

Estimativa da Pegada Hídrica Cinza Relativa ao Fósforo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pipiripau (DF/GO)

Sarah Caetano de Freitas*, Henrique Marinho Leite Chaves*

cfsarinha@gmail.com; hlchaves@terra.com.br

Recebido: 10/06/13 - revisado: 21/08/13 - aceito: 27/01/14

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a pegada hídrica cinza no tocante ao fósforo total, nos cenários atual e hipotéticos de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do Ribeirão Pipiripau. A avaliação da pegada hídrica cinza consistiu de quatro fases distintas, ou seja: definição de objetivos e escopos, contabilização da pegada hídrica, avaliação da sustentabilidade da pegada hídrica e formulação de resposta da pegada hídrica. A pegada hídrica cinza para as condições atuais de uso e ocupação do solo, calculada por meio dos coeficientes de exportação de fósforo e através de medidas de concentração de fósforo (P) no ribeirão foi de 0,04 m³/s e 0,07 m³/s, respectivamente. Os cenários hipotéticos de uso e ocupação do solo, apresentaram, por sua vez, pegadas hídricas de 0,05 m³/s (cenário 100% agrícola), 0,12 m³/s (100% urbano), 0,006 m³/s (100% cerrado), e 0,09 m³/s (50% agrícola e 50% urbano). As pegadas hídricas cinza de todos os cenários analisados mostraram-se ambientalmente sustentáveis na bacia.

Palavras - Chave: Pegada hídrica cinza, coeficiente de exportação, carga de fósforo, capacidade de assimilação de fósforo.

INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas da região dos Cerrados vêm sofrendo pressões ambientais ao longo dos últimos 50 anos. Isto se deve, principalmente, ao aumento da urbanização e ao crescimento da atividade agropecuária na região.

Esses processos levam, necessariamente, ao aumento do consumo e também à produção de resíduos e efluentes de vários tipos, que ameaçam a qualidade da água dos seus cursos d'água (CBH - PARANAÍBA, 2012).

O caso da bacia do rib. Pipiripau, localizada no nordeste do Distrito Federal, não é exceção à regra. Chaves et al. (2004) relatam que a maior parte dos produtores rurais dessa bacia não utiliza práticas e manejos conservacionistas em suas propriedades, e, sendo os solos da bacia erodíveis, os mesmos sofrem um processo de erosão acelerada durante o período chuvoso (outubro a maio). O sedimento gerado nas glebas e fazendas é então levado pelas enxurradas, chegando aos cursos d'água da bacia, ameaçando a qualidade da água, quer pela sedimentação, quer pela poluição e eutrofização.

Neste contexto, a pegada hídrica cinza, um indicador de poluição hídrica, desenvolvido recentemente por Hoekstra et al. (2011), pode ser de grande valia como uma ferramenta de gestão de recursos hídricos, uma vez que, através dela, se calcula o volume de água necessário para a assimilação de uma carga poluente, baseada nas concentrações naturais e na poluição pontual e difusa, contribuindo para o planejamento e adoção de medidas de controle da poluição das águas.

Apesar do recente desenvolvimento do conceito e do reduzido número de trabalhos sobre o tema, a aplicação da pegada hídrica como indicador de sustentabilidade hídrica vem crescendo rapidamente em todo o mundo.

Como exemplo temos o trabalho de Zeng et al. (2012) que, avaliou a pegada hídrica da bacia hidrográfica Heihe, no noroeste da China. Os resultados por eles encontrados mostraram que a pegada hídrica para essa bacia foi de 1.768 milhões m³ por ano, sendo que a produção agrícola foi a maior consumidora de água, respondendo por 96% da pegada hídrica. Os 4 % restantes foram para os setores industrial e doméstico.

Zaffani et al. (2011), por sua vez, estudaram a poluição da drenagem urbana relacionada com a pegada hídrica cinza em três pontos de monitoramento da cidade de São Carlos (SP). Eles encontraram para o parâmetro sólidos totais nos três pontos,

*Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal./UnB

os valores médios de pegada hídrica cinza 3,40; 1,64; e 1,71 (mg/h/ha) respectivamente. Para o parâmetro fosfatos totais, os valores médios 66,21; 17,95 e 20,84 (mg/h/ha) respectivamente e para o parâmetro DBO 9,79; 7,05 e 6,73 (mg/h/ha), respectivamente.

