

EFEITOS HIDROLÓGICOS DA OPERAÇÃO DA PCH SÃO LOURENÇO NO REGIME HIDROLÓGICO DO RIO SÃO LOURENÇO

Ademilson Araujo Sabino^{1}; Rafael Pedrollo de Paes²; Ibraim Fantin-Cruz³; Ana Rubia de Carvalho Bonilha Silva⁴; Margarida Marchetto⁵*

Resumo - A formação e operação de reservatórios de PCHs têm potencial capacidade de impacto no regime hidrológico dos rios. Este trabalho teve por objetivo realizar uma avaliação dos efeitos da operação da barragem da PCH São Lourenço no regime hidrológico do rio São Lourenço, Mato Grosso. Para a análise dos parâmetros hidrológicos foi utilizado o software IAH (Indicadores de Alteração Hidrológica). A série estudada é do ano 2000 a 2015, com limiar de impacto em 2007. No período de pós-impacto, houve aumento de 6,7% na mediana das vazões, nos percentis 25% e 75% ocorreu redução de 20,7% e aumento de 20,6%, respectivamente. Houve redução da mediana das vazões em setembro, novembro, janeiro e junho de, respectivamente, 22%, 35%, 27% e 24% e aumento em abril de 26%. Nas vazões mínimas, as alterações negativas foram: para mínima de 1 dia (-41%), mínima de 3 dias (-39%), mínima de 7 dias (-32%), mínima de 30 dias (28%), e mínima de 90 dias (-19%), ocorreu aumento na máxima de 1 dia (34%) e na máxima de 3 dias (16%). Verificou-se, portanto, forte indício de que a presença e operação da barragem da PCH São Lourenço alterou o regime hidrológico natural à jusante da barragem.

Palavras-Chave - PCH São Lourenço, Indicador de alteração hidrológica, Programa IAH.

HYDROLOGICAL EFFECTS OF THE OPERATION OF SÃO LOURENÇO SHP IN THE HYDROLOGICAL REGIME OF SÃO LOURENÇO RIVER

Abstract - The formation and operation of small reservoirs brings potential impact on the hydrologic regime of rivers. The objective of this work is evaluate the effects of the operation of the São Lourenço SHP on the hydrological regime of São Lourenço river, Mato Grosso State. For the analysis of hydrological parameters we used IHA (Indicators of Hydrologic Alteration) software. The series studied is between years 2000 to 2015, with an impact threshold in 2007. At post-impact period there was an increase in the median flows of 6.7%, the percentiles 25% and 75% there was a reduction of 20.7% and increased 20.6%, respectively. Authors observed reduction of the median flows in the months of September, November, January and June and increased in April by 26%. The minimum flow, the changes were negative for a minimum of 1 day (-41%), minimum of 3 days (-39%), Minimum of 7 days (-32%), a minimum of 30 days (28%), and a minimum of 90 days (-19%), there was an increase in the maximum of 1 day (34%) and a maximum of 3 days (16%). It was verified strong indications that the São Lourenço Dam have been altered the natural hydrological regime downstream of the dam.

Keywords – São Lourenço small dam, Indicator of Hydrologic Alteration, software IHA.

^{1*} Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental - UFPR: ademilsom_rm@hotmail.com

² Professor do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMT: rafaeldepaes@gmail.com

³ Professor do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMT: ibraimfantin@gmail.com

⁴ Professora do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMT: arbonilha@gmail.com

⁵ Professora do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMT: marchetto.ro@gmail.com

INTRODUÇÃO

No Brasil, os reservatórios de maior volume foram construídos para fornecimento de energia, dada a grande disponibilidade de recursos hídricos e a existência de condições favoráveis à construção de usinas hidrelétricas (VON SPERLING, 1999). As barragens para construção desses reservatórios trazem consigo vários benefícios, porém este tipo de estrutura apresenta pontos negativos, como por exemplo, os impactos decorrentes de sua implantação sobre o regime hidrológico, as características hidráulicas, o fluxo de sedimentos, a qualidade da água e a biota (BURKE; JORDE; BUFFINGTON, 2009; FANTIN-CRUZ et al, 2015b).

