

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
AGR99006 – DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Cássio Martinez Machado

00107085

Estágio em laboratório de hidrossedimentometria e caracterização da histerese entre vazão e concentração de sedimentos durante evento hidrológico monitorado em uma pequena bacia rural

Porto Alegre, maio de 2022.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
CURSO DE AGRONOMIA

Estágio em laboratório de hidrossedimentometria e caracterização da histerese entre vazão e concentração de sedimentos durante evento hidrológico monitorado em uma pequena bacia rural

Cássio Martinez Machado

00107085

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para obtenção do Grau de Engenheiro Agrônomo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Supervisor de campo do Estágio: Aron Jonatã Funke

Orientador acadêmico do Estágio: Gean Paulo Michel

COMISSÃO DE AVALIAÇÃO

Prof. Sérgio Tomasini – Departamento de Horticultura e Silvicultura (coordenador)

Profª Maitê de Moraes Vieira – Departamento de Zootecnia

Prof. José Antônio Martinelli – Departamento de Fitossanidade

Prof. Clésio Gianello – Departamento de Solos

Prof. Pedro Selbach – Departamento de Solos

Profª Renata Pereira da Cruz – Departamento de Plantas de Lavoura

Profº Roberto Luis Weiler – Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia

Porto Alegre, maio de 2022.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe, Ana Maria, ao meu pai, Elvio Vinicius, ao meu irmão, Caio e à minha sobrinha, Júlia, por todo o amor e apoio que sempre me deram.

(*In memoriam*) Às minhas avós, Diva, Eneida, à tia Désia e ao tio Edson Luiz.

Aos meus tios, Elton e João Eber, e suas famílias.

À Talitha, que, apesar dos quatro estados de distância, esteve comigo e com quem pude compartilhar parte importante dessa caminhada.

A todas as amigas da Agronomia, no nome das seguintes (brilhantes) pessoas: Gustavo, Maiz, Gabi Koetz, Elena, Mateus Accorsi.

Com carinho a muitos professores, dentre os quais destaco: Paulo César do Nascimento, Alberto Bracagioli Neto e Tatiana Duarte, orientadores na sala de aula e fora dela. Agradeço por todas as oportunidades e aprendizados desenvolvidos durante nossas atividades do Nexus.

À Shirley, pela amizade e dedicação com que orienta os estudantes nos desafios da vida acadêmica.

Ao orientador acadêmico neste trabalho, professor Gean Michel. Estendo os agradecimentos à equipe do GPDEN/UFRGS, ao Bruno Abatti, à professora Nilza Castro e ao supervisor de estágio, Aron Funke, pela presteza durante o período de trabalho.

A todos os meus amigos de longa data:

À Cooperativa Cervejeira Ceres: Amanda, Murilo, Lucas e nossos chegados.

À Sociedade dos Sócios: Diony, Aline, Dandara e Benjamin, Fernando e Santiago, Vic, Pellegrini, Julia, Zé, tio Él e muitos amigos e professores do Colégio de Aplicação.

Ao Maurício e à Danielle, pelas pessoas especiais que são.

Ao meu amigo, sócio da Sociedade dos Sócios, geógrafo e professor, Marcos Vinícius Cazali (*in memoriam*), que se foi cedo demais. Marcos, sei que tu me aguardas com uma cerveja bem gelada e algumas fichas de sinuca (melhor de 5?) para o nosso reencontro. Dedico este trabalho a ti, com todo meu coração. Dedico à Neiva e ao José Mário, mãe e pai do Marcos.

A todas as comunidades desassistidas, as primeiras a lidarem com os impactos de desastres naturais e sociais: aos pequenos agricultores, às comunidades das periferias urbanas, aos povos originários do Brasil, dedico este trabalho.

*“I have no data yet. It is a capital mistake to theorize before one has data.
Insensibly one begins to twist facts to suit theories,
instead of theories to suit facts.”*

(Sherlock Holmes, personagem de Arthur Conan Doyle)

RESUMO

O estágio acadêmico foi desenvolvido no Laboratório de Sedimentos do Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Foram realizadas coletas e análises granulométricas e análises de concentração de sedimentos em suspensão (CSS) obtidas em uma pequena bacia de estudo. O objetivo do trabalho foi processar e analisar amostras coletadas na bacia hidrográfica do arroio Baio, situada no nordeste do Rio Grande do Sul, no município de São Francisco de Paula. Um evento hidrológico foi monitorado na bacia com a utilização de uma sonda multiparamétrica, permitindo caracterizar a histerese entre concentração de sólidos em suspensão (CSS) e vazão (Q) para o evento. Padrões de histerese representam a velocidade de mobilização e transferência dos sedimentos na bacia, tendo possível influência de práticas de manejo e conservação de solos. A proximidade entre o ponto de monitoramento e áreas de solo descoberto ou sob usos agrícolas (plantio de batata com intenso revolvimento de solo) sugere que tais áreas contribuam significativamente com a produção sedimentos, a depender das características dos eventos monitorados. O monitoramento de mais eventos hidrológicos associado à caracterização dos tipos de usos de solo realizados na bacia poderá fornecer mais informações e indicar áreas prioritárias para adoção de manejo conservacionista do solo e da água.

LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Localização da bacia do arroio Baio	10
2. Classes de uso do solo na bacia do arroio Baio	11
3. Recebimento de amostra	16
4. Disposição das amostras em bandejas	16
5. Acondicionamento das amostras na estufa	17
6. Instrumento quarteador de amostras	17
7. Destorroamento manual das amostras	18
8. Adição de água destilada nas amostras	18
9. Adição de H ₂ O ₂ para promover oxidação da matéria orgânica	18
10. Aquecimento da amostra para acelerar liberação do CO ₂	18
11. Peneiras para análise granulométrica	20
12. Conjunto de peneiras no batedor-agitador	20
13. Amostras em peneiras de diferentes diâmetros	20
14. Amostra separada na peneira	20
15. Amostras classificadas para pesagem	20
16. Medição de partículas grandes com paquímetro	20
17. Organização das amostras para pipetagem	21
18. Preparação para pipetagem	21
19. Procedimento de pipetagem	21
20. Coleta sendo realizada através da pipeta	21
21. Forças atuantes sobre uma esfera no fluxo de Stokes	22
22. Béqueres sob secagem em estufa	23
23. Béqueres no dessecador com sílica	23
24. Pesagem na balança analítica	23
25. Material das amostras após pesagem	23
26. Bomba de vácuo	25
27. Conjunto de filtragem	25
28. Conjunto de equipamentos de filtragem	25
29. Amostra de sedimento sobre membrana	25
30. Curva-chave “CSS x NTU”	26
31. Série de vazão e CSS	26
32. Padrão de histerese do evento (laço anti-horário)	26

SUMÁRIO

	Página
1. Introdução	08
2. Caracterização do meio físico e socioeconômico da região de realização do trabalho	10
3. Caracterização da instituição de realização do trabalho	12
4. Referencial teórico	13
4.1 Hidrossedimentologia	13
4.2 Padrões de histerese	14
4.3 Coletas e análises de amostras	15
5. Atividades realizadas	16
5.1 Recebimento e identificação de amostras	16
5.2 Análises granulométricas	17
5.2.1 Preparação de amostras	17
5.2.2 Método de separação por peneiras	18
5.2.3 Método de separação por pipetagem	21
5.3 Análise de concentração de sedimentos em suspensão	24
5.4 Caracterização da histerese entre vazão e concentração de sedimentos	25
6. Discussão	27
7. Considerações finais	29
Referências bibliográficas	30
Apêndices	32
Anexos	37

1. INTRODUÇÃO

A propensão da sociedade em ocupar áreas sujeitas a inundações, alterar cursos naturais de rios, a forma do terreno e de se dedicar a outras atividades que impactam os processos naturais, hidrológicos e sedimentológicos, criam a necessidade de compensar esses impactos, que se pensava serem secundários, através de sistemas de monitoramento e controle (HAAN, 1994). Desmatamento, atividades agrícolas e usos urbanos podem ter grande impacto sobre a intensidade do escoamento superficial da água e refletir nos índices medidos de erosão hídrica e de transporte de sedimentos. A perda econômica estimada devido a erosão de solos nos Estados Unidos excede 30 bilhões de dólares anuais, considerando as perdas de solo no local e o transporte ao longo da bacia (MORGAN, 2005). Para o Brasil estimou-se as perdas de nutrientes por erosão hídrica, com custos da ordem de US\$ 1,3 bilhões ao ano (DECHEN, 2015). As características dos solos e seus diferentes tipos de uso impactam a dinâmica dos sedimentos nos rios, o potencial assoreamento de reservatórios e barragens, a disponibilidade em quantidade e qualidade adequadas da água para usos diversos e a segurança das áreas habitadas.

