

## TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JUBA, CONTRIBUINTE DO PANTANAL.

Lucas O. Bueno<sup>1</sup>; Cássia C. Valadão<sup>2</sup>; Camila B. Ruezzenne<sup>3</sup>; Talyson M. Bolelli<sup>4</sup>; Frederico F. Mauad<sup>5</sup> & Ibrain F. Cruz<sup>6</sup>

### ABSTRACT

Cascading dams can modify water hydrodynamic, chemical, physical and biological patterns downstream. The sediment retention caused by reservoirs also triggers a series of impacts downstream, such as the reduction of nutrient availability and geomorphological changes in the channels. The aim of our study was calculate the concentration of suspended sediments (CSS) in the complex of cascading dams in the watershed of Juba river, and to analyze their variation along the spatial sequence of cascading dams. Samples were collected from 6 points in the Juba river, State of Mato Grosso, and subsequently and calculated to the concentration of suspended sediments (CSS) and solid sediment discharge (QSS). Statistical treatments were applied in order to investigate significant differences between the points and between upstream and downstream of each dam. The results showed that the Juba River presents low concentrations of suspended sediments, with medians less than 3,88 mg/L, and in general, there were no significant changes in the variation of CSS over the spatial sequence of dams. The two points with the highest CSS can be related to use and occupation, soil type, erosive potential and intensity of rain in the region of the dams.

**Keywords:** sedimentometry; solid discharge; hydropower dams.

### 1. INTRODUÇÃO

A geração de energia hidrelétrica tem sido a principal matriz energética brasileira, representando cerca de 65,2% da capacidade instalada no país (MME, 2020). Apesar das usinas serem consideradas uma fonte de geração renovável, economicamente competitiva e de grande flexibilidade operativa (MAUAD *et al.*, 2017), quando instaladas em cascata – diversas hidrelétricas em uma mesma bacia hidrográfica – os reservatórios destas, interferem diretamente nos ciclos biogeoquímicos e na circulação horizontal, alterando os padrões hidrodinâmicos, químicos, físicos e biológicos à jusante (TUNDISI; TUNDISI-MATSUMURA, 2008).

---

<sup>1</sup> Mestrando no PPGSEA – EESC/USP, [lucasbueno@usp.br](mailto:lucasbueno@usp.br).

<sup>2</sup> Mestranda no PPGSEA – EESC/USP, [cassiacortes2@gmail.com](mailto:cassiacortes2@gmail.com).

<sup>3</sup> Doutoranda no PPGSEA – EESC/USP [camila.ruezzenne@gmail.com](mailto:camila.ruezzenne@gmail.com)

<sup>4</sup> Doutorando no PPGSEA – EESC/USP, [talyson\\_5@hotmail.com](mailto:talyson_5@hotmail.com).

<sup>5</sup> Professor no PPGSEA – EESC/USP, [mauadffm@sc.usp.br](mailto:mauadffm@sc.usp.br)

<sup>6</sup> Professor no DESA/UFMT, [ibraimfantin@gmail.com](mailto:ibraimfantin@gmail.com)

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

Os reservatórios de empreendimentos hidrelétricos também exercem interferência na dinâmica dos sedimentos, alterando a velocidade do fluxo de água de forma que o sedimento em suspensão não se deposite, ou ainda contribuindo para que sedimentos com maior granulometria fiquem retidos, depositados no reservatório (ANA, 2012). De acordo com Sendacz (2006), as barragens em cascata podem contribuir positivamente para a redução de poluentes ao longo de sua sequência espacial, onde os reservatórios à montante tem a função de um quimiostato, retendo poluentes e nutrientes e, conseqüentemente, melhorando a qualidade das águas para fins de abastecimento público, por exemplo.