Baseado nas informações expostas, este trabalho, pioneiro no Brasil, buscou avaliar o potencial da pegada hídrica cinza como ferramenta na gestão de recursos hídricos, através de uma aplicação com dados reais, numa pequena bacia rural do Distrito Federal.

Nesse sentido, o objetivo do presente estudo foi avaliar a pegada hídrica cinza, no tocante ao fósforo, nas condições de uso e ocupação atual do solo da bacia hidrográfica do ribeirão Pipiripau (figura 2) e em outros cenários hipotéticos de uso.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Bacia do Ribeirão Pipiripau (figura 1), localizada no nordeste do Distrito Federal, na divisa com o município de Formosa/GO, com uma área total de 23.527 hectares. A maior parte da área da bacia localiza-se no Distrito Federal (90,3%), sendo que a região que abriga a nascente do curso principal localiza-se no estado de Goiás (BRASIL, 2010).

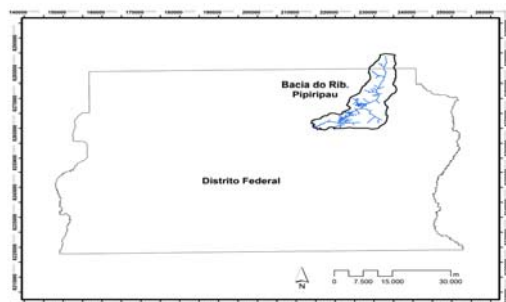


Figura 1 - Localização da Bacia hidrográfica do ribeirão Pipiripau. Fonte: Chaves (2012, não publicado).

A metodologia de avaliação da pegada hídrica usado no presente trabalho original de Hoekstra et al. (2011). Essa avaliação consiste de quatro fases distintas: i) definição de objetivos e escopos; ii) contabilização da pegada hídrica; iii) avaliação da sustentabilidade da pegada hídrica; e iv) formulação de resposta da pegada hídrica (HOEKSTRA et al., 2011).

A pegada hídrica cinza é definida como a carga de poluente dividida pela diferença entre o padrão de qualidade da água em seu estado natural para aquele poluente, e sua concentração natural no corpo d'água receptor, ou seja:

$$PH_{cinza} = L / (C_{max} - C_{nat}) \quad (1)$$

Onde: PH_{cinza} é a pegada hídrica cinza (m^3/s); L , a carga de poluente (kg/ano); C_{max} , a concentração máxima aceitável do poluente (Kg/L) e C_{nat} , a concentração natural do poluente no corpo d'água (Kg/L).

O cálculo da pegada hídrica cinza foi baseado no carregamento de fósforo total (P_t) para a água. Para a quantificação da carga de fósforo total (L) no curso d'água, foi realizado primeiramente o agrupamento das classes do uso e ocupação do solo.

Esse agrupamento é baseado nas conclusões de Uttomark et al. (1974). Os autores concluíram que, quando atividades de uso do solo são tomadas como base para estimar cargas de poluentes provenientes de fontes difusas, há pouca justificativa para o uso de mais de quatro grandes categorias: urbanas, agrícolas, florestas (condição natural, em nosso caso, cerrado), e zonas úmidas., isso ocorre porque os dados de exportação de nutrientes disponíveis são demasiadamente fragmentados e variáveis para justificar ainda mais a subdivisão de categorias de uso da terra. Dessa forma, as classes de uso do solo da bacia estudada foram agrupadas de acordo com a Tabela 1: Observa-se nesta tabela, que não há a categoria zona úmida. Isso se deve pela falta de zonas úmidas na bacia de estudo, o que pode ser observado no mapa de uso e ocupação do solo da bacia em questão (figura 2).

Tabela 1 - Agrupamento das categorias/classes de uso do solo

Categoria	Classes de uso do solo
Agrícola	Pastagem, Agricultura extensiva e Cultura irrigada.
Urbano	Solo exposto, Sedes e edificações, Áreas urbanas, Vias pavimentadas e Vias não pavimentadas.
Cerrado	Cerrado, Vegetação alterada, Campo, Mata e Reflorestamento.