Sedimentos tem origem na degradação da rocha, de solos, de materiais minerais e orgânicos. Após desagregação, são transportados por rios ou canais artificiais até a ocorrência de sua deposição no leito, nas margens do rio ou no exutório da bacia hidrográfica (CARVALHO, 2008). A caracterização, classificação e medição de sedimentos são importantes para o monitoramento de bacias hidrográficas e, conseqüentemente, essenciais para a gestão de recursos hídricos. Também são pré-requisitos para o monitoramento as etapas de amostragem, coletas no campo e análise em laboratório.

Atividades desenvolvidas durante o estágio curricular tiveram relação constante com os conceitos referidos anteriormente. As práticas de laboratório visaram o processamento e a análise de amostras de solo e sedimentos em suspensão. Ao longo do processo, foi possível estabelecer relações com tópicos abordados em diversas disciplinas da graduação em Agronomia, tais como “Física do solo”, “Manejo de recursos hídricos”, “Manejo e conservação dos solos” e “Hidrossedimentologia para pequenas bacias”.

O estágio acadêmico foi desenvolvido no Laboratório de Sedimentos do Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul entre os dias 23 de agosto de 2021 e 3 de dezembro de 2021, totalizando 300 horas de duração. Foram realizadas análises granulométricas e análises de concentração de sedimentos em suspensão obtidas em uma

pequena bacia de estudo. As amostras foram coletadas na bacia hidrográfica do arroio Baio, situada no nordeste do Rio Grande do Sul, no município de São Francisco de Paula.

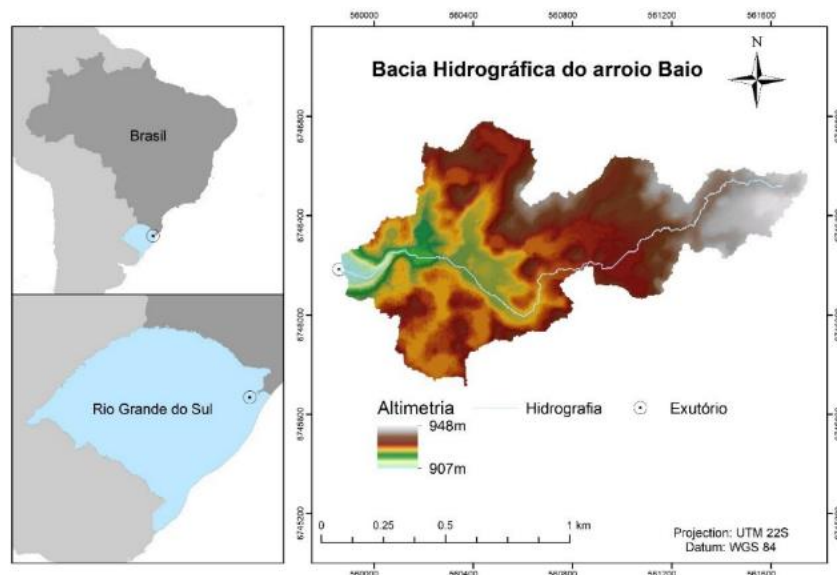
A experiência no Laboratório de Sedimentos teve como objetivo aplicar metodologias de amostragem e análise sobre coletas de solo e de mistura água-sedimentos. Foram realizados procedimentos de preparação das amostras, pré-requisitos para as análises granulométricas e para as análises de determinação de concentração de sedimentos. As análises realizadas tiveram como base os métodos de peneiramento e pipetagem, para as análises granulométricas e o método de filtração e evaporação, para as análises de concentração de sedimentos em suspensão.

Conjuntamente às coletas, um evento hidrológico foi monitorado na bacia, utilizando sonda multiparamétrica. O monitoramento permitiu obter um conjunto de dados que abrangeu todo o evento. As informações obtidas permitiram caracterizar a histerese entre concentração de sólidos em suspensão (CSS) e vazão (Q) para o evento. Padrões de histerese representam a velocidade de mobilização e transferência dos sedimentos na bacia, tendo possível influência de práticas de manejo e conservação de solos.

2. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO E SOCIOECONÔMICO DA REGIÃO DE REALIZAÇÃO DO TRABALHO

As atividades do estágio acadêmico foram desenvolvidas a partir de um conjunto de amostras de solo e amostras de mistura água-sedimentos, coletadas na bacia hidrográfica do arroio Baio (0,89km²). A bacia está localizada em uma altitude superior a 900m, com relevo ondulado, situada no nordeste do Rio Grande do Sul, município de São Francisco de Paula (ABATTI, 2021). O arroio Baio (Figura 1) é uma sub-bacia de cabeceira do rio Mascarada, afluente do rio dos Sinos (Anexo A). Devido à posição no relevo, representa a condição de outras pequenas sub-bacias que alimentam rios de maior porte.

Figura 1. Localização da bacia do arroio Baio



Fonte: (ABATTI, 2021)

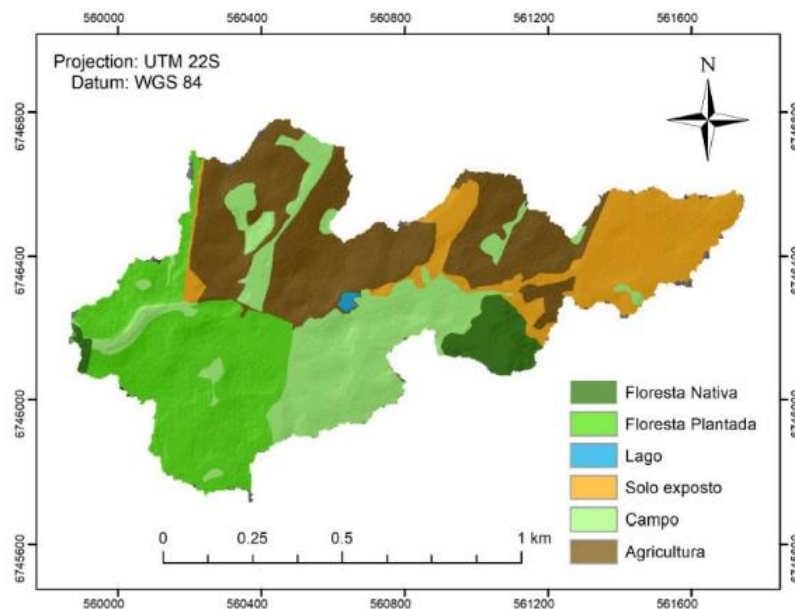
Constituída geologicamente por derrames vulcânicos da Formação Serra Geral, a região é considerada uma das mais frias do Brasil, com registro de temperaturas negativas no inverno. A cobertura vegetal do solo apresenta predominância de campos limpos, capões de matas de araucária e atividade agrícola (culturas anuais e silvicultura) (DANTAS et al., 2010). Os solos são caracterizados por elevada presença de matéria orgânica, elevado teor de argila e baixa densidade aparente (DÜMIG et al., 2008), classificado taxonomicamente como Cambissolo húmico com profundidades de 1 a 2 metros (KÄMPF et al., 2008; GPDEN/SEMA, 2017).

O clima da região é caracterizado como tipo Cfb, úmido e sem períodos de secas. A região está em uma zona com precipitação média anual de mais de 2250 mm, a mais alta do sul do Brasil (BEHLING et al. 2001). Este alto volume de chuva se deve especialmente ao planalto

meridional formar barreiras orográficas, induzindo chuvas localmente intensas (WOLLMANN e GALVANI, 2012).

A cobertura vegetal originária apresenta um avançado grau de degradação. A região tem sido submetida ao desmatamento, perda de diversidade de espécies arbóreas e campestres nativas ao longo do século XX. Tal fato motivou a fundação da Floresta Nacional de São Francisco de Paula (FLONA-SFP). O principal objetivo da FLONA-SFP é promover o uso múltiplo sustentável dos recursos florestais e pesquisa científica, com ênfase em recursos florestais e manejo dos recursos hídricos (ABATTI, 2021).

Figura 2. Classes de uso do solo na bacia do Arroio Baio



Fonte: (ABATTI, 2021)

A bacia do arroio Baio (Figura 2) é caracterizada por um mosaico de mata nativa (5%), campos (*grassland*) (24%), atividades agrícolas (29%) (e.g. soja e batata) áreas de silvicultura de *Araucaria angustifolia* e grande quantidade de arbóreas exóticas como *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp. Apesar de apresentar grande parte da sua área com cultivo de árvores exóticas (25%) e todos os impactos decorrentes dessa atividade, conserva alta diversidade ecológica, especialmente devido ao manejo florestal realizado pela FLONA-SFP (ABATTI, 2021).

