

QUAIS OS EFEITOS DA VEGETAÇÃO RIPÁRIA NATIVA SOBRE O APORTE DE FÓSFORO NOS CORPOS HÍDRICOS: UMA REVISÃO DA LITERATURA CIENTÍFICA

Talyson M. Bolelli¹; Camila B. Ruezzeno²; Cássia C. Valadão³; Lucas O. Bueno⁴ & Frederico F. Mauad⁵

ABSTRACT

The vegetation protection bands make up a transition area between terrestrial and aquatic ecosystems and offer a variety of ecosystem services. Due to their high nutrient retention capacity, riparian vegetation is generally used to mitigate diffuse pollution in agricultural areas and to protect aquatic environments from contaminants. One of the most important mineral nutrients used in agriculture for the cultivation of plants, phosphorus (P), can cause major impacts on the environment when its management is done improperly in the soil and for example it can cause eutrophication of water resources. In this study, a bibliographic search was carried out on the main sites and platforms of scientific publications, in order to answer: "What are the structural and functional characteristics of native vegetation in riverside protection bands?". The selected articles were classified and analyzed in: i) Articles with primary data and / or mathematical models; ii) Articles that analyze the presence or absence of the protection band or the width of the protection band; iii) Articles that approach the effectiveness of native vegetation in a positive, negative or neutral way in the retention of P for water bodies. The result showed that the riparian vegetation has great efficiency on the input of nutrient P, regardless of the method or variable, proving the importance of these buffer zones.

Palavra chave: erosão hídrica; retenção de nutrientes; vegetação nativa.

¹ Doutorando no PPGSEA – EESC/USP, talyson_5@hotmail.com.

² Doutoranda no PPGSEA – EESC/USP camila.ruezzeno@gmail.com

³ Mestranda no PPGSEA – EESC/USP, cassiacortes2@gmail.com.

⁴ Mestrando no PPGSEA – EESC/USP, lucasbueno@usp.br.

⁵ Professor no PPGSEA – EESC/USP, mauadffm@sc.usp.br

PPGSEA – Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP) Avenida Trabalhador Sancarlene, Parque Arnold Schmidt, São Carlos – SP, (16) 33738253

INTRODUÇÃO

As áreas ribeirinhas consistem em uma zona de transição entre ecossistemas terrestres e aquáticos capaz de formar uma barreira natural contra a perda de substâncias do ambiente terrestre aos ambientes aquáticos adjacentes (OSBORNE; KOVACIC, 1993). Sendo assim, os tampões ribeirinhos são faixas permanentes de vegetação ao longo dos corpos hídricos com a finalidade de: i) proteger as margens dos rios; ii) fornece habitat para as espécies terrestres e organismos aquáticos, iii) afetar direta ou indiretamente muitos processos estruturais e funcionais importantes nos ecossistemas de riachos; iv) reduzir a carga de sedimentos e nutrientes da área montanhosa para a água (AGUIAR *et al.*, 2015).

O fósforo (P) como nutriente é um elemento essencial à vida e tem uma distribuição muito irregular na natureza. A ação predadora das atividades humanas, aliada à crescente exploração das fontes de P pela mineração, ocupação desordenada do solo, desmatamento e, principalmente, pelo incremento das atividades industrial e agrícola, tem ocasionado a alteração da dinâmica desse nutriente no meio ambiente. A maior parte do P removido das áreas agrícolas é transferida para os corpos d'água através do escoamento superficial, nas formas particuladas e solúveis (DILS; HEATHWAITE, 1996).

Diante disso as práticas de preservação e técnicas agroflorestais têm sido reconhecidas como medidas para abordar muitas questões relacionadas à qualidade da água e do solo (UDAWATTA *et al.*, 2009). Árvores com sistemas radiculares profundos funcionam como eficientes redes de segurança para capturar os nutrientes perdidos na colheita. Na superfície do solo, as raízes das árvores caídas, galhos e material de cama reduzem a velocidade do fluxo e, assim, melhoraram a sedimentação. Além disso, ajudam a reduzir a perda de nutrientes ligados a sedimentos. Embora as práticas agroflorestais melhorem a qualidade ambiental, estudos comparando a eficácia dos tampões agroflorestais na qualidade da água estão em grande parte ausentes da literatura (LOVELL; SULLIVAN, 2006). Nesse contexto o presente artigo de revisão, busca levantar informações em artigos científicos sobre quais os efeitos das faixas de vegetação, em relação ao aporte de P.

METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho foi utilizada a Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) seguindo as normas presentes no guia da Collaboration for Environmental Evidence (CEE), divididas em três fases: planejamento da revisão, condução da revisão e disseminação dos resultados.