O regime hidrológico poderá ser afetado de diversas formas quando uma barragem é construída, e apesar dos estudos de avaliação das alterações hidrológicas causadas por barragens terem evoluído no cenário mundial, esta prática não tem sido realizada ainda em fase de projeto de forma complexa (LIMA et al., 2015).

A formação e operação de reservatórios são os principais responsáveis pela alteração dos padrões hidrológicos. O desenvolvimento e gestão de recursos hídricos pelos seres humanos têm alterado o fluxo natural de rios ao redor do mundo (RICHTER et al. 1997; RICHTER et. al 1998). Um dos métodos mais utilizados para identificação da alteração dos padrões hidrológicos é a ferramenta IAH (Indicadores de Alteração Hidrológica), que compara 32 parâmetros de séries de vazões, obtidas antes e depois da alteração (Richter et al. 1997). Indicadores de Alteração Hidrológica (IAH) é um programa que fornece informações úteis para aqueles que tentam compreender os impactos hidrológicos das atividades humanas ou tentar desenvolver recomendações de fluxo ambiental para gestores de recursos hídricos (OPPERMAN, 2006; FANTIN-CRUZ et al, 2015a).

Nesse contexto, este trabalho propõe uma análise da série de vazões da estação São Lourenço de Fátima (66400000) – localizada a jusante da barragem da PCH São Lourenço, com base em observação de 50 anos. A série obtida de vazões foi dividida em período pré-impacto e pós-impacto. Com o auxílio da ferramenta IAH (Indicadores de Alteração Hidrológica) foi possível identificar e avaliar possíveis alterações hidrológicas que a PCH São Lourenço, localizada no rio São Lourenço, na região hidrográfica do Alto Paraguai, pode estar ocasionando.

ÁREA DE ESTUDO

A bacia do Alto Paraguai divide-se em quatro sub-bacias: Alto Paraguai, Rio Cuiabá, Rio São Lourenço e Alto Taquari (PCBAP, 1998). A bacia do rio São Lourenço localiza-se no sudeste mato-grossense perfazendo um total de 26.623 km², com descarga média de 332 m³/s. A Pequena Central Hidrelétrica (PCH) São Lourenço é operada no município de Juscimeira, localizado a 164 quilômetros de Cuiabá, capital do Mato Grosso.

METODOLOGIA

A série de dados da estação São Lourenço de Fátima abrange os anos de 1965 até 2015, os dados foram obtidos no site da Hidroweb. Após a obtenção dos dados brutos do sistema, foi realizada a conversão dos dados de vazão e cota, para que possam ser manejados em forma de planilha.

Primeiramente, foram pareados os dados de cota e vazão da estação estudada com a respectiva data de coleta dos dados e posteriormente elaborado um gráfico de correlação dos dados no programa Excel Office. Após a análise preliminar da correlação dos dados apresentados pelo gráfico, foi obtido o valor do Coeficiente de Correlação (R^2). Após o preenchimento das falhas presentes na série histórica pelo método da ponderação regional, os dados foram utilizados para

alimentar o programa IAH (Indicador de Alteração Hidrológica) que avalia um total de 67 parâmetros estatísticos.

O IHA (Indicators of Hydrologic Alteration) proposto por Richter et. al. (1996) permite utilizar atributos estatísticos relevantes à biota para caracterizar a variabilidade temporal dos regimes hidrológicos. Também permite quantificar as alterações hidrológicas associadas às perturbações hídricas – como operações de reservatórios ou modificação do uso do solo na bacia – comparando cenários de regimes hidrológicos de pré-impacto e pós-impacto.

