



RETENÇÃO DE FOSFATO EM CÓRREGOS URBANOS: APLICAÇÃO DO MODELO TASCC (TRACER ADDITION FOR SPIRALING CURVE CHARACTERIZATION) EM UM RIACHO TROPICAL (SP, BRASIL)

Nícolas Reinaldo Finkler – nicolas.finkler@usp.br

Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos – Departamento de Hidráulica e Saneamento.

Endereço: Av. Trabalhador São Carlense, 400

CEP: 13566-590 – São Carlos – São Paulo

Wesley Aparecido Saltarelli – wesley.saltarelli@gmail.com

Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos – Departamento de Hidráulica e Saneamento.

Adriana Cristina Poli Miwa – adrimiwa@sc.usp.br

Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos – Departamento de Hidráulica e Saneamento.

Davi Gasparini Fernandes Cunha – davig@sc.usp.br

Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos – Departamento de Hidráulica e Saneamento.

Resumo: Este estudo buscou avaliar a aplicação de uma metodologia para estimativa da retenção de nutrientes em um córrego urbano localizado no município de São Carlos (SP). A metodologia TASCC (Tracer Addition for Spiraling Curve Characterization) possibilitou a quantificação dos principais parâmetros da ciclagem e transporte de fosfato no corpo hídrico estudado para a avaliação da capacidade do meio em reter fosfato. Os resultados dos principais parâmetros cinéticos como a taxa de retenção total (U_{tot}) e a velocidade total de retenção (V_{f-tot}) indicaram correlação significativa com a concentração total de fosfato ($R^2 = 0,989; 0,991$, respectivamente). O modelo permitiu ainda a caracterização dos parâmetros ambientais (sem a adição de nutrientes) da espiral. Os valores ambientais da distância de retenção (S_{w-amb}), taxa de retenção (U_{amb}) e velocidade de retenção (V_{f-amb}) foram de 9 m, $3463 \mu g.m^{-2}min^{-1}$ e $387 m.min^{-1}$, respectivamente. Embora o teste tenha caráter pontual e os resultados sejam preliminares, isso pode sugerir que o trecho analisado possui elevada capacidade de reter fosfato em elevadas concentrações, além de possuir certa sensibilidade ao aporte de nutriente. Tais considerações devem ser utilizadas para orientar os gestores a planejar ações em córregos urbanos de maneira a revitalizá-los e maximizar os benefícios obtidos com o serviço ecossistêmico de retenção de nutrientes.

Palavras-chave: ciclagem de nutrientes; riachos urbanos; serviços ecossistêmicos; gerenciamento de recursos hídricos.

PHOSPHATE RETENTION IN URBAN STREAMS: APPLICATION OF TASCC MODEL (TRACER ADDITION FOR SPIRALING CURVE CHARACTERIZATION) IN A TROPICAL STREAM (SP, BRAZIL)



Abstract: This study aimed to assess preliminarily the application of a nutrient uptake model in an urban stream in São Carlos (SP, Brazil). The TASC method (Tracer Addition for Spiraling Curve Characterization) was used to quantify the principal phosphate uptake metrics and its transport in the water body. The results of the main kinetic parameters as total areal uptake rate (U_{tot}) and total uptake velocity (V_{f-tot}) showed significant correlation with the total phosphate concentration ($R^2 = 0.989$; 0.991 , respectively). Furthermore, the model allowed the characterization of environmental parameters (without the nutrient addition) of spiraling. The values of uptake length (S_{w-amb}), uptake velocity (V_{f-amb}) and areal uptake rate (U_{amb}) for the ambient conditions were 9 m , $3463\text{ }\mu\text{g.m}^{-2}\text{min}^{-1}$ and 387 m.min^{-1} , respectively. Although this study was a point and preliminary approach, the results suggest that the stream has a higher capacity and sensibility of phosphate uptake with high nutrient concentration. Such considerations should be used to answer how managers can plan actions in urban streams in order to maximize the benefits to the ecosystem service of nutrient retention.

Keywords: nutrient cycling; urban streams; ecosystems services; water resources management.