3. CARACTERIZAÇÃO DA INSTITUIÇÃO DE REALIZAÇÃO DO TRABALHO

O Laboratório de Sedimentos está localizado no Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), no Campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), localizado em Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. Tem como objeto a realização de análises de sedimentos, visando atender projetos de pesquisa vinculados ao IPH e demais unidades acadêmicas da universidade, bem como dissertações de mestrado, teses de doutorado, além de prestar serviços para a comunidade e contribuir para formação profissional de estudantes de graduação em cursos diversos e técnicos em hidrologia e hidrometria.

Quanto à infra-estrutura (Apêndice A), o laboratório de Sedimentos conta com sala de pesagem e análises (método da pipetagem), sala de processamento de amostras de análises granulométricas, laboratório com bancadas de trabalho e gabinetes funcionais. Os equipamentos disponíveis no laboratório atendem a todas as etapas de preparação, processamento e análise das amostras de solo e mistura água-sedimento. A descrição dos equipamentos, insumos materiais e formas de utilização será realizada de acordo com o detalhamento das atividades.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Hidrossedimentologia

Sedimento é a partícula derivada da rocha ou de materiais biológicos que pode ser transportada por fluido, um material sólido em suspensão na água ou depositado no leito (MICHEL, 2020). A sedimentologia é a área que realiza estudos sobre sedimentos, tendo forte relação disciplinar com a geologia, pois depende da compreensão de processos geomorfológicos, especialmente sobre rochas sedimentares. É também área de interesse comum a diversos campos da engenharia de obras civis, das ciências agrárias e ambientais (CARVALHO & STRASSER, 2019).

A hidrossedimentologia é uma ciência que busca a compreensão da interação entre processos hidrológicos e processos sedimentológicos na bacia hidrográfica, em diferentes escalas temporais e espaciais (ZANANDREA, 2017). Dentre os processos estudados pela hidrossedimentologia estão o destacamento, em que material terroso ou rochoso é desgastado, desagregado e removido de algum lugar da superfície do solo (MICHEL, 2020). A região alta da bacia é a área de maior fonte de sedimentos; a região média da bacia caracteriza uma área de transferência com formação de braços do rio e de meandros; a parte baixa da bacia, mais próxima ao exutório, apresenta menor ocorrência de erosão e maior formação de depósitos sedimentares (CARVALHO & STRASSER, 2019).

A erosão hídrica é um processo natural sujeito a grande influência da ação humana, sendo desencadeada pelo desgaste das rochas e desagregação do solo, associado ao deslocamento das partículas por ação da água. Devido a intensidade com que ocorre, muitos problemas decorrem da erosão acelerada, dentre os quais: empobrecimento da fertilidade do solo, deterioração de parâmetros físicos essenciais ao desenvolvimento das plantas, produção excessiva de sedimentos, liberação de poluentes químicos, assoreamento de reservatórios e barragens e eventos extremos de consequências destrutivas. Dentre os fatores que influenciam na erosão, pode-se destacar precipitação, escoamento superficial, cobertura do solo, geomorfologia, conformação da superfície e características dos sedimentos (CARVALHO, 2008). Quando ocorre erosão, o sedimento é transportado sob diferentes quantidades de massa e energia, ficando parte na superfície, em áreas planas e depressões, e parte vai para os cursos fluviais. Nos fluxos d'água o transporte de sedimento é mantido de acordo com a energia disponível, normalmente associada à declividade. Erosão fluvial é um processo deflagrado por energia disponível além da carga de sedimentos, tendo potencial de erodir o embasamento e as margens

do canal. A deposição ocorre quando não há energia disponível no canal para manter o sedimento em movimento (CARVALHO & STRASSER, 2019).

4.2 Padrões de histerese

Eventos de chuva-vazão podem gerar escoamento superficial, acúmulo de água em depressões e infiltração no solo, entre outros. A maior distância ou proximidade entre os picos hidrológicos, em hidrogramas, e sedimentológicos, em sedimentogramas, monitorados em eventos podem ser explicados pela distribuição dos sedimentos ao longo das diferentes áreas da bacia e dos trechos do rio. Este fato tem implicações relevantes para o entendimento e para a descrição dos processos erosivos e de produção de sedimentos em bacias, uma vez que padrões podem ser avaliados pelas características da histerese entre concentração de sólidos em suspensão (CSS) e a vazão (Q) (MINELLA et al., 2012).

A antecipação do pico de sedimentos representa uma situação em que a fonte geradora de sedimentos está localizada mais próxima do ponto de monitoramento, gerando um padrão de histerese cuja representação gráfica se assemelha a um laço orientado no sentido horário. Nessa situação o sedimentograma apresenta ascensão, valor máximo e declínio antecedendo o ponto de pico do hidrograma. A situação inversa, observada no evento monitorado na bacia de estudo, é representada pelo atraso do pico de sedimentos, em que o ápice e recessão do hidrograma se dá antes do ápice e recessão do sedimentograma, gerando um padrão de histerese cuja representação gráfica se assemelha a um laço orientado no sentido anti-horário e sugerindo que a fonte geradora de sedimentos está localizada em um local mais distante do ponto de monitoramento (CARVALHO & STRASSER, 2019; MICHEL, 2020). O terceiro padrão de histerese existente é o laço em forma de “oito”, caracterizado pela ocorrência concomitante dos padrões horário e anti-horário, em que a CSS observada assume comportamentos complexos, ocorrendo descarga de sedimentos oriundos de diversos locais e chegando no ponto de monitoramento em diferentes tempos. Minella et al. (2012) ao comparar histerese de CSS e Q monitorando eventos de precipitação-vazão separados em duas fases distintas em relação ao manejo do solo (com e sem a utilização de práticas conservacionistas de solos) constataram que o uso de práticas conservacionistas reduziu a mobilização e aporte de sedimentos para a calha fluvial.

4.3 Coletas e análises de amostras

O contexto da bacia hidrográfica em que foram coletadas as amostras de solo e mistura água-sedimento está caracterizado em dissertação de mestrado (ABATTI, 2021) sobre índice de conectividade hidrossedimentológica aplicado à bacia hidrográfica do arroio Baio, localizado em São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul, Brasil.

Guy (1969) estabeleceu o referencial metodológico para procedimentos de amostragem, coleta e análise laboratorial de amostras de água-sedimento. A Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) publicou o “Guia de Práticas Sedimentométricas”, elaborado por Carvalho et al. (2000), que tem servido como referência para os principais laboratórios de hidrometria e sedimentometria no Brasil.

A padronização de classes das frações granulométricas pode ser caracterizada de acordo com dois sistemas de referência: padrão ABNT (NBR 7181/2018) ou série Tyler. “Tyler Standard Screen Scale Sieve Series” ou “US Standard Sieves” é um padrão adotado pelo United States Geological Survey (USGS) e adotado oficialmente no sistema de medidas dos Estados Unidos (SHREVE & DOWNS, 2005). O padrão utilizando as escalas Mesh/Tyler foi difundido em diversos países, tendo ampla utilização nos laboratórios de hidrometria, sedimentometria e análises de solo no Brasil.

O agrupamento e classificação de classes texturais é outro produto de informação obtido a partir da análise granulométrica. Com a informação das classes texturais (areia, silte, argila) é possível realizar o enquadramento no Triângulo Textural de Feret (Anexo B). Serão apresentadas, do maior diâmetro para o menor, as faixas de classificação: areia, areia franca, franco arenoso; franco; franco-siltoso; franco-argiloso; franco-argiloso-siltoso; argiloso-siltoso; argiloso e muito argiloso.

A textura é compreendida por três conjuntos de classes de partículas minerais definidas em função de seu diâmetro: areia, silte e argila. A fração areia é composta de partículas oriundas de rochas degradadas. São grânulos com diâmetro compreendido entre 64 μm e 2mm, segundo a escala de Wentworth (Anexo C). É importante ressaltar que pode haver variações nos limites das faixas granulométricas a depender da metodologia utilizada. A fração silte contém os grânulos menores que areia fina e maiores que argila. A argila compreende a faixa de menor diâmetro de partícula, sendo caracterizada por materiais com granulação muito fina.

5. ATIVIDADES REALIZADAS

5.1 Recebimento e identificação de amostras

A primeira etapa do fluxo de trabalho envolveu o recebimento das amostras (Figuras 3 e 4). No ato de recebimento, sempre com a utilização de EPI's (equipamentos de proteção individual, tais como máscaras, jaleco, luvas e óculos protetores) foram verificadas as condições de armazenamento e conservação das amostras, se não havia vazamentos ou dano às etiquetas de identificação. Checou-se também a presença de informações mínimas, tais como: identificação da estação fluviométrica correspondente e hidrometrista responsável. As amostras foram classificadas de acordo com o tipo de análise a ser realizada: determinação de massa de sedimentos pelos métodos de filtragem e evaporação, análise de granulometria pelo método de peneiras e pipetagem ou granulometria por laser (método expedito). As análises foram processadas no menor tempo possível, para evitar mudanças de suas características.

