



## MONITORAMENTO E ANÁLISE DE SEDIMENTOS SUSPENSOS EM BACIA HIDROGRÁFICA COM REPRESAMENTO HÍDRICO

*Paulo Rodrigo Zanin<sup>1</sup> & Nadia Bernardi Bonumá<sup>2</sup> & Davide Franco<sup>3</sup>*

**RESUMO** --- O objetivo deste trabalho foi analisar a dinâmica dos sedimentos em suspensão na descarga de um reservatório localizado na bacia hidrográfica do Rio Preto, SC. Foram realizadas 16 campanhas de amostragem de sedimentos em suspensão, dois metros a montante da barragem, em quatro profundidades da coluna d'água. A vazão em cada profundidade foi calculada em função da operação de descarga do reservatório. Para amostrar a mistura água-sedimentos da descarga do reservatório foi desenvolvido um amostrador de sedimentos em suspensão. Os resultados do monitoramento, especialmente a amostragem do dia 05/09/14, confirmaram que a concentração de sedimentos suspensos perto do fundo é maior do que na superfície do reservatório, indicando a ocorrência de correntes de turbidez de fundo. A análise estatística sugere que do início do processo hidrossedimentológico na bacia de contribuição da represa, até a descarga de sedimentos suspensos na barragem, existe um retardo de 2 dias. Este atraso pode ser devido às características hidrodinâmicas que influenciam na deposição de sedimentos e ao tipo de operação do reservatório. Além disso, o novo amostrador foi eficiente para coletar a mistura água-sedimentos e pode ser utilizado em outros estudos de dinâmica de sedimentos na descarga de pequenas barragens.

**ABSTRACT** --- The aim of the study was to analyze the suspended sediment dynamics in the reservoir discharge in the Rio Preto watershed, located in Santa Catarina State. Sixteen samples of suspended sediment were collected two meters upstream of the dam at four water depths. Flow were estimated four each depth according to reservoir discharge operation. To collect the water-sediment mixture from the reservoir discharge a new sediment sampler were developed. The monitoring results, particularly the sampling occurred in 09/05/14, confirmed that the suspended sediment concentration near to the bottom is higher than at the reservoir surface, indicating bottom turbidity current flows. The statistical analysis suggests that the beginning of the hydrosedimentological process in the contribution basin dam until the suspended sediment discharge at the dam, there is a delay of 2 days. This lag may be explained by the hydrodynamics characteristics and the reservoir operation. Besides, the new sediment sampler was efficient to collect sediment and can be a useful device for further sediment dynamics studies in discharge of small dams.

**Palavras-chave:** sedimentos em suspensão, amostrador de sedimentos, reservatório.

---

<sup>1</sup> Mestrando em Engenharia Ambiental. ENS – UFSC/ Campus Reitor João David Ferreira Lima/Bairro Trindade. Florianópolis (SC). Email: paulorzgeo@gmail.com

<sup>2</sup> Professora Dra. Universidade Federal de Santa Catarina/ Campus Reitor João David Ferreira Lima/Bairro Trindade. Florianópolis (SC). Email: nadia.bonuma@ufsc.br

<sup>3</sup> Professor Dr. Universidade Federal de Santa Catarina/ Campus Reitor João David Ferreira Lima/Bairro Trindade. Florianópolis (SC). Email: d.franco.ocean@gmail.com

## **INTRODUÇÃO**

Uma bacia hidrográfica, além de seu papel hidrológico de concentrar as águas precipitadas sobre uma área geograficamente delimitada, direcionando o fluxo hídrico para um canal principal de uma rede de canais, também adquire importância sedimentológica, pois o material da erosão hídrica é colocado em movimento pelo fluxo hídrico, podendo ser direcionado para fora da bacia pelos canais fluviais. Complexificando a dinâmica hidrossedimentológica surgem as barragens fluviais, que alteram a estrutura hidráulica do escoamento fluvial e conseqüentemente o equacionamento do transporte de sedimentos. Represas atuam como uma armadilha para sedimentos, pois a reduzida velocidade do fluxo no lago formado pela barragem, propicia que além das partículas maiores, como seixos e areia, também sejam depositadas partículas de tamanho menor, como silte e argila. Com a deposição excessiva o reservatório acaba por ter sua vida útil reduzida, seja pela diminuição de seu volume útil ou pelo assoreamento das tomadas d'água, além do empobrecimento do aporte sedimentar efluente da represa causar impactos geomorfológicos a jusante.

Ademais de sua importância econômica e alterações hidrogeomorfológicas, barragens constituem excelentes pontos de monitoramento de vazão em rios de pequena, média e grande ordem fluvial, desde que seja realizado o registro de cota do reservatório e abertura de comportas.

No caso de rios de pequena e média ordem, também constituem bons locais para monitoramento de sedimentos, pois equipamentos simples e de fácil fabricação são capazes de amostrar sedimentos em suspensão no exutório destas represas. Assim utilizou-se de uma barragem como posto fluviométrico, com o intuito de verificar as especificidades do comportamento hidrossedimentológico de uma bacia hidrográfica com represamento hídrico, no norte do estado de Santa Catarina.

### **Ciclo hidrossedimentológico e represamento hídrico**

A água, dentro de seu ciclo contínuo, acaba por impulsionar um novo ciclo devido à transformação da energia das precipitações e escoamento superficial em trabalho (BORDAS; SEMMELMANN, 2001). Este trabalho reflete a erosão hídrica, definido como o processo de dissecação da superfície terrestre em função da atividade hídrica do qual o terreno é passivo (SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA - SSSA, 2008).

A erosão hídrica pode ser dividida em erosão natural e erosão acelerada. A erosão natural é um processo natural de transformação da paisagem decorrente da geodinâmica do Planeta Terra, enquanto que a erosão acelerada é fruto das intervenções humanas sobre o espaço, onde se destaca as atividades agrícolas, construções de estradas e loteamentos (SIMÕES; COIADO, 2003), sendo

que a influência antrópica sobre a geomorfogênese do espaço força a transição temporal dos processos erosivos, da escala geológica para o tempo cronológico do homem, onde segundo Murk *et al.* (1996) as perdas de solos produtivos estão em torno de 7% por década.

Em relação ao transporte de sedimentos merece destaque o escoamento fluvial. Os rios são os principais agentes no transporte de matéria dos continentes para os oceanos, seja em termos de descarga líquida (água) como em descarga sólida (água e sedimentos). O fluxo hídrico (vazão) é o motor processo de erosão-transporte-deposição de sedimentos no canal fluvial, sendo que a água corrente se movimenta de acordo com as características hidráulicas dos fluidos (HUDSON-HESWARDS, 2007; CARVALHO, 2008). Os dois principais movimentos da corrente hídrica são o fluxo laminar ( $N^{\circ}$  Reynolds  $< 500$ ), no qual as camadas de água corrente se deslocam de forma paralela entre si sem haver mistura ou cruzamento entre as camadas de água de cada corrente, e o fluxo turbulento ( $N^{\circ}$  Reynolds  $> 2000$ ), que consiste em um movimento complexo das camadas de água corrente, havendo a mistura e cruzamento destas, formando espirais e turbilhões (MORRIS; FAN, 1997). Ambos os fluxos citados anteriormente dependem da velocidade, geometria do canal e viscosidade, sendo que na natureza, principalmente devido à baixa viscosidade da água, os fluxos são predominantemente turbulentos, sobretudo no escoamento fluvial, enquanto que o fluxo laminar ocorre geralmente no escoamento superficial em encostas de vertentes planas, onde a profundidade e velocidade da água são menores (MORRIS; FAN, 1997). Vale salientar que existe um intervalo de transição entre estes dois escoamentos que corresponde ao número de Reynolds entre 500 e 2000.

Em relação ao transporte de sedimentos, o fluxo laminar somente é capaz de mover partículas do tamanho de grão de argila, enquanto que o fluxo turbulento, dependendo da velocidade, pode mover materiais de tamanho de grão oscilando entre argila a seixos e blocos, ocorrendo o fenômeno do transporte seletivo das partículas de sedimento, em função da sua granulometria, forma e densidade (JORGE; UEHARA, 1998; VANONI, 1977).