1. INTRODUÇÃO

A ciclagem de nutrientes é uma das principais funções ecossistêmicas de corpos hídricos. Além de controlar as taxas de metabolismo autotrófico e heterotrófico, o fenômeno envolve a retenção de nutrientes pela biota aquática e por diversos mecanismos físicos e químicos nesses ambientes. Como um processo fundamental no equilíbrio do ecossistema, a retenção de nutrientes deve ser considerada tanto em pesquisas ecológicas, como na tomada de decisão em processos de gestão de recursos hídricos, tendo em vista a sua importância no controle do transporte de nutrientes para zonas a jusante, assim como no efeito local decorrente da saturação de suas concentrações (COVINO et al., 2012; PAYN et al., 2005).

Atividades antrópicas têm alterado profunda e progressivamente a dinâmica de nutrientes, principalmente de nitrogênio (N) e fósforo (P), na medida em que aumentaram a entrada e disponibilidade destes nas águas superficiais, provocando eventos de eutrofização em lagos, rios e zonas costeiras de todo o mundo (ALEXANDER et al., 2000; PETERSON et al., 2001; RUGGIERO et al., 2006).

Nessa pesquisa, o modelo TASC (*Tracer Addition for Spiraling Curve Characterization*), detalhadamente descrito em Covino et al. (2010), possibilitou a quantificação dos principais parâmetros da ciclagem e transporte de nutrientes no corpo hídrico estudado. Uma das vantagens do método TASC é o cálculo da distribuição dos parâmetros da espiral de nutrientes (*sensu nutrient spiraling concept*; Newbold et al. 1981) como função de várias concentrações de nutriente adicionado. Outra vantagem em comparação a outros métodos (e.g., Ruggiero et al. 2006; Tank et al. 2008) é que o cálculo dos parâmetros da espiral permite avaliar condições de remoção que ocorrem naturalmente no nutriente e, ainda, a resposta do riacho à adição de nutrientes e sua retenção, sendo que ambos são calculados conforme a metodologia TASC.

O objetivo principal da presente pesquisa foi quantificar e avaliar de forma preliminar as taxas de retenção de uma forma dissolvida de fósforo (fosfato) através da aplicação da metodologia TASC a um riacho de primeira ordem localizado no bioma Cerrado (SP), como contribuição à avaliação dos serviços ecossistêmicos desempenhados por ambientes de água doce.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

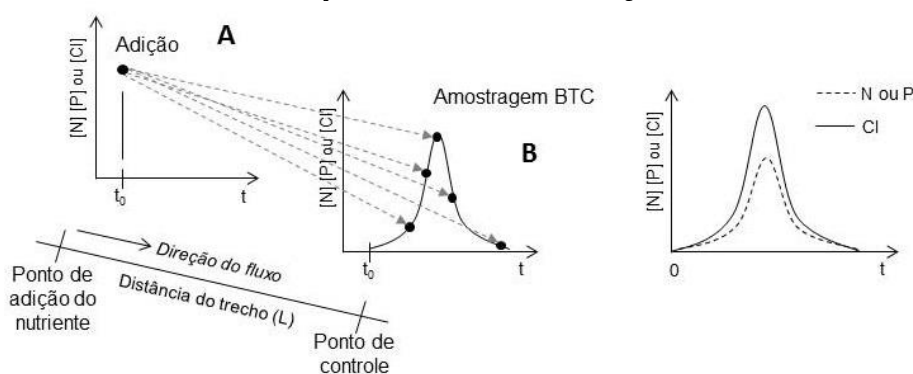
Para a realização desse estudo, foi selecionado um trecho do córrego Cambuí, considerado de pequeno porte (vazão não superior a 100 L/s). Localiza-se no município de São Carlos (SP) e pertence à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRH) 13, dos rios Tietê/Jacaré. O trecho analisado (21°59'42.15" S; 47°54'45.01" O) está inserido em uma bacia altamente urbanizada, cuja vegetação apresenta sinais de degradação. Observa-se também substrato alterado, além da presença de lançamento de efluentes domésticos, descarga de águas pluviais e resíduos sólidos.

Quantificação das taxas de retenção de macro nutrientes (modelo TASCC)

A presente pesquisa utilizou o método proposto por Covino et al., 2010 para caracterizar as curvas cinéticas da retenção de nutrientes. O método divide-se em levantamento de dados em campo e posterior formulação matemática dos principais parâmetros cinéticos. Foi investigada a retenção da forma dissolvida de fósforo (fosfato; PO_4^{3-}).

