

Efeitos do uso de frequência de ultrassom na dispersão de sedimentos agregados

Sedimentologia é a ciência responsável pelos estudos referente aos sedimentos fluviais e os problemas causados por estes. Estudos sedimentológicos são de grande importância ambiental e econômica para a sociedade. Na matriz energética brasileira são predominantes as fontes hidráulicas. Conseqüentemente, torna-se essencial fazer a estimativa precisa do fluxo de sedimentos, prevenindo assim problemas como o assoreamento dos reservatórios. Sedimentos agregados proporcionam superestimções em cálculos de vida útil de Usinas Hidrelétricas. Desta forma, este estudo teve como objetivo demonstrar a influência da técnica de desagregação de sedimentos por ultrassom, utilizando análises granulométricas e de turbidez para comprovar a importância da aplicação deste método. O trabalho foi realizado em rios afluentes ao reservatório da usina hidrelétrica Itaipu, junto ao departamento de sedimentologia da empresa. A metodologia utilizada dividiu-se em duas etapas: ensaios laboratoriais e correlação dos dados gerados. Para a etapa de ensaios laboratoriais utilizou-se o equipamento de ultrassom como forma de dispersar as partículas agregadas. Foi possível identificar a ação do ultrassom com a perda da concentração volumétrica de sedimentos em suspensão ($\mu\text{L.L}^{-1}$) das amostras. Ao adotar esta técnica como pré-tratamento nas amostras antes das análises granulométricas é possível quantificar corretamente o tipo de sedimento afluente ao lago de Itaipu, o que proporciona maior eficiência nos cálculos de vida útil do reservatório.

Palavras-chave: Sedimentologia; Partículas agregadas; Ultrassom.

Effects of the use of ultrasound frequency on the dispersion of aggregate sediments

Sedimentology is the science responsible for studies concerning fluvial sediments and the problems caused by them. Sedimentological studies are of great environmental and economic importance for the society. In the Brazilian energetic matrix are predominant the hydraulic sources. Consequently, it is essential to estimate accurately the sediment flow, thus preventing problems such as sedimentation of the reservoirs. Aggregate sediments provide overestimates in life calculations of hydroelectric plants. In this way, this study aimed to demonstrate the influence of the ultrasonic sediment disintegration technique, using granulometric and turbidity analyzes to prove the importance of the application of this method. The work was carried out in rivers affluent to the reservoir of the hydroelectric plant Itaipu, next to the sedimentology department of the company. The methodology used was divided into two stages: laboratory tests and correlation of the generated data. For the laboratory test stage the ultrasound equipment was used as a way of dispersing the aggregate particles. It was possible to identify the ultrasound action with the loss of the volumetric concentration of suspended sediments ($\mu\text{L.L}^{-1}$) of the samples. By adopting this technique as pre-treatment in the samples before the particle size analysis, it is possible to quantify correctly the type of sediment affluent to the lake of Itaipu, which provides greater efficiency in the life calculations of the reservoir.

Keywords: Sedimentology; Aggregated particles; Ultrasound.

Topic: **Engenharia de Recursos Hídricos**

Received: **26/02/2017**

Approved: **27/04/2017**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Wallington Felipe de Almeida

Faculdade União das Américas, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7338518496672339>
wall_felipe@hotmail.com

Caroliny Matinc

Universidade do Vale do Taquari, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1140817732648349>
caroliny.matinc@gmail.com

Anderson Braga Mendes

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1463695993851733>
abragam@itaipu.gov.br

Odorico Konrad

Montanuniversität Leoben, Austria
<http://lattes.cnpq.br/9946679953072196>
okonrad@univates.br



DOI: 10.6008/SPC2179-6858.2017.003.0010

Referencing this:

ALMEIDA, W. F.; MATINC, C.; MENDES, A. B.; KONRAD, O.. Efeitos do uso de frequência de ultrassom na dispersão de sedimentos agregados. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v.8, n.3, p.97-111, 2017. DOI: <http://doi.org/10.6008/SPC2179-6858.2017.003.0010>

INTRODUÇÃO

Estudos sedimentológicos são de grande importância no que diz respeito a bacias hidrográficas. A quantificação da descarga sólida de uma bacia possibilita a estimativa de futuros problemas decorrente dos sedimentos, como assoreamento de reservatórios de usinas hidrelétricas e o transporte de nutrientes. Merten et al. (2014) destacaram que, como são predominantes as fontes hidráulicas na matriz energética brasileira, ou seja, as usinas hidrelétricas, fazer a estimativa precisa do fluxo de sedimentos é essencial para prever a vida útil dos reservatórios.

Partículas mais finas possuem maior facilidade de agregação (VEIGA et al., 1993; IGWE et al., 1995; ARVANITI et al., 2014). Hillel (1998) já destacava os problemas causados pela agregação das partículas finas naquele tempo. Uma vez que a mineralogia dos sedimentos é classificada pelo tamanho da partícula, é necessário adotar formas de desagregação desses sedimentos (BORTOLUZZI et al., 2013). Bortoluzzi et al. (2013) salientaram ainda que o uso de ultrassom é uma opção para gerar esta desagregação. Com o intuito de estudar a influência do ultrassom na dispersão das partículas sedimentáveis, a metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho foi dividida em duas etapas: ensaios laboratoriais e correlação dos dados gerados.

Na etapa de ensaios laboratoriais, desenvolveram-se os procedimentos necessários para gerar os dados, que teve como início a identificação das amostras, seguido da leitura de turbidez sem ultrassom. Depois foram feitas leituras granulométricas das amostras, antes e após a aplicação das frequências ultrassônicas e, por fim, foi feita outra leitura de turbidez para comparação. Desta forma, este trabalho tem como objetivo demonstrar a influência da técnica de desagregação de sedimentos por ultrassom, utilizando análises granulométricas e de turbidez para comprovar a importância da aplicação deste método.

