob menor influência antrópica, onde o aporte de carbono e nitrogênio é predominantemente controlado por processos naturais e pela contribuição difusa da bacia de drenagem (MEYBECK, 1982; DE MELLO ET AL., 2020). Esses valores representam a condição inicial do

contínuo fluvial, com menor carga orgânica e nitrogenada em comparação aos trechos mais impactados do rio.

O aumento progressivo das concentrações de COD, CTD, CID e NTD a partir de Mogi das Cruzes e, de forma mais acentuada, nos trechos da Região Metropolitana de São Paulo, reflete a intensificação das pressões urbanas associadas à elevada densidade populacional, à impermeabilização do solo e à entrada de efluentes domésticos e industriais. Estudos em rios urbanos indicam que esses fatores estão associados ao aumento do transporte de matéria orgânica e nutrientes e à intensificação dos processos de decomposição e mineralização ao longo do curso fluvial (ARANGO et al., 2017; WALTEROS et al., 2020; GU ET AL., 2022).

O trecho de Pirapora do Bom Jesus apresentou as maiores concentrações de carbono e nitrogênio observadas ao longo de toda a série, destacando-se como um ponto crítico ao longo do gradiente longitudinal do rio. Embora esse padrão seja compatível com o efeito cumulativo das cargas transportadas a partir da Região Metropolitana de São Paulo, a identificação de eventuais aportes locais ou de processos específicos responsáveis por esse acúmulo exigiria investigações adicionais, incluindo análises direcionadas de fontes, condições hidrológicas e características locais do trecho.

A partir de Salto e, principalmente, nos trechos regulados por reservatórios, observou-se uma tendência de redução e estabilização das concentrações de carbono e nitrogênio. A literatura indica que reservatórios podem atuar como zonas de retenção e processamento biogeoquímico, promovendo a sedimentação de partículas, a transformação da matéria orgânica e a atenuação das cargas transportadas a jusante, especialmente para as frações de carbono dissolvido (TRANVIK et al., 2009).

No trecho final, os valores mais baixos e estáveis de COD, CTD, CID e NTD sugerem um sistema com menor influência direta de fontes urbanas concentradas e maior predominância de processos naturais de ciclagem, após a passagem pelos principais trechos críticos a montante. Esse padrão reforça a importância de considerar o rio Tietê como um sistema longitudinalmente integrado, no qual as condições observadas em cada trecho resultam da

combinação entre aportes locais e processos acumulativos ao longo do eixo fluvial, sem que os dados observacionais permitam inferir relações causais diretas entre usos específicos do solo e respostas individuais do sistema.

Além das implicações para a qualidade da água, as variações observadas nas frações de carbono dissolvido e nas concentrações de compostos nitrogenados ao longo do rio Tietê também podem estar relacionadas à dinâmica de emissão de gases de efeito estufa nos sistemas aquáticos. Estudos indicam que ambientes fluviais com elevadas concentrações de carbono dissolvido e maior aporte de matéria orgânica favorecem processos de respiração microbiana e mineralização, contribuindo para o aumento das concentrações de CO<sub>2</sub> dissolvido e, conseqüentemente, para os fluxos de evasão de carbono para a atmosfera (COLE et al., 2007; RAYMOND et al., 2013). Além disso, pesquisas em rios urbanos demonstram que alterações da qualidade da água e do uso do solo, associadas ao aporte de esgoto, nutrientes dissolvidos e matéria orgânica, podem intensificar as emissões de gases de efeito estufa em sistemas fluviais urbanos e impactados (HO et al., 2020). Dessa forma, os padrões observados ao longo do rio Tietê reforçam a relevância da dinâmica longitudinal do carbono e do nitrogênio não apenas para a compreensão da qualidade da água, mas também para o entendimento dos processos biogeoquímicos associados às emissões de gases de efeito estufa em sistemas fluviais sob influência antrópica.

### **Considerações finais**

A análise das concentrações de carbono orgânico dissolvido, carbono inorgânico dissolvido, carbono total dissolvido e nitrogênio total dissolvido ao longo do rio Tietê evidenciou um marcado gradiente longitudinal, refletindo a heterogeneidade dos contextos territoriais e das pressões antrópicas presentes ao longo do eixo fluvial. Os resultados obtidos permitem descrever padrões espaciais consistentes entre trechos de cabeceira, áreas urbanizadas, zonas agrícolas e segmentos regulados por reservatórios, sem que se estabeleçam relações causais diretas a partir dos dados observacionais analisados.