O método TASCC considera uma adição instantânea de sais de nutrientes e do NaCl (soluto conservativo) no ponto inicial do trecho analisado (Figura 1A). Ao final do trecho, medem-se, em tempo real, os valores de condutividade para determinar quando serão coletadas as amostras ao longo das curvas de ascensão e descenso da condutividade e das concentrações de nutrientes – denominadas BTC (*Breakthrough Curves*) (Figuras 1B, 1C). A frequência de amostragem está associada à declividade da curva de condutividade, sendo as amostras coletadas mais frequentemente durante períodos com maior alteração na condutividade. Em geral, são esperadas de 14 a 21 amostras em cada teste.

Figura 1. Diagrama conceitual e ilustrativo da adição do soluto conservativo e dos sais de nitrogênio e fósforo. (A) adição de nutrientes no ponto a montante do trecho analisado; (B) amostragem conforme curva BTC no ponto de controle do trecho analisado; e (C) curva BTC para o nutriente e para o soluto conservativo. [N]: concentração da forma nitrogenada; [P]: concentração da forma fosfatada; [Cl]: concentração do soluto conservativo, estimada a partir da condutividade; t: tempo decorrido a partir da adição dos nutrientes, no tempo t_0 .



Fonte: Adaptado de Covino et al. (2010).

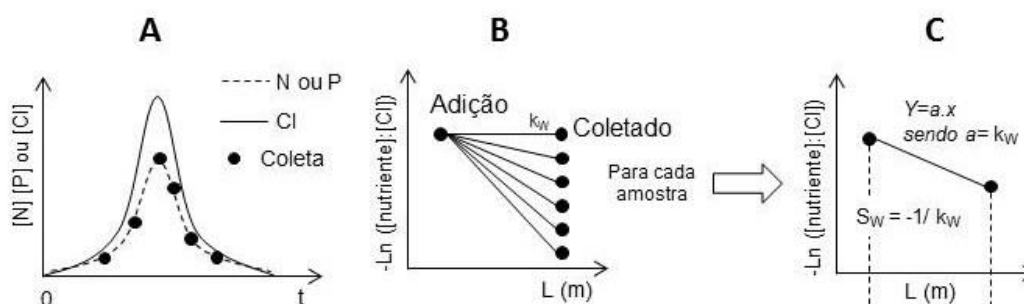
Nessa pesquisa, foram utilizados 39,9 g do sal fosfato de potássio dibásico anidro (K_2HPO_4) dissolvidos em 11 L de água do próprio riacho. O trecho analisado possui extensão de 37 m, considerado adequado para que haja tempo de contato suficiente para que se visualize a retenção dos nutrientes e se possa modelar a sua cinética. A profundidade e largura média do trecho são

respectivamente de 0,25 m e 1,50 m. As análises de fosfato foram realizadas segundo procedimentos descritos em APHA (2012).

Como citado anteriormente, o método TASCSC tem como vantagem em relação a outros métodos, o cálculo da distribuição dos parâmetros da espiral de nutrientes como função de cada concentração de nutriente amostrado. Nessa pesquisa, a distribuição foi gerada a partir da taxa de retenção longitudinal (k_w). A k_w assume que ocorre um declínio exponencial da concentração de nutrientes ao longo do trecho analisado.

As k_w foram calculadas a partir de regressão linear com os logaritmos naturais da razão “[nutriente]:NaCl” adicionado e observado (com concentração *background* corrigida) no ponto de controle, em função da distância (Figuras 2A e 2B). Para cada amostra, foi gerada uma regressão entre os pares de dados. Os coeficientes angulares (i.e., inclinações) de cada uma das curvas derivadas desses dados representam diferentes k_w . Logo, as distâncias de retenção S_w (parâmetro que avalia a eficiência da retenção relativamente ao fluxo) podem ser determinadas como sendo o inverso negativo dos valores de k_w (Figura 2C).

Figura 2. Determinação da k_w e S_w de cada amostra. (A) amostragem de nutriente durante o experimento; (B) regressão linear dos logaritmos naturais da razão “[nutriente]:Cl-” adicionado e coletado em função da distância do trecho; (C) equacionamento de k_w e S_w .

