Relação do Transporte de Sedimentos com as Características do Solo na bacia hidrográfica do rio Jundiaí.

Palavras-Chave: “TRANSPORTE DE SEDIMENTOS”, “GRANULOMETRIA”, “TURBIDEZ”

Autores(as):

MARIA CLARA LOMBARDI CORDEIRO ,FECFAU, UNICAMP;

GABRIELLE DA COSTA PINTO, FECFAU, UNICAMP;

ANA JULIA SIEBRA BARBOZA , FECFAU ,UNICAMP;

Prof(ª). Dr(ª)ANDRÉ LUÍS SOTERO SALUSTIANO MARTIM (orientador), FECFAU ,UNICAMP.

Coautores/as: LUIS FERNANDO MURILLO BERMÚDEZ, FECFAU, UNICAMP.

INTRODUÇÃO:

A água como um recurso natural de imensurável valor econômico e social, essencial à vida e ao bem-estar do ser humano e à manutenção do meio ambiente, é tida como um bem, ao qual toda a humanidade tem direito. Nos últimos anos, o mundo vem passando por uma série de transformações negativas. Por ser um recurso finito, é necessário que seja utilizado de forma correta e controlada, bem como se faz necessária a adoção de medidas que visem impedir a sua degradação e uso não sustentável (REZENDE, 2016).

Levando-se em consideração os problemas gerados por inundações, enxurradas, deslizamentos originados pela falta de critérios na ocupação e utilização de encostas e, suas causas e consequências sociais e econômicas, fica salientada a grande importância da aquisição de dados hidrológicos históricos para alimentar, fundamentar, validar ou invalidar estudos e metodologias que contribuam progressiva e positivamente no gerenciamento dos recursos hídricos. (GUIMARÃES; 2010)

Neste sentido, o objetivo do presente trabalho foi analisar as propriedades físicas e ópticas dos sedimentos fluviais transportados pelo rio Jundiaí, SP para três locais diferentes, associando-as com as características dos solos da bacia hidrográfica. Para isto foram caracterizadas as granulometrias dos sedimentos em suspensão e do leito, além de avaliar as respostas dos sedimentos em três turbidímetros diferentes, procurando também explorar novas formas de monitoramento da dinâmica dos sedimentos.

MATERIAIS E MÉTODOS:

Foram coletadas amostras de sedimentos em suspensão e do leito dos rios Jundiaí (nas cidades de Campo Limpo Paulista e Salto) e Piraí (cidade de Salto), com o objetivo de caracterizar suas propriedades físicas. As amostras de fundo foram secadas em estufa e peneiradas de acordo com as normas da ABNT. As frações mais finas foram utilizadas para a preparação de amostras sintéticas de água com concentrações conhecidas de sedimentos (0,0001 a 50000 mg/L), as quais foram medidas em balança analítica.

A análise granulométrica foi realizada por difração a laser no equipamento Mastersizer 2000da Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas (FEA/Unicamp). As

amostras foram submetidas a três medições consecutivas. Essa técnica baseia-se no espalhamento de luz e aplica a teoria de Mie para calcular a distribuição de tamanhos equivalentes de partículas.

Por fim, testou-se um turbidímetro de baixo custo, previamente construído, com sedimentos dos rios analisados. Os dados obtidos foram comparados com os dos equipamentos Horiba U50 (multiparâmetro) e HACH 2100N (turbidímetro de bancada). As medições foram realizadas em amostras sintéticas, com cinco repetições por amostra, permitindo a avaliação do desempenho do sensor de baixo custo frente aos turbidímetros comerciais.

