

Análise Comparativa entre Dados Hidrossedimentológicos após a Implementação de um Reservatório: Estudo de caso

Felippe Fernandes¹; Nelson Pereira Castro²; Anielli Cruz³; Cristiano Poletto³

ABSTRACT – The design of a reservoir, being effective for the most diversified purposes, such as a dam for hydroelectric power generation, supply or leisure, can lead to hydrodynamic, hydrosedimentological and morphological changes in the watercourse and in the watershed in which it is located allowing changes in flow regimes and in the solid discharges upstream and downstream of the dam. This paper aims to present the sedimentological data and comparative analyzes between reference values for the watershed's PCH Victor Baptista Adami reservoir, located in the northern region of the state of Santa Catarina. For the comparative analysis, the data contained in the diagnosis related to sediment production, ordered by ELETROBRÁS in 1998, were used, while the data on suspended and bottom sediments, concentration and granulometry, are derived from our hydrosedimentological monitoring. It was observed that among the history after the Chapecó River dam, the month that presented the highest concentration of sediments was in October 2018 (70.14 mg/l), also with the record of greater solid discharge in suspension and total solid discharge (904.53 T/day and 1193.42 T/day respectively). Such measures also make it possible to correlate the data and make a more effective comparison of the pre and post implantation of it. In addition, it offers a real overview of the hydrosedimentological conditions about effects of dams' implantation.

Palavras-Chave – Hidrossedimentologia, Descarga Líquida, Descarga Sólida.

1) Construserv, Av. Doutor Gastão Vidigal, nelson.castro@grupoconstruserv.eng.br, (44) 3026-6844

2) Construserv, Av. Doutor Gastão Vidigal, felippe.fernandes@grupoconstruserv.eng.br, (44) 3026-6844

3) Construserv, Av. Doutor Gastão Vidigal, felippe.fernandes@grupoconstruserv.eng.br, (44) 3026-6844

4) Universidade Federal rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500. Porto Alegre, Brasil, cristiano.poletto@ufrgs.br.

1 - INTRODUÇÃO

As modificações antropogênicas em bacias hidrográficas urbanizadas podem implicar em diversas alterações ambientais, tanto no ciclo hidrológico, quanto na qualidade da água dos recursos hídricos locais.

A ação humana visando a obtenção dos reservatórios com diferentes aplicabilidades e funcionalidades, converte a mudança do regime dos ambientes, transformando os lóticos em lênticos [(ESTEVES, 1998)]. Consequentemente, o fluxo de água que chega ao reservatório perde energia cinética e ganha energia potencial, num processo onde a velocidade diminui gradualmente. Com a diminuição de velocidade, materiais em suspensão que antes eram carreados pelo fluxo começam a se depositar, primeiro os materiais maiores e mais pesados, e posteriormente os mais finos e leves. Estes materiais depositados no fundo do reservatório são provenientes de processos erosivos, naturais e/ou antrópicos, que ocorrem dentro da sua bacia de contribuição [(CARVALHO, 2008)].

Compreender a dinâmica dos sedimentos de uma bacia hidrográfica é de grande importância, principalmente para acompanhar as alterações do uso e ocupação do solo, o processo de urbanização e os impactos gerados pelas mudanças climáticas.

Os sedimentos são encontrados em camadas na forma de partículas finamente divididas no fundo de rios, lagos, reservatórios, baías, estuários e oceanos. Esses consistem de maneira geral em vários minerais com granulação fina, média e grossa, incluindo argilas, silte e areia misturados com matéria orgânica, sendo que sua composição (mineral e orgânica) dependerá da Geologia e Biotas locais. Enquanto, o tamanho das partículas ou granulometria varia principalmente com as condições de sua origem [(MANAHAN, 2000)].

Neste sentido, no ano de 1992 foi elaborada a publicação intitulada Diagnóstico das Condições Sedimentológicas dos Principais Rios Brasileiros, por meio de um projeto executado pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul encomendado pela empresa Centrais Elétricas Brasileiras S.A. – ELETROBRAS. Tal estudo, visou apresentar o panorama, com os dados de sedimentos que existiam até àquela data, sobre a produção de sedimentos nas bacias hidrográficas mais propensas aos impactos destes e sobretudo despertar o interesse por esta área das ciências ambientais.