Segundo Hudson-Hedwards (2007) 90% da descarga de sedimentos ocorre em suspensão, pois a pequena densidade das partículas suspensas propicia que elas sejam transportadas em diferentes velocidades do escoamento fluvial, sendo depositadas somente em velocidades do fluxo hídrico bastante reduzidas. Enquanto as partículas maiores, que se movem por arraste no leito ou por saltação, necessitam de vazões mais acentuadas para entrar em movimento, as quais ocorrem com baixa frequência.

No entanto, quando um rio intercepta alguma barreira natural ou antrópica, neste último caso destaca-se as barragens fluviais para diversas finalidades, são ocasionadas alterações hidrológicas e

sedimentológicas significativas no comportamento do rio represado, os quais irão variar nos diferentes rios e operações de barragem (BRANDT, 2000).

O lago formado pela barragem altera a dinâmica hidráulica dos rios afluentes, através da modificação do perfil de equilíbrio do rio com aumento de seu nível de base, aumento da seção molhada e da redução da velocidade de escoamento favorecendo a deposição dos sólidos transportados pela descarga fluvial (COIADO, 2003; INFANTI JR.; FORNASARI FILHO, 2003). Ferreira (2010) ao analisar o assoreamento de reservatório com base em experimentos no canal hidráulico do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, utilizando uma barragem com tomadas d'água e descarregador de fundo para simular um reservatório no canal hidráulico, constatou que a quantidade de sedimentos que transpõem a barragem é insignificante em relação à quantidade de sedimentos depositados no reservatório.

Os sedimentos depositados serão selecionados ao longo do reservatório, os primeiros a serem depositados, ao final do remanso, serão as partículas de maior granulometria (seixos), formando depósitos que se desenvolvem tanto nas calhas dos rios afluentes como reservatório adentro, sendo denominados de depósitos de *remanso*. Posteriormente serão depositados os sedimentos de granulometria intermediária (areias), os quais formaram depósitos em forma de *delta* na região onde o escoamento adentra o reservatório, podendo ser prejudicial ao volume útil do reservatório, sendo denominados de depósito de *delta*. Já as partículas menores (silte e argila) progridem em suspensão para jusante dos *deltas* depositando-se na região mais profunda do reservatório, podendo chegar até a barragem e ser levados para jusante do barramento hídrico durante as máximas fluviométricas, sendo denominados depósitos de *fundo*, os quais podem afetar a operação de uma represa, caso o assoreamento atinja a altura das comportas (COIADO, 2003; VANONI, 1975; MARQUES FILHO; GERALDO, 1998).

A deposição dos sedimentos no reservatório está condicionado pela circulação das águas do lago artificial, o qual geralmente é multidimensional e não uniforme, havendo circulações periódicas e permanentes. As diferentes densidades da água, em função da temperatura e turbidez implicarão na estratificação das camadas d'água, favorecendo a formação de correntes dentro do reservatório (YANG; SIMÕES, 2006).

Uma corrente importante em termos hidrossedimentológicos é a corrente de turbidez, a qual forma-se principalmente durante os períodos chuvosos, onde ocorre maior produção de sedimentos na bacia de contribuição e conseqüentemente maior descarga sólida afluente. Esta corrente caracteriza-se por um escoamento estratificado, devido à diferença de densidade causada pela alta concentração de sedimentos finos suspensos na descarga afluente, em relação à densidade da água do reservatório. Quando a descarga afluente rica em sedimentos chega ao reservatório, realizando

primeiramente a deposição do material grosseiro transportado pelo leito, ocorre a imersão da descarga sólida em suspensão gerando a estratificação desta camada d'água e favorecendo a formação de uma corrente de turbidez. Na corrente de turbidez os sedimentos são transportados pela turbulência da água, podendo haver deposição, erosão, ressuspensão de sedimentos do fundo e mistura desta camada com as águas do reservatório ao longo da corrente, dependendo da energia e volume da corrente de turbidez, caracterizando esta corrente como não conservativa, à exceção de quando a erosão iguala a deposição, sendo capaz de espalhar sedimentos finos em toda a extensão do reservatório, podendo atingir a barragem e até transpor o barramento via descarregadores de fundo. Além da descarga sólida afluente, as correntes de turbidez podem ser geradas por escorregamentos e deslizamentos de massa no contorno do reservatório, lançamento de resíduos de minérios, dragagem e descargas de varrimento e de fundo de barragens. (ALVES, 2008; SANTOS CORREIA, 2012)

De acordo com a densidade da corrente de turbidez ela pode ser classificada como de *fundo*, quando o escoamento afluente é mais denso que a água do reservatório, de *superfície*, quando o escoamento afluente é menos denso que a água do reservatório, e de *intermediária*, quando o escoamento afluente é mais denso do que a água de superfície do reservatório e menos denso do que a água de profundidade do reservatório (ALVES, 2008).

As descargas líquidas da represa serão reguladas antrópicamente de acordo com a oferta e demanda hídrica do reservatório. Segundo Rondon *et al.* (2013) esta regulação apresenta alterações no regime fluvial de jusante, como redução dos picos das vazões máximas, sendo função do volume do reservatório antes das máximas pluviométricas, redução das vazões médias anuais e aumento das vazões mínimas diárias. Em complementação, Brandt (2000) também aponta para alterações fluviais, que ocorrem nas escalas temporais diária e anual, em função da operação da represa. As alterações diárias ocorreriam devido à maior demanda hídrica para as atividades antrópicas durante o período diurno, quando são realizadas a maioria das atividades laborais, e desta forma aumentando as vazões no período noturno, enquanto que as alterações de escala anual ocorreriam devido ao armazenamento hídrico durante o período chuvoso, o qual manteria um aporte hídrico de jusante em períodos de seca.

Além das descargas da represa, haverá perdas no reservatório por evaporação da superfície do lago artificial constituído, e dependendo da entanqueidade do reservatório, podem ocorrer intensas percolações pelo substrato rochoso (BRANDT, 2000; MARQUES FILHO; GERALDO, 1998). Já as descargas sólidas dependerão também da capacidade de retenção do reservatório, a qual é resultado da velocidade de escoamento no reservatório, velocidade de sedimentação dos sólidos e aporte de descarga sólida que o reservatório recebe (COIADO, 2003).

A jusante da represa, devido à regulação da vazão e resultante redução de fluxo, o rio perde potência de escoamento (*stream power*) e conseqüentemente sua capacidade de transporte de sedimentos (BRANDT, 2000), além do aporte de sedimentos de montante ser significativamente reduzido pelo barramento hídrico, chegando a uma capacidade de retenção de 100% em grandes barragens (COIADO, 2003), causando impactos geomorfológicos catastróficos nos ambientes fluviais de jusante e ambientes costeiros, como deltas e linhas de costa, pois com a redução do aporte de sedimentos, o rio aumenta sua capacidade de erosão (HUDSON-HEDWARDS, 2007).

Yang *et al.* (2002) demonstrou que apesar do incremento de 10% a 12% na concentração de sedimentos em suspensão no Rio Yangtze na Ásia, entre as décadas de 1950 e 1960, devido ao desmatamento decorrente na bacia hidrográfica deste rio, entre 1960 e 1990 houve uma redução de 34% a 38% no transporte de sedimentos, processo este associado à construção de grandes represas, implicando na redução do aporte de sedimentos para canais anastomosados de jusante, erosão no delta da foz deste rio, além de romper com o equilíbrio entre as feições orogênicas do Himalaia e bacia de subsidência associada.

## **MÉTODOS E MATERIAIS**

### **Área de estudo**

A bacia hidrográfica do Rio Preto localiza-se no planalto Norte Catarinense, próximo a divisa do Paraná, abrangendo os municípios de Rio Negrinho, Mafra e Itaiópolis. Desta bacia, será analisada a bacia de contribuição da represa Caunal, localizada no principal canal fluvial da bacia do Rio Preto, figura 01, que volta-se a regular as vazões para a PCH Salto Grande, localizada a jusante, ambas de propriedade da Companhia Volta Grande de Papel - CVG.