De posse dos resultados, foi realizada a análise de verificação dos parâmetros hidrológicos que foram alterados. A análise da alteração hidrológica foi efetuada pela diferença relativa entre os valores dos parâmetros obtidos pela série de valores do período pré-impacto e pós-impacto para quantificação da alteração hidrológica que possa ter ocorrido devido à operação do reservatório, como apresentado na Eq. 1.

$$\text{Alt (\%)} = \frac{(D \text{ pós} - D \text{ antes})}{D \text{ antes}} * 100 \quad (1)$$

Sendo:

- D pós – o valor do parâmetro no período posterior à implantação do empreendimento;
- D antes – o valor do parâmetro anterior à implantação do empreendimento;
- Alt (%) – o valor percentual que quantifica a alteração ocorrida nos períodos de pré-implantação e pós-implantação.

O valor da alteração pode ser positivo ou negativo, de acordo com a diminuição ou aumento do valor do parâmetro pós-implantação com relação ao regime anterior à implantação do empreendimento.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 permite verificar quais foram as alterações ocorridas nas análises estatísticas depois do início da operação da barragem da PCH São Lourenço.

Tabela 1 – Análises estatísticas da série de vazões da Estação São Lourenço de Fátima

| | Pré - Impacto | Pós-Impacto |
|---------------|-------------------------|-------------------------|
| Mediana | 104,5 m ³ /s | 111,0 m ³ /s |
| Percentil 25% | 72,5 m ³ /s | 57,79 m ³ /s |
| Percentil 75% | 149,3 m ³ /s | 180 m ³ /s |

O aumento de 20,6% no percentil 75% apresenta uma elevação nos menores valores de 75% da série de vazões, este dado vai ao encontro das considerações feitas por Magilligan e Nislow (2005), que alegam que a operação de reservatórios aumenta os valores das menores vazões.

Os efeitos significativos dos percentis 25% e 75% identificadas nos cinco grupos a respeito da magnitude, duração, periodicidade e frequência das alterações hidrológicas estão sintetizados na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores dos percentis 25% e 75% dos períodos pré-impacto e pós-impacto