Com o passar dos anos, diversos estudos ligados a este tema foram desenvolvidos, como o Diagnóstico de Fluxo de Sedimentos em Suspensão na Bacia do Rio São Francisco [(ANA/ANEEL, 2001)] e Produção de Sedimentos na América do Sul [(CAMPAGNOLI, 2006)] principalmente a níveis locais, ou seja, estudos menores direcionados as bacias hidrográficas de interesse.

Sabe-se que as construções de barragens geram alguns benefícios, mas também provocam alterações nos processos hidrodinâmicos, hidrossedimentológicos e morfológicos dos cursos d'água, principalmente devido à alteração do regime de vazões líquidas dos rios e à retenção de sedimentos a montante, e erosão à jusante do reservatório.

As modificações antropogênicas em áreas urbanas podem implicar em diversos passivos ambientais no aspecto hidrológico, onde a qualidade da água seja ela superficial ou subterrânea estará sujeita a degradação. Ao instalar/construir um reservatório em um determinado recurso hídrico, este terá suas seções transversais aumentadas, enquanto as velocidades de corrente decrescem, criando as condições ideais para o depósito de sedimentos [(FERNANDES et al., 2019)].

Através do monitoramento hidrossedimentológico compreendendo fatores como vazão, concentração, elaboração de hidrogramas e de sedimentogramas se torna possível estudar a variabilidade temporal dessas duas variáveis. Desta forma, é possível inferir sobre o comportamento hidrossedimentológico de uma bacia hidrográfica [(Klein, 1984; Williams, 1989; Jansoon, 2002; Stott, 2006; Lefrançois et al., 2007)].

Assim, o presente estudo analisou os dados hidrossedimentológicos coletados após enchimento do reservatório da PCH Victor Baptista Adami, observando uma escala de temporal evolutiva de sete anos (2013 - 2019), comparando com dados da produção de sedimentos nessa bacia hidrográfica.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

2.1 -Área de Estudo

O local estudado localiza-se na cidade de Passos Maia/SC e o posto hidrossedimentométrico para amostragens está sob as coordenadas 26°42'36.89"S e 51°53'13.90"O.

A PCH Victor Baptista Adami está inserida na sub-bacia hidrográfica do rio Chapecó. Esta bacia, até sua confluência no rio Uruguai, drena uma extensão territorial de cerca de 8.190 km² e faz parte da bacia do rio Uruguai, cuja localização pode ser vista na Figura 1. A bacia de drenagem do reservatório é da ordem de 893,18 km² e apresenta clima temperado moderado chuvoso, do tipo CFB, de acordo com a classificação de Köppen. Do ponto de vista geomorfológico, a área de influência direta enquadra-se no Domínio do Planalto das Rochas Basálticas. O relevo indica alternância de altitudes, decorrente do aprofundamento da drenagem dos principais rios, com grande número de pontos com forte declividade, às vezes na forma de escarpas.

A bacia hidrográfica do rio Chapecó desenvolve-se em grande parte no sentido leste-oeste, até a localidade de Abelardo Luz, quando então passa a correr no sentido nordeste-sudoeste, até desaguar no rio Uruguai, próximo à localidade de São Carlos.

O rio Chapecó, com uma vazão média na foz de 263 m³/s, uma área de drenagem de 8.190 km² e uma densidade de drenagem de 1,55 km/km², representa o principal curso d'água da região hidrográfica, drenando os territórios de 30 municípios entre eles São Domingos e Ipuacu. Suas nascentes estão localizadas na Serra do Chapecó, próximo ao Morro do Capão Doce (altitude de 1.340 m), que faz divisa com a bacia do rio Iguaçu, principal curso d'água do estado do Paraná (Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina, janeiro de 2006).

Os seus afluentes principais são os rios Ouro, Burro Branco, Chapecozinho, Bonito, Saudades, Feliciano, Martins, Emigra, Lajeado Jacutinga, Lajeado Baitaca, rio Martins e Lajeado Santo Antônio.