Contudo, o transporte de sedimentos quando reduzidos por conta da sedimentação do reservatório, causam uma cascata de impactos a jusante, como o aumento da transparência da água, redução da disponibilidade de nutrientes e alterações geomorfológicas nos canais e nas várzeas (GRAF, 2006; KUNZ et al., 2011). Diante do exposto, o presente estudo objetivou analisar a concentração de sedimentos em suspensão no complexo de barragens em cascata na bacia do rio Juba, no Estado de Mato Grosso.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Área de Estudo

O rio Juba, afluente do rio Sepotuba, está localizado no Estado de Mato Grosso, especificamente entre as coordenadas geográficas 15° e 14°30' de latitude sul e de 58°30' a 57°50' de longitude oeste. Com área de aproximadamente 2.236 km<sup>2</sup>, o rio Juba está localizado entre os municípios de Barra do Bugres e Tangará da Serra (Figura 1). Na bacia hidrográfica do rio Juba encontram-se em operação quatro empreendimentos hidrelétricos, na qual, duas usinas hidrelétricas – UHE operam desde 1995 e duas pequenas centrais hidrelétricas – PCHs operam desde 2008 e 2009 (Tabela 1).

Tabela 1 - Empreendimentos hidrelétricos em operação no rio Juba.

Empreendimento	Coordenadas		Ac (Km <sup>2</sup> )	NM (m)	NJ (m)	P (MW)	A (km <sup>2</sup> )	IO
UHE Juba I	14°44'	58°6'	1.550	413,4	342,7	42,00	0,92	1995
UHE Juba II	14°45'	58°2'	1.808	342,4	273,2	42,00	2,80	1995
PCH Graça Brennand	14°47'	57°58'	1.947	272,8	235,3	27,40	5,34	2008
PCH Pampeana	14°49'	57°54'	2.053	234,8	197,3	28,00	3,82	2009

Legenda: Ac – área de contribuição; NM – nível montante; NJ – nível jusante; P – potência; A – área e IO – Início operação. Fonte: SIGEL (2010).

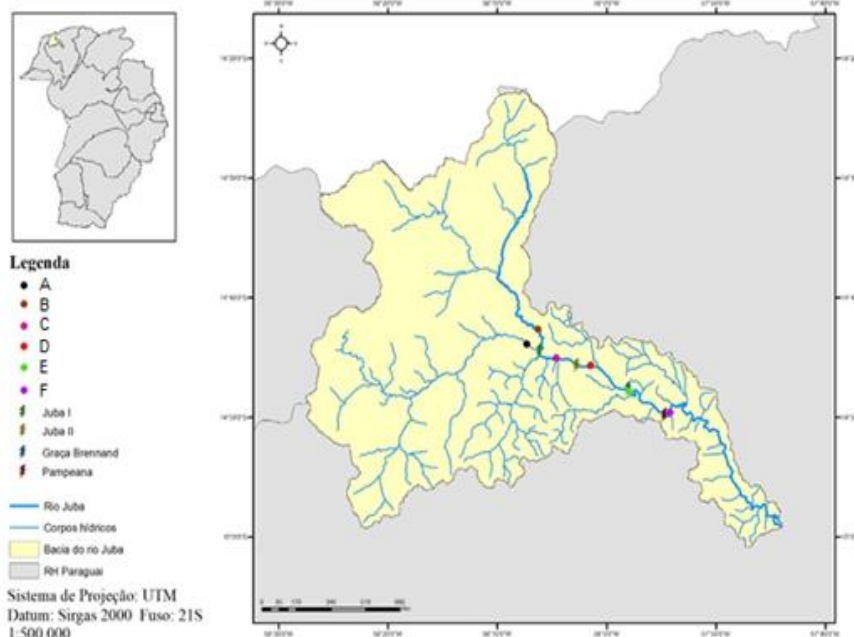


Figura 1- Bacia do rio Juba, empreendimentos hidrelétricos e pontos de coleta.

## 2.2. Equipamentos, amostragem e análises

Amostras de água-sedimento foram coletadas por meio de integração vertical, de acordo com o método de Igual Incremento de Descarga (IID). Para isso, o amostrador US DH-48 *Wading Sampler*, da *Federal Interagency Sedimentation Project (FISP/USGS)* foi utilizado. O registro das vazões nas seções de coleta foram realizadas com medidor de vazão *Acoustic Doppler Current Profiler - ADCP* modelo M9 (SonTek). As coletas ocorreram mensalmente durante o período de agosto/2018 a maio/2019 e compreenderam os períodos de chuva e estiagem. As coletas foram realizadas à montante e jusante das barragens instaladas no rio Juba, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Localização dos pontos de coleta de sedimentos no rio Juba