REVISÃO TEÓRICA

Sedimentos

Carvalho (1994) define sedimento como qualquer fragmento proveniente da desintegração de rochas ou de material biológico, por processos físicos ou químicos, o qual pode ser conduzido por fluido ou pelo vento do seu lugar de origem aos locais de deposição. A granulometria dos sedimentos é a quantificação referente ao tamanho das partículas contidas em uma amostra (BORTOLUZZI et al., 2013), onde normalmente, são classificados em quatro frações: cascalho (> 2mm), areia (63µm – 2mm), silte (2 - 63µm) e argila (<2µm) (MUDROCH et al., 1995). As partículas de silte e argila, por serem mais finas (<0,062 mm), se deslocam principalmente em suspensão. Partículas como areia e cascalho, com diâmetros maiores (>0,062 mm), se deslocam normalmente por arrasto sobre o leito (MERTEN et al., 2014).

Sedimentologia e sua importância

Os estudos que se referem aos sedimentos, destacando sua relação com a água e respeitando os processos hidroclimatológicos, são denominados Sedimentologia (CARVALHO, 2008). Schneider et al. (2014)

destacou a importância do conhecimento com relação ao transporte de sedimentos em bacias hidrográficas, pois auxilia o gestor na tomada de decisão quanto à necessidade de buscar novas formas de manejo do solo.

Mendes et al. (2014) demonstraram em seu trabalho a capacidade que os sedimentos tem em transportar nutrientes, os quais em excesso podem prejudicar o meio ambiente. Chella et al. (2003) destacaram que a deposição de sedimentos em reservatórios causa o assoreamento gradual, reduzindo assim a vida útil dos mesmos.

Turbidez, vazão e Concentrações de Sedimentos em Suspensão

A concentração de partículas suspensas em um rio é determinada por diversas variáveis decorrentes na bacia, como a geomorfologia, pedologia, geologia, uso do solo, cobertura vegetal natural e fatores climáticos, dentre outros (MEDEIROS, 2015). A turbidez apresenta uma estreita relação com o material em suspensão, sendo que esta pode substituir a concentração de sedimentos em suspensão (CHANSON et al., 2008). No estudo desenvolvido por Barreto et al. (2014) foi possível comprovar também que as variações de turbidez naturalmente ocorrem relativas as variações de vazão de um rio.

Cálculos de descarga sólida

Segundo Merten et al. (2014) a descarga sólida de sedimentos em suspensão é normalmente calculada pela equação: $q_{ss} = CSS \times Q \times 0,0864$, sendo q_{ss} é a descarga sólida em suspensão ($t.dia^{-1}$); CSS é a concentração de sedimentos em suspensão ($g.m^{-3} = mg.L^{-1}$); Q a vazão ($m^3.s^{-1}$); e 0,0864 o fator de transformação de $g.s^{-1}$ em $t.dia^{-1}$. Assim, nota-se que para medir a descarga sólida de sedimentos em suspensão é necessário duas variáveis: CSS e Q (MERTEN et al., 2014).

Difração a laser

De acordo com Bortoluzzi et al. (2013) análises granulométricas utilizando laser são baseadas no princípio da difração dessa luz pelas partículas presentes no fluido, calculando assim a distribuição de tamanho dos sólidos suspensos. Os mesmos autores ainda complementam que a sofre transformações quando interage com as partículas, onde ela pode ser absorvida ou difusa no meio. Métodos de difração a laser estão se tornando cada vez mais populares para determinação do tamanho de partículas. Isto pela facilidade, rapidez e eficiência proporcionada por essa técnica (ARVANITI et al., 2014).

Sedimentos Agregados

Freitas et al. (2016) demonstraram através de seu estudo que a formação de flocos em uma amostra diminui os valores de turbidez. Os mesmos autores explicaram ainda que isto ocorre pela decantação mais rápida devido ao aumento na massa, ocasionada pela agregação destes sedimentos. O difrator a laser identifica partículas agregadas como sendo apenas uma, não considerando os espaços existentes

entre elas e assim classificando-as como um grão com diâmetro superior ao verdadeiro (LANDERS, 2011). Desta forma, a agregação das partículas diminui a precisão deste equipamento, sendo necessária a utilização de dispersantes (PAPINI, 2005).

Ultrassom

É possível entender a utilização do ultrassom como sendo níveis de energia de vibrações que vão agir nas partículas a fim de mantê-las separadas (BORTOLUZZI et al., 2013). A quebra dos agregados pela técnica de ultrassom acontece pelo fenômeno de cavitação (CHEN et al., 2011), processo em que as ondas ultrassônicas aplicadas causam a formação de micro bolhas de ar na água, as quais crescem e implodem (PILLI et al., 2011), forçando as partículas a se dispersarem (SÁ et al., 2005). Este fenômeno ocorre principalmente na superfície e nas linhas de fraqueza dos agregados (TIPPKÖTTER, 1994).

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho é resultado de pesquisas sedimentológicas realizadas em rios afluentes ao lago de Itaipu, e que contou com o apoio da equipe de sedimentologia da divisão de reservatório da Itaipu Binacional.

O estudo foi realizado no estado do Paraná, nas Bacias Paraná 3 e Piquiri, em três afluentes tributários do rio Paraná (Figura 1), os quais têm influência no reservatório da Usina Hidrelétrica de Itaipu, situada na cidade de Foz do Iguaçu. Optou-se por estudar a ação do ultrassom em amostras dos três afluentes, por apresentarem diferentes características em relação à vazão e transporte de sedimentos.

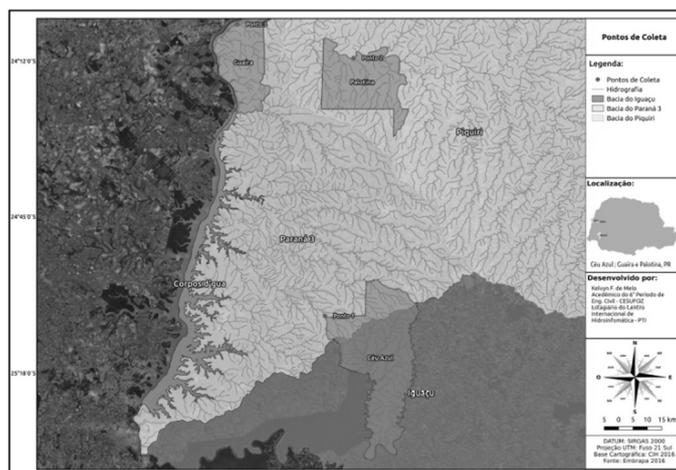


Figura 1: Localização dos pontos de coleta.