De acordo com a tabela 1, que expõem os índices morfométricos da área de estudo, a bacia hidrográfica do Rio Preto possui uma área de 964,48 km<sup>2</sup> e uma densidade de drenagem de 1,81 km/km<sup>2</sup>, constituindo uma bacia de 6<sup>a</sup> ordem fluvial com amplitude altimétrica de 317 metros e tempo de concentração de 18,98h. Já a bacia de contribuição da represa Caunal, que encontra-se embutida na bacia do Rio Preto, possui uma área de 199,32 km<sup>2</sup> com uma densidade de drenagem de 1,96 km/km<sup>2</sup> constituindo uma bacia de 5<sup>a</sup> ordem fluvial com amplitude altimétrica de 237 metros e tempo de concentração de 9,36h.

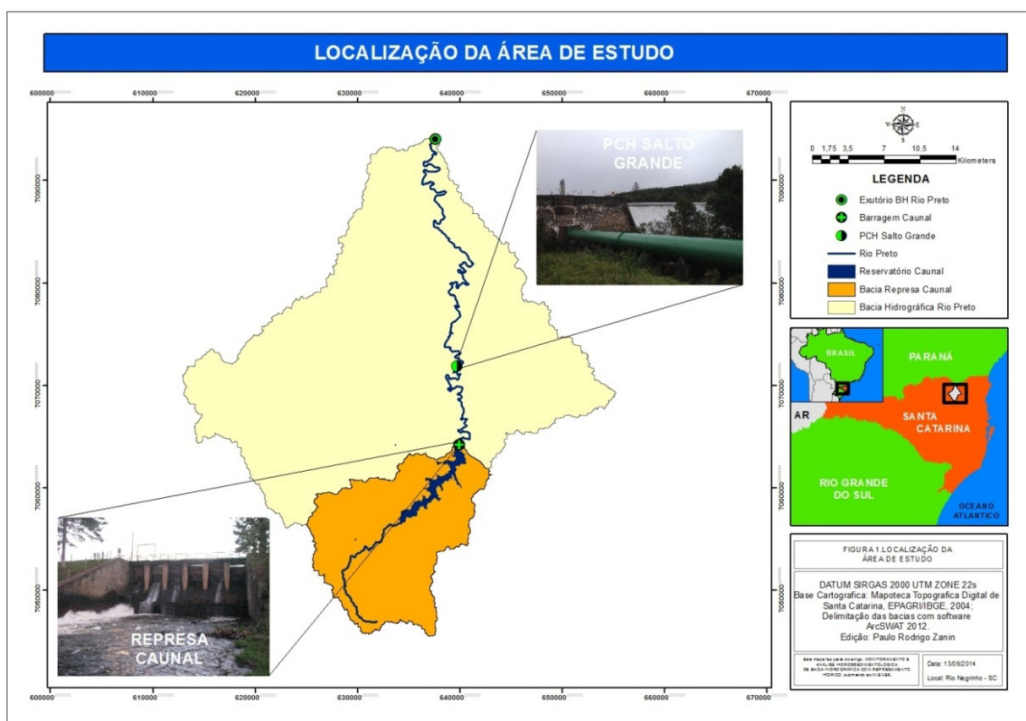


Figura 1 – Localização da Área de Estudo.

Tabela 1 - Índices morfométricos e hidrológicos da área de estudo.

ÍNDICES MORFOMÉTRICOS/HIDROLÓGICOS		BACIA	
		RIO PRETO	REPRESA CAUNAL
CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS	ÁREA (km <sup>2</sup> )	965,48	199,32
	PERÍMETRO (km)	236,88	97,48
	COMPRIMENTO AXIAL (km)	48,88	20,54
	FATOR DE FORMA	19,75	9,70
	COEFICIENTE DE COMPACIDADE	2,13	1,93
CARACTERÍSTICAS DO RELEVO	ÍNDICE DE CIRCULARIDADE	0,22	0,26
	ALTITUDE MÁXIMA (m)	1117,00	1117,00
	ALTITUDE MÍNIMA (m)	800,00	880,00
	AMPLITUDE ALTIMÉTRICA (m)	317,00	237,00
CARACTERÍSTICAS DA DRENAGEM	DECLIVIDADE MÉDIA (GRAUS)	6,03	6,44
	ORDEM FLUVIAL - STRAHLER (1957)	6	5
	COMPRIMENTO DO CURSO D'ÁGUA PRINCIPAL (m)	116424,43	37528,74
	DECLIVIDADE MÉDIA DO CURSO D'ÁGUA PRINCIPAL (m/m)	0,0013	0,0018
CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS	DENSIDADE DE DRENAGEM (km/km <sup>2</sup> )	1,81	1,96
	TEMPO DE CONCENTRAÇÃO (h) - DOOGE (1973)	18,98	9,36

A represa Caunal (1957 e reconstruída em 1985 devido ao rompimento da represa antiga em 1983) constitui-se de uma barragem de enrocamento com vertedouro de soleira livre de concreto, figura 02, com altura da soleira de escoamento em 4,90 m, havendo um coroamento acima do vertedouro com 7,5m de altura e 18,10 metros de comprimento, sendo o espaço entre o vertedouro e o coroamento fechado com madeira para aumentar o nível da represa acima da base do vertedouro. Também existem dois descarregadores de fundo de formato quadrangular, figura 02, um de 1m x 1m, o qual fica sempre fechado, e outro de 2m x 2m que é operado diariamente através de uma

comporta, para manter o armazenamento e fornecimento hídrico conforme a demanda da PCH de jusante. Para situações de emergência (máximas pluviométricas) o vertedor é aberto e existem dois canais extravasores, um na ombreira direita e outro na ombreira esquerda da barragem.

O reservatório gerado pela represa Caunal possui um volume de  $4,54 \times 10^7 \text{ m}^3$  ocupando uma área de 694,14 ha para seu nível máximo de operação (LINO, 2009).



Figura 02 - Barragem Caunal. A esquerda visão global, madeiras fechando o vertedouro da represa, e conseqüente perda de água pelas frestas. A direita, destaque para a saída dos descarregadores de fundo.

### Monitoramento da Precipitação

Para monitorar a precipitação da área de estudo foram utilizados dados do pluviógrafo de uma estação meteorológica Davis, localizada nas proximidades da PCH Salto Grande, 7 km a jusante da bacia de contribuição da represa Caunal.

### Estimativa da Vazão

Para calcular a vazão dos descarregadores de fundo da represa, com base no registro de cotas do reservatório, abertura da comporta da barragem e geometria do orifício de descarga, será utilizada a equação 1 (PORTO, 2003).

$$q = C_d a \sqrt{2gh_1} \quad \text{para } h_1 \geq 0,81 * h_3 * \left(\frac{h_3}{b}\right)^{0,72} \quad \text{Equação 1.}$$

Sendo:

$q$  = Vazão específica ( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ );  
 $C_d$  = Coeficiente de descarga;



$a$  = Altura de abertura do orifício (m);  
 $b$  = largura do orifício (m);  
 $h_1$  = Nível d'água a montante (m);  
 $h_3$  = Nível d'água a jusante (m).