O planejamento da revisão iniciou-se com formulação da pergunta, ou seja, uma pergunta responsável por nortear o trabalho, de forma a orientar o processo de tomada de decisão no momento de busca das informações científicas que trazem o resultado esperado da pesquisa (CEE, 2013). Desta forma a questão explicitada foi: “quais os efeitos da vegetação ripária nativa sobre o

aporte de P nos corpos hídricos?

Em seguida, realizou-se a busca sistemática por trabalhos seguindo uma estratégia de busca de forma a responder à pergunta norteadora (CEE, 2013), utilizando-se das principais plataformas científicas, *Web of Science* e *Scopus*. Além disso, foram utilizados os termos de buscas conforme orientado pelo guia de orientação da CEE, para alcançar os trabalhos mais relevantes que respondiam de maneira satisfatória à pergunta norteadora.

Foram realizados testes utilizando termos de interesse e seus sinônimos para traçar uma melhor estratégia de busca por trabalhos que atenderam aos critérios da pergunta. Considerando os principais temas presentes na pergunta norteadora, “vegetação ripária” e “Fósforo”, estabeleceu-se os termos de busca.

Na primeira classe, os termos de buscas similares referentes a vegetação nativa foram separados utilizando-se o operador booleano “OR”, pois as palavras pertencem ao mesmo grupo de informação de interesse. O mesmo repetiu-se para a segunda classe de termos de buscas referentes ao tema P. Após esta etapa, as classes de palavras foram combinadas utilizando o operador “AND”, usado para separar dois ou mais grupos de termos, garantido a obtenção de referências que incluíssem pelo menos um termo de cada classe estabelecida. Os termos de buscas das classes estabelecidas separados foram:

("buffer area" OR " vegetated buffer " OR "riparian forest" OR "riparian area" OR "vegetated buffer" OR "riparian buffer") - referentes a vegetação ripária

AND

("Phospho") – referente ao P.

Para os critérios de exclusão os trabalhos contendo outras revisões, artigos de anais e capítulos de livros não fizeram parte da formulação deste estudo, desse modo para o critério de inclusão, selecionamos artigos científicos em inglês que abordavam a utilização de técnicas de modelagem e ou dados primários para suas análises, se abordava a presença ou ausência da vegetação nativa ou a largura dessas faixas. Sendo assim, respondendo o questionamento sobre os efeitos positivos, onde a presença da vegetação nativa é eficiente em relação ao aporte de P, sobre os efeitos negativos, onde a presença da vegetação nativa não é eficiente em relação ao aporte de P e por último sobre o efeito neutro, ou seja, se a vegetação nativa não tem influência sobre o aporte de P.

Após delimitar, as palavras chaves e a pergunta norteadora, iniciou-se a busca através das plataformas de pesquisa, no qual obtivemos os seguintes resultados: 153 artigos foram encontrados pela plataforma *Web of Science* e 118 através do *Scopus*, que posteriormente foram baixados para o programa *Zotero* e mesclados com a finalidade de excluir os artigos duplicados, chegando assim em um total de 177 artigos selecionados a partir das palavras chave. Em seguida após dedicar-se os critérios de inclusão e exclusão aplicados previamente a leitura dos títulos, foram selecionados 86

artigos, sendo eles separados em uma planilha, com a finalidade de organizar as informações contidas em cada trabalho levando em consideração: ano de publicação, nome do autor, nome da revista, país de origem, título da pesquisa e resumo.

Depois de separados e organizados foi realizada a análise da síntese dos trabalhos. Após a análise dos resumos, todos os artigos selecionados foram obtidos na íntegra e examinados de acordo com os critérios de inclusão, onde eventualmente alguns foram excluídos chegando assim em um total de 56 artigos no qual chegamos aos seguintes resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Alguns trabalhos mais recentes apontam que a vegetação ribeirinha representa uma barreira protetora, conforme (CAO e XIUYUN et al., 2019) que investigaram o aporte de P ao longo costa do lago Chaohu na China e constatou que os padrões de uso da terra tiveram um papel decisivo na regulação da força de sorção de P e do nível de P disponível, recomendando alterar os padrões de uso da terra (áreas úmidas e florestas com grama mais construídas) em tampões ripários.

Para 24% dos autores a presença das faixas de vegetação tem uma ação neutra em relação a retenção do aporte de P, como nos estudos de (Kahle et al., 2013) que não apontam um efeito de retenção das vegetações ripárias, sendo essas de menor importância para a retenção de nutrientes aos corpos hídricos.