Fig. 3: Recebimento de amostra



Fig. 4: Disposição das amostras em bandejas



Fonte: (KAMINSKI, 2018)

As amostras destinadas a determinação de massa de sedimentos foram identificadas e pesadas logo que chegaram ao laboratório, pois o armazenamento prolongado antes do processamento pode levar a perda de conteúdo de água por evaporação (CARVALHO, 2000). As amostras seguem fluxos distintos de processamento (GUY, 1969), a depender de sua classificação como amostras de material em suspensão, sedimento do leito ou amostras de solo. Para as análises granulométricas, o recebimento também exige a conferência de identificação da coleta, posteriormente realizando acondicionamento em bandejas e o registro em planilha própria.

5.2 Análises granulométricas

5.2.1 Preparação de amostras

As amostras destinadas a análise granulométrica, em bandejas, foram levadas a estufa (Figura 5) com controle de termostato ajustado para secagem a uma temperatura não superior a 100 °C. Após a remoção da umidade, as amostras foram destorroadas e pesadas, visando obter o peso bruto da amostra.

Fig. 5: Acondicionamento das amostras na estufa



Fig. 6: Instrumento quarteador de amostras



Fonte: (KAMINSKI, 2018)

Quando houve material em excesso que pudesse danificar os conjuntos de peneiras foi realizado o quarteamo da amostra, procedimento que consiste em depositar o total da amostra em um separador mecânico manual (Figura 6) dividindo-a em partes iguais até reduzir a uma quantidade suficiente para as análises. O número de procedimentos de quarteamo de amostra foi registrado em planilha para correção no cálculo analítico.

Ao trabalhar com amostras de solo ou materiais de granulometria fina, foi realizada a eliminação da fração orgânica (Figuras 7 a 10). A remoção da matéria orgânica exige a dissolução das amostras em béqueres com adição de água destilada e Peróxido de Hidrogênio 35% (H_2O_2). Diferentemente das amostras de solo, as amostras de leito de rio, por serem constantemente submetidas a lavagem, não apresentam teor de matéria orgânica significativo. Os béqueres foram colocados em chapas aquecedoras, para acelerar a oxidação de matéria orgânica na forma de gás carbônico (CO_2).

Fig. 7: Destorroamento manual das amostras



Fig. 8: Adição de água destilada nas amostras

Fig. 9: Adição de Peróxido de Hidrogênio (H_2O_2) para promover oxidação da matéria orgânicaFig. 10: Aquecimento da amostra para acelerar liberação do CO_2 .

Fonte: Acervo do autor (2021)

Após a eliminação do conteúdo orgânico, foi necessário remover a agregação residual existente entre as partículas minerais. Para tanto usou-se solução Calgon (mistura dos sais hexametáfosfato de sódio $[(NaPO_3)_6]$ e carbonato de sódio $[Na_2CO_3]$). A solução Calgon é um efetivo agente defloculante, quando adicionado à amostra e submetido a agitação mecânica por 12 horas. Considerado essencial para a correta determinação do tamanho dos grânulos presentes nas amostras, o volume de solução Calgon foi descontado em etapa posterior, durante os cálculos analíticos.

5.2.2 Método de separação por peneiras

A aplicação do método de separação por peneiras consistiu em uma operação mecânica que promoveu o transporte da amostra sobre um conjunto de peneiras com malhas de tamanhos diversos. O resultado foi a separação dos materiais por diferença de diâmetro, constituindo faixas de tamanho padronizado. Os conjuntos de peneiras utilizados são padronizados,

modulares e dispostos em série (colunas), podendo ser encaixados e acoplados com as malhas dispostas do maior para o menor diâmetro, tendo ao fim uma bandeja para recolher os materiais particulados finos que atravessaram a coluna de peneiras sem sofrer retenção.

Há duas formas de procedimento utilizadas no método de separação por peneiras. Na chamada “via úmida” a amostra passou sobre o conjunto de peneiras, adicionando-se água destilada para promover a passagem das partículas mais finas (<0,063mm). As partículas mais finas ficaram armazenadas em uma bandeja de fundo e foram analisadas utilizando-se o método da pipeta ou densímetro, que visaram classificar a granulometria do material particulado fino. Parte do material acumulado nesta bandeja ainda foi enquadrado como “areia fina”, tendo sido recuperado esse valor residual, através dos cálculos analíticos, à faixa granulométrica correspondente.

Na forma de procedimento “via seca”, após secagem em estufa e preparação, as amostras foram colocadas nos conjuntos de peneiras para análise granulométrica. Nas duas formas as quantidades de amostra retidas em cada peneira foram pesadas e anotadas. Esse dado permitiu determinar a porcentagem de cada diâmetro correspondente a cada faixa, obtida com a divisão pelo peso total da amostra.

A primeira classificação de tamanho das partículas consistiu em realizar a “catação e peneiramento grosso”, separando o limiar das partículas maiores e menores que 4 mm de diâmetro. A amostra destorroada foi colocada em peneira de malha de 4 mm e as frações correspondentes tiveram seu peso aferido novamente. Os dados foram registrados em planilha para posterior elaboração dos cálculos de análise granulométrica.

Os conjuntos de peneiras (Figuras 11 a 15) foram distribuídos em três grupos: de 26,67 mm de diâmetro até 5mm, de 2,83 mm até 0,5 mm e de 0,35 mm até 0,063 mm. Os materiais com diâmetro superior a 4mm, separados na etapa do “peneiramento grosso” foram colocados no primeiro conjunto de peneiras (26,63 mm a 4 mm de diâmetro). Quando há partículas com diâmetro superior a 26,67 mm, é realizada a medição individualizada com uso de paquímetro (Figura 16). O material abaixo de 4mm de diâmetro foi passado pelo segundo conjunto de peneiras (2,83mm até 0,5mm), colocando-o no agitador mecânico pelo período de 5 minutos.

Fig. 11: Peneiras para análise granulométrica



Fig. 12: Conjunto de peneiras no baterdor-agitador



Fig. 13: Amostras em peneiras de diferentes diâmetros



Fig. 14: Amostra separada na peneira



Fig. 15: Amostras classificadas para pesagem



Fig. 16: Medição de partículas grandes com paquímetro



Fonte: (KAMINSKI, 2018)

Cada fração retida nas peneiras foi acondicionada em potes previamente identificados e numerados, anotando a classificação granulométrica correspondente conforme indicado na planilha de análise. O material que ultrapassou a peneira de diâmetro de 0,5mm e ficou retido na bandeja foi transportado para o terceiro conjunto de peneiras (com faixa de granulometria correspondente a 0,35 mm de espessura até 0,063 mm), novamente colocando-o no agitador mecânico pelo período de 5 (cinco) minutos. As porções de material retido nas malhas das peneiras foram colocadas em potes numerados e ordenadas de acordo com a granulometria decrescente, de forma a manter organização na hora de realizar a pesagem de cada fração.

Para determinar cada uma das porções das frações granulométrica, utilizou-se uma relação de proporcionalidade (X_i), considerando a massa da amostra retida na peneira (m_i) e a massa total da amostra (M):

$$X_i = \frac{m_i}{M}$$

5.2.3 Método de separação por pipetagem

O método de separação por pipetagem (também chamado método da pipeta) analisa os sedimentos pela diferença nas velocidades de precipitação dos sólidos em um meio fluido. O material na bandeja de retenção do último conjunto de peneiras (com diâmetro inferior a 0,063 mm) foi analisado através deste método, que pode ser considerado um auxiliar para determinar a granulometria de partículas sólidas finas. Os instrumentos (figuras 17 a 20) para realizar a análise por este método incluíram provetas de 1000 ml e pipetas de 20ml. As amostras continham massa entre 3 e 10 gramas, em que a massa excedente era reservada caso houvesse necessidade de reanálise.

Conforme referido e ilustrado com imagens no item “preparação das amostras”, os materiais de granulometria fina foram submetidos a um processo prévio de eliminação do conteúdo orgânico utilizando Peróxido de Hidrogênio e alta temperatura. O material isento de matéria orgânica foi transferido para uma proveta com 1000 mL de capacidade, foi acrescentado 100 mL do agente dispersante (solução calgon) e adicionado volume suficiente de água destilada até a solução atingir 900 mL. As amostras foram então levadas para a sala de pipetagem, aonde sofreram agitação, foram tampadas e permaneceram em repouso durante 24 horas.

Fig. 17: Organização das amostras para pipetagem.



Fig. 19: Procedimento de pipetagem



Fig. 18: Preparação para pipetagem.