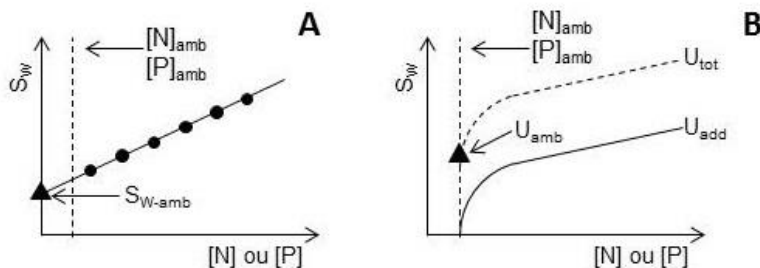


Fonte: Adaptado de Covino et al. (2010).

Com os valores de k_w e S_w , determinaram-se tanto a taxa de retenção (i.e., U_{add}), como a velocidade da retenção (i.e., V_{f-add}) dos nutrientes adicionados (Tabela 1, Eq. 1 e 2). A concentração conservativa do nutriente ($[PO_4^{3-}-P_{cons}]$) utilizada nessas equações foi definida como a concentração que chegaria ao ponto de controle se o nutriente tivesse percorrido todo o trecho de forma conservativa (i.e., sem retenção, valor máximo que seria observado), e calculada como o produto das concentrações de NaCl (com concentração *background* corrigida) e da relação “[nutriente]:NaCl” na solução adicionada.

As distâncias de retenção do ambiente (S_{w-amb}) foram estimadas a partir da regressão entre os valores de S_w e as concentrações observadas no curso hídrico, extrapolando a curva para a concentração inicial do ambiente (Figura 3A). A retenção total do nutriente (U_{tot}) durante os experimentos de adição refere-se à soma entre a retenção que ocorre naturalmente no ambiente (U_{amb}) e a retenção do nutriente adicionado (U_{add}), conforme Figura 3B (Tabela 1, Eq. 3-7). Uma síntese das equações utilizadas para a construção do modelo TASCSC, além das variáveis medidas, calculadas e modeladas, é apresentada nas Tabelas 1 e 2 (COVINO et al., 2010).

Figura 3. Determinação dos parâmetros da espiral de nutrientes pelo método TASCC. (A) extrapolação da curva S_{W-amb} ; (B) caracterização da curva cinética a partir da combinação entre as taxas de retenção do ambiente e do nutriente adicionado.



Fonte: Adaptado de Covino et al. (2010).

Tabela 1. Equações utilizadas para a construção do modelo e estimativa dos parâmetros cinéticos da retenção de nutrientes.

Equação	Parâmetro	Equação
1	U_{add}	$U_{add} = Q \cdot [PO_4^{3-}P_{add}] / S_{W-add} \cdot w$
2	V_{f-add}	$V_{f-add} = U_{add} / [PO_4^{3-}P_{add}]$
3	U_{amb}	$U_{amb} = Q \cdot [PO_4^{3-}P_{amb}] / S_{W-amb} \cdot w$
4	V_{f-amb}	$V_{f-amb} = U_{amb} / [PO_4^{3-}P_{amb}]$
5	U_{tot}	$U_{tot} = U_{amb} + U_{add}$
6	V_{f-tot}	$V_{f-tot} = U_{tot} / [PO_4^{3-} - P_{tot}]$
7	$[PO_4^{3-}P_{tot}]$	$[PO_4^{3-} - P_{tot}] = \sqrt{PO_4^{3-} - P_{tot-obs} \cdot (PO_4^{3-} - P_{cons} + PO_4^{3-}P_{amb})}$

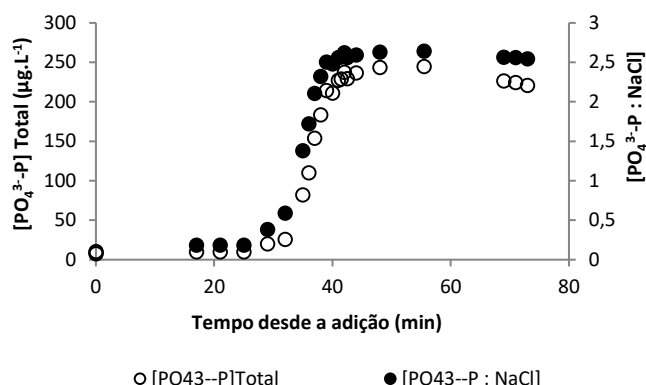
Tabela 2. Variáveis utilizadas para os cálculos e construção do modelo TASCC para estimativa dos parâmetros cinéticos da retenção de nutrientes.