Ponto	Localização	Latitude(S)	Longitude(E)
A	Montante UHE Juba I (rio Juba)	83°73'39"	38°11'01"
B	Montante UHE Juba I (rio Jubinha)	83°71'12"	37°92'85"
C	Jusante UHE Juba I e Montante da UHE Juba II	83°69'00"	38°41'46"
D	Jusante UHE Juba II e Montante da PCH Graça Brennand	83°67'88"	38°97'76"
E	Jusante PCH Graça Brennand e Montante da PCH Pampeana	83°63'93"	39°60'89"
F	Jusante PCH Pampeana	83°60'70"	40°28'37"

### 2.3. Concentração de Sedimentos em Suspensão

Para determinação da concentração de sedimento em suspensão foi adotado o método de filtração, para amostras acondicionadas em galões, conforme proposto por Guy (1969) apud Carvalho (2008) e utilizado pela CPRM – Serviço Geológico do Brasil.

Para calcular a concentração de sedimento em suspensão (CSS) em mg/L, utilizou-se a Equação 1, a seguir:

$$CSS = \frac{Mbc - Mtc}{Mbg - Mtg} * 10^6 \quad (1)$$

Onde: C<sub>ss</sub> [mg/L] a Concentração de sedimento em suspensão; M<sub>bc</sub> [g] a Massa bruta do cadinho com sedimento filtrado; M<sub>tc</sub> [g] a Massa tara do cadinho com membrana filtrante; M<sub>bg</sub> [g] a Massa bruta da amostra em galão; M<sub>tg</sub> [g] Massa tara do galão após filtragem; 10<sup>6</sup>: Fator de conversão de g/g para mg/kg.

Obtido os valores de Q (m<sup>3</sup>/s) e CSS (mg/L), calculou-se a Descarga Sólida em Suspensão (QSS) em ton./dia, utilizando-se a Equação 2 a seguir:

$$QSS = 0,0864 * Q * CSS \quad (2)$$

Onde: QSS [ton/dia] a Descarga sólida em suspensão na seção; Q [m<sup>3</sup>/s] a vazão na seção de amostragem; CSS [mg/L] a Concentração de sedimento em suspensão.

### 2.4. Taxa de variação e tratamento estatístico

Para a análise do efeito do barramento e operação de empreendimentos hidrelétricos sobre o parâmetro de sedimentos em suspensão, a taxa de variação da CSS entre os pontos à montante e jusante das barragens foi analisada com base no método proposta pela ANA (2019). A variação no aumento, redução ou estabilidade do valor de CSS foi considerada entre os limites de -100% e +100%.

O cálculo da taxa de variação foi realizado de acordo com as equações 3 e 4.

Para P(M) < P(J)

$$TX = + \left( 1 - \left( \frac{PM}{PJ} \right) \right) * 100 \quad (3)$$

Para P(M) > P(J)

$$TX = - \left( 1 - \left( \frac{PJ}{PM} \right) \right) * 100 \quad (4)$$

Onde: TX [%] a Taxa de variação da CSS em relação à montante e jusante do barramento; P(M)[mg/L] o valor do parâmetro medido no ponto à montante da barragem e P(J) [mg/L] o valor do parâmetro medido no ponto à jusante da barragem.

Todos os dados foram tabulados no programa Excel 2019, e realizadas análises estatísticas descritivas e inferenciais ao nível de significância ( $\alpha$ ) de 0,05 no programa Statística versão 13.1 e PAST versão 2.17. Para averiguação de normalidade aplicou-se teste de Shapiro-Wilk. Devido a não aderência aos pressupostos de normalidade e homocedasticidade prosseguiu-se as análises com técnicas não paramétricas para verificar possíveis diferenças significativas nos valores de CSS em todos os pontos monitorados por meio do teste de Kruskal-Wallis e em relação à montante e jusante de cada barragem por meio do Teste U Mann-Whitney. Considerou-se como hipótese nula ( $H_0$ ) dos testes supracitados a afirmativa que os valores de CSS não se diferiram significativamente na sequência espacial. Desta forma, para  $p$ -valor  $\leq 0,05$  assume-se a hipótese alternativa ( $H_1$ ) de que as diferenças entre os valores de CSS monitorados são estatisticamente significativas. Para analisar a similaridade dos pontos quanto à concentração de sedimentos em suspensão, utilizou-se análise de agrupamento de Cluster. Além dos pontos das barragens, a variabilidade sazonal foi verificada como variável em todos os testes estatísticos.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Concentração de sedimentos e Descarga Sólida em Suspensão

Nas figuras 2a e 2b são apresentados as medianas, máximos, mínimos e quartis de CSS e QSS, respectivamente. As maiores medianas de CSS e QQ observadas se referem ao ponto C (CSS: 3,88 mg.L<sup>-1</sup> e QSS: 12,52 t.dia<sup>-1</sup>) e ponto E (CSS: 3,58 mg.L<sup>-1</sup> e QSS: 14,50 t.dia<sup>-1</sup>).