O primeiro ponto de coleta, ponto 1, localiza-se no córrego Xaxim, no estado do Paraná, na bacia do Paraná 3, nas coordenadas (25° 05' 51,4" S; 53° 57' 14,0" W). Possui uma área de drenagem de 35,81km². O segundo ponto de coleta, ponto 2, localiza-se no Rio Piquiri, no estado do Paraná, na bacia do Piquiri, nas coordenadas (24° 11' 21,25" S; 53° 51' 16,04" W). Possui área de drenagem de 21.596,11km². O terceiro ponto de coleta, ponto 3, também localizado na bacia do Paraná 3, encontra-se próximo à margem

paranaense do rio Paraná, em Guaíra, o qual separa os estados do Paraná e Mato Grosso do Sul, nas coordenadas (24° 03' 48,29" S; 54° 15' 30,77" W).

Pelo fato de este rio possuir grande extensão, com área de drenagem equivalente a 816.447,69km², e a distância entre as margens ser em torno de 4 km, a concentração e a granulometria dos sólidos suspensos variam de uma margem para outra. Assim, os resultados deste trabalho só serão válidos para a margem paranaense do rio Paraná.

Coleta, identificação, armazenamento e transporte das amostras

As amostras foram coletadas semanalmente. Os materiais de coletas utilizados foram compatíveis com as características de cada ponto, como diferentes vazões, profundidades e distância entre as margens, sendo utilizado: corda com suporte de ferro para os frascos de coleta pontual de superfície e barco. As coletas no ponto 1, rio Xaxim, foram feitas mergulhando-se os frascos de 1L no rio a 50cm de profundidade, até seu enchimento. Este é o ponto-padrão para coleta pontual de sedimentos em suspensão, de acordo com Carvalho (2008).

No ponto 2, rio Piquiri, as coletas foram feitas em cima da ponte que cruza o rio, em Palotina-PR. Neste caso, utilizou-se uma corda 20m. Em uma das pontas foi fixada um suporte de ferro, que possibilitou a imersão dos frascos no rio. A corda foi lançada com um frasco de 1L preso ao suporte. Após o preenchimento total do volume do frasco, a uma profundidade de aproximadamente 50cm, puxou-se a corda, retirando a amostra coletada. No Rio Paraná, ponto 3, foi utilizado um barco para as coletas, na distância de aproximadamente 1km da margem paranaense do rio. Mergulhou-se o frasco sem necessitar da corda e do suporte de ferro.

Na tampa dos frascos foi registrado o número equivalente ao ponto de amostragem, a data e hora de cada coleta. Os recipientes foram armazenados em caixas de madeira para evitar incidência de luz e conseqüentemente a proliferação de algas, as quais interferem nos resultados, conforme apresentado por Mendes et al. (2014). Não houve necessidades adicionais para o armazenamento e nem para o transporte das amostras, como a refrigeração por exemplo, pelo fato de que as amostras não serem afetadas por essas condições. As amostras foram coletadas durante o ano de 2015, entre os meses de janeiro e dezembro, e encaminhadas ao laboratório de sedimentologia da Itaipu Binacional a cada dois meses. Os ensaios laboratoriais realizados foram granulometria e turbidez, antes e após a ação do ultrassom.

Turbidez

Os procedimentos para as leituras de turbidez, conferida pelos sólidos em suspensão, foram desenvolvidos de acordo com a metodologia descrita no Standard Methods for Analysis of Water and Wastewater (2012), visto que foram feitas duas análises deste parâmetro para comparação: uma antes e outra após a aplicação da energia ultrassônica. Utilizou-se um turbidímetro de mesa para as medições.

Granulometria e aplicação do ultrassom

Para esta etapa, utilizou-se um aparelho de difração a laser portátil, que fornece informações sobre a granulometria da amostra em 44 classes de tamanhos (0,00034mm a 0,5mm) para obter a distribuição de tamanho e a Concentração Volumétrica de Sedimentos em Suspensão (CVSS). O aparelho de difração a laser utilizado conta com o equipamento que aplica o ultrassom acoplado, o qual é do modelo bastão. Uma alternativa de padronizar a representação dessa desagregação é apresentada por Sá et al. (1999), onde sugeriu-se que os resultados fossem apresentados em Índice de Dispersão, uma vez que para isso é necessário ter como dados de entrada a Energia Aplicada e o Índice de Dispersão dos sedimentos. Este método permite saber qual a energia mais eficiente para dispersão de agregados.

O equipamento utilizado neste estudo não dispõe de regulagem para os níveis de energia aplicados, dado que sua calibração já é de fábrica, onde a energia ultrassônica é de 25 W na frequência de 40 kHz. Por essa razão não foram desenvolvidos gráficos para demonstrar o Índice de dispersão. Schildberg (1993) comprovou que o ultrassom na potência de 210W e na frequência de 20kHz durante 10min é eficaz na desagregação de argilas. No entanto, as análises realizadas por este autor eram relacionadas à amostras de solo misturadas na água, as quais apresentaram quantidades extremas de agregação e maior resistência dos agregados. Pelo fato de as amostras deste trabalho serem referentes a sedimentos fluviais, apresentam baixa resistência entre os agregados. Assim, o tempo determinado neste trabalho para a ação da energia ultrassônica nas amostras foi de 20s.

Seguindo com os procedimentos, foram retirados aproximadamente 95 ml das amostras para análise de granulometria, onde foram feitas duas leituras com a mesma amostra: uma sem a aplicação do ultrassom e outra com sua aplicação. Para a aplicação da energia ultrassônica, a haste do ultrassom foi introduzida no reservatório contendo a amostra, ligando-se ao iniciar o processo. Para cada leitura realizada, o nome do arquivo gerado no equipamento de difração a laser foi alterado, seguindo uma sequência numérica, e sempre especificando se foi ou não aplicado o ultrassom na amostra, facilitando a organização dos dados no momento da transferência para um computador.