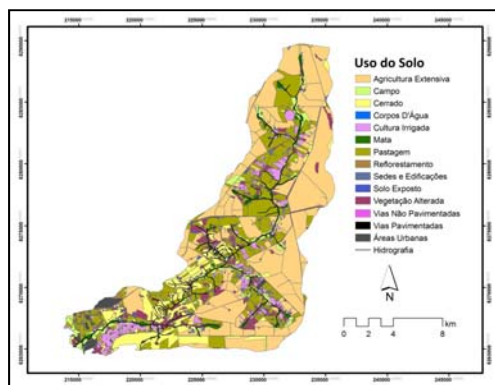


Figura 2 - Mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do ribeirão Pipiripau. Fonte: TNC (2009).

Para o cálculo de L , foram usados valores de coeficientes de exportação de fósforo total para cada classe de uso e ocupação do solo da bacia. Esses valores foram obtidos da literatura, em estudos anteriores na mesma bacia e em estudos de outras bacias.

Os valores dos coeficientes de exportação de fósforo total das áreas agrícola e cerrado da bacia foram encontrados seguindo os passos abaixo:

- Obtenção do valor de fósforo total de uma área agrícola/cerrado da bacia do ribeirão Pipiripau, do estudo de Souza (2013, não publicado);
- Obtenção do valor da taxa de enriquecimento do fósforo solo/sedimento, dada por Pinheiro et al. (2010);
- Multiplicação do valor de fósforo total do solo da área agrícola/cerrado da bacia estudada pela taxa de enriquecimento do fósforo solo/sedimento;
- Estimativa da perda de solo média das áreas agrícola/cerrado da bacia, de acordo com o trabalho de Chaves (2012, não publicado);
- Cálculo do coeficiente de exportação de fósforo total para a classe agrícola/cerrado, usando a seguinte equação:

$$\text{Coef (Pt)} = (L_{\text{solo}} \cdot L_{\text{ps}}) / 100 \quad (2)$$

Onde Coef (Pt) é o valor de coeficiente de exportação de fósforo total da área agrícola/cerrado (Kg/ha/ano); L_{solo} é a carga de solo total carreada da área agrícola/cerrado para o corpo d'água

(Kg/ha/ano) e L_{ps} é a porcentagem de fósforo total no sedimento.

O coeficiente de exportação de fósforo total da área urbana, por sua vez, foi obtido por meio do trabalho de Salas e Martino (1991) (Tabela 2). Em seguida, os coeficientes de exportação obtidos (Tabela 3) foram multiplicados pelas áreas das respectivas classes de uso.

Tabela 2 - Valores de coeficientes de exportação de fósforo total de acordo com o uso e ocupação do solo

Classe de uso e ocupação do solo	Coeficiente de exportação de fósforo (Kg/ha/ano)
Urbana	1,0
Agrícola	0,5
Cerrado	0,1

Fonte: Adaptado de Salas e Martino (1991).

Tabela 3 - Valores de coeficientes de exportação de fósforo total para as três principais classes de uso e ocupação do solo da bacia do Pipiripau.

Classe de uso e ocupação do solo	Coeficiente de exportação de fósforo (Kg/ha/ano)
Urbana	1,0
Agrícola	0,4
Cerrado	0,05

Finalmente, foi realizado o somatório dos valores provenientes da multiplicação dos coeficientes de exportação do fósforo total de cada classe de uso e ocupação do solo, por sua respectiva área, obtendo-se a carga de fósforo total que é carreada com o sedimento para o corpo d'água da bacia.

Neste estudo foi considerado o exutório como o ponto de referência para a quantificação da carga de fósforo. Isto foi considerado, pois há uma série de complexidades ligando o aporte de sedimento a jusante com a perda de solo a montante, e com o sedimento total erodido no interior da bacia, que chega ao seu exutório anualmente. Dessa forma, consideramos a suposição de Chaves et al (2004), que estabelece que a redução da erosão no

interior da bacia implicará na mesma redução proporcional no aporte de sedimentos no seu exutório. Tal suposição encontra respaldo no trabalho de Renfro (1975). O aporte de sedimento no exutório da bacia, por sua vez, foi estimado pela relação de aporte de sedimento (RAS), em função da erosão total no interior da bacia. Essa relação é dada pela seguinte equação (RENFRO, 1975):

$$\text{RAS} = Y / E \quad (3)$$

Onde: RAS (0–1) = relação de aporte de sedimento; Y (tonelada (t)) = aporte de sedimento no exutório da bacia; e E (t) erosão total na bacia.