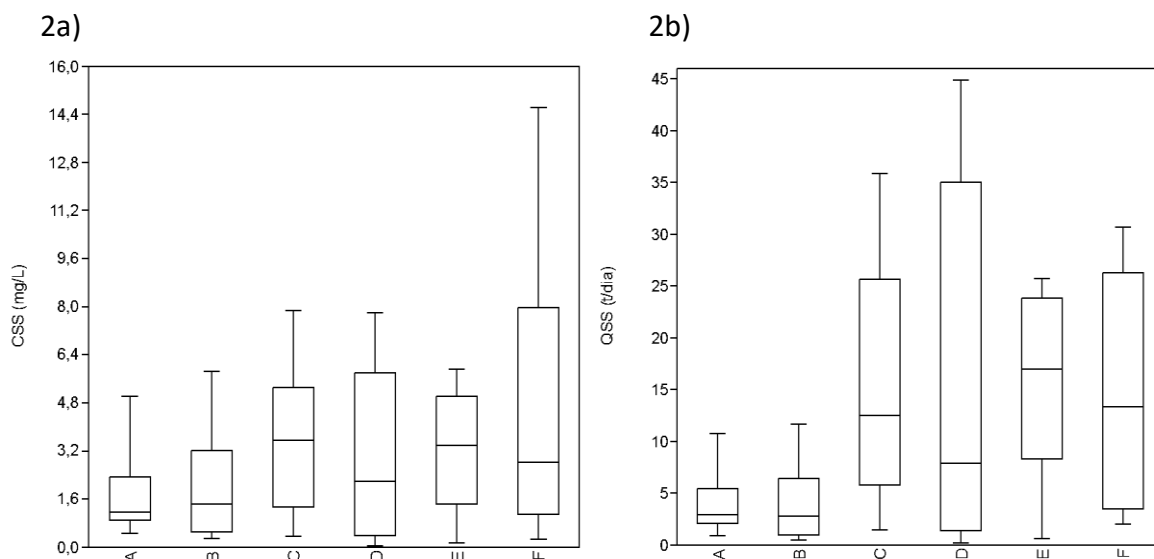


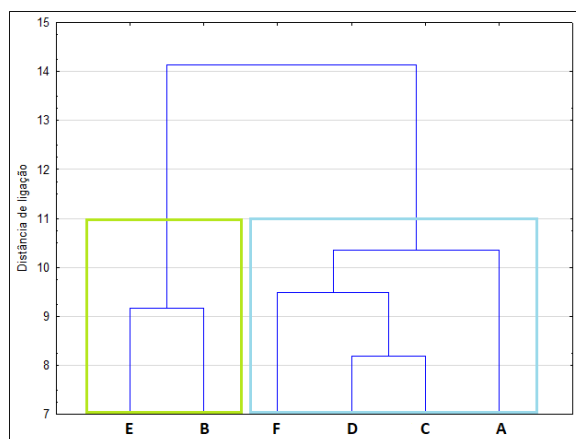
Figura 2 – Variação de a) Concentração de Sedimentos em Suspensão (mg/L); b) Descarga Sólida em Suspensão (t/dia).

Com base no teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, não foram observadas diferenças significativas na CSS entre os pontos considerando-se os dados globais ( $p$ -valor = 0,641), os dados em período chuvoso ( $p$ -valor = 0,763) e no período de estiagem ( $p$ -valor = 0,908).