Manuseio dos dados

Após o término de todos os procedimentos laboratoriais, obteve-se a planilha preenchida com os campos referentes à turbidez e à identificação das amostras. Primeiramente foram transferidos estes dados para uma planilha eletrônica. Em sequência, os dados referentes à granulometria foram transferidos do equipamento ao computador. Os dados de saída do equipamento de difração a laser são apresentados em microlitros por litro ($\mu\text{L.L}^{-1}$), não havendo necessidades de conversão para miligramas por litro (mg.L^{-1}), uma vez que ambas as unidades atende as necessidade deste trabalho.

Foram desenvolvidos gráficos que demonstram o efeito da desagregação nas amostras, onde plotou-se no eixo das abscissas (X) os dias em que foram feitas as coletas, e no eixo das ordenadas (Y) os valores referente à turbidez (NTU), concentração de sedimentos em suspensão ($\mu\text{L.L}^{-1}$) e a granulometria do material estudado (%). Utilizaram-se também os dados referentes às vazões (m^3/s) dos afluentes nos dias de coletas,

fornecidos pela equipe de Sedimentologia da Itaipu Binacional, sendo estes plotados em todos os gráficos no eixo Y secundário.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No ponto 1, por ser um local próximo e de fácil acesso, não necessitando de muitos recursos, foram coletadas 60 amostras durante o ano de 2015. A distância entre o ponto 2 e o laboratório de análises é maior, resultando em 53 amostras. Já no ponto 3, que é o posto de coleta mais distante, o número de amostras coletadas foi reduzido: 13 amostras. Em todos os postos analisados a quantidade de amostras foi suficiente para demonstrar a ação do ultrassom nas partículas.

A quantificação da turbidez nas amostras, antes e depois da aplicação do ultrassom, apresentou diferenças entre os valores. Esta variação ocorreu devido à formação de agregados, os quais se dispersaram com a energia aplicada pelo ultrassom, conforme apresentado por Bortoluzzi et al. (2013). Isso permite uma leitura adequada da concentração e da granulometria de sedimentos em suspensão.

Córrego Xaxim

A vazão demonstrou uma forte relação com a turbidez e a CVSS no córrego Xaxim. Savio (2014) constatou que houve aumento na turbidez em períodos de cheias deste ponto. No ponto 1, a turbidez apresentou boas variações após a aplicação do ultrassom, principalmente em amostras com elevadas concentrações de sedimentos, conforme demonstrado na figura 2.

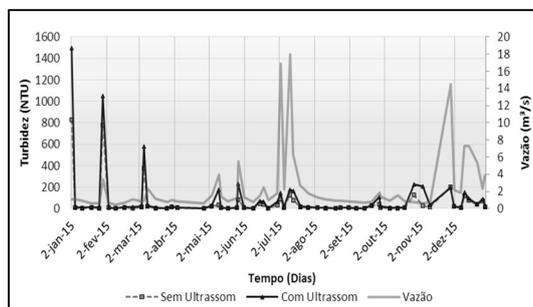


Figura 2: Córrego Xaxim: turbidez antes e depois da aplicação da ultrassom.

O maior valor de turbidez sem ultrassom registrado foi equivalente a 830 NTU, e com ultrassom chegou a 1496 NTU, ocorridos no dia 14 de janeiro de 2015. Este evento pode ter sido influenciado pelas condições meteorológicas ocorridas entre os meses de março e julho de 2015, onde foram registradas grandes quantidades de chuvas em toda a região sul do Brasil (INMET, 2015). Quando a técnica do ultrassom é aplicada, a energia emitida pelo equipamento faz com que as partículas agregadas se soltem, como apresentado por Chen et al. (2011), Pilli et al., (2011) e Sá et al. (2005), possibilitando ao turbidímetro identificar de forma eficiente qual é o valor de turbidez das amostras.

O aumento da CVSS proporcionou a maior formação de flocos, visto que aumentou também o contato entre as partículas. A ação da frequência ultrassônica sobre as partículas causa a desagregação,

permitindo com que o aparelho identifique o tamanho real de cada partícula, ocasionando a redução nos valores de CVSS, conforme exibe a Figura 3.

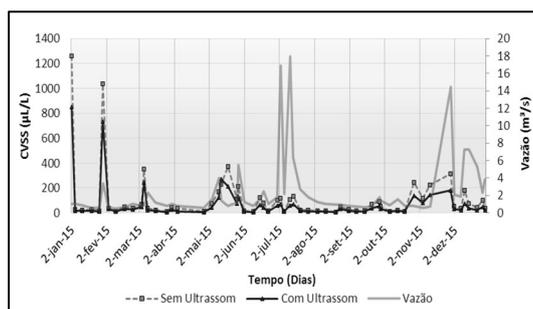


Figura 3: Córrego Xaxim: concentração volumétrica de sedimentos em suspensão antes e depois da aplicação da ultrassom.

As areias demonstraram redução na participação da descarga sólida em dias de cheias, confirmando o estudo feito por Mendes (2014). Após a ação do ultrassom o percentual de partículas mais grosseiras reduziu significativamente, conforme ilustrado pela figura 4, enfatizando o que foi dito por Landers (2011). Isto fez com que a CVSS fosse reduzida, tendo em vista que as partículas de areia tem diâmetro superior às outras e consequentemente têm maior influência neste parâmetro.

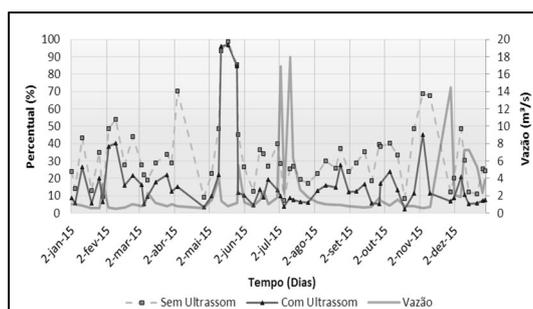


Figura 4: Córrego Xaxim: percentual de areia presente nas amostras, antes e depois da aplicação da ultrassom.