De acordo com Chaves (2010), a relação de aporte de sedimento (RAS) para a bacia do rib. Pipiripau é de 0,83 %. Este valor foi então usado para a estimativa de Y, através da equação (3).

A perda de nutrientes (fósforo) pode ser expressa tanto em concentração do elemento na suspensão ou no sedimento (SCHICK et al., 2000). Entretanto, Oliveira (2007) constatou que na água da enxurrada não foram registradas perdas de fósforo significativas, pelo fato do mesmo ser fortemente adsorvido aos colóides do solo.

Segundo este autor, o maior transporte de P se deu nas frações de argila e silte do sedimento. Assim, considerou-se que o carregamento de fósforo total para o corpo d'água ocorreu adsorvido no sedimento erodido e transportado até o exutório da bacia.

A concentração máxima do fósforo (L_{max}) foi definida baseada na Res. CONAMA No. 357/2005. Segundo os padrões de qualidade estabelecidos por esta resolução, para águas doces de classe 2, classe em que o ribeirão Pipiripau está inserido, a concentração máxima de fósforo total nos corpos d'água é de 0,050 mg/L.

A concentração natural (C_{nat}) do poluente em um corpo d'água receptor corresponde àquela que ocorreria se não houvesse intervenções humanas na bacia hidrográfica (HOEKSTRA et al., 2011). Segundo esses autores, para substâncias de origem humana que naturalmente não ocorrem na água, C_{nat} é igual a zero.

Entretanto, de acordo com Liu et al. (2012), a concentração natural não pode ser igual a zero, pois mesmo sem ação antrópica, todos os rios naturalmente transportam alguns nutrientes. Assim, para o cálculo da concentração natural do fósforo total na bacia, foi utilizada a seguinte equação:

$$C_{\text{nat}} = L_{\text{nat}} / Q \quad (4)$$

Onde: C_{nat} é a concentração natural da carga poluente no corpo d'água (Kg/L); L_{nat} a carga de poluente (Kg/L) e Q, a vazão da bacia (m^3/s).

Nessas condições, o valor de L_{nat} foi baseado nos valores da classe cerrado, que representam as condições naturais da bacia, sem interferência humana.

Assim sendo, a carga natural L_{nat} foi calculada multiplicando-se o valor do coeficiente de exportação da classe cerrado pela área total da bacia.

Para o cálculo da pegada hídrica cinza usando o valor da concentração de fósforo total medida na bacia, as seguintes etapas foram seguidas:

- Obtenção da concentração de fósforo total no ribeirão Pipiripau, do PGRIH-DF (2006), sendo essa a concentração média anual do fósforo total, obtida entre os anos 1991 e 2009;
- Cálculo da carga de fósforo total (Kg/ano) usando o valor da concentração de fósforo total no ribeirão (Equação 5);
- Cálculo da pegada hídrica cinza (Equação 1):

$$L \text{ (Pt)} = C \cdot Q \quad (5)$$

Onde: L (Pt) é a carga de fósforo total (Kg/ano); C é a concentração de fósforo total (mg/L) e Q vazão média do rio (m^3/s).

Além do cálculo da pegada hídrica cinza para o cenário atual da bacia, cenário demonstrado pela mapa atual de uso e ocupação do solo, foi realizado o cálculo da pegada hídrica cinza (Pt) para os seguintes cenários (condição) de uso e ocupação do solo:

- **Condição 1:** Uso e ocupação da bacia hidrográfica do ribeirão Pipiripau 100% Agrícola;
- **Condição 2:** Uso e ocupação da bacia hidrográfica do ribeirão Pipiripau 100% Urbano;
- **Condição 3:** Uso e ocupação da bacia hidrográfica do ribeirão Pipiripau 100% cerrado;
- **Condição 4:** Uso e ocupação da bacia hidrográfica do ribeirão Pipiripau 50% Agrícola e 50% Urbano.