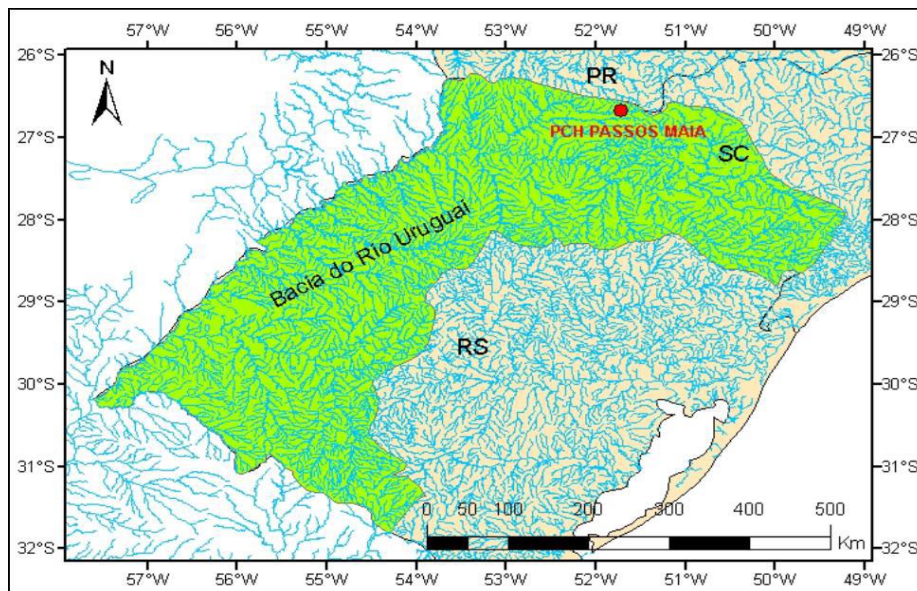


Figura 1 - Mapa da Bacia do Rio Uruguai

2.2 - Amostragem e Análise dos Sedimentos

As amostragens ocorreram mensalmente, compreendendo o período de pré-enchimento de 2010 a 2013 e pós enchimento 2013 a 2019, no posto hidrossedimentométrico sob as coordenadas 26°42'36.89"S e 51°53'13.90"O.

Para a amostragem dos sedimentos em suspensão foi utilizado o método de igual incremento de largura (IIL). As coletas foram realizadas pelo método de integração na vertical em dois sentidos (subida e descida), sendo que as verticais de coleta coincidem com as verticais da medição de descarga líquida. Os amostradores das coletas de água foram do tipo USDH 49 ou DH-48 para profundidades até 4,5 m e tipo AMS-8 para profundidades maiores e para cada vertical de amostragem de sedimentos em suspensão foram coletados de 3 a 5 litros (a depender do período hidrológico).

Para os sedimentos de fundo, a coleta foi distribuída ao longo da seção e em quantidade não inferior a cinco amostras. Quando o amostrador é lançado e não retorna com amostra devido o leito ser rochoso, a vertical é considerada sem amostragem.

Após a coleta em campo, as amostras foram acondicionadas em recipientes estéreis e seguros e encaminhadas a laboratórios de hidrossedimentologia. Ao receber as amostras, o laboratório realiza uma série de procedimentos (Registro fotográficos, identificação, higienização, preparação/estabilização das amostras e instrumentação e entre outros) no intuito de garantir a integridade e preservação das amostras e análises.

As análises das amostras referentes aos sedimentos em suspensão objetivaram caracterizar as concentrações dos sedimentos presentes na mistura. Por definição, os procedimentos metodológicos adotados para determinação dos valores de concentração e granulometria das amostras, executa-se, para a análise dos sedimentos em suspensão, os seguintes procedimentos: peneiramento, filtração, tubo de remoção pela base ou pipetagem, de acordo com a concentração (mg.L^{-1}) presente nas amostras.

As análises do material em suspensão das amostras integradas na vertical e pontuais foram realizadas pelo método/processo de pipetagem ou do tubo de remoção pela base, de acordo com o valor da concentração de sedimentos na amostra. O procedimento, nas duas situações, exige um tempo mínimo de 04 dias para decantação, retirada preliminar da areia presente na amostra por meio do uso de peneiras de nº 230 (Fração areia) e a pesagem desse material a fim de compor a curva granulométrica.

O cálculo da descarga em suspensão foi efetuado considerando que o sedimento se movimenta com a velocidade da corrente em toda a seção transversal, ficando então igual ao produto da descarga líquida pela concentração. Para as determinações usuais no país, utiliza-se a seguinte equação com uma constante de transformação para as unidades:

$$Q_{ss} = 0,0864 \times Q \times C$$

Sendo:

- Q_{ss} em t/dia;
- Q a descarga líquida em m^3/s ;
- C a concentração medida em mg/L .
- A constante se refere ao fator de transformação de unidades.