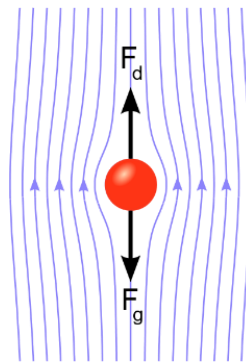
Fig. 20: Coleta sendo realizada através da pipeta



Fonte: (KAMINSKI, 2018)

A fundamentação para realizar o método da pipetagem é dada pela lei de Stokes (Figura 21) (BATCHELOR, 1967). Há forças atuantes sobre as partículas que são consideradas na equação de Stokes: a gravitacional (força de atração exercida pelo centro gravitacional da Terra), de flutuação (exercida pelo fluido sobre o corpo imerso) e a de arraste (resistência ao movimento de um objeto em um meio fluido). A primeira força, a gravitacional, tem sentido descendente, as forças de flutuação e de arraste tem sentido ascendente.

Fig. 21: Forças atuantes sobre uma esfera no fluxo de Stokes



Fonte: (BATCHELOR, 1967)

A lei de Stokes considera que as partículas apresentam velocidade uniforme e realizam movimento retilíneo e descendente, sendo expressa como uma equação que relaciona o tamanho de uma partícula sólida (sedimento) à velocidade da sua precipitação em um meio fluido:

$$V_s = \frac{F_g * (D_p - D_f) * d^2}{18 * \mu}$$

Considerando:

V_s = velocidade da partícula, em m/s;

F_g = aceleração da gravidade, em m/s²;

D_p = densidade da partícula, em kg/m³;

D_f = densidade do fluido, em kg/m³;

d = diâmetro da partícula, em m.

μ = viscosidade dinâmica, em kg/m.s

O primeiro procedimento para realizar a análise de pipetagem foi verificar a temperatura da água destilada no ambiente da sala de pipetagem. A variação da temperatura da água interfere diretamente no valor de parâmetros que compõem a lei de Stokes. Foi adicionado 100 mL de água destilada na mesma temperatura até completar 1000 mL na proveta. Verificou-se então o

nível de água (NA) com a pipeta, considerando que o nível determina as profundidades de coleta nos respectivos tempos. A tabela de referência (Anexo D) forneceu as informações obtidas através da lei de Stokes, utilizadas para determinar os tempos da pipetagem.

Com essas informações, foi determinado, para uma dada temperatura, em quanto tempo e em qual profundidade devia ser retirada alíquota da amostra. Cada alíquota referente a um tempo de decantação foi colocada nos béqueres previamente identificados e organizados em ordem. Béqueres contendo as novas amostras (Figuras 22 e 23) foram colocados na estufa, com temperatura de aproximadamente 100°C até completa secagem. Após retirada da estufa, ainda foram acondicionados no dessecador com sílica por uma hora, para evitar reabsorção de umidade do ambiente.

Fig. 22: Béqueres sob secagem em estufa

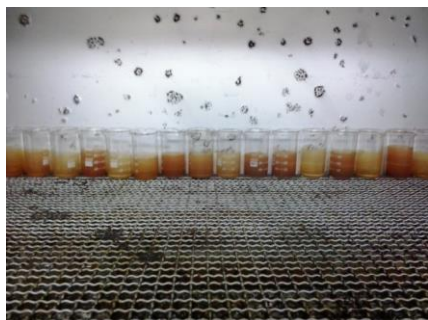


Fig. 23: Béqueres no dessecador com sílica



Fig. 24: Pesagem na balança analítica



Fig. 25: Material das amostras após pesagem



Fonte: (KAMINSKI, 2018)

Todas as coletas realizadas pelo método da pipetagem (Figuras 24 e 25) foram pesadas em balança analítica e tiveram os valores de peso anotados na planilha (apêndice B). O procedimento foi repetido para todos os béqueres com as amostras, tomando notas na respectiva planilha de granulometria. Ao final, foi gerado um gráfico com a curva granulométrica, descrevendo visualmente as proporções percentuais de cada fração e foi produzido um laudo descritivo com os resultados da análise granulométrica.

Para determinar a concentração de sedimentos, os dados obtidos com o método das peneiras e da pipetagem foram consolidados. Cálculos de correção foram realizados para corrigir o peso de recipientes (tara), distribuir o residual da fração granulométrica ($>0,063\text{mm}$ obtido no método da pipetagem) que eventualmente precisava ser redistribuído. O peso correspondente ao agente dispersante (solução calgon) também foi descontado, sempre considerando a proporcionalidade caso tenha sido realizado quarteamento de amostra. A disponibilidade de todos os dados obtidos pela análise permitiu registrar o peso das amostras, de acordo com seus respectivos diâmetros. A representação gráfica da distribuição da granulometria foi apresentada através de curva granulométrica (Apêndice D).

5.3 Análise de concentração de sedimentos em suspensão

A concentração de sedimentos em suspensão (CSS) foi obtida através da aplicação do método de filtração e evaporação. O método consiste na determinação da massa de sedimentos em uma amostra de solução água-sedimento realizando a passagem da água através de um filtro de celulose, retendo os sólidos (sedimentos) na membrana de peso conhecido. A obtenção desses dados permite a avaliação do transporte de sedimentos realizado até o ponto de controle, sendo importante para estimar sua influência sobre fenômenos ambientais. O assoreamento de reservatórios e barragens pode ser medido através da análise de CSS, bem como a sua variação influencia elementos bióticos e abióticos da paisagem, desde a interferência na reprodução de espécies até a variação da luminosidade refletida devido à diferença de sedimentos em suspensão no corpo hídrico.

A realização da filtração e o impedimento da reabsorção de umidade são requisitos para determinar corretamente os valores de CSS. Os filtros-membrana de celulose e respectivos potes tiveram sua umidade removida em estufa e o peso aferido antes da filtração. O conjunto de filtração (Figuras 26 a 29) foi operado em conjunto com uma bomba de vácuo, que exerce pressão negativa sobre o sistema, facilitando a passagem da água pela membrana de celulose. Há um limite para a pressão que pode ser aplicada sobre a membrana, dependendo de especificações do material filtrante, o qual apresenta risco de que os sólidos promovam pequenas fissuras e ultrapassem o filtro. A massa de sedimentos retida sobre a membrana foi determinada e o peso dos recipientes descontado do cálculo de concentração (Apêndice E).

Fig. 26: Bomba de vácuo



Fig. 27: Conjunto de filtragem



Fig. 28: Conjunto de equipamentos de filtragem



Fig. 29: Amostra de sedimento sobre membrana



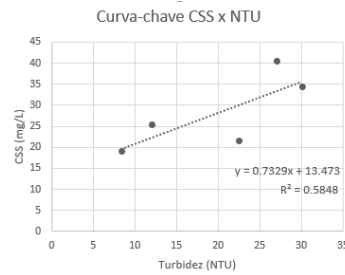
Fonte: Acervo do autor (2021).

5.4 Caracterização da histerese entre vazão e concentração de sedimentos

Na ocasião da coletas de amostras de sedimentos em suspensão, um evento hidrológico foi monitorado na bacia, utilizando sonda multiparamétrica Horiba U-50PC (Figura 30) (Anexo D). O monitoramento forneceu um conjunto de dados com resolução temporal de um minuto, através de um monitoramento programado de 17 horas de duração, abrangendo todo o evento. As informações obtidas permitiram caracterizar a histerese entre concentração de sólidos em suspensão (CSS) e vazão (Q) para o evento. Padrões de histerese representam a velocidade de mobilização e transferência dos sedimentos na bacia, tendo possível influência de práticas de manejo e conservação de solos.

Os dados de concentração de sedimentos em suspensão (CSS), obtidos em laboratório, e as unidades nefelométricas de turbidez (NTU), medidas pela sonda durante evento, referem-se aos sedimentos e devem apresentar evolução semelhante. A curva-chave “CSS x NTU” (Figura 30) possibilitou obter equação linear, que caracteriza uma linha de tendência relacionando as medidas de CSS e NTU.

Fig. 30: Curva-chave “CSS x NTU”



Fonte: Elaboração do autor

O coeficiente de determinação (r^2) obtido para a função foi 0,5848, indicando que o modelo de regressão linear ajusta de forma adequada aproximadamente 60% do conjunto de dados obtidos, o que pode ser considerado um modelo pouco desenvolvido para ser utilizado na prática.

Dados de vazão foram registrados (Figura 31) durante as cinco coletas de mistura água-sedimentos realizadas. A vazão máxima medida durante coleta foi às 19:14 e a máxima CSS medida ocorreu às 21:45, caracterizando um atraso do pico do sedimentograma em relação ao hidrograma. Os baixos valores de vazão indicam que o evento foi de pequena magnitude. É importante considerar que eventos de maior vazão ou conjunto de sucessivos eventos de vazão variável podem desencadear outros processos hidrossedimentológicos e influenciar o comportamento dos sedimentos na bacia.