A granulometria do material em suspensão presente no córrego Xaxim apresentou maior participação de finos (silte e argila) durante os períodos de cheias, como já apresentado por Mendes et al. (2014). Deste modo, a maior influência do ultrassom pode ser observada nos períodos vazões elevadas. A participação das partículas de silte aumentou com a desagregação. A amostra coletada no dia 04 de abril de 2015 foi a que apresentou maior variação entre as duas leituras granulométricas, onde o percentual de silte antes da aplicação do ultrassom era de 27,88% e depois passou a 76,99%, como exibido na Figura 5.

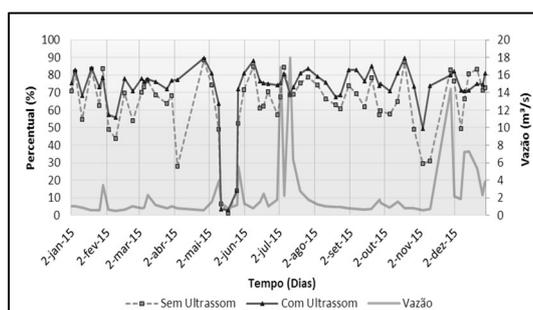


Figura 5: Córrego Xaxim: percentual de silte presente nas amostras, antes e depois da aplicação da ultrassom.

As partículas de argila possuem maior facilidade de agregação, como já apresentado por Arvaniti et al. (2014). Após a aplicação das frequências ultrassônicas nas amostras, houve a desgregação destas partículas, ocasionando o aumento na participação da CVSS do córrego Xaxim, ilustrado na figura 6. Os dados propõem uma produção pré e pós-aplicação da ultrassom. Devido à redução no percentual de areias e aumento na participação de silte nas amostras deste ponto, pode-se dizer que o ultrassom foi eficiente para a desagregação das partículas.

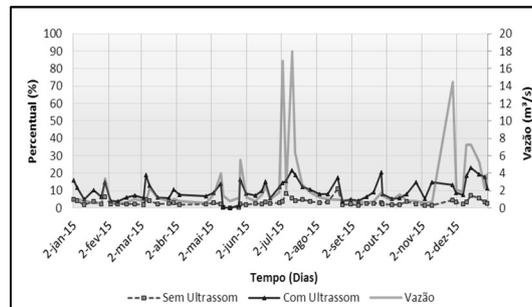


Figura 6: Córrego Xaxim: percentual de argila presente nas amostras, antes e depois da aplicação da ultrassom.

Rio Piquiri

O rio Piquiri, ponto 2, possui vazões superiores ao córrego Xaxim e apresentou granulometria diferente nas amostras. A formação de flocos ocorreu em todas as coletas, porém com menor intensidade comparada as amostras do ponto 1. Devido a isso, a turbidez, se manteve praticamente a mesma nas duas medições, sendo que as oscilações mais significativas entre os resultados aconteceram nos eventos de cheias, como ocorrido no dia 14 de julho, onde o valor de turbidez sem ultrassom chegou a 439 NTU, e com ultrassom 524 NTU. De acordo com Walling et al. (1987) a maior parte dos sedimentos transportados por um rio acontece em seus eventos de cheias. A Figura 7 representa os valores relativos à turbidez e a vazão deste ponto.

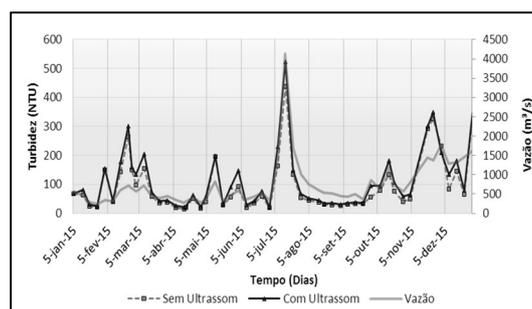


Figura 7: Rio Piquiri: vazão e turbidez, antes e depois da aplicação da ultrassom.

Por sua vez, a CVSS das amostras do rio Piquiri também foram afetadas pela formação de flocos. A influência do ultrassom nas amostras deste ponto se deu de forma significativa. Com a desagregação das partículas os valores de CVSS reduziram, principalmente em dias de cheias. A amostra coletada no dia 14 de julho de 2015 serve de exemplo também para este caso, onde a CVSS antes da aplicação do ultrassom era de $841,93 \mu\text{L.L}^{-1}$, passando a $526,59 \mu\text{L.L}^{-1}$ após a aplicação (Figura 8).

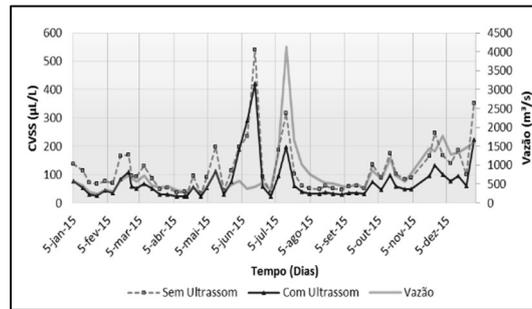


Figura 8: Rio Piquiri: concentração volumétrica de sedimentos em suspensão antes e depois da aplicação da ultrassom nas amostras.

Mendes et al. (2014) demonstrou que vazões a partir de $600 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ neste rio já apresentam uma leve queda na participação de areias e um aumento relativo na participação de finos. Presume-se que este seja o motivo pela queda nos valores de CVSS, já que as amostras com maiores variações foram coletadas em vazões iguais ou superiores a $600 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

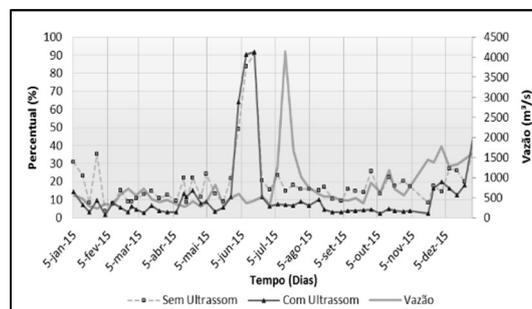


Figura 1 – Rio Piquiri: percentual de areia presente nas amostras, antes e depois da aplicação da ultrassom.