Para a estimativa da sustentabilidade da pegada hídrica cinza, foi avaliada a sustentabilidade ambiental da pegada hídrica cinza, uma vez que consideramos apenas as questões de qualidade de água.

Para que a pegada hídrica cinza seja considerada ambientalmente sustentável, a qualidade da água deve permanecer dentro de certos limites, ou seja, seguindo os padrões de qualidade da água em seu estado natural. Os padrões de qualidade da água aqui seguidos são os apresentados pela resolução CONAMA No. 357/2005, na classe em que a bacia se enquadra (Classe 2).

A capacidade de assimilação residual de fósforo total da bacia, por sua vez, foi obtida calculando-se o nível de poluição da água (WPL) dentro da bacia. O WPL é estimado pela razão entre o total das pegadas hídricas cinza, na fórmula identificado como ΣWF_{grey} e o escoamento real da bacia (R_{act}). Um nível de poluição de água de 100% significa que a capacidade de assimilação de resíduos foi totalmente utilizada. Quando o nível de poluição excede 100%, os padrões de qualidade da água em seu estado natural são desrespeitados. O nível de poluição da água é calculado para uma bacia x e tempo t , de acordo com a equação 6.

$$WPL[x,t] = \frac{\Sigma WF_{grey}[x,t]}{R_{act}[x,t]} \quad (6)$$

Por fim, a formulação da resposta da pegada hídrica cinza consistiu em um inventário de ações que podem ser consideradas para a redução da pegada hídrica, conforme recomendadas por Hoeskstra et al (2011). Várias opções de resposta existem e dependem da avaliação e resultados dos processos anteriores.

Caso a contabilização da pegada hídrica cinza apresente valores altos, ou seja, a pegada hídrica cinza tenha valor próximo ou maior do que o fluxo do rio, desrespeitando os padrões de qualidade da água em seu estado natural, e consequentemente apresentando-se insustentável ambientalmente, a formulação da resposta à pegada hídrica deverá abranger ações de controle e redução da pegada bem como os responsáveis por essas ações. Em contrapartida, se a pegada hídrica cinza apresentar valores que não desrespeitem os padrões de qualidade de água, ou seja, sustentável ambientalmente, as ações propostas devem ser, principalmente, para manutenção desta pegada hídrica ou até mesmo atingir o status de “água neutro”, que ocorre quan-

do se obtém a redução da pegada hídrica de uma atividade tanto quanto possível.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores usados para o cálculo do coeficiente de exportação do fósforo total da classe agrícola e cerrado, foram:

- Valor da concentração de fósforo total no solo de uma área agrícola e cerrado da bacia: 25 ppm e 0,3 ppm, respectivamente (Souza, 2013, não publicado);
 - Valor da taxa de enriquecimento do fósforo solo/sedimento: 1,76 (PINHEIRO et al., 2010);
- Quantidade de solo da área agrícola e cerrado da bacia, carregado para o corpo d'água: 10.000 Kg/ha/ano e 1.000 Kg/ha/ano, respectivamente (CHAVESs 2012, não publicado).

Os valores obtidos e usados para o cálculo da carga de fósforo total e da pegada hídrica cinza, foram:

- Valor médio da concentração de fósforo total no ribeirão Pipiripau: 0,02 mg/L (PGIRH – DF, 2006);
- Valor da média das vazões médias mensais de 2010: 1,77 m³/s (ANA, 2010).

Na tabela 4, são expostos os valores dos coeficientes de exportação das áreas de uso e ocupação do solo da bacia, bem como o resultado do somatório dos valores provenientes da multiplicação dos coeficientes de exportação do fósforo total das áreas de uso e ocupação do solo pela área de cada classe.

O valor 8.004,9 Kg/ano, indicado na Tabela 5, é referente à carga total de Pt que deixa as áreas de onde ele é proveniente, e não o que chega ao exutório da bacia. Considerando que o fósforo total (Pt) carregado para o corpo d'água é dominantemente transportado através do sedimento erodido, o valor da carga de fósforo total (Lpe) que chega ao exutório da bacia foi:

$$Lpe = 8.004,9 * 0,0083 = 66,4 \text{ kg/ano}$$

Assim, o valor esperado da carga de fósforo total que chega ao exutório da bacia é de 66,4 Kg/ano.