O coeficiente de descarga para uma comporta vertical, considerando uma distribuição de pressão hidrostática, depende da abertura relativa ( $h_1/a$ ) e do grau de submersão do escoamento a jusante ( $h_3/a$ ). Para descarga livre o coeficiente pode ser calculado usando a equação 2 (SWAMEE, 1957 apud PORTO, 2003).

$$C_d = 0,611 \left( \frac{h_1 - a}{h_1 + 15a} \right)^{0,072} \quad \text{Equação 2.}$$

Para corrigir a supressão de contração da veia nos descarregadores de fundo da represa, será usada a equação 3 (PORTO, 2003).

$$C'_d = C_d(1 + 0,15 * k) \quad \text{Equação 3.}$$

Sendo,

$C'_d$  = Coeficiente de descarga corrigido;

$$k = \frac{2a + b}{2(a + b)}$$

Para calcular a descarga líquida do vertedouro de soleira livre será usada a equação 4, para o perfil Creager, e a equação 5, para o perfil retangular de parede espessa, considerando a largura efetiva, devido ao vertedouro possuir 5 pilares constituindo 6 vãos, sendo 4 com perfil Creager e 1 com perfil retangular de parede espessa (PORTO, 2003).

$$Q = 2,215 \left( \frac{h}{h_d} \right)^{0,148} * [L - 2(nk + k_a)h_d] * h_d^{3/2} \quad \text{Equação 4.}$$

Sendo,

$Q$  = Vazão (m<sup>3</sup>/s);

$L$  = Largura livre vertedouro (m);

$h$  = Carga hidráulica efetiva (m);

$h_d$  = Carga hidráulica sobre a crista do vertedor (m);

$n$  = Numero de pilares;

$k$  = Coeficiente de Contração dos Pilares = 0,04 (SINNIGER; HAGEN, 1989);

$k_a$  = Coeficiente de Contração das Ombeiras = 0,00 (SINNIGER; HAGEN, 1989).

$$Q = C_{d\text{vpe}} * 1,704 * [L - (nk + k_a)h_d] * h_d^{3/2} \quad \text{Equação 5}$$

Sendo,

$C_{dvppe}$  = Coeficiente de Descarga para vertedor de parede espessa (valor de 0,858 - adaptado de KING, 1954 apud PORTO, 2003).

Para os dois canais extravasores da represa Caunal, os quais em terra só auxiliam no extravasamento do excesso de vazão de eventos de máximas pluviométricas, considerou-se seu equacionamento de vazão pela fórmula de canais retangulares, com a velocidade calculada pela fórmula de Manning (PORTO, 2003).

$$Q = A * \left( \frac{1}{n} * R_h^{\frac{2}{3}} * I_o^{\frac{1}{2}} \right) \quad \text{Equação 5.}$$

Sendo,

A = Área (m<sup>2</sup>);

$R_h$  = Raio hidráulico (m);

$I_o$  = Declividade média do canal (m/m);

n = Coeficiente de Rugosidade de Manning (0,023).

Devido a um vazamento nas pranchas de madeira (+/- 20cm de altura cada), que selam o vertedouro da represa Caunal durante sua operação normal, após o evento de máxima ocorrido em 06/2014, devido a retirada e recolocação destas pranchas que ocasionou a quebra parcial de uma delas, este vazamento foi calculado com a equação 1 considerando a abertura de metade da altura da prancha com vazamento. Vale salientar que existem outros vazamentos em outras pranchas, sendo estimado somente o mais expressivo.

### **Monitoramento de sedimentos suspensos**

A quantificação de sedimentos que transpõem a barragem será realizado pelo método indireto da amostragem da mistura água-sedimentos com posterior cálculo da Concentração de Sedimentos em Suspensão-CSS (CARVALHO, 2008).

As amostragens foram realizadas a 2 metros a montante da barragem Caunal, na margem onde localizam-se os descarregadores de fundo. O método de amostragem utilizado foi adaptado do método utilizado em canais fluviais naturais, através de *Amostragem por Integração Pontual* (CARVALHO, 2008). Em relação aos locais das amostragens pontuais será adaptado o método de B.C. Colby, o qual voltado para canais fluviais recomenda dividir a coluna d'água na vertical em 5 frações iguais, realizando as medições nos centros destas frações, sendo que todas as amostras devem ser adquiridas com mesmo tempo de amostragem e devendo ser levada em conta a velocidade da corrente para cada fração da coluna d'água (CARVALHO, 2008). Como trata-se de uma represa com a descarga sólida ocorrendo predominantemente por um descarregador de fundo,

ao invés de um canal fluvial com maior velocidade ocorrendo ao centro do fluxo hídrico, a coluna d'água será dividida em três frações iguais (1/3, 2/3, 3/3) sendo a amostragem realizada ao meio das frações, mais uma amostragem na base do reservatório, coletando a mistura de água e sedimentos a 25 cm do fundo, devido ao fluxo hídrico ocorrer predominantemente na parte inferior da barragem. O intuito destas divisões da coluna d'água é analisar a extratificação da concentração de sedimentos suspensos, sendo que para o cálculo da descarga sólida, foram consideradas somente as medições pontuais nos locais onde estava ocorrendo vazão efluente.

Após coletar as amostras da mistura água-sedimento, estas foram analisadas em laboratório (Laboratório Integrado de Meio Ambiente – LIMA/ENS/UFSC), através da técnica de filtragem, de acordo com o método 2540D do Standard Methods 20<sup>th</sup> Edition (CLESCERI, *et al.* 1998) para obter a Concentração de Sedimentos em Suspensão – CSS.

Depois de obter a CSS, foi calculada a descarga sólida. Como a vazão ocorre por orifícios ou vertedores e a amostragem de CSS é realizada em pontos ao centro ou próximos destes orifícios/vertedor, optou-se por uma adaptação da fórmula apresentada por Carvalho (2008) para os métodos de igual incremento de largura ou igual incremento de descarga para rios. Ao invés de usar o valor médio da CSS multiplicado pelo valor total de vazão e por um fator de correção de unidades, foi utilizado a CSS pontual multiplicada pela respectiva vazão no ponto de amostragem e pelo fator de correção de unidades, e posteriormente foram somadas as decargas sólidas dos diferentes orifícios/vertedor.

$$Q_{sst} = \sum_i^n 0,0864 * Q_i * C_i \quad \text{Equação 6.}$$

Sendo,

$Q_{sst}$  = Descarga sólida em suspensão total (t/dia);  
 $Q_i$  = Vazão no ponto de amostragem de  $C_i$  (m<sup>3</sup>/s);  
 $C_i$  = Medida pontual de CSS no local da  $Q_i$  (mg/l).

### **Interpretação dos resultados**

A interpretação dos resultados será realizada através de análise exploratória dos dados, utilizando estatísticas descritivas, estatísticas multivariadas através de correlações não-paramétricas, gráficos de hastes, linhas e dispersão. Para a análise estatística serão analisados os sedimentos suspensos no fundo do reservatório, devido a este ponto de amostragem ser fixo em todas as campanhas, considerando somente as operações da barragem em que ocorre vazão neste local, mais a vazão total instantânea, vazão total com atraso diário (lags 1, 2, 3, 4), e chuva acumulada em 24h (lag 0 ao lag 1; lag 1 ao lag 2; lag 2 ao lag 3; lag 3 ao lag 4; lag 4 ao lag 5).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para amostrar a mistura água-sedimentos na represa foi construído um amostrador de sedimentos em suspensão, figura 03, denominado ZN-2014, sendo inspirado nos amostradores da série norte americana DH-48 e P-61. O amostrador ZN-2014, possui bico com diâmetro de  $\frac{1}{4}$  de polegada para amostragens por integração na vertical, e de 1 cm para amostragens pontuais, com um recipiente de 1 litro sob uma inclinação de  $20^\circ$ , para facilitar a saída de ar do recipiente de coleta, e um sistema simples de abertura do recipiente com uma rolha associada a uma corda, para amostragens pontuais nas diferentes camadas d'água. Como o equipamento não possui sistema de fechamento, ele deve ficar por no mínimo 5 minutos em cada ponto de amostragem para garantir o enchimento total do recipiente (aprox. 3 min.), evitando alteração da amostra nas camadas d'água superiores durante a retirada do equipamento. O amostrador também possui um leme na parte traseira para mater o bico na direção do fluxo hídrico, e um cabo de 9 metros desmontável.