O percentual de areias deste ponto foi reduzido, comparado ao córrego Xaxim. A participação dessas partículas na granulometria do material coletado apresentou variações mais estáveis comparadas ao primeiro ponto, onde antes de se aplicar as frequências ultrassônicas o percentual areia estava na média de 10% a 20%, havendo exceções em alguns casos. Após a ação do ultrassom o percentual ficou entre a média de 2% a 10%, demonstrando assim que houve êxito na dispersão. A Figura 9 representa o que foi dito referente ao percentual de areias nas amostras do rio Piquiri.

As porcentagens de silte não apresentaram grandes variações. Acredita-se que, na maioria dos casos, o diâmetro das partículas agregadas deste ponto foram superiores a faixa de classificação granulométrica do silte ($2 - 63 \mu\text{m}$), pelo fato de não haver flutuações significativas entre os valores. As participações do silte antes e depois da aplicação do ultrassom nas amostras apresentaram pequenas diferenças, ficando na maior parte entre 70% e 85%, como é exibido na Figura 10.

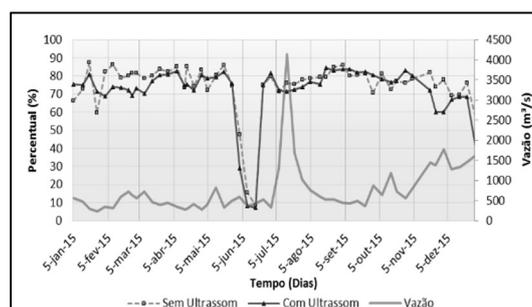


Figura 2: Rio Piquiri: percentual de silte presente nas amostras, antes e depois da aplicação da ultrassom.

Por fim, a taxa de argila nas amostras apresentou variações consideráveis, relativas principalmente as variações dos percentuais de areias. Os percentuais dessa classe de sedimento antes da ação do ultrassom ficaram em média entre 3% e 10%. Com a ação das ondas ultrassônicas o percentual de argilas nas amostras aumentou significativamente, se mantendo na média de 10% a 30% (Figura 11).

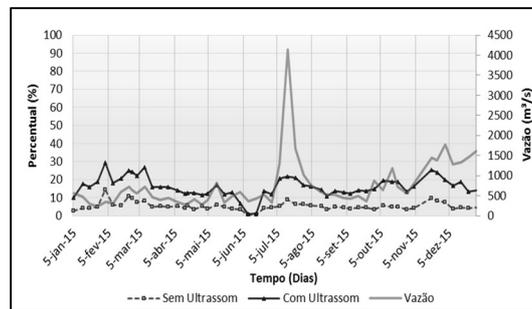


Figura 3: Rio Piquiri: percentual de argila presente nas amostras, antes e depois da aplicação da ultrassom.

É possível notar que para o ponto 2 a formação de agregados ocorreu de em todo o período de coleta, ocasionando flutuações entres os valores de turbidez, CVSS e granulometria. No entanto, as diferenças entre esses valores foram menores que no primeiro ponto. Para este ponto, o ultrassom se demonstrou eficiente na dispersão dos sedimentos agregados. Em alguns casos, tanto no ponto 1, quanto no ponto 2, houveram amostras com grandes concentrações de sedimentos em dias de baixas vazões. Isto acontece pelo fato de que a concentração de sedimentos é influenciada por diversas variáveis, principalmente pela ação antrópica nas bacias.

Rio Paraná – Margem paranaense, Guaira

No ponto 3, Rio Paraná, nota-se que a turbidez apresentou variações menores em comparação aos outros pontos. A granulometria do rio neste ponto é influenciada pela operação da usina hidrelétrica de Porto Primavera, que apresenta águas ricas em areias (MENDES et al., 2014). A Figura 12 exhibe o comportamento da turbidez nas amostras deste ponto.

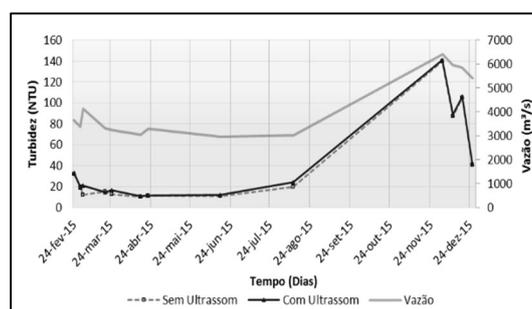


Figura 4: Rio Paraná: vazão e turbidez, antes e depois da aplicação da ultrassom.

As análises de turbidez, antes e após o ultrassom, não apresentaram variações significativas, sendo que a maior diferença registrada entre as medições ocorreu na amostra do dia 3 de março de 2015, onde o valor de turbidez sem ultrassom foi de 12,4NTU e com ultrassom 21,1NTU. Presume-se que não houve a formação de agregados nas amostras deste posto.

A CVSS se manteve baixa nas leituras com ultrassom na maioria dos casos, com exceção apenas na amostra coletada no dia 11 de agosto, onde a concentração sem aplicação das frequências ultrassônicas estava em $481,52\mu\text{L.L}^{-1}$ e com a aplicação chegou a $1537,90\mu\text{L.L}^{-1}$, quase 4 vezes maior, como apresentado na Figura 13. Suspeita-se fortemente que se trata de uma instabilidade no processo de leitura dos grãos pelo difrator a laser, haja vista que pode ter havido uma má homogeneização da amostra rica em areias na câmara do difrator a laser. Destaca-se que essa homogeneização é realizada automaticamente pelo próprio aparelho.

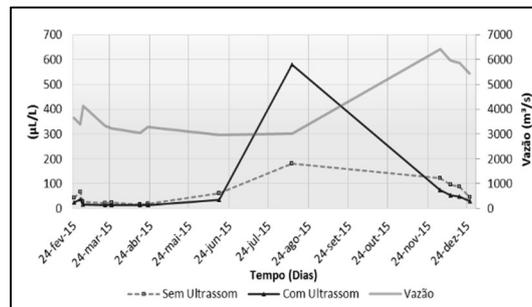


Figura 5: Rio Paraná: concentração volumétrica de sedimentos em suspensão, antes e depois da aplicação da ultrassom nas amostras.