Os resultados do teste dos turbidímetros foram sintetizados em tabelas de medições para cada um dos rios e tipos de sensores. Para cada amostra de concentração de sedimentos definida foi calculada a média. Foram plotados gráficos de dispersão para observar as diferenças nas respostas dos sensores e dos sedimentos de cada um dos rios analisados a partir da definição das linhas de tendência obtidas pelo método de regressão linear simples. Estas correlações foram avaliadas por meio do coeficiente de determinação (R^2), este coeficiente é a medida estatística que indica o quão bem um modelo de regressão se ajusta aos dados observados (BUSSAB; MORETTIN, 2010, p. 310), e é definido como:

$$R^2 = 1 - (\text{Soma dos Quadrados dos Resíduos} / \text{Soma Total dos Quadrados}).$$

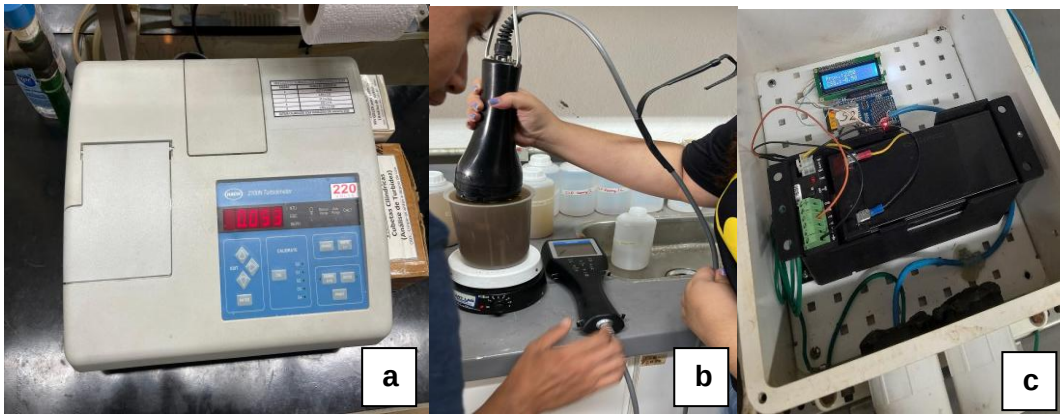

Figura 1. Equipamentos para medição de turbidez. Turbidímetro de Bancada Hach 2100N (**a**), Analisador Multiparâmetro Série U50 (**b**) e Sensor de baixo custo com arduino (**c**).

Tabela 1. Comparativo dos sensores citados.

Nome do Aparelho	Tipo de Medição	Faixa de Medição	Modo de Uso	Precisão
Analisador Multiparâmetro Série U50	Fonte de lâmpada de tungstênio e método de espalhamento a 90°	0 a 1000 NTU	In situ	0 a 9,99 NTU: 0,01 NTU 10 a 99,9 NTU: 0,1 NTU 100 a 1000 NTU: 1 NTU
Turbidímetro de Bancada Hach 2100N	Nefelométrico	0 a 4000 NTU	Bancada	±2% + 0,01: 0 a 1000 NTU ±5% :1000 a 4000 NTU
Sensor de baixo custo com arduino	Retroespalhamento de luz infravermelha	Até 50.000 mg/l	In situ	Definido para cada sensor

Baseado em: (HORIBA ADVANCED TECHNO CO., LTD. 2009; HACH COMPANY, 1999).

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Granulometrias de sedimentos de fundo: Com a massa de cada tamanho foi montado um gráfico de porcentagem acumulada comparando os 3 rios (Figura 2). É importante dizer que as massas retidas nas peneiras somadas não chegam exatamente ao peso inicial de 1 kg, pois parte do material é perdido durante o processo de peneiramento, gerando uma incerteza nos resultados.

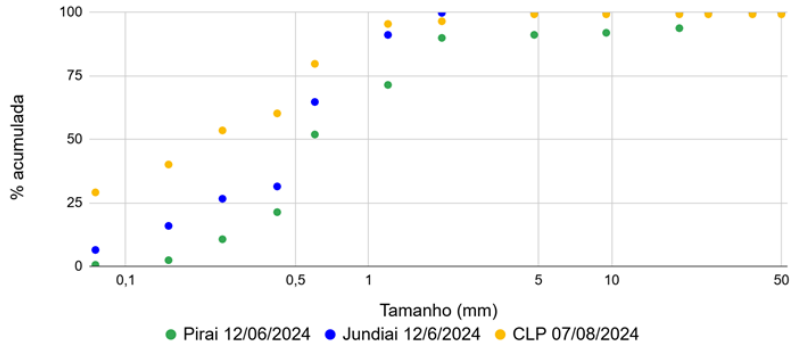

Figura 2. curvas granulométricas do peneiramento de sedimentos do leito.