O valor da carga natural de Pt obtido (1.174,8 kg/ano), depois de multiplicado pelo valor de RAS da bacia (0,0083), resultou em um valor de carga natural de fósforo total de 9,7 kg/ano. Além disso, aplicando a equação 4 juntamente com o valor da carga natural que chega ao exutório (9,7 Kg/ano), e o valor da vazão média de 1,77 m³/s, bem como fazendo as transformações de unidade necessárias, foi obtido um valor de concentração natural de fósforo total de 1,7 x10⁻¹⁰ Kg/L.

O valor da pegada hídrica cinza nas condições atuais de uso e ocupação do solo da bacia, foi de 0,04 m³/s. Os valores de pegada hídrica para os diferentes cenários de uso e ocupação do solo estão apresentados na tabela 5

Tabela 4 - Multiplicação da área da classe de cada uso e ocupação do solo pelo coeficiente de exportação de cada classe

Classe de cada uso e ocupação do solo	Áreas (ha)	Coeficiente de exportação de fósforo (Kg/ha/ano)	Área da classe do uso e ocupação do solo X coeficiente de exportação de fósforo (Kg/ano)
Urbana	1.181,9	1,0	1.181,9
Agrícola	16.306,4	0,4	6.522,6
Cerrado	6.007,3	0,05	300,4
Carga de P total		8.004,9	

Tabela 5 - Valor de pegada hídrica cinza (m³/s) para os cenários hipotéticos de uso e ocupação do solo da bacia

Cenário	Pegada hídrica cinza (m ³ /s)
100% de agricultura	0,05 m ³ /s
100% de área urbana	0,12 m ³ /s
100% de cerrado original	0,006 m ³ /s
50% de agricultura e 50% de urbana	0,09 m ³ /s

Apesar de o valor da pegada hídrica cinza ter sido maior que zero, isso não significa, automaticamente, que os padrões de qualidade da água do ribeirão Pipiripau em seu estado natural foram desrespeitados. De acordo com Hoekstra et al. (2011), isso mostra apenas que parte da capacidade de assimilação de fósforo total do curso d'água já foi utilizada.

Enquanto a pegada hídrica cinza for menor do que a vazão do rio, ainda há água suficiente para diluir os poluentes, mantendo a concentração abaixo do padrão mínimo desejável. Considerando a vazão média de 1,77 m³/s, e que a vazão mínima é superior à PH_{cinza} (0,04 m³/s) a diluição do fósforo total ocorre sem maiores problemas na bacia estudada, utilizando esta apenas 2,2% da vazão média do ribeirão.

O valor da pegada hídrica cinza calculado por meio do valor da concentração média de fósforo total na água no ribeirão Pipiripau, foi de 0,07 m³/s, ou seja, 75% maior em comparação ao resultado com o cálculo usando coeficientes de exportação.

Entretanto, os valores médios não são bons indicadores da concentração de P, uma vez que a mesma pode aumentar significativamente durante eventos chuvosos (SORRENSON; MONTOYA, 1984). Nesse sentido, o uso do valor médio medido da concentração de fósforo total no cálculo da pegada hídrica cinza pode ter superestimado o valor dessa última, mesmo porque picos de hidrogramas e sedimentogramas ocorrem poucas vezes no ano, e durante poucas horas.

Os resultados da avaliação da sustentabilidade da pegada hídrica para a condição atual e para os cenários hipotéticos de uso e ocupação do solo estão apresentados na tabela 6.

Tabela 6 - Sustentabilidade da pegada hídrica cinza (%) de acordo com o uso e ocupação do solo.

Cenário	Sustentabilidade da pegada hídrica cinza (%)
Atual	2,2%
100% de agricultura	2,8%
100% de área urbana	6,78%
100% de cerrado original	0,3%
50% de agricultura e 50% de urbana	5,1%

Em todos os cenários analisados, a sustentabilidade ambiental da pegada hídrica do fósforo total é ainda elevada, ou seja, menos de 10% da assimilação de fósforo do ribeirão Pipiripau seriam utilizados nos diferentes cenários de uso.

Entretanto, considerando que outras pegadas hídricas cinzas podem ocorrer concomitantemente com a PH do P (p. ex., Nitrogênio (N), Alumínio (Al), Mercúrio (Hg), Cobre (Cu), etc.), se faz necessário a avaliação da pegada hídrica cinza de cada possível poluente isoladamente para identificar se o fósforo total, aqui analisado, é o poluente mais crítico.