Diferente dos outros pontos aqui estudados, em certas amostra do rio Paraná, o teor de areias aumentou após a aplicação do ultrassom. As areias possuem maior densidade, e conseqüentemente a velocidade de queda das partículas é maior. Isso, combinado com o fato de suas partículas não apresentarem distribuição homogênea no fluido, dificulta a leitura granulométrica pelo difrator a laser, gerando instabilidade. O percentual de areia nas amostras variou entre 8,5% e 86,08% sem ultrassom e 3,18% e 96,91% com ultrassom, porém as variações entre as duas medições na mesma amostra não foram significativas, como apresentado na Figura 14.

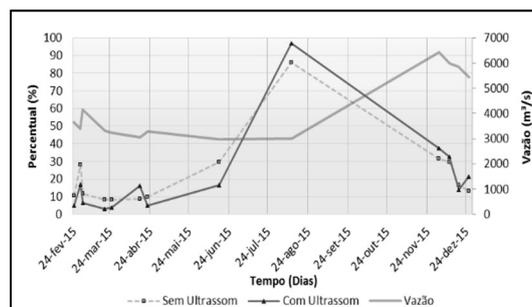


Figura 6: Rio Paraná: percentual de areia presente nas amostras, antes e depois da aplicação da ultrassom.

O percentual de silte, quando analisado com a ação do ultrassom, reduziu na maior parte dos casos (Figura 15), pois os flocos de sedimento que antes da análise pelo ultrassom eram interpretados pelo difrator a laser como grãos de silte, após o ultrassom, se revelaram partículas de argila até então agregadas umas às outras.

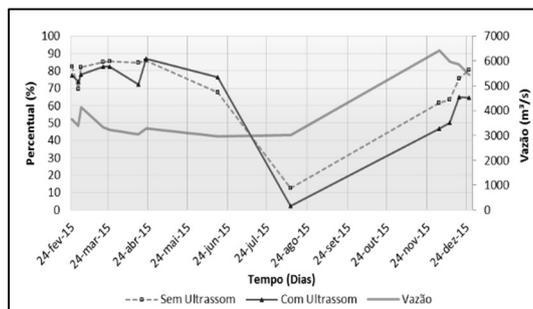


Figura 7: Rio Paraná: percentual de silte presente nas amostras, antes e depois da aplicação da ultrassom.

O percentual de argilas, assim como nos outros postos, aumentou em praticamente em todas as amostras após a aplicação do ultrassom, onde ficou entre 0,5% e 21,3% como apresentado na Figura 16. A maior variação entre as medições ocorreu no dia 18 de dezembro de 2015, onde os valor sem a aplicação do ultrassom foi de 7,91 NTU e com a aplicação foi de 21,03NTU. Nota-se que a agregação de partículas ocorreu em poucas amostras analisadas, sendo que as variações ocasionadas por estes foram mínimas comparadas aos outros postos. Desta forma, o ultrassom não apresentou influência significativa sobre as amostras referentes a esse ponto.

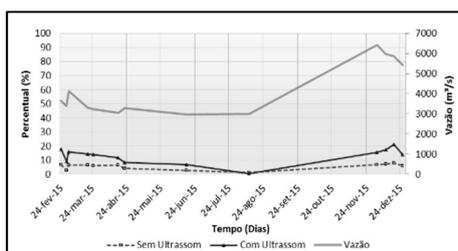


Figura 8: Rio Paraná: percentual de argila presente nas amostras, antes e depois da aplicação da ultrassom.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A quantidade de amostras variou entre os distintos pontos analisados. Isto ocorreu devido à distância entre os locais, dificultando uma maior periodicidade de coleta. Como o objetivo deste estudo é demonstrar a influência da técnica de desagregação de sedimentos por ultrassom, utilizando análises granulométricas e de turbidez para comprovar a importância da aplicação deste método, a variação entre a quantidade de coletas em cada posto é desprezível. A granulometria dos materiais coletados variou conforme a geologia e as outras variáveis, apresentadas por Medeiros (2015) em cada ponto.

O ultrassom se demonstrou como uma importante ferramenta para análises granulométricas. Considerando as análises feitas nos três pontos, é possível observar que antes de ocorrer eventos de cheias registrados nos rios, a participação de areias na descarga sólida em suspensão é maior, reduzindo as porcentagens de argila e silte. É nesses mesmos períodos que se identifica a maior redução da concentração de sedimentos em suspensão após a aplicação do ultrassom. Isso ocorreu pela desagregação dos sedimentos mais finos, os quais se dispersaram com as frequências ultrassônicas.

Para rios com baixas vazões, como o córrego Xaxim, o ultrassom tem influência significativa, principalmente em dias de cheias. No caso do rio Piquiri, que possui vazões médias, a ação do ultrassom ocorre durante todos os períodos, tanto em dias de cheias como em dias de vazões normais. Por fim, a

influência do ultrassom no rio Paraná, é tratada como um caso exclusivo para o ponto analisado, sendo que a granulometria deste ponto é afetada pela barregem de Porto Primavera, que retém grande quantidade de sedimentos vinda do trecho superior do rio Paraná. Assim, a utilização de frequências ultrassônicas para dispersão de sedimentos neste ponto não apresentou influência significativa.

Recomenda-se a utilização de aparelhos de difração a laser em amostras com grande percentual de finos. Para amostras com grandes percentuais de areias não promove alterações significativas, não sendo recomendado. É importante lembrar que para se ter dados mais precisos com relação à granulometria dos sedimentos em suspensão, é aconselhável utilizar técnicas clássicas de coleta e análise, como é o caso do método de integração na vertical e tudo de remoção pela base, respectivamente. Por fim, foi possível demonstrar através das análises de CVSS, granulometria e de turbidez que aplicando este tratamento nas amostras é possível quantificar com maior eficiência a descarga sólida dos rios, o que diretamente influencia nos cálculos de vida útil dos reservatórios de usinas hidrelétricas.