Fig. 31: Série de vazão e CSS

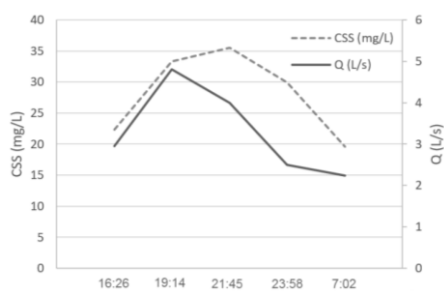
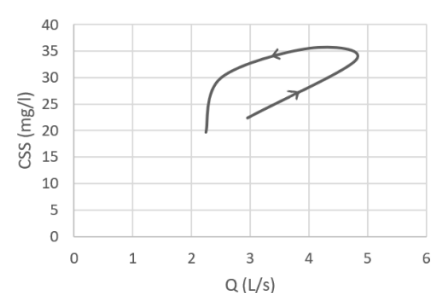


Fig. 32: Padrão de histerese do evento



Fonte: Elaboração do autor

O padrão observado no evento monitorado foi caracterizado pelo atraso do pico de sedimentos, em que o ápice e recessão do hidrograma se deu antes do ápice e recessão do sedimentograma. Essa condição gerou um padrão de histerese cuja representação gráfica (Figura 32) se assemelhou a um laço orientado no sentido anti-horário, sugerindo que a fonte geradora de sedimentos estava situada em ponto mais distante do ponto de monitoramento.

6. DISCUSSÃO

Nos procedimentos de preparo de amostras, a etapa de facilitar oxidação da matéria orgânica presente em amostras de solo com adição de peróxido de hidrogênio e elevação de temperatura apresentou algumas dificuldades para as amostras com maior teor de carbono orgânico. A rápida liberação de CO₂ promove borbulhamento e expansão de volume da amostra, sendo reduzida pela adição de álcool etílico hidratado com borrifador. Essa condição exige o monitoramento constante do laboratorista, ocasionando atraso de outras atividades. A solução utilizada para as análises realizadas foi dividir o volume das amostras em béqueres de 1000 ml disponíveis no laboratório. A mudança mais resolutiva seria a aquisição e utilização de béqueres com maior volume (3000 ml), para processar amostras com elevado teor de carbono orgânico.

Os resultados das análises que tiveram como produto de informação a curva-chave relacionando concentração de sedimentos em suspensão (CSS) e turbidez (NTU) apresentaram coeficiente de determinação (r^2) considerado baixo, indicando que o modelo de regressão linear não ajusta os conjuntos de dados de forma acurada e sendo, portanto, um modelo ainda pouco desenvolvido. O monitoramento de maior número de eventos de chuva-vazão poderá fornecer dados para construir uma curva-chave mais representativa. É importante considerar também que eventos de maior vazão, duração ou conjunto de sucessivos eventos de vazão variável podem desencadear outros processos hidrossedimentológicos, como o transporte de sedimentos localizados em pontos mais distantes na bacia ou sedimentos localizados no leito do canal, influenciando o comportamento dos sedimentos na bacia e produzindo outros tipos de padrão de histerese. Essa possibilidade reafirma a necessidade de monitorar mais eventos, considerando variações de vazão e duração entre eles.

Os métodos utilizados para análise de granulometria e de concentração de sedimentos podem ser classificados como convencionais. Para determinação da granulometria de areias foi utilizado o método do peneiramento, para as partículas finas usou-se método da pipetagem. Há equipamentos automáticos para uso analítico, já utilizados no Brasil, como o turbidímetro, para análise de concentração, e tecnologia de difração a laser (CHRISTOFOLETTI, 2017) para determinar granulometria.

A utilização de equipamentos automáticos pode aumentar a eficiência na aquisição de dados. De acordo com Carvalho (2000), equipamentos automáticos já constavam de manuais

técnicos institucionais, mas não eram utilizados nos serviços regulares de sedimentometria. Nos últimos vinte anos, houve significativo avanço tecnológico e redução nos custos de produção de componentes eletrônicos avançados, contudo o acesso a peças de reposição e serviços de manutenção (muitas vezes localizado no exterior) exige maior disponibilidade de recursos financeiros. Ainda que se considere a eficiência dos métodos automáticos, a manutenção de metodologias e equipamentos tradicionais é justificada, tendo a função de complementar e validar dados obtidos através de sondas multiparamétricas, como a utilizada nas coletas de campo.

A análise da concentração de sedimentos em suspensão (CSS) obtida em laboratório apresentou resultados com evolução similar à turbidez medida no ponto de controle pela sonda multiparamétrica. O monitoramento de um único evento contudo não permitiu conclusões sobre o comportamento da bacia de estudo ou a elaboração de um modelo hidrossedimentológico, mas cumpriu papel de aprendizagem e compreensão de conceitos e metodologias aplicáveis.

Minella et al. (2012) monitoraram um conjunto de eventos e caracterizaram distintos padrões de histerese, estabelecendo relação entre práticas conservacionistas e produção de sedimentos na bacia hidrográfica. Foram monitorados 16 eventos de precipitação-vazão, separado-os em duas fases distintas em relação ao manejo do solo: na primeira fase não houve utilização de práticas conservacionistas de solo, atingindo valor médio de produção de sedimentos de 150 toneladas anuais por quilômetro quadrado. Na segunda fase, monitorou-se eventos, na mesma área, após adoção de práticas de cultivo mínimo em tabaco (forma de manejo conservacionista de solo). Nessa condição o valor médio de produção de sedimentos atingiu 60 toneladas anuais por quilômetro quadrado. A comparação entre as fases de manejo demonstra que o uso de práticas conservacionistas reduziu mobilização e aporte de sedimentos para a calha fluvial e que os índices medidos de histerese foram maiores para a fase do manejo conservacionista, indicando um maior atraso no aporte de sedimentos na calha do rio.

A realização de monitoramento hidrossedimentológico de longa duração na bacia do arroio Baio poderá fornecer conjunto de informações para subsidiar trabalhos estimando o impacto de usos do solo, possibilitando quantificar a geração e o transporte de sedimentos e relacionar com os tipos de manejo de solos realizados nas áreas sob uso agrícola na bacia hidrográfica.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A distribuição espacial das classes de uso do solo observadas na bacia do Arroio Baio (Figura 2), considerando a proximidade entre o ponto de monitoramento e áreas de solo descoberto ou sob usos agrícolas, sugere a possibilidade de que tais áreas contribuam significativamente com a produção sedimentos, a depender das características dos eventos monitorados. Tal hipótese precisa ser confirmada em estudos futuros.

A pesquisa em hidrossedimentologia é fortemente baseada em dados coletados nas bacias hidrográficas, de forma que a qualidade das análises e dos modelos construídos depende da existência de uma infraestrutura de monitoramento, mantida por pesquisadores e colaboradores capacitados para operar equipamentos e realizar o monitoramento de forma regular. Um dos desafios percebidos é a gestão do monitoramento, que depende de operadores disponíveis com frequência, em particular durante a ocorrência de eventos hidrológicos.

O estágio acadêmico no Laboratório de Sedimentos foi de elevada importância para estabelecer novos conhecimentos e relações entre análise laboratorial de sedimentos e os estudos hidrológicos e sedimentológicos. A função didática do laboratório, como local de preparação profissional para técnicos hidrólogos, engenheiros ambientais e agrônomos deve ser equiparada à sua importância na prestação de serviços à comunidade e empresas. A universidade deve, portanto, compreender a importância de priorizar e aportar investimentos para manutenção e qualificação do laboratório, capacitando continuamente profissionais para atuar na rede de monitoramento hidrossedimentológico e de prevenção de catástrofes naturais no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABATTI, B. H. **Avaliação da conectividade hidrossedimentológica em uma pequena bacia do planalto dos Campos Gerais no Rio Grande do Sul**. 2021. (Dissertação de mestrado) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

ANDRADE, A. G.; FREITAS, P. L.; LANDERS, J. Aspectos gerais sobre o manejo e conservação do solo e da água e as mudanças ambientais. In: PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; ANDRADE, A. G. **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais**. 1. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010. p. 25-40.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181: Solos – Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, p. 12. 2018.

AZO MATERIALS. **Particle size - US Sieve Series and Tyler Mesh Size Equivalents**. Disponível em: <<https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=1417>>. Acesso em: 23 janeiro 2022.

BATCHELOR, G.K. **An introduction to fluid dynamics**. 1st ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1967.

CARVALHO, N. O.; STRASSER, M. **Curso de Hidrossedimentologia**. 1. ed. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2019.

CARVALHO, N. O. **Guia de Práticas Sedimentométricas**. 1. ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2000.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática**. 2 ed. Brasília: Editora Interciência, 2008.

CHRISTOFOLETTI, S. R.; MORENO, M. M. T. Granulometria por difração a laser e sua relação com a faciologia das rochas argilosas da Formação Corumbataí-SP. **Cerâmica**, São Paulo, v. 63, p. 303-310, jul./set. 2017.