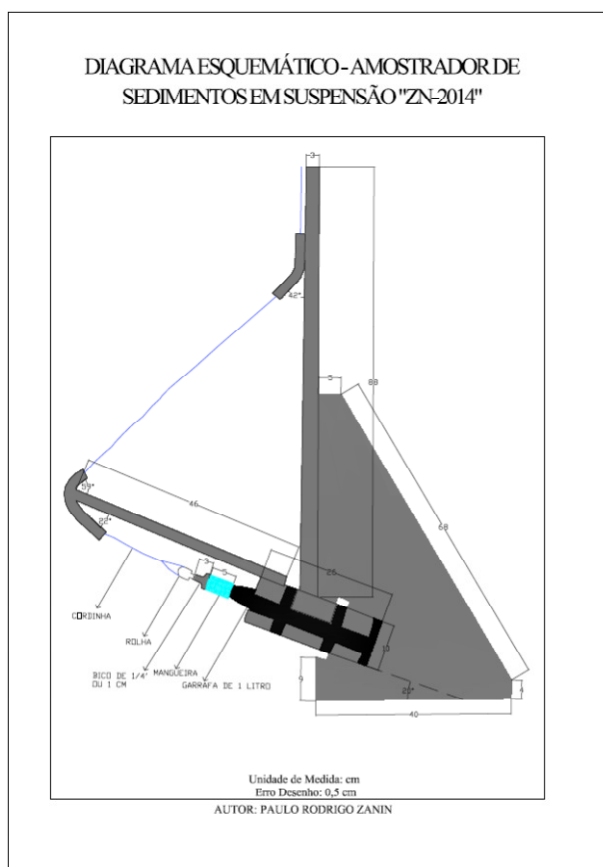


Figura 03 - Diagrama esquemático do amostrador ZN-2014.

Até o momento esta pesquisa totalizou 16 campanhas de amostragem. Os dados pontuais com suas respectivas vazões, dados de operação da represa, perfil de CSS na coluna d'água, e a descarga sólida total de cada campanha estão descritos na tabela 2. Ao longo das 16 campanhas

foram amostrados sedimentos suspensos em quatro formas de operação da descarga líquida da represa, sendo elas:

- a) Descarga pelo descarregador de fundo principal (vazão somente no fundo do reservatório);
- b) Descarga pelos dois descarregadores de fundo, vertedouro e canais extravasores (vazão no fundo e superfície do reservatório);
- c) Descarga pelo vazamento em uma das pranchas do vertedor (vazão próxima da parte superior do reservatório, 10 cm sobre a crista do vertedor);
- d) Descarga pelo descarregador de fundo e vazamento em uma das pranchas do vertedor (vazão ao fundo e próxima da parte superior do reservatório, 10 cm sobre a crista do vertedouro).

Conforme tabela 2 observa-se que as amostragens contemplaram níveis do reservatório entre 5,8 e 7,5 metros com abertura da comporta principal entre 0 e 200 cm (neste ultimo caso com o descarregador de fundo secundário também aberto). Em relação à distribuição da concentração de sedimentos suspensos ao longo da coluna d'água constata-se que nas operações a, c e d a maior CSS se situa ao fundo da represa, podendo ser devido à decantação dos sedimentos suspensos ao longo do reservatório. Já na operação b, no qual o vertedor é aberto, os sedimentos suspensos são mais expressivos nas camadas superiores da coluna d'água, em consequência da maior vazão nestas camadas durante este tipo de operação. Na tabela 3 é possível observar as estatísticas descritivas dos dados de CSS amostrados no fundo e dados calculados de vazão no dia da amostragem de CSS.

Tabela 2 - Síntese dos dados amostrais.

Data	REPRESA CAUNAL									
	Amostras	Prof. Amostragem (m)	Nível D'água (m)	Abertura C.G. (cm)**	CSS (mg/l)	Média P. (CSS)***	Perfil CSS****	Vazão (m³/s)	Tipo de Operação	Descarga Sólida Total (t/dia)
27/02/2014	No Fundo*	6,55	6,80	15	11,67	10,35	1,13	2,06	a	2,08
	3/3.h	5,67			10,33		1,00	0		
	2/3.h	3,40			9,09		0,88	0		
	1/3.h	1,13			6,67		0,64	0		
12/03/2014	No Fundo*	5,79	6,04	2	9,75	7,43	1,31	0,28	a	0,23
	3/3.h	5,03			6,5		0,88	0		
	2/3.h	3,02			5		0,67	0		
	1/3.h	1,01			6		0,81	0		
26/03/2014	No Fundo*	6,93	7,18	10	4,4	4,09	1,08	1,50	a	0,57
	3/3.h	5,98			4		0,98	0		
	2/3.h	3,59			4		0,98	0		
	1/3.h	1,20			3		0,73	0		
15/04/2014	No Fundo*	6,50	6,75	15	8	7,82	1,02	2,16	a	1,49
	3/3.h	5,63			7,4		0,95	0		
	2/3.h	3,38			8		1,02	0		
	1/3.h	1,13			8,4		1,07	0		
07/05/2014	No Fundo*	5,95	6,2	5	6,6	5,18	1,27	0,695	a	0,40
	3/3.h	5,17			4,2		0,81	0		
	2/3.h	3,10			4,8		0,93	0		
	1/3.h	1,03			3		0,58	0		
22/05/2014	No Fundo*	5,55	5,8	10	5	4,23	1,18	1,33	a	0,57
	3/3.h	4,83			3,4		0,80	0		
	2/3.h	2,90			4		0,95	0		
	1/3.h	0,97			4,6		1,09	0		
03/06/2014	No Fundo*	5,75	6	13	7,8	7,27	1,07	1,76	a	1,19
	3/3.h	5,00			7,8		1,07	0		
	2/3.h	3,00			4,8		0,66	0		
	1/3.h	1,00			9		1,24	0		
09/06/2014	No Fundo*	7,25	7,5	200*****	12,6	12,92	0,97	35,13	b	200,80
	3/3.h	6,25			11,6		0,90	0		
	2/3.h	3,75			15		1,16	0		
	1/3.h	1,25			15,2		1,18	123,78		

\* Dados de CSS usados na análise estatística.  
 \*\* Comporta descarregador de fundo principal.  
 \*\*\* Média ponderada pela carga hidráulica dos pontos de amostragem de CSS (mg/l).  
 \*\*\*\* Valor de CSS pontual dividido pela média ponderada das 4 medições. Valor ≥ 1 destacado em cinza.  
 \*\*\*\*\* Descarregador de fundo secundário também foi aberto (100cm).

Cont. tabela 2 - Síntese dos dados amostrais.

Data	REPRESA CAUNAL									
	Amostras	Prof. Amostragem (m)	Nível D'água (m)	Abertura C.G. (cm)**	CSS (mg/l)	Média P. (CSS)***	Perfil CSS****	Vazão (m³/s)	Tipo de Operação	Descarga Sólida Total (t/dia)
16/06/2014	No Fundo*	6,95	7,2	5	17	15,62	1,09	0,75	d	2,38
	3/3.h	6,00			15		0,96	0		
	2/3.h	3,60			14,2		0,91	0		
	1/3.h	1,20			15		0,96	0,99		
09/07/2014	No Fundo	7,09	7,34	0	10,4	7,68	1,35	0	c	0,56
	3/3.h	6,12			5,8		0,75	0		
	2/3.h	3,67			6		0,78	0		
	1/3.h	1,22			6,4		0,83	1,02		
14/07/2014	No Fundo	7,07	7,32	0	8,6	7,13	1,21	0	c	0,53
	3/3.h	6,10			6,2		0,87	0		
	2/3.h	3,66			6,2		0,87	0		
	1/3.h	1,22			6		0,84	1,02		
22/07/2014	No Fundo*	6,95	7,2	5	12,8	10,22	1,25	0,75	d	1,62
	3/3.h	6,00			8,4		0,82	0		
	2/3.h	3,60			8,6		0,84	0		
	1/3.h	1,20			9,2		0,90	0,99		
22/08/2014	No Fundo*	6,55	6,8	3	10	7,40	1,35	0,44	d	0,63
	3/3.h	5,67			6,8		0,92	0		
	2/3.h	3,40			4,8		0,65	0		
	1/3.h	1,13			3,2		0,43	0,9		
05/09/2014	No Fundo	6,60	6,85	0	22,4	14,46	1,55	0	c	0,80
	3/3.h	5,71			8,8		0,61	0		
	2/3.h	3,43			10		0,69	0		
	1/3.h	1,14			10,2		0,71	0,91		
12/09/2014	No Fundo*	6,53	6,78	3	10,2	7,53	1,35	0,44	d	0,91
	3/3.h	5,65			6		0,80	0		
	2/3.h	3,39			5,2		0,69	0		
	1/3.h	1,13			6,8		0,90	0,89		
03/10/2014	No Fundo	6,91	7,16	0	7,2	6,46	1,12	0	c	0,51
	3/3.h	5,97			5,6		0,87	0		
	2/3.h	3,58			6,6		1,02	0		
	1/3.h	1,19			6		0,93	0,98		