Símbolo	Unidade	Descrição	Mensurado/ Modelado/ Calculado
k_W	m^{-1}	Taxa de retenção longitudinal de nutrientes	Modelado
U_{add}	$mg\ m^{-2}\ s^{-1}$	Taxa de retenção de nutrientes	Modelado
V_{f-add}	$m\ s^{-1}$	Velocidade da retenção dos nutrientes adicionados	Modelado
Q	$m^3\ s^{-1}$	Vazão do trecho	Mensurado
$[PO_4^{3-}P_{add}]$	$mg\ L^{-1}$	Média geométrica entre a concentração observada (com concentração <i>background</i> corrigida) e a da solução ($[PO_4^{3-}P_{cons}]$) para cada amostra	Calculado
w	m	Largura molhada média do trecho	Mensurado
S_W	m	Distância de retenção do nutriente adicionado	Modelado
U_{amb}	$mg\ m^{-2}\ s^{-1}$	Taxa de retenção de nutrientes do ambiente	Modelado
$[PO_4^{3-}P_{amb}]$	$mg\ L^{-1}$	Concentração do ambiente (i.e., concentração <i>background</i> , sem a influência da adição)	Calculado
S_{W-amb}	m	Distância de retenção de nutrientes do ambiente	Modelado
V_{f-amb}	$m\ s^{-1}$	Velocidade de retenção de nutrientes do ambiente	Modelado
U_{tot}	$mg\ m^{-2}\ s^{-1}$	Taxa de retenção de nutrientes total do experimento	Calculado
V_{f-tot}	$m\ s^{-1}$	Velocidade total da retenção de nutrientes	Modelado
$[PO_4^{3-}P_{tot}]$	$mg\ L^{-1}$	Média geométrica entre as concentrações totais (observada e da solução) para cada amostra	Calculado
$[PO_4^{3-}P_{tot-obs}]$	$mg\ L^{-1}$	Concentração total do nutriente observada nas amostras coletadas ao longo da curva BTC (com concentrações iniciais não corrigidas)	Calculado

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

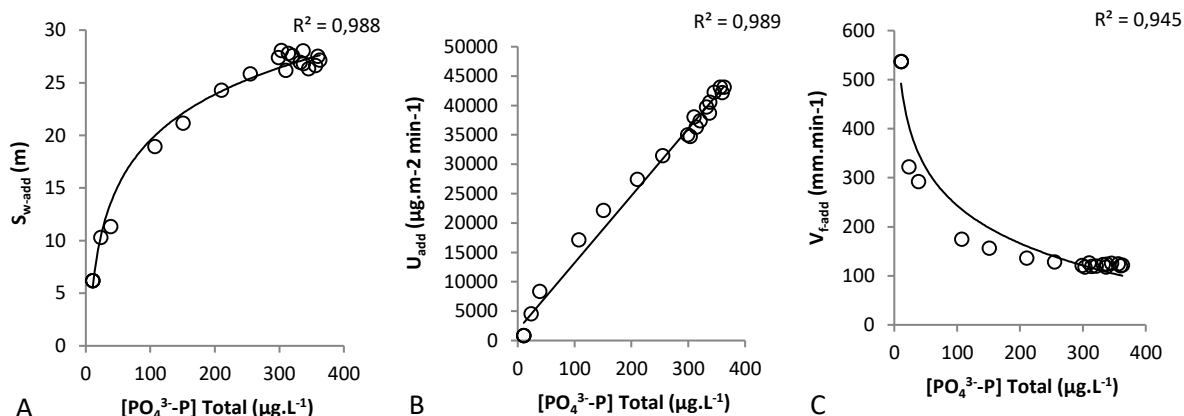
Durante o experimento de adição de nutrientes (Figura 4), 24 amostras foram coletadas ao longo da curva BTC, sendo três delas referentes à concentração ambiental ($[\text{PO}_4^{3-}\text{-P}_{\text{amb}}]$). As concentrações do nutriente observadas na curva BTC variaram de 7,3 a 244,8 $\mu\text{g.L}^{-1}$, enquanto as de NaCl, de 57,8-132,9 mg.L^{-1} . A relação $[\text{PO}_4^{3-}:\text{NaCl}]$ variou entre 0,183-2,643. Essa mudança nos valores da relação representa o transporte de PO_4^{3-} relativo ao NaCl. Valores mais elevados indicam maior transporte conservativo do nutriente (i.e., perto do pico da BTC) em comparação a valores mais baixos, que representam maior retenção de PO_4^{3-} (i.e., caudas da BTC).