| | Período Anterior ao Impacto (2000-2007) | | Período Posterior ao Impacto (2008-2015) | |
|---|---|---------------|--|---------------|
| | Percentil 25% | Percentil 75% | Percentil 25% | Percentil 75% |
| Grupo 1 - Magnitude das vazões Mensais | | | | |
| Setembro (m ³ /s) | 60.84 | 69.84 | 31.1 | 102.2 |
| Outubro (m ³ /s) | 58.98 | 79.22 | 35.59 | 112.4 |
| Novembro (m ³ /s) | 82 | 106.5 | 50.51 | 135.3 |
| Dezembro (m ³ /s) | 101.4 | 176.2 | 69.61 | 141.1 |
| Janeiro (m ³ /s) | 113.1 | 281.5 | 112.3 | 326.7 |
| Fevereiro (m ³ /s) | 142.2 | 253.3 | 141.7 | 251.9 |
| Março (m ³ /s) | 164.6 | 255.8 | 149.6 | 224.4 |
| Abril (m ³ /s) | 112.2 | 140.2 | 137.4 | 206.4 |
| Maio (m ³ /s) | 94.53 | 114 | 69.21 | 140.1 |
| Junho (m ³ /s) | 79.21 | 121.2 | 58.45 | 121.1 |
| Julho (m ³ /s) | 69.84 | 92.38 | 47.25 | 122.1 |
| Agosto (m ³ /s) | 58.42 | 69.36 | 35.04 | 103.7 |
| Grupo 2 - Magnitude e Duração das Vazões Extremas | | | | |
| Mínima de 1 dia (m ³ /s) | 29.27 | 59.54 | 25.38 | 35.11 |
| Mínima de 3 dias (m ³ /s) | 30.17 | 59.71 | 26.53 | 39.79 |
| Mínima de 7 dias (m ³ /s) | 32.27 | 60.21 | 27.05 | 42.23 |
| Mínima de 30 dias (m ³ /s) | 39.61 | 63.76 | 30.74 | 57.62 |
| Mínima de 90 dias (m ³ /s) | 64.91 | 73.61 | 42.57 | 71.45 |
| Máxima de 1 dia (m ³ /s) | 298.1 | 518.9 | 436.1 | 665.8 |
| Máxima de 3 dias (m ³ /s) | 276.2 | 448.6 | 390 | 610.9 |
| Máxima de 7 dias (m ³ /s) | 238.4 | 405.8 | 325.3 | 502.3 |
| Máxima de 30 dias (m ³ /s) | 191.6 | 345.3 | 262.4 | 384.9 |
| Máxima de 90 dias (m ³ /s) | 154.2 | 287.9 | 210 | 249.5 |
| Grupo 3 - Periodicidade das Vazões Extremas | | | | |
| Data Juliana Mínima | 223 | 264.3 | 245.3 | 314.5 |
| Data Juliana Máxima | 15.75 | 71 | 17 | 56.5 |
| Grupo 4 - Frequência e Duração dos Pulsos Altos e Baixos | | | | |
| Número de Pulsos Baixos | 3.25 | 5.75 | 3.75 | 11 |
| Duração dos Pulsos Baixos (dias) | 3.5 | 36.5 | 5 | 14 |
| Número de Pulsos Altos | 2 | 7.5 | 5.5 | 9.75 |
| Duração dos Pulsos Altos (dias) | 1.625 | 57.25 | 2 | 11.25 |
| Grupo 5 - Taxa e frequência de Mudança das Vazões | | | | |
| Taxa de Ascensão (m ³ /s/dia) | 2.715 | 5.808 | 2.214 | 12.49 |
| Taxa de Rescessão (m ³ /s/dia) | -3.471 | -2.489 | -9.635 | -4.072 |
| Número de Inversões | 72.25 | 141 | 112.5 | 151 |

O grupo 5, sobre taxa e frequência de mudança das vazões, apresentou alterações na taxa de ascensão (+23% para percentil 25% e de -54% para percentil 75%), taxa de recessão (-64% para percentil 25% e -39% para percentil 75%) e número de inversões (-36% para percentil 25% e -7% para percentil 75%).

A construção das vazões diárias anuais do período pré-impacto e pós-impacto, tendo como ano de impacto em 2007, permite observar a variação no padrão das vazões extremas baixas, vazões baixas, pulsos de vazão alta, pequenas cheias e grandes cheias. O hidrograma dos componentes de vazão ambiental estão mostrados na Figura 1. Algumas falhas na série hidrológica não puderam ser preenchidas. Com efeito, foi possível representar algumas das influências devido a essas falhas, marcadas pela forma geométrica elíptica em amarelo.