Para o cálculo da descarga sólida total, foi empregado o método de Colby (1964) sendo esse bem difundido e amplamente utilizado mundialmente em estudos hidrossedimentológicos. O método simplificado de Colby, de 1957, apresenta algumas vantagens como o número reduzido de dados necessários à sua aplicação, tornando-o um método bastante simples. Com este método, o

trabalho de hidrossedimentometria torna-se econômico e fácil, pois é necessário usar somente as medidas de descarga líquida e da concentração de sedimentos em suspensão.

Cabe salientar que, existem softwares gratuitos disponíveis para serem usados para o cálculo da descarga sólida pelo método simplificado de Colby. O software utilizado nesse trabalho foi desenvolvido por Jorge Henrique Alves Prodanoff e colocado no sistema métrico por Newton de Oliveira Carvalho.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 - Descarga de Sedimentos em Suspensão e Total

A Tabela 1 apresenta a quantidade de dados observados, bem como a Tabela 2 apresenta os índices médios, máximos e mínimos medidos para cada parâmetro analisado. Ao final das dissertações sobre os dados, estarão dispostos graficamente, nas Figuras 2 e 3 os valores de cada um dos parâmetros analisados (Vazão, concentração e descarga sólida em suspensão) no intuito de observar didaticamente as variações do histórico das medições mensais. Salientamos que os dados apresentados a seguir foram referentes as análises para os períodos de pré e pós enchimento do reservatório (Intervalo de 2010 a 2013 – pré e 2013 a 2019 pós enchimento).

Tabela 1 – Quantidade de dados analisados

Período	Descarga Líquida	Concentração	Descarga sólida em suspensão
Pré-barramento	18	18	18
Pós-barramento	25	23	23

Tabela 2 – Índices estatísticos comparativos

Parâmetro	Descarga Líquida (m ³ /s)		Concentração (mg/L)		Descarga sólida em suspensão (t/dia)	
	Pré-barramento	Pós-barramento	Pré-barramento	Pós-barramento	Pré-barramento	Pós-barramento
Média	27,56	32,72	7,69	14,03	26,21	81,90
Mínima	7,29	3,23	3,08	2,74	2,90	1,27
Máxima	118,37	157,72	19,38	70,14	198,20	904,53

Descarga líquida:

Ao observar os dados, notou-se que o maior valor registrado para descarga líquida foi em outubro de 2015, sendo 157,72 m³/s, a segunda maior vazão ocorreu em outubro de 2018, na

ocasião apresentou 149,26 m³/s, situação que pode ser vinculada as chuvas concentradas no início do período chuvoso para esta região.

A média das vazões medidas após o início da operação do reservatório apresentou um acréscimo de 15% em relação as vazões medidas antes da existência do mesmo. Cabe ressaltar que esta comparação é meramente relacionada as vazões medidas e que para verificar as reais alterações hidrológicas, o estudo da curva chave de vazão deve ser levado em consideração e por um período prolongado de anos para se obter várias populações de dados. Neste sentido, tanto a maior vazão medida quanto a menor foram obtidas no período posterior ao barramento.

Em 2019, as medições foram feitas nos meses de fevereiro, maio, agosto e novembro. Os resultados das descargas e velocidades médias seguiram os mesmos padrões dos anos anteriores, não caracterizando um aumento significativo para este período.

Dados hidrossedimentológicos:

A descarga sólida total apresentou variação entre os meses observados e tais valores podem ser atribuídos ao período sazonal, uso e conservação do solo na bacia do entorno da seção de coleta uma vez que são fatores diretamente proporcionais e correlativos.

O mês que apresentou maior concentração de sedimentos foi outubro de 2018 com 70,14 mg/l e, conseqüentemente, o registro de maior descarga sólida em suspensão e descarga sólida total 904,53 t/dia e 1193,42 t/dia, respectivamente. Verificou-se que em outubro de 2018 ocorreu o segundo maior registro de descarga líquida (149,26 m³/s), influenciando diretamente nos valores das medições de descarga sólida.

Em janeiro de 2015 houve um registro de 589,97 T/dia para a descarga sólida total, mês que também apresentou uma alta descarga líquida e descarga sólida em suspensão (418,15 t/dia). No mesmo ano de 2015, em outubro, ocorreu outro registro de descarga sólida total e descarga sólida em suspensão elevadas (460,90 t/dia e 260,82 t/dia). Observou-se que o mês de janeiro e outubro de 2015 tiveram altos índices de precipitação na região.