Os trechos de cabeceira, localizados em Salesópolis, apresentaram baixas concentrações de carbono e nitrogênio, compatíveis com um ambiente

de nascente com reduzida interferência antrópica. A partir de Mogi das Cruzes e, de forma mais acentuada, nos trechos da Região Metropolitana de São Paulo, observou-se aumento expressivo das concentrações dos parâmetros analisados, culminando em valores máximos no trecho de Pirapora do Bom Jesus, que se destacou como um ponto crítico ao longo do gradiente longitudinal do rio.

Nos trechos a jusante, especialmente a partir de Salto e ao longo dos reservatórios, verificou-se uma tendência de redução e estabilização das concentrações de carbono e nitrogênio. Esse comportamento sugere a atuação de processos de retenção, transformação e diluição ao longo do sistema fluvial, ainda que a magnitude e a relevância desses processos dependam de características hidrológicas e ambientais específicas de cada trecho.

De forma geral, os resultados reforçam a importância de considerar o rio Tietê como um sistema longitudinalmente integrado, no qual as condições observadas em cada ponto resultam da combinação entre aportes locais e processos acumulativos ao longo do curso do rio. A descrição da variabilidade espacial dos parâmetros analisados contribui para a compreensão do funcionamento biogeoquímico do Tietê e destaca a relevância do monitoramento contínuo para subsidiar ações de gestão e recuperação da qualidade da água.

Por fim, ressalta-se que investigações adicionais, incluindo abordagens voltadas à identificação de fontes, à dinâmica hidrológica e à caracterização de processos locais, são fundamentais para aprofundar a compreensão dos mecanismos responsáveis pelos padrões observados, especialmente em trechos críticos do rio. Nesse sentido, os dados apresentados neste relatório constituem uma base descritiva relevante para futuras análises integradas e para o aprimoramento das estratégias de monitoramento e gestão do rio Tietê.

Além das implicações para a qualidade da água, os resultados obtidos também reforçam a relevância do rio Tietê no contexto da dinâmica regional do carbono, uma vez que elevadas concentrações de carbono dissolvido podem estar associadas à intensificação de processos de decomposição e mineralização da matéria orgânica, potencialmente contribuindo para o

aumento das concentrações de CO<sub>2</sub> dissolvido nos sistemas aquáticos. Dessa forma, os resultados obtidos constituem uma base importante para futuras investigações, integrando a dinâmica do carbono dissolvido, os processos biogeoquímicos fluviais e as emissões de gases de efeito estufa ao longo do rio Tietê. Nesse contexto, destaca-se como próxima etapa da pesquisa a realização de estimativas das emissões de CO<sub>2</sub> ao longo do eixo fluvial, visando aprofundar a compreensão do papel do rio Tietê na dinâmica regional do carbono

### **Referências**

ALLAN, J. D. Landscapes and riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, Palo Alto, v. 35, p. 257–284, 2004. DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.35.120202.110122.

ALLAN, J.; JOHNSON, L. B. Catchment-scale analysis of aquatic ecosystems. *Freshwater Biology*, Oxford, v. 37, n. 1, p. 107–111, 1997. DOI: 10.1046/j.1365-2427.1997.00155.x.

ALFREDO, K. A.; RUSSO, T. Urban, agricultural, and environmental protection practices for sustainable water quality. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, Hoboken, v. 4, n. 5, e1229, 2017. DOI: 10.1002/wat2.1229.

ANH, N. T.; CAN, L. D.; NHAN, N. T.; SCHMALZ, B. Influences of key factors on river water quality in urban and rural areas: a review. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, v. 8, 100424, 2023. DOI: 10.1016/j.cscee.2023.100424.

ARANGO, C. P. et al. Urban infrastructure influences dissolved organic matter quality and bacterial metabolism in an urban stream network. *Freshwater Biology*, Hoboken, v. 62, n. 11, p. 1917–1928, 2017. DOI: 10.1111/fwb.13035.

BANSAL, S. et al. Practical guide to measuring wetland carbon pools and fluxes. *Wetlands*, v. 43, art. 105, 2023. DOI: 10.1007/s13157-023-01722-2.