O gráfico mostra que a porcentagem da massa acumulada do rio Piraí atinge o 100% em maiores tamanhos, o que indica que possui sedimentos maiores em comparação aos outros rios. Em oposição, a amostra do CLP apresenta maior porcentagem de sedimentos finos. Enquanto isso a curva granulométrica do rio Jundiaí se apresenta com uma inclinação acentuada entre os tamanhos 0,5 e 1 milímetros, o que sugere que há mais sedimentos de tamanho areia grossa a muito grossa nessa amostra.

Nesse assunto pode ser apresentado o conceito do diâmetro efetivo da partícula em 50% (d50), que significa que 50% do total de partículas são menores que um determinado tamanho. Esses valores são 0,589 mm, 0,520 mm e 0,0110 mm para Piraí, Jundiaí e CLP, respectivamente.

Granulometria de sedimentos finos (Difratômetro): Com os resultados do difratômetro foi montado o seguinte gráfico de porcentagem acumulada com os tamanhos de sedimentos em micrômetros mostrado na Figura 3.

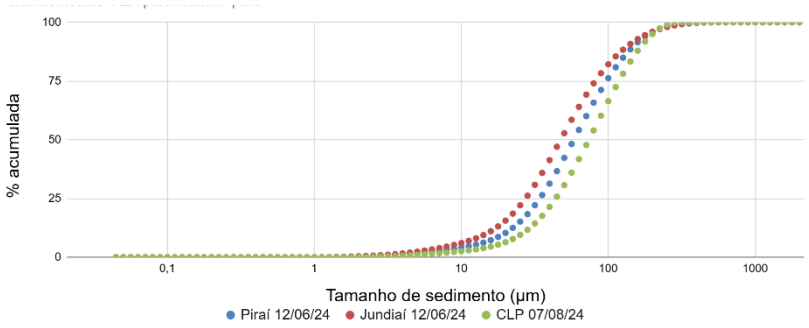

Figura 3. Gráfico de granulometria de sedimentos em suspensão.

Nesse gráfico podemos observar que os dados das três amostras seguem uma curva similar, porém observam-se diferenças: a curva granulométrica dos sedimentos do rio Piraí encontra-se acima das outras, o que sugere que tenha sedimentos menores, enquanto o CLP, maiores. Os valores de d50 para essa análise são 26,07 µm, 21,23 µm e 33,05 µm para Piraí, Jundiaí e CLP respectivamente.

Comparação da resposta óptica de distintos tipos de sedimentos: Na Figura 4 apresenta-se uma comparação das respostas do sensor de baixo custo e a sonda Horiba, onde observa-se o limite de detecção para a sonda horiba em 1000 NTU que varia dependendo do tipo de sedimento utilizado. Estas divergências podem estar relacionadas com as características físicas dos sedimentos.

O sinal identificado por um sensor óptico é afetado, em diferentes graus, por fatores como: a CSS, o tamanho, a forma, a cor, o índice de refração, a densidade e a composição mineralógica da partícula de sedimento transportado, as características do comprimento de onda da luz incidente, a presença de incrustações e arranhões na superfície óptica do sensor (SARI, CASTRO, KOBIYAMA.2015).

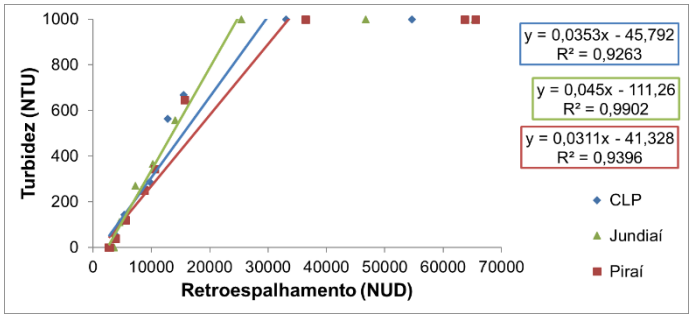

Figura 4. Comparação entre sensor de baixo custo com Arduino e sensor Multiparâmetro Horiba.