O mês junho de 2017 também apresentou concentração elevada quando comparadas com outros períodos (43,49 mg/l), podendo indicar alguma ação antrópica na bacia hidrográfica, o que contribuiu com um aporte de sedimento maior no corpo hídrico ou a ocorrência de precipitação próximos ao dia de coleta da amostra.

Os dados do ano de 2019, observando os meses de referência de fevereiro, maio e dezembro se apresentaram baixos em relação ao mesmo período de anos anteriores. Dentre os valores para o referido ano, a amostragem do mês de maio se apresentou com maior descarga sólida total, mesmo sendo pouco expressivo quando se comparado com a série de dados (2013 – 2019). Tal fato,

pode estar atrelado aos fatores hidrológicos, pois 2019 apresentou baixos índices pluviométricos remetendo a baixas concentrações de sedimentos em relação a toda série.

Em relação ao histórico, não foi observado grandes mudanças nas descargas sólidas após o enchimento do reservatório, sendo que as alterações observadas são em decorrência principalmente da sazonalidade ou, para picos decorrentes de ações antrópicas atuantes na bacia que apresenta áreas agricultáveis e/ou com solos descobertos. Este fato pode ser evidenciado na comparação das curvas chave teóricas de sedimentos em suspensão elaboradas para este trabalho.

A seguir, de forma gráfica e apresentado nas Figuras 2 a 4, pode-se observar os dados da concentração de sedimentos em suspensão, descarga sólida em suspensão e total, descarga líquida.

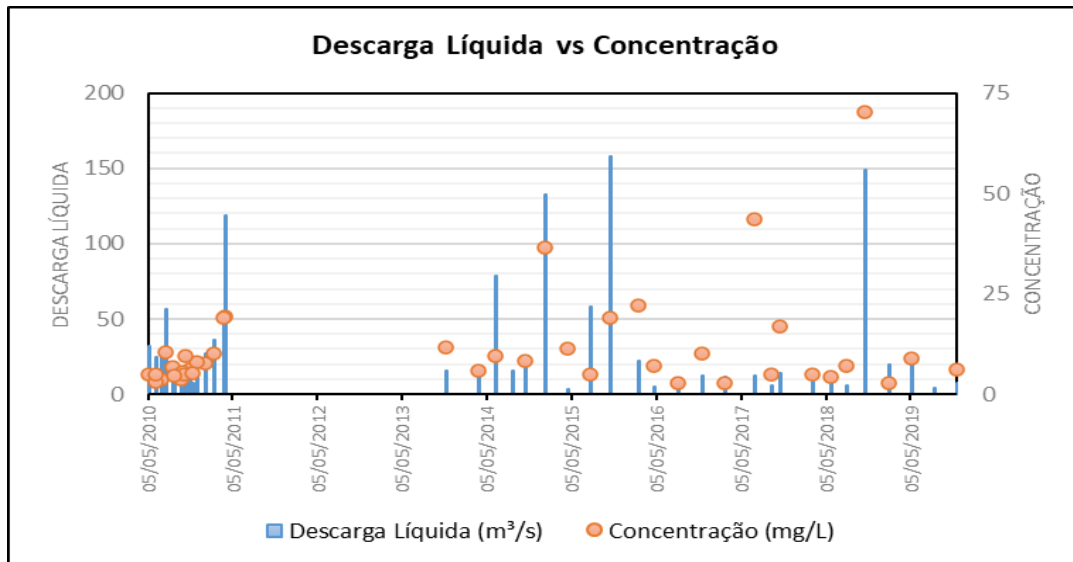


Figura 2 - Descargas líquidas e Concentrações do ponto de análise para todo período