Apesar de a pegada hídrica do fósforo ter sido baixa na bacia, e sua sustentabilidade ter sido elevada, algumas medidas poderiam ser planejadas para reduzir a pegada hídrica deste e de outros poluentes no futuro, tais como:

- Adoção de incentivos econômicos aos prestadores de serviços ambientais;
- Ações que visam o manejo adequado do solo para controle da erosão;
- Manejo adequado de agrotóxicos e fertilizantes;
- Recuperação de áreas degradadas;
- Implantação/melhoria da rede de monitoramento da qualidade da água;
- Recomposição das matas ciliares e de nascentes;
- Conscientização da sociedade sobre a poluição hídrica e suas implicações.

CONCLUSÕES

As principais conclusões do presente estudo foram:

- O uso do coeficiente de exportação para encontrar a carga de fósforo total que chega ao exutório da bacia demonstrou ser prático e simples. Recomendam-se às pesquisas posteriores estudos de campo, de forma a validar os valores dos coeficientes de exportação;
- A pegada hídrica cinza do fósforo total obtida para as condições atuais de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do ribeirão Pipiripau indica que esse corpo hídrico apresenta condições suficientes para a diluição de P, ou seja, a capacidade de assi-

milção da carga de fósforo total foi utilizada minimamente;

- A pegada hídrica cinza atual da bacia hidrográfica do ribeirão Pipiripau, nas condições atuais de uso e ocupação do solo é sustentável ambientalmente, estando dentro dos limites dos padrões de qualidade da água em seu estado natural;
 - O exutório da bacia hidrográfica do ribeirão Pipiripau não representa um ponto crítico, pois seu nível de poluição (WPL) não excede 100% e os padrões de qualidade da água em seu estado natural não são desrespeitados;
 - O uso de uma única medida mensal da concentração de fósforo total na água pode gerar valores superestimados ou subestimados ao cálculo. Recomenda-se monitorar diariamente a concentração de fósforo total na água para realizar o cálculo da pegada hídrica cinza;
- As pegadas hídricas cinza para a condição atual e para os diferentes cenários de uso e ocupação do solo mostraram-se sustentáveis ambientalmente, estando dentro dos limites dos padrões de qualidade da água em seu estado natural;
- Recomenda-se a avaliação da pegada hídrica cinza de outros possíveis poluentes que são carregados ao ribeirão Pipiripau, para identificar se o fósforo total é o poluente mais crítico e consequentemente analisar a sustentabilidade ambiental da pegada hídrica da bacia e propor medidas mitigadoras para redução da pegada hídrica cinza na bacia.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Agência Nacional de Águas, ANA; The Nature Conservancy, TNC; Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Distrito Federal, EMATER; Secretaria de Agricultura Pecuária e Abastecimento, SEAPA. Programa Produtor de Água: Relatório de diagnóstico socioambiental da bacia do ribeirão Pipiripau. 59 p. 2010.
- CHAVES, H.M.L., BRAGA, B., DOMINGUES, A.F., SANTOS, D.G. Quantificação dos benefícios ambientais e compensações financeiras do "Programa Produtor de Água" (ANA): 2. Aplicação. R. Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 9, n. 3, p.15-21, 2004.

CHAVES, H.M.L. Relações de aporte de sedimento e implicações de sua utilização no pagamento por serviço ambiental em bacias hidrográficas. R. Brasileira Ciência do Solo, Campinas, n. 34, p. 1469-1477, 2010.

CHAVES, H.M.L. Relatório de Avaliação econômica e socio-ambiental do retorno do investimento da implantação do projeto produtor de água na bacia do ribeirão Pipiripau (DF/GO), 2012. Trabalho não publicado.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANAÍBA. Características físicas da bacia hidrográfica do ribeirão Pipiripau. Disponível em <<http://www.paranaiba.cbh.gov.br/BaciasTributarias/Legislacao/CaracteristicasFisicasBHPipiripau.pdf>>. Acesso em: 08 out. 2012.

CONAMA. Resolução Nº 357/2005. Brasília, 23 p., 2005.