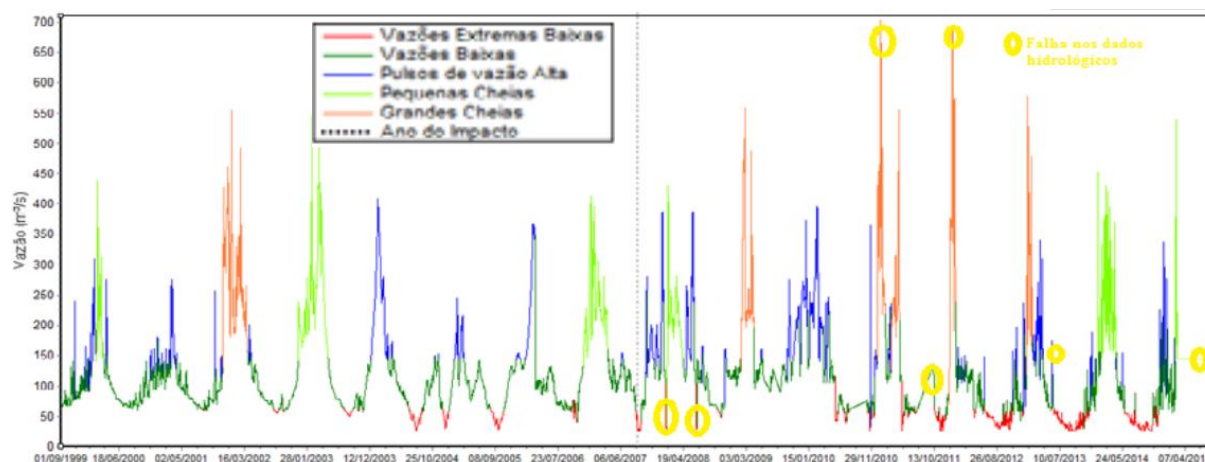


Figura 1 – Hidrograma dos Componentes de Vazão Ambiental da estação São Lourenço de Fátima

Pela Figura 1, é notável que os componentes de vazão ambiental sofreram alterações ao comparar o período de pré-impacto com o período de pós-impacto. Quanto às vazões baixas, as alterações mensais mais significativas nas medianas foram os meses de outubro (+14%), novembro (-24%), dezembro (-9%), janeiro (-7%), maio (-8,5%), junho (-13%), julho (+20%) e agosto (+41%). A redução da vazão de 27% no mês de janeiro corrobora para as conclusões feitas por Costigan e Daniels (2012) que afirmam que as vazões nos períodos mais chuvosos são absorvidas pelos reservatórios e regularizadas, apresentando variação significativa nas vazões mais elevadas.

Os dados das vazões extremas baixas apresentou redução (-8%) no valor das medianas, comparando-se os dois períodos de análise. Quanto aos pulsos de vazão alta, a alteração foi de -6%. A redução nos pulsos de vazão alta estão ligados à regularização exercida pelo reservatório, no qual este tende a reduzir os pulsos que ocorrem na variação de vazão. Nas pequenas cheias a alteração das medianas foi de +0,5% e nas grandes cheias a alteração foi de +9%.

Entre os resultados de Fantin-Cruz et al (2015a) na UHE Ponte de Pedra, instalada na região hidrográfica do Alto Paraguai, foi observada a redução nas vazões mínimas de curta duração, assim como nas vazões máximas sazonais, embora em baixas magnitudes, além de aumento do número de pulsos altos. O autor atribuiu essas características à pequena capacidade de regularização associada à sazonalidade no regime de chuvas, que limitam manobras operacionais para a maximização da eficiência energética e hidrológica.

Richter et al (1997; 1998) propôs um método de abordagem da amplitude de variação, ou *range of variability approach* (RVA), que se baseia em estabelecer intervalos mínimos e máximos de metas para cada parâmetro dos indicadores de alteração hidrológica. Esses intervalos podem ter como referência os percentis ou ainda multiplicadores dos desvios padrão da condição “original” do rio de modo que o intervalo de metas seja atingido com a mesma frequência que na condição “natural”. Segundo Poff et al (2010), este é um dos principais métodos que trata dos limites ambientais de alterações hidrológicas.

Dessa forma, os cinco grupos (abscissa) sujeitos ao cálculo de alteração hidrológica na série histórica estudada foram apresentados em termos de fatores de interferência baixa, média e alta (ordenada), conforme pode ser visualizado na Figura 2.