BATTIN, T. J. et al. River ecosystem metabolism and carbon biogeochemistry in a changing world. *Nature*, London, v. 613, p. 449–459, 2023. DOI: 10.1038/s41586-022-05500-8.

BIEROZA, M. Z.; HEATHWAITE, A. L.; MULLINGER, N. J.; KEENAN, P. O. Understanding nutrient biogeochemistry in agricultural catchments: the challenge of appropriate monitoring frequencies. *Environmental Science: Processes & Impacts*, Cambridge, v. 16, n. 7, p. 1676–1691, 2014. DOI: 10.1039/C4EM00100A.

BORGES, A. V. et al. Globally significant greenhouse-gas emissions from African inland waters. *Nature Geoscience*, London, v. 8, p. 637–642, 2015. DOI: 10.1038/ngeo2486.

CETESB. Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo. São Paulo: CETESB, 2023.

COLE, J. J. et al. Plumbing the global carbon cycle: Integrating inland waters into the terrestrial carbon budget. *Ecosystems*, New York, v. 10, n. 1, p. 171–184, 2007. DOI: 10.1007/s10021-006-9013-8.

COSTA, C. F. G. Processos hidrobiogeoquímicos de carbono e nitrogênio em diferentes usos da terra nas mesobacias dos rios Jaguari e Camanducaia. 2018. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018.

CUNHA, D. G. F.; SABOGAL-PAZ, L. P.; DODDS, W. K. Land use influence on raw surface water quality and treatment costs for drinking supply in São Paulo State (Brazil). *Ecological Engineering*, Amsterdam, v. 94, p. 516–524, 2016. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2016.06.063.

DE MELLO, K. et al. Multiscale land use impacts on water quality: assessment, planning, and future perspectives in Brazil. *Journal of Environmental Management*, London, v. 270, 110879, 2020. DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.110879.

FINKLER, N. R. et al. Riparian land use and hydrological connectivity influence nutrient retention in tropical rivers receiving wastewater treatment plant discharge. *Frontiers in Environmental Science*, Lausanne, v. 9, 709922, 2021. DOI: 10.3389/fenvs.2021.709922.

GALLOWAY, J. N. et al. Transformation of the nitrogen cycle: recent trends, questions, and potential solutions. *Science*, Washington, DC, v. 320, n. 5878, p. 889–892, 2008. DOI: 10.1126/science.1136674.

GRABOWSKI, R. C. et al. The land–river interface: a conceptual framework of environmental process interactions to support sustainable development. *Sustainability Science*, Tokyo, v. 17, n. 4, p. 1677–1693, 2022. DOI: 10.1007/s11625-022-01150-x.

GU, C.; WALDRON, S.; BASS, A. M. Anthropogenic land use and urbanization alter the dynamics and increase the export of dissolved carbon in an urbanized river system. *Science of The Total Environment*, Amsterdam, v. 836, 155597, 2022. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.155597.

HO, L. T. et al. Effects of land use and water quality on greenhouse gas emissions from an urban river system. *Biogeosciences Discussions*, 2020. DOI: 10.5194/bg-2020-311.

HOTCHKISS, E. R. et al. Sources of and processes controlling CO<sub>2</sub> emissions change with the size of streams and rivers. *Nature Geoscience*, London, v. 8, p. 696–699, 2015. DOI: 10.1038/ngeo2507.

HOWARTH, R. W. et al. Coupled biogeochemical cycles: eutrophication and hypoxia in temperate estuaries and coastal marine ecosystems. *Frontiers in Ecology and the Environment*, Washington, DC, v. 9, n. 1, p. 18–26, 2010. DOI: 10.2307/41149673.

JAIN, M. K.; DAS, D. Estimation of sediment yield and areas of soil erosion and deposition for watershed prioritization using GIS and remote sensing. *Water*

Resources Management, Dordrecht, v. 24, n. 10, p. 2091–2112, 2010. DOI: 10.1007/s11269-009-9540-0.

KRUSCHE, A. V. et al. Efeitos das mudanças do uso da terra na biogeoquímica dos corpos d'água da bacia do rio Ji-Paraná, Rondônia. *Acta Amazonica*, Manaus, v. 35, n. 2, p. 197–205, 2005. DOI: 10.1590/S0044-59672005000200009.