As diferenças observadas macroscópicamente na coloração das amostras indicam variações mineralógicas dos sedimentos, refletindo a composição distinta dos solos de origem. A presença de tonalidades mais escuras ou avermelhadas, por exemplo,

sugere uma maior concentração de óxidos de ferro ou minerais específicos, como hematita ou magnetita. No caso dos sedimentos do rio Piraí, destaca-se a presença de minerais magnéticos, característica marcante e herdada diretamente dos solos da bacia de contribuição. Esses aspectos reforçam a influência direta do material de origem na composição e nas propriedades físicas dos sedimentos fluviais, sendo fundamental para a interpretação dos dados apresentados no Figura 4.

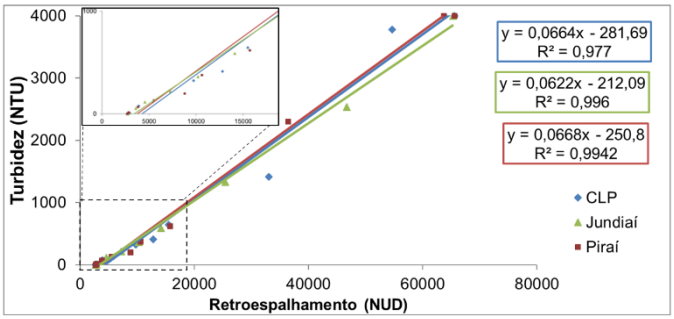

Figura 5. Comparação entre o sensor de baixo custo com arduíno e o Turbidímetro de Bancada Hach.

A Figura 5 apresenta as relações entre o sensor de baixo custo com arduíno e o turbidímetro de bancada Hach. Observa-se, pelos valores de declividade das linhas de tendência, uma maior similaridade na resposta dos sensores usando os sedimentos de Piraí e CLP na faixa de medição de 4000 NTU. Enfatizando nos valores de turbidez até 1000 NTU, não foi possível observar uma diferença significativa nas linhas de tendência se comparadas com as encontradas usando a sonda Horiba, onde a resposta de turbidez dos sedimentos do rio Jundiaí foi (mais inclinada) em relação aos sedimentos de CLP e Jundiaí.

Na Figura 6 apresenta-se as relações entre o sensor de analisador multiparâmetro Horiba e o turbidímetro de bancada Hach. É possível notar a diferença entre medições de turbidez dependentes do tipo de equipamento utilizado, estas diferenças podem ser denotadas pelas linhas de tendência.

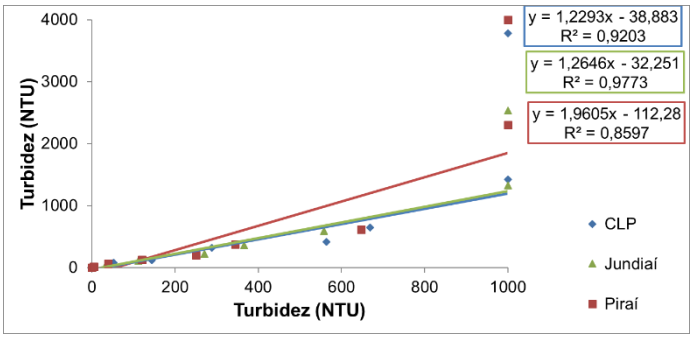

Figura 6. Comparação entre o sensor Multiparâmetro Horiba e o Turbidímetro de Bancada Hach.

Diferentes dispositivos de medição de turbidez não produzem necessariamente dados compatíveis, mesmo quando calibrados com os mesmos padrões (LEWIS, EADS e KLEIN. 2007). A turbidez nefelométrica, uma medida da dispersão da luz por partículas suspensas na água, é comumente usada para indicar a clareza da água ou a concentração de material particulado em suspensão. Há muito tempo se sabe que diferentes sensores de turbidez respondem de forma diferente às mesmas suspensões (DAVIES-COLLEY, R. et al. 2021).

A diferença apresentada pelos sensores analisados pode ser explicada porque os equipamentos apresentam diferentes configurações internas de medição (Ver tabela 1) já que a sonda Horiba possui um detector a 90° e turbidímetro Hach apresenta três detectores: Um detector nefelométrico primário de 90°, um detector de espalhamento frontal e um detector de luz transmitida, o que confere a este último um maior limite de detecção.