Apenas 5% dos artigos analisados apontaram um efeito negativo na presença das faixas de vegetação ribeirinha, de modo que os estudos realizados conduziram à conclusão que as faixas de proteção não são eficientes para a retenção de nutrientes sobretudo o aporte de P.

Em seguida foi analisado os efeitos da vegetação ripária sobre a metodologia utilizada, separando os trabalhos que utilizaram modelos matemáticos para a execução de suas pesquisas, dados primários com coleta de campo ou que utilizaram ambas as metodologias. Encontrando-se a seguinte distribuição (Figura 1):

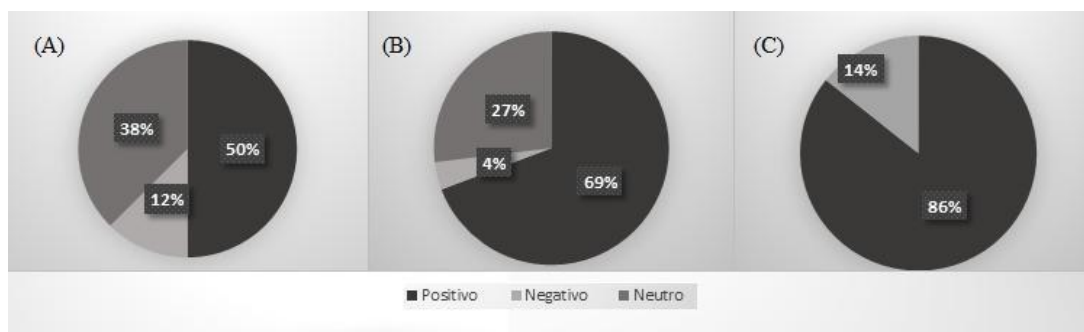


Figura 1 – Distribuição dos resultados identificados nos artigos analisados a partir da Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS), conforme o efeito observado da vegetação ripária sobre o aporte de fósforo nos corpos hídricos em função do método adotado: (A) Efeitos da presença de vegetação nativa

modelos matemáticos e dados primários; (B) Efeitos da presença de vegetação nativa modelos matemáticos; (C) Efeitos da presença de vegetação nativa dados primários (n = 55).

Podemos observar pela distribuição dos artigos que 69% dos autores tiveram resultados positivos ao utilizarem modelos matemáticos para a execução de suas análises. Conforme Dosskey 2010, os estudos de modelagem oferecem uma maneira alternativa de estimar as mudanças na qualidade da água nos córregos em resposta a instalação de buffers. No entanto, a precisão das estimativas modeladas depende do grau em que os modelos conseguem contabilizar e integrar funções importantes e fatores que regem o desempenho. Até o momento, poucos estudos abordam diretamente a resposta da poluição da água à instalação de tampões.

A avaliação da eficácia das zonas-tampão ripárias pelo método de modelagem é amplamente utilizada para o gerenciamento de bacias hidrográficas, uma vez que a avaliação baseada em medição de campo é difícil e onerosa (ZHANG *et al.*, 2017). Para 27% dos autores que utilizaram modelo matemáticos os efeitos sobre a presença da vegetação nativa se mantiveram neutro, esse fato pode estar relacionado aos modelos matemáticos produzirem resultados mais convergentes quando as sub-bacias hidrográficas foram divididas em tamanho adequado.

Artigos que utilizaram os modelos matemáticos juntamente com os dados primários mostraram que 50% dos trabalhos realizados apontaram um fator positivo, de modo que os tampões ribeirinhos impedem que sedimentos e fósforo (P) cheguem aos corpos hídricos. Jiang (2019), utilizou o modelo de fonte agrícola não pontual anualizada (AnnAGNPS) para simular os efeitos de redução do reflorestamento ripário no escoamento e nas cargas de nutrientes, nesse modelo as análises apontaram, que a largura de 20 m do reflorestamento do buffer ripário alcançou a maior eficiência de redução para o escoamento. Essa redução indica que a implementação de tampões das matas ciliares foi capaz de reduzir o risco e a frequência de inundações e eutrofização, especialmente durante os períodos chuvosos e de transição. Uma vez que segundo (Dillaha *et al.*, 1989; Lee *et al.*, 1993) a eficiência de retenção de P em tiras-tampão depende de vários fatores, como o tipo de solo e grau de saturação do P, largura da inclinação do buffer, vegetação, tipo e gerenciamento, área de origem e proporção de uma área de buffer para uma área de origem.