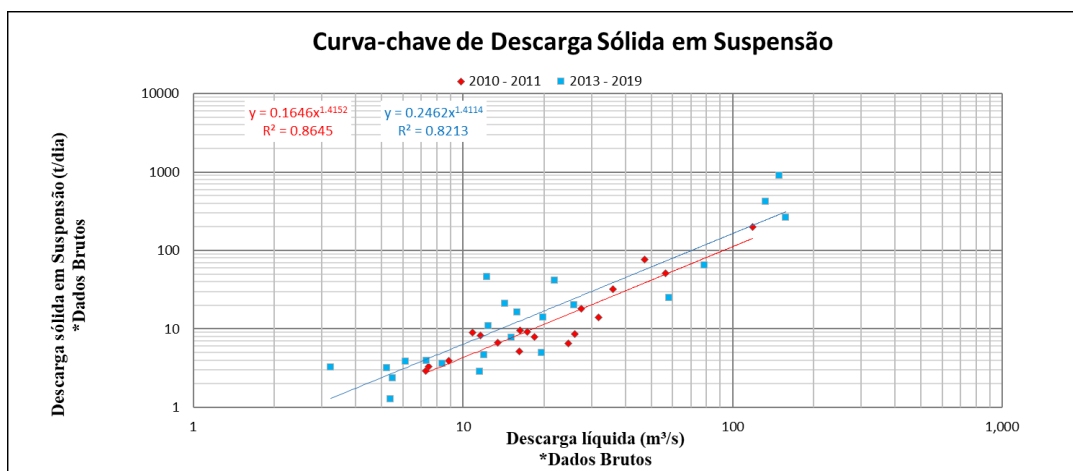


Figura 3 - Descargas sólidas em Suspensão na seção em estudo da PCH Victor Baptista Adami Montante.

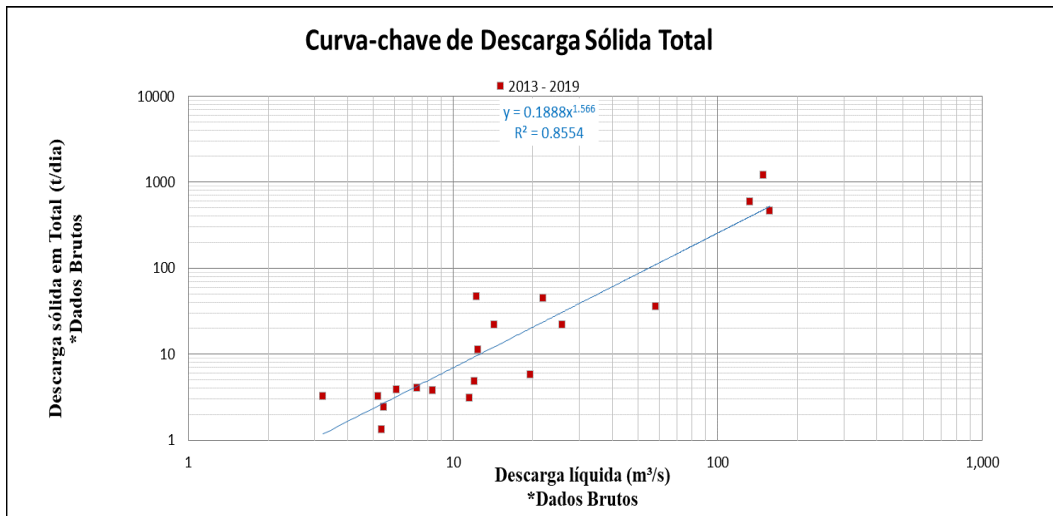


Figura 4 - Descargas sólidas Total na seção em estudo da PCH Victor Baptista Adami Montante.

Os coeficientes de correlação das medidas de sedimentos em suspensão pré e pós-enchimento mostraram-se aderentes com os valores de 0,86 e 0,82, respectivamente. Analisando o gráfico da Figura 3, notou-se, também, que as descargas de sedimentos em suspensão apresentaram tendência de aumento para uma mesma vazão medida.

Análises comparativa e dissertativa dos dados

O ponto de monitoramento localiza-se em uma região denominada **S5 – Zona Sul**. Essa zona, trata-se de uma faixa que se estende do norte do Paraná à fronteira uruguaia e que inclui os cursos superiores do rio Uruguai, dos afluentes da margem esquerda do Paraná e das bacias dos rios que desembocam no sistema da laguna dos Patos (exceto o alto rio Jacuí e a bacia do Vacacaí). Nesta zona, as chuvas apresentam Erosividade média constante em torno de $R = 750$, terrenos mais erodíveis na parte oriental, cuja ocupação, ao contrário, é menos intensiva que na parte ocidental. Predomina o relevo levemente ondulado, exceto na escarpa meridional do planalto de basalto, que corta a zona pela metade, aproximadamente. A concentração média anual (CMA) está em torno de 50 mg/l e as produções específicas de sedimentos em torno de 26 t/km²/ano para bacias de 3500 km² [(ELETROBRÁS, 1998)].