### 3.2. Análise de similaridade do aporte da CSS nos pontos analisados

Os dendogramas apresentados nas Figuras 3a e 3b, compõem as análises de agrupamento de cluster, onde os pontos com similaridade de aporte de sedimentos em suspensão se agrupam. De acordo com os resultados, optou-se por um agrupamento final com 2 clusters, uma vez que observamos um salto considerável na distância entre dois grandes grupos. Observou-se na análise global (desconsiderando a sazonalidade) que os pontos B e E formaram um grupo isolado dos demais pontos A, C, D e F (Figura 3a). No entanto, quando considerada a sazonalidade, no período de estiagem (BE e EE) apresentam similaridade com os demais pontos, enquanto no período chuvoso (BC e EC) continuam isolado dos demais. Ou seja, fica evidenciado que no período chuvoso, os pontos B e E recebem maior aporte de sedimentos do que os demais, o que pode estar relacionado à fatores como: uso e ocupação do solo, tipos de solo, potencial erosiva e intensidade de chuvas na região destas barragens.

3a)



3b)

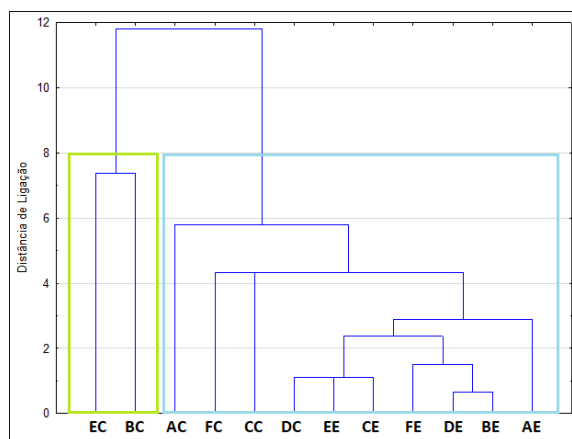


Figura 3 - Agrupamento Cluster dos pontos quanto à similaridade do aporte de sedimentos em suspensão a) de forma global; b) considerando a sazonalidade.

**Legenda:** Pontos acrescidos da letra C: correspondem ao período chuvoso; Pontos acrescidos da letra E: período estiagem.

### 3.3. Variação da CSS na sequência espacial de barragens

De modo geral, sem considerar os efeitos de chuva e estiagem, a variação da CSS à montante e jusante de cada barragem não apresentou  $p$ -valor  $< 0,05$  confirmando a hipótese nula ( $h_0$ ) de que as diferenças entre os valores de CSS em relação à montante e jusante de



cada barragem analisada não são estatisticamente significativas, conforme apresentado na Tabela 4.

As taxas de variações (tx) das medianas de CSS em relação à montante e jusante das barragens analisadas, apresentaram reduções no ponto B2 (que comparou a variação da CSS em relação à montante e jusante da UHE Juba II) nos períodos de estiagem (-30,38%) e chuvoso (-10,66%), devido as taxas de variação negativa. Porém, de acordo com as análises do teste de Mann-Whitney, notou-se que no ponto B2 os valores apresentados foram: p-valor = 0,470 e 0,689, nos períodos de estiagem e chuva, respectivamente. Desta forma, não apresentaram diferenças estatisticamente significativas.

Tabela 4 - Taxa de variação e p-valores do teste de Mann-Withney para CSS em relação à montante e jusante de cada barragem.

Referência	Geral	Estiagem		Chuvoso	
	p-valor	Tx	p-valor	Tx	p-valor
<b>B1a</b>	0,273	32,12%	0,885	64,39%	0,173
<b>B1b</b>	0,344	30,86%	0,665	32,96%	0,575
<b>B2</b>	0,450	-30,38%	0,470	-10,66%	0,689
<b>B3</b>	0,344	40,20%	0,470	12,63%	0,810
<b>B4</b>	0,734	-11,74%	0,885	26,16%	1,000

**Legenda – B1a:** montante (rio Juba) e jusante da barragem da UHE Juba I; **B1b:** montante (rio Jubinha) e jusante da barragem da UHE Juba I; **B2:** montante e jusante da UHE Juba II; **B3:** montante e jusante da barragem da PCH Graça Brennand; **B4:** montante e jusante da barragem da PCH Pampeana); **Tx:** taxa de variação de CSS (%); **p-valor:** nível de significância do teste Mann-Withney.

Na Figura 6, apresenta-se a variação da CSS na sequência espacial das barragens. De forma geral, todas as medianas de CSS apresentaram valores inferiores à 5 mg/L, mas notou-se uma atenuação nos pontos B2 e B4, como já mostrado na Tabela 4.