Sobre os artigos que abordaram a eficácia do tamanho da faixa de vegetação, 90% dos autores que utilizaram essa metodologia, obtiveram resultados positivos conforme (Mankin *et al.*, 2007) apontando em seus estudos que as florestas de matas ciliares e as faixas de filtro vegetativo são amplamente recomendadas para melhorar a qualidade das águas superficiais, mas o sistema de matas ciliares (RBSs) é bem menos estudado. Y LIU, 2007 em sua pesquisa utiliza uma interface para avaliar quais os benefícios da qualidade da água da vegetação ripária na bacia do Lower Canagagigue Creek, localizada no sul de Ontário, Canadá. Seus resultados indicaram que o sistema tampão ripário existente alcançou uma redução de 27,9% nos sedimentos e uma redução de 37,4% no P total. Os tampões foram muito eficientes na remoção de sedimentos e P, com eficiências de remoção

fortemente ligadas à infiltração.

A retenção total de P é menor em solos mais grossos, essa observação está atribuída a uma menor retenção de sedimentos menores de argila, que estão enriquecidas com o P conforme citado por Dillaha *et al.* (1993). Desse modo, os dados reforçam uma situação conhecida apontada na literatura nacional sobre a importância e eficiência dessas faixas de proteção. A desorção de P da zona tampão depende do grau de saturação de P, onde as zonas ripárias a longo prazo podem estar saturadas e tornar-se uma fonte do nutriente. Bechmann *et al.* (2005) demonstram que a vegetação ripária é menos eficiente na primavera do que durante a estação de crescimento em climas frios devido à reduzida cobertura vegetal e efeitos de congelamento e descongelamento. Essas variações também podem estar associadas a época do ano no qual as pesquisas foram realizadas, uma vez que o crescimento da vegetação é uma variável importante, estudos como Schmitt *et al.* (1999) demonstraram que a capacidade de retenção muda de acordo com a idade do buffer, de modo que essa pode aumentar durante períodos com aumento da cobertura vegetal.

Observamos que a modelagem é amplamente utilizada nos trabalhos, quase metade dos estudos analisados utilizaram modelos matemáticos para desenvolver suas pesquisas, a exemplo de Zhang *et al.* (2017), que utilizou um modelo conceitual mensurando a largura, composição e densidade de espécies em matas ciliares. Os processos do escoamento superficial, sedimentos e nutrientes em cada segmento tampão foram simulados com o REMM. A interface do ArcGIS desenvolvida neste estudo automaticamente dividiu as zonas tampão ripárias em segmentos separados, extraiu os atributos de cada segmento e organizou a saída do SWAT no formato de arquivo de entrada do REMM (Y LIU, 2007). Para o autor, o delineando dos buffers é eficaz pois, à medida que a largura dos tampões ribeirinhos aumenta, a eficácia das buffers ribeirinhos aumentará e gradualmente alcançará seu máximo limite na redução de poluentes. A execução do modelo demonstrou que a interface GIS era fácil de usar e poderia servir como um protocolo para integrar modelos com escalas espaciais distintamente diferentes. Os modelos matemáticos são amplamente utilizados no mundo todo, devido a sua facilidade de tratamento e entrada de dados, mostrando assim que os resultados são satisfatórios quando atrelados a introdução de dados primários.

CONCLUSÃO

Foi possível mapear na literatura científica os artigos que apontam os efeitos da cobertura do solo nas faixas marginais aos corpos hídricos sobre o aporte de Fósforo, com ênfase no papel exercido pela vegetação nativa nesses locais, bem como, quais as regiões do mundo e a distribuição ao longo dos anos mais pesquisas têm demonstrado interesse em estudar sobre o tema.

Restauração de zonas úmidas e restauração de áreas não cultivadas zonas-vegetação ripária têm sido usadas como uma opção de mitigação para reduzindo o transporte de nutrientes para as águas superficiais a jusante em muitas partes do mundo. Mostrando que os dados reforçam uma

situação conhecida apontada na literatura científica sobre a importância dessas faixas.

Por fim, acredita-se que seja necessária uma atenção nos riscos em conexão com a mudança do uso da terra e da função do corredor ribeirinho, uma vez que, as demandas agrícolas estão cada vez maiores em todo mundo, aumenta também o risco contaminação hídrica, como também a faixa de vegetação ripária pela liberação de P dos campos agrícolas.

BIBLIOGRAFIA

AGUIAR J. T. R.; RASERA, K.; PARRON, L. M.; BRITO, A. G.; FERREIRA, M. T. (2015). "Nutrient removal effectiveness by riparian buffer zones in rural temperate watersheds: the impact of no-till crops practices". *Agric. Water Manage.*, v. 149, p.74–80.

BECHMANN, M.; KLEINMAN, A.; SHARPLEY, A.N.; SAPORITO, L. S. (2005). "Efeitos do congelamento e descongelamento na perda de fósforo no escoamento de solos adubados e coletados". *J Environ. Qual.*, v.34, p.2301 - 2309.