DANTAS, M. E.; VIERO, A. C.; SILVA, D. R. A. A Origem das Paisagens. In: **BRASIL, CPRM – Serviço Geológico do**. Geodiversidade do estado do Rio Grande do Sul. p. 9-143. Porto Alegre: CPRM, 2010.

DECHEN, S. C. F.; TELLES, T. S.; GUIMARÃES, M. F.; DE MARIA, I. C.. Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. **Bragantia**, v. 74, n. 2, p.224-233, Campinas, 2015.

DÜMIG, A.; SCHAD, P.; KOHOK, M.; BEYERLEIN, P.; SCHWIMMER, W.; KÖGEL-KNABNER, I. A mosaic of nonallophanic Andosols, Umbrisols and Cambisols on rhyodacite in the southern Brazilian highlands. **Geoderma**. 145, n. 1-2, p. 158-173, Elsevier, 2008.

KAMINSKI, R. **Curso técnico em Hidrologia**. 2018. 38 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Hidrologia). Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

KÄMPF, N. Metodologia para classificação de solos quanto à resistência a impactos ambientais decorrentes da disposição final de resíduos. **Fepam em Revista**, v. 2, n. 1, p. 11-17, Porto Alegre, 2008.

MICHEL, G. P. “**Hidrossedimentologia para pequenas bacias (IPH02044)**”. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2020.

MORGAN, R. **Soil erosion and conservation**. 3rd ed. Oxford: Blackwell Publishing, 2005.

ESTADO RIO GRANDE DO SUL/SEMADS. **Diagnóstico preliminar (GT Rolante)**. 26p. Porto Alegre: DRH/SEMADS, 2017.

SHREVE, E.A.; DOWNS, A.C. **Quality-assurance plan for the analysis of fluvial sediment by the U.S. Geological Survey Kentucky Water Science Center Sediment Laboratory**. Kentucky: U.S. Geological Survey, 2005.

ZANANDREA, F. **Índice de conectividade hidrossedimentológica para bacias montanhosas**. 2020. (Tese de doutorado) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

ZANANDREA, F.; KOBAYAMA, M.; MICHEL, G. P. (2017). Conectividade hidrossedimentológica: uma abordagem conceitual. In: **Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Florianópolis: ABRH, 2017.

WENTWORTH, C. K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. **The Journal of Geology**, Chicago, v. 30, n. 5, p. 377-392, 1922.

WOLLMANN, C. A., GALVANI, E. Caracterização climática regional do Rio Grande do Sul: dos estudos estáticos ao entendimento da gênese. **Revista Brasileira de Climatologia**. v. 11, p. 87-103, dez. 2012.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Visão do Laboratório de Sedimentos



APÊNDICE B –Análise granulométrica para a amostra “P16” – método da pipeta



UFRGS – INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS LABORATÓRIO DE SEDIMENTOS

GRANULOMETRIA PELO PROCESSO DE PIPETAGEM

Bandeja: Q09

Becker: A61

Provetas: Z101

Analista: CÁSSIO MACHADO

Temperatura: 18°C

Local:

Data de análise:

Nome da amostra:

Peso inicial:

Tipo Amostra:

Material > 4,0mm:

Pirâmide textural:

Método:

Volume proveta:

Reaproveitamento de amostra:

Quarteador: 2X

Quantidade calgon: 0,0225g

Peso M.O.:

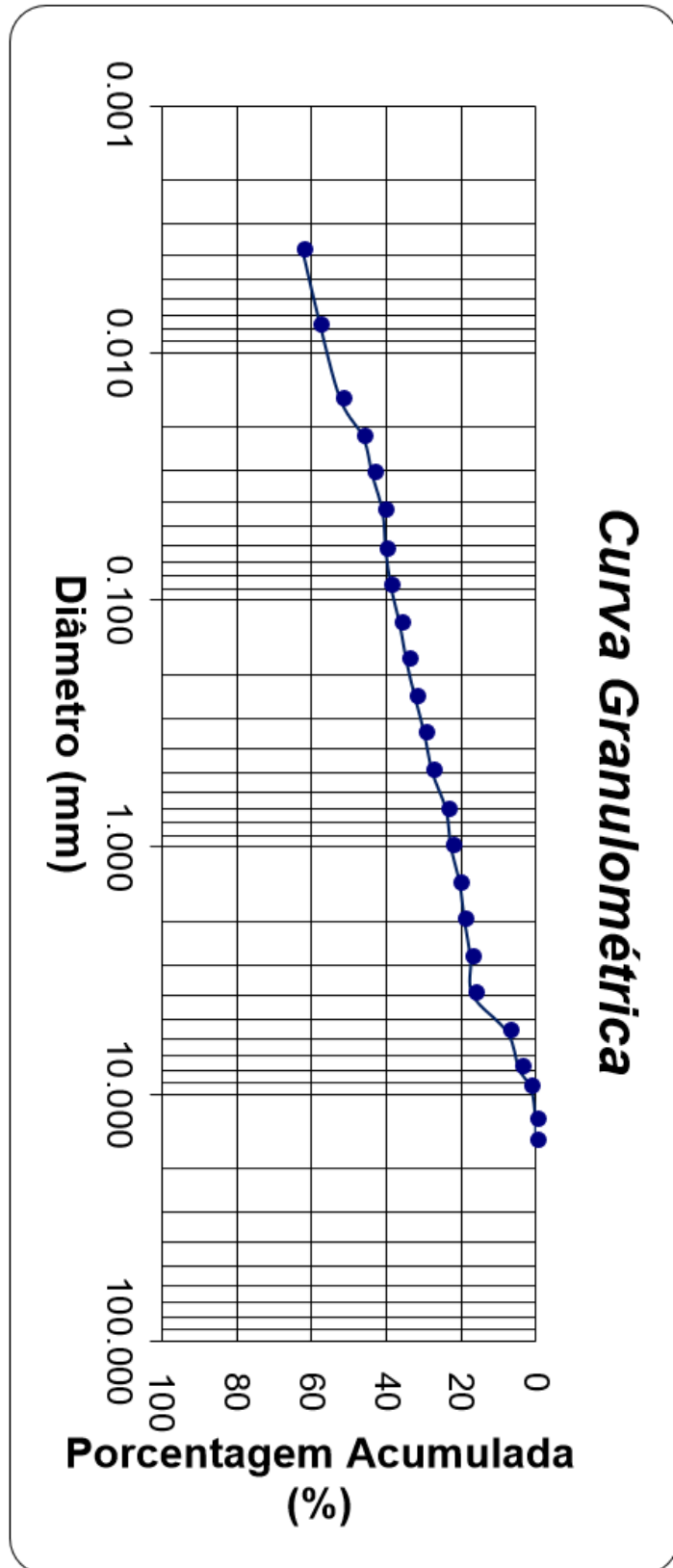
Separação:

Diâmetro	Tempo	Pa (cm)	nº do copo	Tara + sedimentos	Tara do copo	Sedimentos (g)	Disp.	Sedimentos (g)	Sedimentos X 200	Sedimentos (g)	Peso corrigido	Σ %	% por fração
0,06250	20"	20	125	38,2355	37,1447	1,0908	0,0225	1,0683	213,66	0,82	0,8537		
0,04420	200"	20	Z48	31,4956	30,4089	1,0867	0,0225	1,0642	212,84	2,88	2,9983		
0,03120	200"	10	X III	38,3736	37,3013	1,0723	0,0225	1,0498	209,96	9,96	10,3693		
0,02210	400"	10	Z3A	35,00744	34,0519	1,0225	0,0225	1,0000	200,00	8,44	8,7868		
0,01560	800"	10	B3	38,9990	38,0187	0,9803	0,0225	0,9578	191,56	21,56	22,4460		
0,00780	31'59"	10	Z42	31,4812	30,6087	0,8725	0,0225	0,8500	170,00	19,36	20,1556		
0,00390	01'03'58"	5	Z50	31,2932	30,5175	0,7757	0,0225	0,7532	150,64	16,58	17,2613		
0,00195	4°16'00"	5	A13	31,4784	30,7856	0,6928	0,0225	0,6703	134,06	134,06	139,5690		


Disp.: valor corrigido para 200ml (solução calgon).