HOEKSTRA, A.Y. e MEKONNEN, M.M. Global water scarcity: monthly blue water footprint compared to blue water availability for the world's major river basins, Value of Water Research Report Series No.53, UNESCO-IHE, 2011.

LIU, C., KRIEZE, C., HOESKTRA, W.G. Past and future trends in grey water footprints of anthropogenic nitrogen and phosphorus inputs to major world rivers. Ecological Indicators 18: 42-49, 2012.

OLIVEIRA, J.R. Perdas de solo, água e nutrientes em um Argissolo Vermelho-Amarelo sob diferentes padrões de chuva simulada. 2007. 52 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

PINHEIRO, D.T.C., COSTA, C.C., MOTTA, L.L., GODINHO, F.C., SILVA, J. V. Monitoramento da fertilidade do solo submetido à erosão hídrica em área cultivada com Eucalyptus sp. em São João Evangelista – MG. Agroambiental, São João Evangelista, p. 57-65, 2010.

RENFRO, G.W.. Use of erosion equation and sediment delivery ratio for predicting sediment yield. Proc. Of the Sediment Yield Workshop. USDA-ARS-40, Oxford, MS, p.33-45, 1975.

SALAS, H.J. e MARTINO, P.A. Simplified phosphorus trophic state model for warm-water tropical lakes. Water Research. Lima. 1991, v. 25, n. 3, p. 341-350.

SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E OBRAS - SEINFRA-DF. Plano de gerenciamento integrado dos recursos hídricos do Distrito federal. PGRIH /DF. Relatório Temático Parcial 2. Brasília, 262 p., 2006.

SCHICK, J.BERTOL, I., BALBINOT JÚNIOR, A.A., BATISTELA, O. Erosão hídrica em cambissolo húmico aluminoso submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: perdas de nutrientes e carbono orgânico. R. Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, v. 24, n. 2, p. 437-447, 2000.

SORRENSON, W. J. e MONTOYA, L. J. Implicações econômicas da erosão do solo e de práticas conservacionistas no Paraná. Londrina: IAPAR/GTZ, 231p. 1984.

SOUZA, M.A. Análise da movimentação superficial e sub-superficial do glifosato na bacia hidrográfica do ribeirão Pipiripau – DF: um estudo de caso, 2013. Trabalho não publicado.

THE NATURE CONSERVANCY-TNC. Mapa de Uso do Solo da bacia do ribeirão Pipiripau. 2009. Formato digital.

UTTOMARK, P.D., CHAPIN, J.D., GREEN, K.M. Estimating nutrient loading of lakes from non-point sources. n. 660. Ecological Research Series, Oregon. 1974.

ZAFFANI, A.G. BRESSIANI, D.A., ALVAREZ, R.P, MENDIONDO, E. M. A poluição da drenagem urbana relacionada com a pegada hídrica cinza: caso da cidade de São Carlos, SP. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió, 2011.

ZENG, Z., LIER, J., KOENEMAN, P.H., ZARATE, E., HOEKSTRA, A.Y. Assessing water footprint at river basin level: a case study for the Heihe River Basin in northwest China. Hydrol. Earth Syst. Sci. [S.l.]. 2012, n. 16, p. 2771-2781.

Evaluation Of The Gray Water Footprint (Phosphorus) In The Pipiripau River Basin (DF/GO)

ABSTRACT

This study aimed at evaluating the gray water footprint with respect to phosphorus for the current land use conditions and different scenarios in the Pipiripau River basin. The gray water footprint assessment consisted of four distinct phases: definition of objectives and scopes, water footprint accounting, assessment of the sustainability of the water footprint and formulation of water footprint response. The value of the gray water footprint for current land use conditions, calculated with phosphorus export coefficients, was lower than the value found by the phosphorus concentration of river water, 0.04 m³/s and 0.07 m³/s, respectively. The different land use scenarios yielded a gray water footprint of 0.05 m³/s (100% agricultural), 0.12 m³/s (100% urban), 0.006 m³/s (100% savannah), and 0.09 m³/s (50% agricultural + 50% urban).

All gray water footprints for the current conditions and different scenarios were environmentally sustainable

Key-words: *Gray water footprint, export coefficient, phosphorus, assimilative capacity of pollutants.*