REFERÊNCIAS

- ARVANITI, E. C.; JUENGER, M. C. G.; BERNAL, S. A.; DUCHESNE, J.; COURARD, L.; LEROY, S.; PROVIS, J. L.; KLEMM, A.; BELIE, N.. Determination of particle size, surface area, and shape of supplementary cementitious materials by different techniques. **Materials and Structures**, Bruxelas, v.48, n.11, p.3687-3701, 2015.
- APHA. American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22 ed. Washington: American Public Health Association, 2012.
- BARRETO, V. L.; FRAGA, M. S.; BARROS, F. M.; SILVA, D. P.. Relação entre vazão e qualidade da água em uma seção de rio. **Ambiente & Água**, Taubaté, v.9, n.1, p.118-129, 2014.
- BORTOLUZZI, E. C.; POLETO, C.. Metodologias para estudos de sedimentos: ênfase na proporção e na natureza mineralógica das partículas. In: POLETO, C.. **Qualidade dos sedimentos**: Revisado e Ampliado. 2 ed. Porto Alegre: 2013. p.89-112.
- CABRAL, J. B. P.. **Análise da sedimentação e aplicação de métodos de previsão para tomada de medidas mitigadoras quanto ao processo de assoreamento no reservatório de Cachoeira Dourada – GO/MG**. Tese (Doutorado em Geologia, Área de Concentração Geologia Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- CARVALHO, N. O.. **Hidrossedimentologia Prática**. Rio de Janeiro: CPRM, 1994.
- CARVALHO, N. O.. **Hidrossedimentologia prática**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.
- CHANSON, H.; TAKEUCHI, M.; TREVETHAN, M.. Using turbidity and acoustic backscatter intensity as surrogate measures for suspended sediment concentration in a small subtropical estuary. **Journal of Environmental Management**, Brisbane, v.88, n.4, p.1406-1416, 2008.
- CHELLA, M. A.; OTA, J. J.; POVH, P. H.. Simulação física do transporte de sedimentos e assoreamento em reservatórios. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 15. **Anais**. Curitiba: UFPR, 2003.
- CHEN, Z.; ZHU, C.. Combined effects of aqueous chlorine dioxide and ultrasonic treatments on postharvest storage quality of plum fruit (*Prunus salicina* L.). **Postharvest Biology and Technology**, v.61, n.2, p.117-123, 2011.
- FREITAS, L. D. C.; BALTAR, C. A. M.; FRANCA, S. C. A.. Desestabilização de uma suspensão coloidal de dióxido de titânio. **Holos**, Natal, v.4, p.12-17, 2016.
- HILLEL, D.. **Environment soil physics**. New York: Academic Press, 1998.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Boletim agroclimatológico mensal**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2015.
- LANDERS, M.N.. **Fluvial suspended sediment characteristics by high-resolution, surrogate metrics of turbidity, laser-diffraction, acoustic backscatter, and acoustic attenuation**. Atlanta: Georgia Institute of Tech, 2011.
- MEDEIROS P. R. P.; KNOPPERS B.; SOUZA W. F. L.; OLIVEIRA E. N.. **Comportamento da turbidez e material em suspensão, em um rio com vazão regularizada por sistema de barragens em cascata**: Rio São Francisco (NE, Brasil). Maceió: UFAL, 2011.
- MENDES, A. B.; SILVA, C. M.; EYNG, E.; MONTANARI, B.; JESUS JUNIOR, M. R.. Análise do comportamento da granulometria dos sedimentos em suspensão e seu potencial de transporte de nutrientes/poluentes por adsorção, nos postos monitorados pela ITAIPU Binacional. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, 11. **Anais**. João Pessoa: 2014.
- MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. G.; HOROWITZ, A. J.; MORO, M.. **Determinação da concentração de sedimentos em suspensão em rios com o uso de turbidímetro**. Porto Alegre: UFRGS, 2014.

MUDROCH, A.; AZCUE, J. M.. **Manual of aquatic sediment sampling**. Florida: CRC Press, 1995.

PAPINI, C. J.; YOSHITO, W. K.; GOUVÊA, D.; LEAL NETO, R. M.. Particle size distribution analysis of an alumina powder: influence of some dispersants, PH and supersonic vibration. **Materials Science Forum**, v.498. p.73-78, 2005.

PILLI, S.; BHUNIA, P.; YAN, S.; LEBLANC, R. J.; TYAGI, R. D.; SURAMPALLI, R. Y.. Ultrasonic pretreatment of sludge: A review. **Ultrasonic Sonochemistry**, v.18, n.1, p.1-18, 2011.

SÁ, M. A. C.; LIMA, J. M.. **Energia ultra - sônica: uma ferramenta em ciência do solo**, Planaltina: Embrapa Cerrados, 2005.

SÁ, M. A. C.; LIMA, J. M.; SILVA M. L. N.; DIAS JÚNIOR, M. S.. Índice de desagregação do solo baseado em energia ultra-sônica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.3, p.525-531, 1999.

SAVIO, B. C.. **Uso de turbidímetros eletrônicos no monitoramento do aporte de sedimentos**. Monografia (Tecnologia em Gestão Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2014.

SCHILDBERG, Y.. **Granulometrie laser: applications aux argiles**: Stage de fin d'étude. Nancy: Ecole National de Nancy, 1993.

SCHNEIDER, R. M.; FREIRE, R.; BOINA, W. L. O.; COSSICH, E. S.; SOARES, P. F.; TAVARES, C. R. G.. Assessment of turbidity as a quick tool to quantify the sediment transport. **Nativa**, Sinop, v.2, n.1, p.32-36, 2014.

STUMM, W.; MORGAN, J. J.. **Aquatic chemistry: chemical equilibria and rates in natural waters**. 3 ed. New York: John Wiley & Sons, 1996.

TIPPKÖTTER, R.. The effect of ultrasound on the stability of mesoaggregates (60-200µm). **Zeitschrift Pflanzenernährung und Bodenkunde**, Weinheim, v.157, n.6, p.99-104, 1994.

VEIGA, M.; CABEDA, M. S. V.; REICHERT, J. M.. Erodibilidade em entressulcos de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, n.1, p.121-128, 1993.

WALLING, D. E.; WEBB, B. W.. Suspended load in gravel-bed rivers. In: THORNE, C. R.; BATHURST, J. C.; HEY, R. D.. **Sediment Transport in Gravel-bed Rivers**. Darmstadt: John Wiley & Sons, 1987. p.691-734.