\* Dados de CSS usados na análise estatística.  
 \*\* Comporta descarregador de fundo principal.  
 \*\*\* Média ponderada pela carga hidráulica dos pontos de amostragem de CSS (mg/l).  
 \*\*\*\* Valor de CSS pontual dividido pela média ponderada das 4 medições. Valor ≥ 1 destacado em cinza.

Tabela 3 - Estatísticas Descritivas.

Estatísticas Descritivas	CSS Fundo	Vazão Total
Observações	12	12
Média	9,65	15,86
Erro Padrão Média	1,04	14,41
Mediana	9,88	1,62
Variância	12,89	2492,73
Desvio Padrão	3,59	49,93
1º Quartil	7,20	1,33
3º Quartil	12,14	1,91
Mínimo	4,40	0,28
Máximo	17,00	174,39
Amplitude	12,60	174,12
Assimetria	0,42	3,46
Achatamento	0,18	12,00

A medida de tendência central, representado pela média aritmética, mostra que o conjunto amostral de CSS de fundo da represa Caunal possui seu valor em 9,65 mg/l com um erro padrão de 1,04 mg/l, estando bastante próximo do valor mediano (9,88 mg/l). As medidas de dispersão, representadas pela variância e desvio padrão mostram pequena variabilidade dos dados, com a variância em 12,89 mg/l e desvio padrão em 3,59 mg/l com o primeiro quartil da amostra em 7,20 mg/l e o terceiro quartil em 12,14 mg/l. O valor mínimo amostrado foi de 4,40 mg/l e o valor máximo de 17 mg/l sendo este último dado coletado uma semana depois do evento de máxima fluviométrica ocorrido no dia 09/06, figuras 4 e 5, no qual houve uma precipitação acumulada no evento (últimas 96h) de 313,4 mm com alagamento da cidade de Rio Negrinho-SC e repercussão a nível de mídia nacional, sendo registrado um valor de 12,6 mg/l para o dia 09/06. As medidas de assimetria e achatamento mostram que o conjunto amostral é assimétrico a direita e leptocurtico,

mostrando uma tendência para uma distribuição de probabilidade log-normal do conjunto amostral. Os valores amostrados de CSS do fundo do reservatório se enquadram em um intervalo de vazão total de 0,28 m<sup>3</sup>/s a 174,39 m<sup>3</sup>/s estando a mediana em 1,62 m<sup>3</sup>/s.



Figura 04 - Evento de máxima histórica (09/06/2014), fotografias a jusante da represa.

Os dados pontuais medidos nas três camadas d'água e no fundo podem ser visualizados na figura 5, onde observa-se uma tendência para maior concentração de sedimentos suspensos ao fundo do reservatório, conforme mostrado na tabela 2, reduzindo nas demais camadas d'água, estando as 4 medições com valores bastante próximos na maioria das campanhas. Em relação a estratificação das camadas d'água merece destaque a campanha do dia 05/09/2014, onde a amostragem realizada ao fundo do reservatório apresentou um valor duas vezes maior em relação às medições nas camadas d'água superiores, sendo superior também em relação a todas as demais campanhas amostrais, indicando a ocorrência de uma corrente de turbidez de fundo, segundo Alvez (2008).

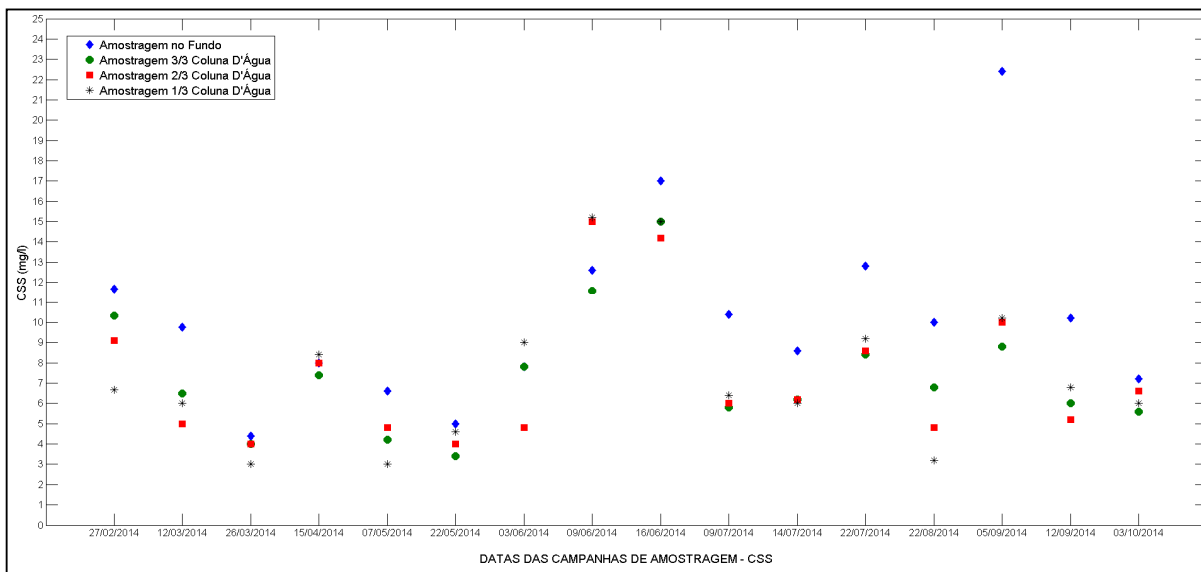


Figura 05 - Campanhas de amostragem de CSS, medidas pontuais.

Na figura 6 é possível observar as campanhas de amostragens sobre o hidrograma e hietograma da represa, onde verifica-se que com excessão do evento de máxima amostrado no dia 09/06 todas as demais amostragens se situam em eventos de baixa vazão, havendo a carência de amostragens de eventos intermediários. Vale salientar que a vazão é antropicamente determinada em função da demanda hídrica na PCH de jusante e do excesso de chuva, e consequentemente a operação da represa amortece os picos dos eventos intermediários e aumenta a vazão nos períodos de mínimas pluviométricas. Na tabela 4 as médias de CSS ponderadas pela carga hidráulica das 16 campanhas foram agrupadas de acordo com o momento do seu respectivo evento no hidrograma da represa Caunal (ascensão/recessão), evidenciando que 12 campanhas contemplaram o processo de ascensão da vazão e 4 eventos se situaram sobre períodos de recessão da mesma. Tendo como critério a mediana dos 16 dados verificou-se que as maiores concentrações se encontram nos dados de pico dos eventos do hidrograma, seguidos dos dados do começo da ascensão do mesmo. Já os dados de recessão, com excessão do evento de máxima amostrado, que constitui o início da recessão do mesmo, possuem valores abaixo da mediana, principalmente os dados do vale do hidrograma.