Para a realização comparativa dos valores medidos no ponto de estudo com a base indicada no Diagnóstico Eletrobrás, foram realizadas médias de cada ano de amostragem (exceto 2012 e 2013 que não tiveram dados suficientes para este fim). Em todos os anos foram obtidas concentrações inferiores as CMA apresentadas pela Eletrobrás, conforme apresenta a Tabela 3.

Tabela 3 – Comparações de Concentrações

Ano	CMA (mg/L)	Valor Base Eletrobrás (1992)
2010	5,71	50,00
2011	14,03	
2014	7,87	
2015	18,03	
2016	10,48	
2017	17,09	
2018	21,7	
2019	6,02	

4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar das médias das vazões medidas terem sido maiores após a construção do barramento, notou-se que de forma geral houve reduções de descarga líquida indicando uma menor produção de água a montante da bacia até o ponto monitorado. Fato que pode ser atrelado as mudanças no uso e ocupação da terra e episódios climáticos evidenciados por menores quantidades de chuvas, contudo com maiores intensidades conforme apresentou os anos de 2015 e 2018 para o local, o que possibilitou obter a média maior após o ano de 2013.

Em relação aos dados de sedimentos, verificou-se que os valores medidos de descarga sólida em suspensão apresentaram coerência entre si, conforme apresentado pelos coeficientes de correlação acima de 80% para os períodos pré e pós-barramento. A concentração média das amostras após o barramento do rio no local de estudo teve um incremento aproximado de 45% em relação ao período anterior ao empreendimento, indicando forte alteração nos usos da bacia hidrográfica à montante.

A comparação dos valores de concentrações médias entre 2010 e 2019 retornaram a valores inferiores ao apresentado no Diagnóstico de Sedimentos da Eletrobrás. Conforme consta na publicação, dados de sedimentos podem apresentar variações locais e temporais de acordo com cada ponto.

Ressalta-se que os dados obtidos no período pretérito aos empreendimentos são de grande valia, porém escassos. Recomenda-se planejar a rede hidrossedimentométrica para que se tenha um número maior de dados ao longo do tempo e as alterações possam ser acompanhadas para uma boa manutenção de áreas produtoras de água na bacia hidrográfica e medidas de controle para as eventuais perdas de solo e aumento da produção de sedimentos, que podem vir a prejudicar a finalidade dos empreendimentos com reservatórios.

5 - AGRADECIMENTOS

Agradecemos a PCH Victor Baptista Adami pela disponibilização dos dados.

6 - BIBLIOGRAFIA

CARVALHO, N. O. 2008. Hidrossedimentologia prática. Rio de Janeiro: Interciência, 2ª Ed. 599p.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS – ELETROBRÁS (1998). Diagnóstico das Condições Sedimentológicas dos Principais Rios Brasileiros; Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 2ª edição, Rio de Janeiro –RJ.

ESTEVES, F. A. Elementos Traço. In: Fundamentos de Limnologia. Esteves, F. A. Rio de Janeiro: Interciência. 1998. pp.285-299.

FERNANDES, F.; POLETO, C.; SILVEIRA, A. L. L. Análise do volume de sedimentos assoreados e da taxa de urbanização em bacias hidrográficas urbanas: estudo de caso reservatório mãe d'água. In: XXIII Simpósio brasileiro de recursos hídricos, 2019, Foz do Iguaçu/PR.

KLEIN, M. (1984). Anti clockwise hysteresis in suspended sediment concentration during individual storms. *Catena*, 11, pp. 251-257.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. 1928. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. Disponível em: < <http://klima-der-erde.de/koeppen.html> > Acesso em: 10 mar. 2014.

MANAHAN, S. E. *Environmental Chemistry*. Boca Raton: Lewis Publishers, 7th. ed. 2000. 898 p.

LEFRANÇOIS, J.; GRIMALDI, C.; GASCUEL-ODOUX, C.; GILLIET, N. (2007). Suspended sediment and discharge relationships to identify bank degradation as a main source on small agricultural catchments. *Hydrological Processes*, 21, 2923-2933.

STOTT, T. (2006). Impacts of constructing a rural cycle way on suspended sediment transport processes. *Catena*, 68, pp. 16-24.

WILLIAMS, G.P. (1989). Sediment concentration versus water discharge during single hydrologic events in rivers. *Journal of Hydrology*, 111(1-4), pp. 89-106.

JANSSON, M.B. (2002). Determining sediment sources areas in a tropical river basin, Costa Rica. *Catena*, 47, pp. 63-84.