.

CONCLUSÕES:

A aplicação dos distintos métodos de análises das propriedades físicas e ópticas para os sedimentos transportados pelo rio Jundiaí em três locais evidenciaram diferenças na distribuição granulométrica, nas composições e na resposta dos sensores de turbidez. Estas diferenças estão diretamente relacionadas com as variações nas características dos solos de onde provém estes sedimentos e com as dinâmicas ambientais que acontecem dentro de cada sub-bacia analisada.

Na análise de granulometrias, verificou-se que os sedimentos dos rios analisados apresentam uma distribuição de partículas específica, refletindo os processos ambientais e erosivos de suas respectivas bacias hidrográficas**.** Os sedimentos do rio Piraí apresentaram maiores tamanhos de sedimentos podendo estar relacionado com maior declividade da sua bacia em relação aos outros dois rios. No caso da turbidez, os maiores valores foram apresentados pelo rio Piraí, seguido por CLP e Jundiaí.

As variações na composição mineralógica impactaram diretamente os resultados dos turbidímetros. A amostra coletada no rio Piraí, por exemplo, destacou-se pela presença de materiais magnéticos, o que pode indicar a presença de minerais como magnetita ou hematita, que possuem alta densidade e características ópticas distintas. Esses minerais tendem a intensificar o espalhamento e a absorção da luz, interferindo nas medições de turbidez, mesmo em concentrações relativamente baixas.

As medições e a calibração com os turbidímetros revelou que sensores de baixo custo possuem potencial para medições de turbidez, embora apresentem variações de precisão em relação a equipamentos de referência. Foi observado que os dados medidos pelo sensor de baixo custo com arduíno ficaram estatisticamente mais próximos dos dados do turbidímetro de bancada Hach. Também foi observado que os equipamentos comerciais apresentaram certas diferenças nos seus resultados. As discrepâncias observadas indicam a necessidade de aprimoramentos na calibração e na construção desses dispositivos para garantir maior confiabilidade. Além disso, a ampliação do número de amostras e testes em diferentes condições ambientais poderiam fortalecer a precisão dos resultados.

Os resultados reforçam a importância do monitoramento contínuo dos sedimentos como parte da qualidade da água dos rios e da adoção de soluções tecnológicas acessíveis. A granulometria dos sedimentos e as medições de turbidez proporcionaram um entendimento dos processos do transporte de sedimentos na bacia analisada, podendo ser aplicados em outros locais para a mesma finalidade.

BIBLIOGRAFIA

BUSSAB, Wilton de Oliveira; MORETIN, Pedro Alberto. *Estatística Básica.* 6. ed. São Paulo: Saraiva, 2010.

DAVIES-COLLEY, R. et al. *Weak numerical comparability of ISO-7027-compliant nephelometers. Ramifications for turbidity measurement applications.* Hydrological Processes, v. 35, n. 12, 26 set. 2021.

GUIMARÃES, José Carlos Ribeiro. *Medida de Concentração de Sedimentos e Turbidez na Bacia Hidrográfica do Lajeado Grande, São Martinho da Serra (RS).* Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola; 2010.

HACH COMPANY. *Model 2100N Laboratory Turbidimeter Instruction Manual.* 2. ed., rev. 1 (rev. 10/99). Loveland, CO: Hach Company, 1999. 46 p.

HORIBA Advanced Techno Co., Ltd. *Multi Water Quality Checker U-50 Series Instruction Manual.* Instrumart, 2009.

LEWIS, Jack; EADS, Rand; KLEIN, Randy. *Comparisons of Turbidity Data Collected with Different Instruments.* Report on a Cooperative Agreement between the California Department of Forestry and Fire Protection and USDA Forest Service—Pacific Southwest Research Station (PSW Agreement #06-CO-112721). Santa Rosa, 2007.

REZENDE, Lívia de Abreu. *A crise hídrica e o direito brasileiro: problemas de governança na Política Nacional de Recursos Hídricos.* Coordenação do Curso de Direito do Centro Universitário de Brasília – UniCEUB, 2016.