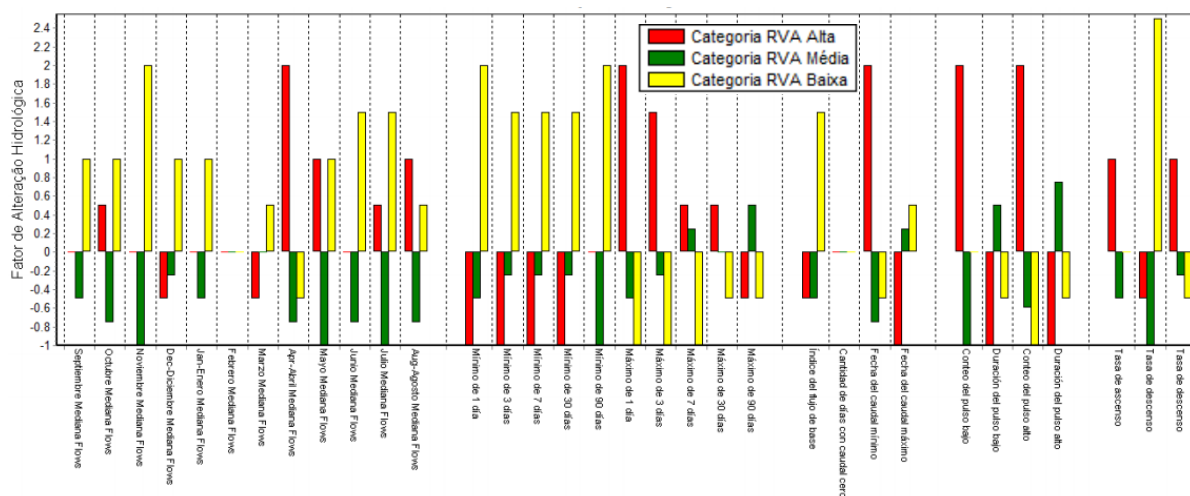


Figura 2 - Fatores de Alteração Hidrológica da Estação São Lourenço de Fátim

Pela Figura 2 é possível observar que a operação do reservatório da PCH São Lourenço alterou os padrões do regime hidrológico de jusante, a alteração ocorrida dentro do intervalo de probabilidade de ocorrência de vazões entre 60% e 96%, neste intervalo a probabilidade de ocorrência das vazões reduziram no período de pós-implantação, já no intervalo de probabilidade de ocorrências de vazões inferiores a 59% ocorreu elevação na probabilidade de ocorrência das vazões.

Verificou-se que os parâmetros com maiores valores de alteração hidrológica (fator de alteração hidrológica igual a “- 1”), dentro da categoria intermediária (RVA média), foram novembro, maio, julho, mínimas de 90 dias, números de pulsos baixos e taxa de recessão. Na categoria maior (RVA alta) os parâmetros com maiores valores de alteração hidrológica (fator de alteração hidrológica igual a “-1 ou 2”) foram abril, mínima de 1 dia, mínima de 3 dias, mínima de 7 dias, mínima de 30 dias, máxima de 1 dia, data juliana mínima, número de pulsos baixos e número de pulsos altos.

Em um estudo na bacia hidrográfica do rio Dongjian, sul da China, Chen et al. (2010) relatam que através do método RVA foi possível observar alterações hidrológicas significativas causadas pela construção de barragens e potenciais ameaças a espécies de animais selvagens, além de endossar a aplicação do método para identificar tendências e padrões hidrológicos.

CONCLUSÕES

Foi verificado, por meio dos hidrogramas gerados pelo programa IHA, que o regime natural de vazões (definido como pré-impacto) do rio São Lourenço – a jusante da barragem da PCH São Lourenço – foi alterado. O regime natural de vazões apresentava no período de pré-impacto uma sazonalidade bem definida nos períodos seco (abril a setembro) e chuvoso (outubro a março), e verificou-se uma mudança nessa sazonalidade no período de pós-impacto.

Além disso, para o período delimitado como pós-impacto – definido pelo período de 2008 até 2015 – foi identificado por meio da determinação dos parâmetros hidrológicos do software IAH, no geral, uma elevação das vazões médias e aumento da mediana das vazões, principalmente nos meses de setembro, outubro, abril e agosto (períodos mais secos do ano), seguido pela diminuição das vazões mínimas de 1 dia, mínima de 3 dias, mínima de 7 dias, mínima de 30 dias e mínima de 90 dias e um leve aumento da máxima de 1 dia e de 3 dias.