A figura 7 espacializa a relação dos dados amostrados de CSS com os dados calculados de vazão no dia da amostragem, onde observa-se que com excessão das campanhas realizadas durante a vazão mínima e máxima, as demais amostragens apresentam relação linear com a vazão. O comportamento atípico entre a CSS e os dois dados extremos de vazão (mínima e máximo) se deve a operação da barragem, no primeiro caso devido ao enchimento do reservatório no mês de março/2014, tabela 2 e figura 6, mantendo uma vazão mínima para não prejudicar o fornecimento hídrico da PCH de jusante, e no caso da vazão máxima, com todos os orifícios, vertedor e canais extravasores abertos, para eliminar o excesso de chuva sobre a bacia de contribuição do reservatório. Devido aos dois dados extremos de vazão a CSS não obteve boa correlação com a vazão instantânea, tabela 5, obtendo um valor de 0,36 para um nível de confiança de 75% na correlação de Spearman. Vale salientar que chuva acumulada em 24h antes da amostragem também não obteve correlação aceitavel com a CSS.



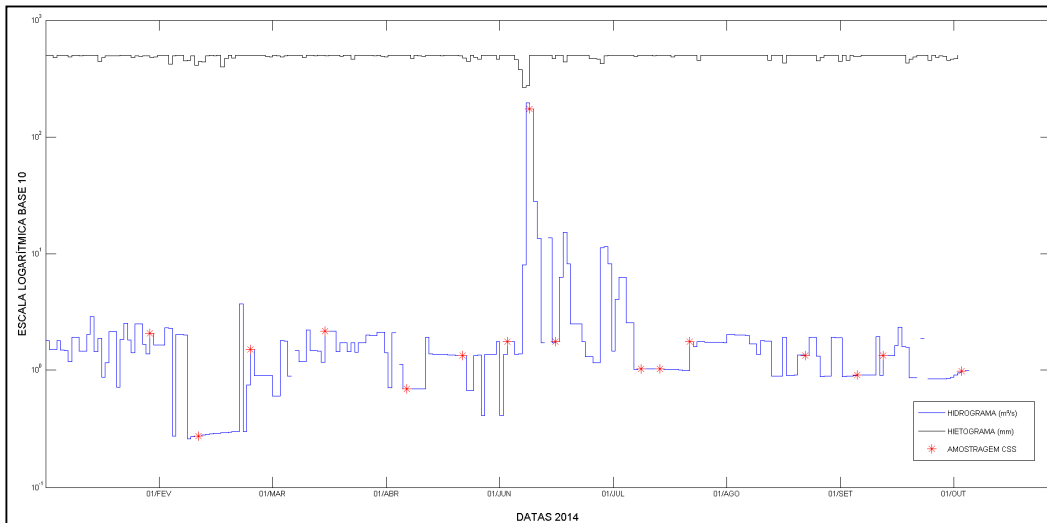


Figura 06 - Campanhas de amostragem no hidrograma e hietograma da represa Caunal - Escala de tempo diário.

Tabela 4 - Amostragens nos eventos do hidrograma da represa Caunal.

AMOSTRAGENS NOS EVENTOS DO HIDROGRAMA			
Ascensão - Começo	Ascensão - Pico	Recessão - Começo	Recessão - Vale
7,43	<b>10,35</b>	<b>12,92</b>	5,18
<b>15,62</b>	4,09	7,13	4,23
7,4	<b>7,82</b>		
<b>14,46</b>	7,27		
<b>7,53</b>	<b>7,68</b>		
6,46	<b>10,22</b>		

Destacado= CSS (média ponderada coluna d'água) > Mediana (7,48)

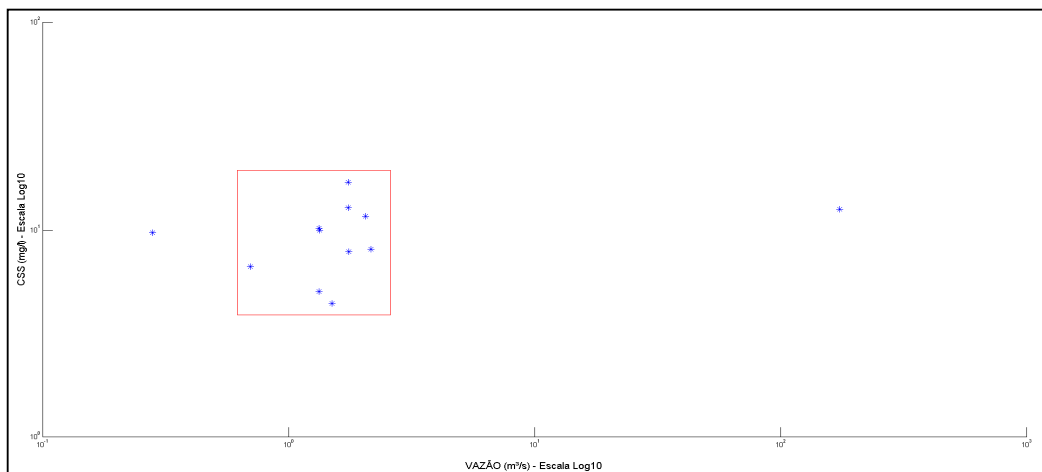


Figura 07 - Vazão (m³/s) vs. CSS (mg/l) - Escala Logarítmica base 10.

Para verificar a existência de um possível retardo nas respostas da represa aos eventos hidrossedimentológicos decorrentes em sua bacia de contribuição, foram realizados atrasos (Lags) na vazão e chuva acumulada em 24h, e posteriormente foram calculadas as correlações não-paramétricas. De acordo com a tabela 5 a vazão com atraso de 1 e 2 dias apresentou correlação com

a CSS de 0,36 e 0,48 sob um nível de confiança  $\geq 90\%$  na correlação de Kendall Tau, respectivamente, e correlação de 0,51 e 0,62 sob um nível de confiança  $\geq 91\%$  na correlação de Spearman, respectivamente. Apesar de a vazão no dia da amostragem não possuir correlação significativa com a CSS, a tabela 5 mostra que a vazão, apesar de não ser aleatória, possui memória temporal de 2 dias em função da operação da barragem, pois a vazão de lag 2 possui boa correlação com a vazão de lag 1 (0,52-Kendall Tau / 0,68-Spearman), que por sua vez possui correlação forte com a vazão do dia da amostragem de CSS (0,63-Kendall Tau / 0,75-Spearman), todas com nível de confiança  $\geq 98\%$ . Outra variável que obteve boa correlação com a CSS foi a chuva acumulada entre os lag 1 e lag 2, obtendo o valor de 0,43 e 0,57 nas correlações de Kendall Tau e Spearman, respectivamente, sob nível de confiança  $\geq 94\%$ .

Tabela 5 - Correlações Não-Paramétricas (Destacado  $\alpha \leq 0,10$ ).

CORRELAÇÕES NÃO-PARAMÉTRICAS	Kendall Tau						Spearman					
	CSS	$\alpha$	Vazão	$\alpha$	Vazão Lag 1	$\alpha$	CSS	$\alpha$	Vazão	$\alpha$	Vazão Lag 1	$\alpha$
VARIÁVEIS												
CSS	1.00	0.00	0.23	0.30	<b>0.36</b>	<b>0.10</b>	1.00	0.00	0.36	0.25	<b>0.51</b>	<b>0.09</b>
Vazão	0.23	0.30	1.00	0.00	<b>0.63</b>	<b>0.00</b>	0.36	0.25	1.00	0.00	<b>0.75</b>	<b>0.01</b>
Vazão Lag 1	<b>0.36</b>	<b>0.10</b>	<b>0.63</b>	<b>0.00</b>	1.00	0.00	<b>0.51</b>	<b>0.09</b>	<b>0.75</b>	<b>0.01</b>	1.00	0.00
Vazão Lag 2	<b>0.48</b>	<b>0.03</b>	0.32	0.15	<b>0.52</b>	<b>0.02</b>	<b>0.62</b>	<b>0.03</b>	0.43	0.16	<b>0.68</b>	<b>0.02</b>
Vazão Lag 3	-0.22	0.37	<b>0.45</b>	<b>0.07</b>	0.31	0.21	-0.33	0.35	<b>0.65</b>	<b>0.04</b>	0.36	0.31
Vazão Lag 4	0.17	0.45	0.06	0.78	0.14	0.53	0.18	0.57	0.08	0.79	0.10	0.75
Chuva acumulada 24h Lag 0 ao Lag 1	0.30	0.18	0.12	0.60	0.26	0.23	0.34	0.28	0.14	0.66	0.32	0.31
Chuva acumulada 24h Lag 1 ao Lag 2	<b>0.43</b>	<b>0.05</b>	0.13	0.57	0.20	0.35	<b>0.57</b>	<b>0.06</b>	0.21	0.52	0.25	0.42
Chuva acumulada 24h Lag 2 ao Lag 3	0.13	0.57	0.27	0.22	0.16	0.47	0.18	0.58	0.35	0.26	0.18	0.58
Chuva acumulada 24h Lag 3 ao Lag 4	0.07	0.77	0.03	0.88	0.00	1.00	0.09	0.77	0.00	0.99	-0.01	0.97
Chuva acumulada 24h Lag 4 ao Lag 5	0.05	0.82	0.26	0.23	0.11	0.61	0.09	0.78	0.42	0.17	0.19	0.55