Figura 4. Série temporal do $[\text{PO}_4^{3-}\text{-P}]$ total e da relação $[\text{PO}_4^{3-}:\text{NaCl}]$. $[\text{PO}_4^{3-}\text{-P}]$ Total é a média geométrica entre as concentrações totais conservativa e observada do nutriente.



A vazão do riacho estimada no trecho analisado foi de 69 L.s^{-1} e $[\text{PO}_4^{3-}\text{-P}_{\text{amb}}]$, 8,5 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Observou-se que a magnitude de $S_{w\text{-add}}$ e U_{add} aumentou de maneira linear e hiperbólica, respectivamente, à medida que as concentrações de PO_4^{3-} aumentaram. Por outro lado, os valores de $V_{f\text{-add}}$ declinaram hiperbolicamente com o aumento das concentrações de nutriente. A comparação dos parâmetros cinéticos obtidos com o experimento de adição em função da concentração de nutrientes está apresentada na Figura 5.

Figura 5. Regressões lineares comparando parâmetros obtidos com o modelo TASCC e concentrações de nutrientes.



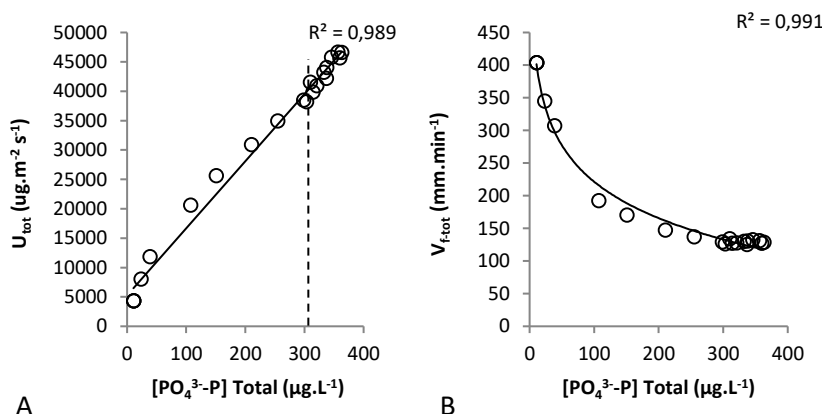
Os valores do coeficiente de determinação (R^2) derivados da regressão linear do $S_{w\text{-add}}$ versus concentração do nutriente foi 0,988 no local estudado. O valor de R^2 para U_{add} em função de Total $[\text{PO}_4^{3-}\text{-P}]$ foi de 0,989, enquanto para $V_{f\text{-add}}$, 0,945.

A correlação significativa de U_{add} versus Total $[PO_4^{3-}P]$ pode indicar que a taxa de retenção de fosfato se eleva com o aumento das concentrações do nutriente, ou seja, sugere que o trecho possui uma elevada capacidade de reter fosfato. O resultado também pode sugerir uma possível limitação do trecho por fósforo, tendo em vista que uma adição considerável do mesmo acarretou um aumento das taxas de retenção do nutriente. No entanto, a validação dessa afirmação poderia ser obtida por meio da utilização da relação N:P do meio, conforme estudo de Green e Fritsen (2006). Segundo os autores, razões $N:P < 22$ indicam que o meio está limitado por N, enquanto se $N:P > 44$, o meio está limitado por fósforo.

As relações apresentadas na Figura 5 coincidiram com as obtidas por alguns estudos realizados (GRIMM et al., 2005; JOHNSON et al., 2015) e o que é normalmente esperado. Nesses estudos, observou-se um aumento de S_{w-add} com o aumento de $[PO_4^{3-}P]$, embora exista grande variabilidade nestas regressões. Comparações pontuais, como é o caso da abordagem utilizada nesse estudo, são problemáticas porque é relevante a influência de outras variáveis (i.e., condições hidrodinâmicas) no processo de retenção. Em parte, é difícil a inferência de conclusões precisas utilizando-se somente dos resultados em função da concentração de nutriente (COVINO et al., 2012). Além disso, os modelos cinéticos são tipicamente baseados na suposição de que a biomassa permanece constante enquanto apenas a concentração de nutrientes varia. Tal suposição é raramente válida para comparações desse tipo, visto que a biomassa cresce com a utilização do nutriente.