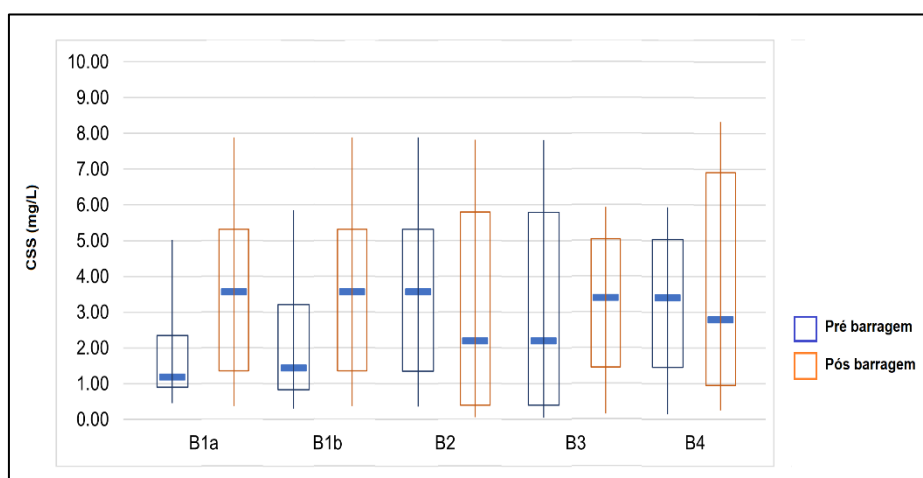


Figura 6 - Variação da concentração de sedimentos em suspensão à montante e jusante das barragens; (**B1a:** montante (rio Juba) e jusante da barragem da UHE Juba I; **B1b:** montante (rio Jubinha) e jusante da barragem da UHE Juba I; **B2:** montante e jusante da UHE Juba II; **B3:** montante e jusante da barragem da PCH Graça Brennand e **B4:** montante e jusante da barragem da PCH Pampeana).

#### 4. CONCLUSÃO

Conforme resultados apresentados, conclui-se que o rio Juba apresenta pequenas concentrações de sedimentos em suspensão e que os pontos C e E apresentaram as maiores concentrações. O uso e ocupação do solo, tipo de solo, potencial erosivo do solo e intensidade de chuvas na região pode ter contribuído para um maior carreamento de sedimentos nestes pontos. Estudos futuros são necessários para analisar, de maneira mais detalhada, como estes fatores influenciam na CSS no rio estudado.

Quanto à variação da CSS ao longo da sequência espacial do complexo de barragens na bacia do rio Juba, os resultados exibiram que, não houve alterações significativas na análise global e pontual, seja a sazonalidade considerada ou não.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA – Agência Nacional de Águas. 2012. Qualidade da água em reservatórios. Capacitação. Disponível em: < <http://dspace.agencia.gov.br:8080/conhecerrhana/74>> Acesso em: junho de 2020.

ANA – Agência Nacional de Águas. 2019. Relatório de Andamento 05: Qualidade de Água e Hidrossedimentologia. Elaboração de Estudos de Avaliação dos Efeitos da Implantação de Empreendimentos Hidrelétricos na Região Hidrográfica do Rio Paraguai / Ministério de Meio Ambiente. Brasília.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. 2010. Sistemas de Informações Geográficas. Disponível em: < <https://sigel.aneel.gov.br/Down/>> Acesso em: agosto de 2019.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia; Empresa de Pesquisa Energética; Potencial dos Recursos Energéticos no Horizonte 2050 / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2018

CARVALHO, N. O.; Hidrossedimentologia prática: Interciência. 2ª ed. Atualizada e ampliada. Rio de Janeiro, 2008.

MAUAD, F. F.; FERREIRA, L. C.; TRINDADE, T. C. G. 2017. Energia Renovável no Brasil - Análise das Principais Fontes Renováveis Brasileiras. EESC/USP, São Carlos/SP, 349p.

SENDACZ, S.; CALEFFI, S.; SANTOS-SOARES, J. 2006. Zooplankton biomass of reservoirs in different trophic conditions in the state of São Paulo, Brazil. Brazilian Journal Biology. Vol. 66, pg 337-350.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI-MATSUMURA, T. 2008. Limnologia. Sao Paulo: Oficina de Textos. 631p.