## CONCLUSÕES

O amostrador ZN-2014 é eficiente na amostragem pontual da mistura água-sedimentos no exutório de pequenas barragens. Em relação ao conjunto amostral, foram identificados diferentes perfis da CSS ao longo da coluna d'água em função da operação da barragem, e a ocorrência de correntes de turbidez de fundo no reservatório da represa Caunal. Já na análise estatística multivariada, constata-se que a chuva acumulada em 24h entre os lags 1 e 2 é a principal entrada de energia para o processo de erosão decorrente na bacia de contribuição da represa experimental (Spearman= 0,57 sob  $\alpha= 0,06$ ). Em consequência do tempo de concentração desta bacia (9,36h), esta chuva resultará em um incremento na vazão de lag 1, e consequentemente incremento de sedimentos suspensos também, pois a correlação de Spearman entre CSS e vazão de lag 1 foi de 0,51 sob confiança de 91% e a correlação de Kendall Tau foi de 0,36 sob confiança de 90%. Como a vazão, que constitui a energia e o ambiente do transporte de sedimentos suspensos, mantém memória nos dados por até 2 dias de acordo com as correlações analisadas, principalmente na vazão de lag 1 com a vazão do dia da amostragem de CSS (Spearman= 0,75 sob  $\alpha= 0,01$ ), associado com o tamanho e forma do reservatório (volume de  $4,54 \times 10^7 \text{ m}^3$  e comprimento axial de 9,3 km), suas características hidrodinâmicas (remanso hidráulico e consequentemente reduzida velocidade de

escoamento), e operação antrópica da barragem (armazenamento hídrico e demanda da PCH de jusante), conclui-se que existe um retardo de 2 dias entre o início do processo hidrossedimentológico na bacia de contribuição da represa Caunal, e a descarga de sedimentos suspensos no(s) exutório(s) desta barragem.

## AGRADECIMENTOS

O primeiro autor gostaria de agradecer a Companhia Volta Grande de Papel - CVG, pelo apoio na realização dos trabalhos de campo, ao CNPq e ao PPGEA/UFSC pela bolsa de mestrado, e à FINEP pelo financiamento da pesquisa.

## BIBLIOGRAFIA

ALVES, E.C.T.L. (2008) *Sedimentação em albufeiras por correntes de turbidez*. Tese de Doutorado, Laboratório Nacional de Engenharia Civil – Universidade de Lisboa.

BIGARELLA, J.J. BECKER, R.D. SANTOS, G.F. (2009). *Estrutura e origens das paisagens tropicais e subtropicais*. Florianópolis: Ed. UFSC.

BORBAS, M.P., SEMMELMANN, F.R. (2000). *Elementos de Engenharia de Sedimentos*. In: TUCCI, C.E.M. Hidrologia Ciência e Aplicação. 2ª Ed. Porto Alegre: Ed. UFRGS.

BRAND, S.A. (2000) *Classification of geomorphological effects downstream of dams*. CATENA. p.p. 375-401.

CARVALHO, N.O. (2008) *Hidrossedimentologia Prática*. Rio de Janeiro: Interciência.

CLESCERI, L.S., GREENBERG, A.E., EATON, A.D. (1998) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition*. APHA American Public Health Association.

COIADO, E.M. (2003) *Assoreamento de Reservatórios*. In: PAIVA, J.B.D. PAIVA, E.M.C.D. (Org.) Hidrologia aplicada a gestão de pequenas bacias hidrográficas. Porto Alegre: ABRH.

DOOGE, J.C.I. (1973) *The linear theory of hydrologic systems*. USDA, Tech. Bull. n. 1468, U.S. Gov. Print. Off, Washington, D.C, 327p.

FERREIRA, D.C. (2010) *Estudo do Assoreamento em Albufeiras*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Aveiro: Departamento de Eng. Civil.

INFANTI JR. N., FORNASARI FILHO, N. (1998) *Processos de Dinâmica Superficial*. In: OLIVEIRA, A.M.S. BRITO, S.N.A. (Editores) Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia.

JORGE, F.N., UEHARA, K. (1998) *Águas de Superfície*. In: OLIVEIRA, A.M.S. BRITO, S.N.A. (Editores) Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia.

HUDSON-HEDWARDS, K. (2007) *Fluvial Environments*. In: PERRY, C. TAYLOR, K. (Edited) *Environmental Sedimentology*. Ed. Blackwel Publishing, USA.

LINO, J.F.L. (2009) *Análise da dinâmica hidrossedimentológica da bacia hidrográfica do Rio Preto (SC) com o modelo SWAT*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

MARQUES FILHO, P.L., GERALDO, A. (1998) *Barragens e Reservatórios*. In: OLIVEIRA, A.M.S. BRITO, S.N.A. (Editores) *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia.

MORRIS, G. L. FAN, J. *Reservoir Sedimentation Handbook: Design and management of dams, reservoirs, and watersheds for sustainable use*. McGraw-Hill: 1997.

MURCK, B.W., SKINNER, B.J., PORTER, S.C. (1996). *Environmental Geology*. Nova York.

PICHLER, F. (1953). *Boçorocas*. Boletim Sociedade Brasileira Geologia.

PORTO, R.M. (2003) *Hidráulica Básica*. 2ª Edição. São Carlos: EESC-USP.

RONDON, M.M., GENZ, F., SILVA S. F., KIPERSTOK, A. (2013) *Alterações hidrológicas no alto rio Paraguaçu devido a barragem de Apertado*. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Bento Gonçalves-RS.

SANTOS CORREIA, M.A.A.C. (2012) *Escoamento de Correntes de Turbidez sob Múltiplos Obstáculos*. Dissertação de Mestrado. Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia.

SINNIGER, R.O. HAGER, W.H. (1989). *Constructions Hydrauliques - Ecoulement Stationnaires*. Presses Polytechniques Romandes, Lausanne.

SIMÕES, S.J.C., COIADO, E.M. (2003). *Processos Erosivos*. In: PAIVA, J.B.D. PAIVA, E.M.C.D. (Org.) *Hidrologia aplicada a gestão de pequenas bacias hidrográficas*. Porto Alegre: ABRH.

SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. (2008) *Glossary of soil science terms*. Madison.

STRAHLER A.N. 1957. *Quantitative analysis of watershed geomorphology*. Trans Am Geophys Union.

VANONI, V.A. (1977) *Sedimentation Engineering*. ASCE: New York.

VANONI, V.A. (1975) *Sedimentation Engineering*. ASCE: New York.

YANG, C. T., SIMÕES, F. J. M. (2006) *Erosion and Sedimentation Manual - Chapter 5: Sedimentation Modeling for Rivers and Reservoirs*: U. S. Department of the Interior - Bureau of Reclamation, pp. 34-59.

YANG, S., ZHAO, Q., BELKIN, I. M. (2002) *Temporal variation in the sediment load of the Yangtze river and the influences of human activities*. Journal of Hidrology 263, pp. 56-71.