Regressões entre S_{w-add} e concentração total de nutriente foram utilizadas para estimar os parâmetros ambientais e basearam-se nas 24 amostras coletadas durante o experimento de adição de nutrientes. A comparação entre S_{w-add} e $[PO_4^{3-}P]_{tot}$ indicaram relação linear ($R^2 = 0,919$), como previsto pela cinética de Michaelis-Menten. Os valores de S_{w-amb} , U_{amb} e V_{f-amb} foram de 9 m, 3463 $\mu g.m^{-2}.min^{-1}$ e 387 $m.min^{-1}$, respectivamente. Com tais parâmetros, foi possível estimar a taxa de retenção de nutrientes total de cada amostra (U_{tot}), bem como a velocidade total da retenção de nutrientes do experimento (V_{f-tot}). A Figura 6 apresenta as correlações obtidas entre os parâmetros e a concentração total de nutriente.

Figura 6. Regressões lineares comparando parâmetros obtidos com o modelo TASCSC e concentrações de nutrientes.



Os valores de U_{tot} aumentaram linearmente com o acréscimo de nutriente, novamente indicativo da cinética de Michaelis-Menten. Na área de estudo, U_{tot} variou entre 4315 e 46619 $\mu g.m^{-2}.min^{-1}$ e apresentou correlação linear significativa com a concentração total ($R^2 = 0,989$). O V_{f-tot} decresceu à medida que a concentração de nutrientes aumentou no corpo hídrico. Igualmente, o parâmetro apresentou correlação hiperbólica significativa com $[PO_4^{3-}P]_{Total}$ ($R^2 = 0,991$). Os resultados apresentados pela Figura 5 corroboraram com as discussões realizadas anteriormente. A correlação obtida entre U_{tot} e $[PO_4^{3-}P]_{Total}$ foi significativa, sugerindo sensibilidade do meio à adição de fósforo, considerando as características iniciais do mesmo. Já a correlação apresentada entre V_{f-tot} e



[$\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$] Total indica que a velocidade na qual ocorrem as reações de retenção do fosfato está intimamente relacionada com as concentrações do nutriente.

Conforme Covino et al (2010), certos locais ou períodos de tempo podem demonstrar variabilidade nas caudas da curva BTC, particularmente em sistemas próximos a saturação antes da adição de nutrientes (e.g., ambientes impactados) ou com dois ou mais compartimentos bastante distintos (e.g., quedas d'água, áreas de remanso). No caso da aplicação do modelo TASCSC ao córrego Cambuí, tais diferenças ficaram evidentes no fato de que as maiores taxas de retenção total de nutrientes estão localizadas próximo ao valor mediano de concentração de PO_4^{3-} ($303,09 \mu\text{g.L}^{-1}$), decorrentes do prolongamento do pico da curva, possivelmente causa de uma área de remanso localizada ao longo da seção de amostragem (Figura 4). Em termos de retenção de nutrientes, a distribuição dos valores de U_{tot} pode indicar que mesmo que o trecho possua elevada capacidade em reter fosfato (conforme valores de U), o sistema possui pouca resistência a cargas de choque ou a concentrações próximas à saturação do meio, visto que o intervalo de taxas de retenção totais é mais largo que o correspondente as concentrações totais de nutriente observadas. Como decorrência, pode haver exportação de nutrientes para áreas a jusante. A identificação desse aspecto fez-se possível através da densidade de dados proporcionada pelo modelo TASCSC, conforme resultados comentados em Covino et al (2010; 2012).

De forma geral, pesquisas anteriores já haviam demonstrado diminuição da eficiência da absorção de nutrientes, representado por V_f , bem como aumentos significativos em U com o aumento da concentração de nutrientes (DODDS et al., 2002), tal como identificado nesse estudo. Mulholland et al. (2008) reuniram dados compilados sobre a retenção de nutrientes em 72 corpos hídricos de oito regiões, e vários biomas e encontraram uma relação significativa entre a diminuição V_f e o aumento da concentração de nutrientes.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve caráter preliminar sobre a avaliação das taxas de retenção de fosfato em córregos urbanos, obtidas a partir do modelo TASCSC. A aplicação da metodologia permitiu identificar algumas características atuantes sobre a dinâmica de nutrientes em ambientes urbanizados, além de direcionar a possíveis conclusões sobre o real impacto do aporte de cargas de nutrientes sobre os serviços ecossistêmicos.