LACERDA, L. D.; MOUNIER, S.; ITTEKKOT, V. Editorial: Biogeochemical responses of tropical ecosystems to environmental changes. *Frontiers in Earth Science*, Lausanne, v. 8, 597744, 2020. DOI: 10.3389/feart.2020.597744.

MEYBECK, M. Carbon, nitrogen, and phosphorus transport by world rivers. *American Journal of Science*, v. 282, n. 4, p. 401–450, 1982. DOI: 10.2475/ajs.282.4.401.

NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: PAGE, A. L. (ed.). *Methods of soil analysis: part 2 – chemical and microbiological properties*. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1982. p. 539–579. (Agronomy Monograph, 9). DOI: 10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c29.

NURUZZAMAN, M.; BAHAR, M. M.; NAIDU, R. Diffuse soil pollution from agriculture: impacts and remediation. *Science of the Total Environment*, Amsterdam, v. 962, 178398, 2025. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2025.178398.

PEIXOTO, F. S.; SILVEIRA, R. N. C. M. Watershed: trends and approach of applicability in urban environment. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v. 10, n. 3, 2017. DOI: 10.5935/1984-2295.20170054.

PENNINO, M. J. et al. Sources and transformations of anthropogenic nitrogen along an urban river–estuarine continuum. *Biogeosciences*, Göttingen, v. 13, n. 22, p. 6211–6228, 2016. DOI: 10.5194/bg-13-6211-2016.

PINHEIRO, A. et al. Relação entre o uso do solo e a qualidade da água em bacia hidrográfica rural no bioma Mata Atlântica. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 19, n. 3, p. 127–139, 2014. DOI: 10.21168/rbrh.v19n3.p127-139.

PIRES, D. A.; TUCCI, A.; CARVALHO, M. C.; LAMPARELLI, M. Water quality in four reservoirs of the metropolitan region of São Paulo, Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia*, Rio Claro, v. 27, n. 4, p. 370–380, 2015. DOI: 10.1590/S2179-975X4914.

RAYMOND, P. A. et al. Global carbon dioxide emissions from inland waters. *Nature*, London, v. 503, p. 355–359, 2013. DOI: 10.1038/nature12760.

ROEBUCK, A. et al. Controls of land use and the river continuum concept on dissolved organic matter composition in an anthropogenically disturbed subtropical watershed. *Environmental Science & Technology*, Washington, DC, v. 54, n. 1, p. 195–206, 2019. DOI: 10.1021/acs.est.9b04605.

SÁNCHEZ-MURILLO, R. et al. DOC transport and export in a dynamic tropical catchment. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, Washington, DC, v. 124, n. 6, p. 1665–1679, 2019. DOI: 10.1029/2018JG004897.

SAWAKUCHI, H. O. et al. Carbon dioxide emissions along the lower Amazon River. *Frontiers in Marine Science*, Lausanne, v. 4, 2017. DOI: 10.3389/fmars.2017.00076.

TORTI, M. J.; PORTELA, S. I.; ANDRIULO, A. E. Relaciones entre el uso del suelo y fracciones de fósforo y nitrógeno en condiciones de flujo base de un arroyo pampeano. *Ecología Austral*, Buenos Aires, v. 30, n. 3, p. 331–343, 2020. DOI: 10.25260/EA.20.30.3.0.1073.

TRANVIK, L. J. et al. Lakes and reservoirs as regulators of carbon cycling and climate. *Limnology and Oceanography*, Waco, v. 54, n. 6, pt. 2, p. 2298–2314, 2009. DOI: 10.4319/lo.2009.54.6\_part\_2.2298.

VIEIRA, I. C. B.; RIBEIRO, E. A. W. Influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água no rio Itajaí-Açu, Santa Catarina. *Revista de Geografia*, v. 38, n. 2, p. 396–396, 2021.

WALTEROS, J. M.; RAMÍREZ, A. Urban streams in Latin America: Current conditions and research needs. *Revista de Biología Tropical*, San José, v. 68, suppl. 2, p. S13–S28, 2020. DOI: 10.15517/rbt.v68iS2.44330.

WARD, N. D. et al. Where carbon goes when water flows: carbon cycling across the aquatic continuum. *Frontiers in Marine Science*, Lausanne, v. 4, 2017. DOI: 10.3389/fmars.2017.00007.