REFERÊNCIAS

- BURKE, M.; JORDE, K.; BUFFINGTON, J. M. (2009). Application of a hierarchical framework for assessing environmental impacts of dam operation: Changes in streamflow, bed mobility and recruitment of riparian trees in a western North American river. *J. Environ. Manage.* v. 90, p. S224-S236. Suppl. 3.
- CHEN, Y.D.; YANG, T.; XU, C.; ZANG, Q.; CHEN, X.; HAO, Z. (2010). Hydrologic alteration along the Middle and Upper East River (Dongjiang) basin, South China: a visually enhanced mining on the results of RVA method. *Stoch Environ Res Risk Assess*, v. 24, p. 9-18, 2010.
- COSTIGAN, K.H.; DANIELS, M. D. (2012). Damming the prairie: Human alteration of Great Plains river regimes. *Journal of hydrology*. 444-445: 90-99.
- FANTIN-CRUZ, I; PEDROLLO, O; GIRARD, P; ZEILHOFER, P; HAMILTON, SK. 2015a. Effects of a diversion hydropower facility on the hydrological regime of the Correntes River, a tributary to the Pantanal floodplain, Brazil. *Journal of Hydrology*. (Amsterdam).
- FANTIN-CRUZ, I; PEDROLLO, O; GIRARD, P; ZEILHOFER, P; HAMILTON, SK. 2015b. Changes in river water quality caused by a diversion hydropower dam bordering the Pantanal floodplain. *Hydrobiologia*. (The Hague. Print).
- LIMA, C. H. P; GENZ, F.; LUZ, L.D.; FONTES, A.S.; OLIVEIRA-ESQUERRES, K. P.; (2015). Avaliação da influência da mudança de variáveis de projeto de barragens sobre as alterações hidrológicas e componentes do regime de vazão natural. *RBRH* vol. 20 no.3 Porto Alegre jul./set. 2015 p. 785 – 794.
- MAGILLIGAN, F. J.; NISLOW, K. H. (2005). Changes in hydrologic regime by dams. *Geomorphology* 71:61-78.DOI:10.1016/j. geomorph.2015.08.017.
- OPPERMAN, J. (2006). Preliminary IHA analysis for the Middle Fork Willamette River at Jasper OR.
- PCBAP. 1998. PLANO DE CONSERVAÇÃO DA BACIA DO ALTO PARAGUAI (PANTANAL). Análise integrada e prognóstico da Bacia do Alto Paraguai. Brasília: PNMA, 1998. 364p.
- POFF, NL; RICHTER, BD; ARTHINGTON, AH; BUNN, SE; NAIMAN, RJ; KENDY, E; ACREMAN, M; APSE, C; BLEDSOE, BP; FREEMAN, M; HENRIKSEN, J; JACOBSON, RB; KENNEN, J; MERRITT, DM; O'KEEFFE, JH; OLDEN, JD; ROGERS, K; THARME, RE; WARNER, A. 2010. The Ecological Limits of Hydrologic Alteration (ELOHA): a new framework for developing regional environmental flow standards. 2010. *Freshwater Biology*. 55: 147-170.
- RICHTER, BD et al 1996. A method for assessing hydrologic alterations within Ecosystems. *Conservation Biology*. V.10. N.4. p. 1163-1174.
- RICHTER, B.D., BAUMGARTNER, J.V., WIGINGTON, R., AND BRAUN, D.P. (1997). How much water does a river need? *Freshwater Biology*, 37, 231-249.
- RICHTER, B.D., BAUMGARTNER, J.V., BRAUN, D.P., AND POWELL, J. (1998). A spatial assessment of hydrologic alteration within a river network. *Regulated Rivers: Research & Management*, 14, 329-340.



VON SPERLING, E. (1999). Profundidade Média de Lagos e Represas Brasileiros e sua Influência na Qualidade da Água. In: *Anais do 20º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL*. Rio de Janeiro.