A resposta da cinética das reações de retenção frente a diferentes concentrações de nutrientes apresenta-se como um aspecto importante, principalmente em áreas de nascentes, localizadas em áreas urbanas com pouca infraestrutura de detenção de aportes de esgotos domésticos e de águas pluviais. Nota-se que existe certa sensibilidade a qualquer impacto nessas zonas.

No caso do córrego Cambuí (SP), observou-se que os parâmetros cinéticos da retenção de fosfato se correlacionaram positivamente com as concentrações de nutriente. Embora o teste tenha caráter pontual e os resultados sejam preliminares, isso pode sugerir que o trecho analisado possui elevada capacidade de reter fosfato.

Como próximas etapas à pesquisa, outros trechos representativos para a aplicação do modelo TASCSC serão considerados, cujas análises dos principais parâmetros cinéticos de retenção podem fornecer informações sobre a influência dos impactos antropogênicos (i.e., supressão da mata ciliar, processos erosivos) sobre a retenção.

Tais considerações devem ser utilizadas para responder como os gestores podem planejar ações em córregos urbanos de maneira a maximizar os benefícios obtidos com sua capacidade em reter nutrientes. Os rios urbanos devem ser gerenciados de modo a aproveitar ao máximo as características e serviços que eles podem prover. Para isso, é necessário conhecer as respostas do processo de retenção frente a fatores intervenientes tais como o metabolismo atuante do sistema aquático, a complexidade do meio, bem como sua limitação para de fato planejar ambientes, cujo principal serviço ecossistêmico possa ser a retenção de nutrientes.



Agradecimentos

Os autores gostariam agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de mestrado ao primeiro e segundo autores. O último autor agradece à FAPESP pela concessão de auxílio financeiro (Processo N° 2016/14176-1) sob sua coordenação. Além disso, nossos sinceros agradecimentos à Dra. Flavia Tromboni pelo auxílio na interpretação dos dados do modelo TASCC.

5. REFERÊNCIAS E CITAÇÕES

ALEXANDER, R. B.; SMITH, R. A; SCHWARZ, G. E. Effect of stream channel size on the delivery of nitrogen to the Gulf of Mexico. **Nature**, v. 403, n. February, p. 758–762, 2000.

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22. ed. Washington: American Water Works Assn, 2012.

COVINO, T. P.; MCGLYNN, B. L.; MCNAMARA, R. A. Tracer Additions for Spiraling Curve Characterization (TASCC): Quantifying stream nutrient uptake kinetics from ambient to saturation. **Limnology and Oceanography: Methods**, v. 8, p. 484–498, 2010.

COVINO, T.; MCGLYNN, B.; MCNAMARA, R. Land use/land cover and scale influences on in-stream nitrogen uptake kinetics. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 117, n. 2, p. 1–13, 2012.

DODDS, W. K. et al. N uptake as a function of concentration in streams. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 21, n. 2, p. 206–220, 2002.

GREEN, M. B.; FRITSEN, C. H. Spatial variation of nutrient balance in the Truckee River, California-Nevada. **Journal of American Water Resources Association**. n. 42, p. 659–674, 2006.

GRIMM, N. B. et al. N retention and transformation in urban streams. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 24, p. 626–642, 2005.

JOHNSON, Z. C. et al. Nitrogen retention in the main channel and two transient storage zones during nutrient addition experiments. **Limnology and Oceanography**, v. 60, p. 57–77, 2015.

MULHOLLAND, P. J. et al. Stream denitrification across biomes and its response to anthropogenic nitrate loading. **Nature**, v. 452, n. 7184, p. 202–205, 2008.

PAYN, R. A. et al. Estimation of stream nutrient uptake from nutrient addition experiments. **Limnology and Oceanography: Methods**, v. 3, p. 174–182, 2005.

PETERSON, B. J. et al. Control of nitrogen export from headwaters by headwater streams. **Science**, v. 292, n. April, p. 86–90, 2001.

RUGGIERO A., SOLIMINI A.G., ANELLO M., ROMANO A., DE CICCIO M., CARCHINI G. 2006. Nitrogen and phosphorus retention in a human altered stream. **Chemistry and Ecology**, v. 22, p. 1–13.