CAO, X.; SONG, C.; XIAO, J.; ZHOU, Y. (2018). "A largura e o mecanismo ótimos dos tampões ripícolas para a remoção de nutrientes das águas pluviais na bacia hidrográfica chinesa do lago Chaohu eutrófico". *Água.*, v. 10, p.1489.

DILLAHA, T. A.; RENEAU, R. B.; MOSTAGHIMI, S.; LEE, D. (1993). "Vegetative filter strips for agricultural non-point source pollution control". *Trans. ASAE.*, v.32, p.513–519.

DILS, R. M.; HEATHWAITE, A. L. Phosphorus fraction in hillslope hydrological pathways contributing to agricultural runoff. In: Anderson, M.G.; Brooks, S. M. (ed.). *Advances in hillslope processes*. Chichester: John Wiley & Sons, 1996. cap.10, p.229-251.

DOSSKEY, MICHAEL G .; VIDON, PHILIPPE; GURWICK, NOEL P .; ALLAN, CRAIG J .; DUVAL, TIM P .; LOWRANCE, RICHARD. (2010). "O papel da vegetação ribeirinha na proteção e melhoria da qualidade da água química nos córregos". *Jornal da Associação Americana de Recursos Hídricos.*, p.1-18.

JIANG, K., LI, Z., LUO, C. (2019). "Os efeitos da redução do reflorestamento ribeirinho no escoamento e exportação de nutrientes com base no modelo AnnAGNPS em uma pequena bacia hidrográfica típica, na China". *Environ Sci Pollut Res.*, v. 26, p. 5934–5943 .

KAHLE, PETRA & SCHOENEMANN, SANDRA & LENNARTZ, BERND. (2013). "Effect of vegetated buffer strips on nitrate inputs into surface waters in drained lowland catchments". *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*. v.57. p.60-68.

LEE, K. H.; ISENHART, T.M.; SCHULTZ, R. C.; MICKELSON, S. K. (2000). "Multispecies riparian buffers trap sediment and nutrients during rainfall simulations". *J. Environ. Qual.*, v.29, p.1200–1205.

LOVELL, S. T.; SULLIVAN, W.C (2006). "Benefícios ambientais dos buffers de conservação nos Estados Unidos: evidências, promessas e perguntas abertas". *Agricultura, Ecossistemas e Meio ambiente.*, v.112, p. 249-260.

MANKIN, K. R.; NGANDU, D.M.; BARDEN, C.J.; HUTCHINSON, S.L.; GEYER, W. A. (2007). "Remoção de sedimentos, fósforo e nitrogênio do tampão ribeirinho capim-arbustivo1 do escoamento simulado". *JAWRA Journal of the American Water Resources Association.*, v. 43, p.1108-1116.

PIETERSE, NM , H OLDE VENTERINK, PP SCHOT, AWM VERKROOST. Streamflow, uma ferramenta de avaliação ambiental baseada em GIS para rios de terras baixas, Streamflow, uma ferramenta de avaliação ambiental baseada em GIS para rios de terras baixas, vol. 2 , Departamento de Ciências Ambientais, Universidade de Utrecht , Utrecht (2003)

OSBORNE, L. L; KOVACIC, DA. (1993). "Faixas ripárias com vegetação ripícola na restauração da qualidade da água e no gerenciamento de riachos. *Freshwater Biology.*", v.29, p. 243-258.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; ARANTES JÚNIOR, J. D.; TUNDISI, J. E. M.; MANZINI, N. F.; DUCROT, R. (2004). "The response of Carlos Botelho (Lobo, Broa) reservoir to the passage of cold fronts as reflected by physical, chemical, and biological variables São Carlos". *Brazilian Journal of Biology.*, v.64, p.177-186.

UDAWATTA, R. P, KRSTANSKY, J. J., HENDERSON G.S., GARRETT H.E. (2002). "Práticas agroflorestais, escoamento superficial e perda de nutrientes: uma comparação pareada de bacias hidrográficas". *J Environ Qual.*, v.31, p.1214–1225.

Y. LIU, W. YANG, X. (2007) Wang Transações da ASABE. Bacia hidrográfica agrícola, Escala de modelagem, Integração de modelos, REMM, Riparian buffer, SWAT 2007. v.30, p,1549-1563.

ZHANG, C.; LI, S.; JAMIESON, R.C.; MENG, F.R. (2017). "Avaliação por segmento de tampões ribeirinhos na melhoria da qualidade da água dos riachos aplicando um modelo integrado. *Modelagem Ecológica*"., v.345, p.1–9.