Peso corrigido: distribuição do residual (<0,063 mm) obtido nas peneiras

APÊNDICE D – Curva granulométrica para a amostra “P16”

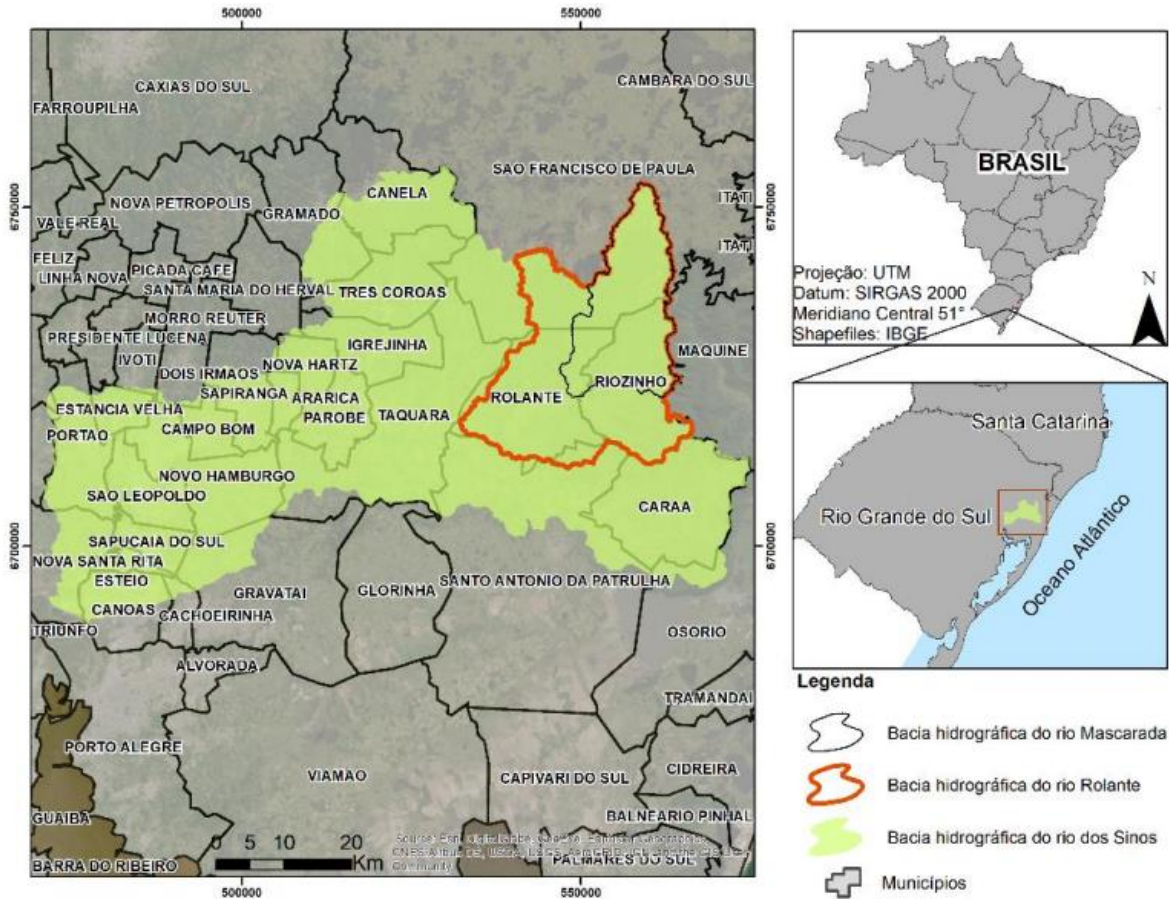


APÊNDICE E – Cálculo da Concentração de Sedimentos em Suspensão (Bacia do Arroio Baio – São Francisco de Paula/RS)

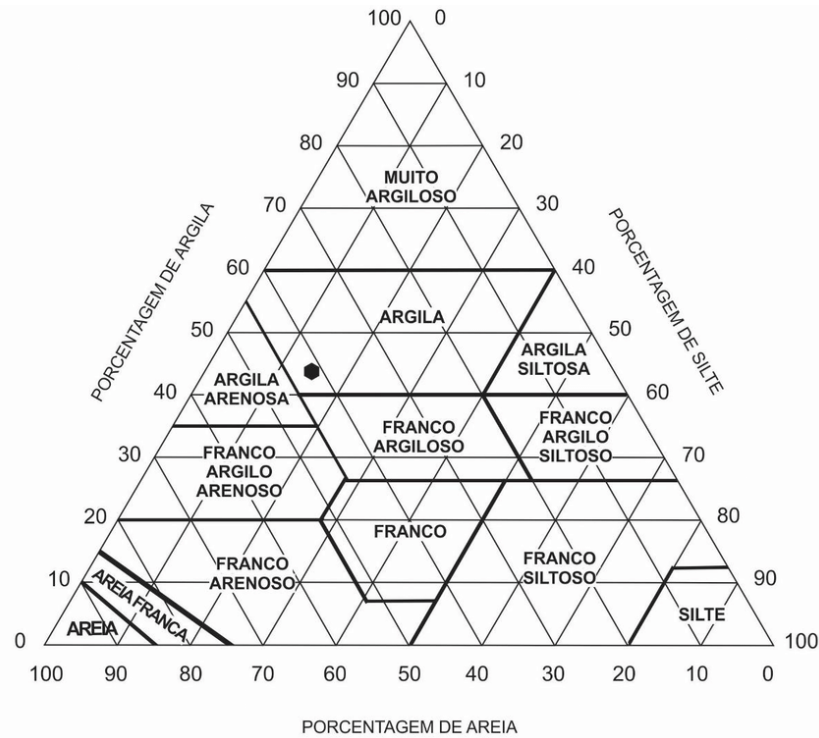
 <p>UFRGS – INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS LABORATÓRIO DE SEDIMENTOS</p> <p>CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO DE AMOSTRAS DA SUSPENSÃO – FILTRAGEM</p>										
Rio: Baio / Baio – P1	Local: São Francisco de Paula/RS									
Operador da amostragem: GPDEN/IPH/UFRGS										
Data da Coleta	26/08/2021									
Hora da Coleta										
Cota do N.A. (m)										
Amostrador										
Bico										
Largura do Rio (m)										
Número da Amostra										
Número da Garrafa	P1									
Peso Bruto da Amostra (g)	775,13									
Tara da Garrafa (g)	408,32									
Água + Sedimento (g)	366,81									
Número do Filtro	30									
Peso Bruto do Filtro (g)	12,2768									
Tara do Filtro (g)	12,2675									
Sedimentos (g)	0,0093									
Concentração (g/l)	0,0254									
Analista: Cássio Machado	Data da Análise: 01/09/2021	Visto:								

ANEXOS

ANEXO A – Mapa de localização das bacias hidrográficas do rio Mascarada, Rolante e Sinos (jusante do arroio Baio) (ZANANDREA, 2020)



ANEXO B – Triângulo Textural de Feret (FERET, 1930)



ANEXO C – Tabela de classificação de partículas (WENTWORTH, 1922)

φ escala	Mesh	Abertura / Diâmetro	Abertura / Diâmetro	Classificação da Partícula	Tipo de Partícula
				(Escala de Wentworth - primeira)	
< -8		> 256 mm	> 10.1 in	Matacão	Rocha
-6 até -8		64–256 mm	2.5–10.1 in	Bloco / Calhau	Grosseiros
-5 até -6		32–64 mm	1.26–2.5 in	Cascalho muito grosso / Seixo	
-4 até -5	> 5/8	16–32 mm	0.63–1.26 in	Cascalho grosso / Seixo	
-3 até -4	5/16 - 5/8	8–16 mm	0.31–0.63 in	Cascalho médio / Seixo	
-2 até -3	5 - 5/16	4–8 mm	0.157–0.31 in	Cascalho fino / Seixo	
-1 até -2	10 - 5	2–4 mm	0.079–0.157 in	Cascalho muito fino / Grânulo	
0 até -1	18 - 10	1–2 mm	0.039–0.079 in	Areia muito grossa	Areia
1 até 0	35 - 18	0,5–1 mm	0.020–0.039 in	Areia grossa	
2 até 1	60 - 35	0,25–0,5 mm	0.010–0.020 in	Areia média	
3 até 2	120 - 60	125–250 μm	0.0049–0.010 in	Areia fina	
4 até 3	230 - 120	62,5–125 μm	0.0025–0.0049 in	Areia muito fina	Silte
4 até 4,5	325 - 230	44,20–62,5 μm	0,0017-0,0025 in	Silte	
4,5 até 5	>325	31,20–44,20 μm	0,0012-0,0017 in	Silte	
5 até 5,5		22,10–31,20 μm	0,0009-0,0012 in	Silte	
5,5 até 6		15,60–22,10 μm	0,0006-0,0009 in	Silte	
6 até 7		7,80–15-60 μm	0,0003-0,0006 in	Silte	
7 até 8		3,90-7,80 μm	0,0002-0,0003 in	Silte	
> 8		< 3,90 μm	< 0.00015 in	Argila	Argilas
> 10		<1 μm	< 0.000039 in	Colóide	Colóides

ANEXO D – Sonda multiparamétrica Horiba U-50PC (HORIBA, 2022)

**ANEXO E: Tabela com intervalos de tempo para análise granulométrica
(baseado na lei de Stokes)**

Laboratório de Sedimentologia - IPH / UFRGS

formula: $V = \frac{2}{9} \times \frac{d_1 - d_2}{n} \times gr^2$

Tabela com Intervalo de tempos para análise granulométrica

T °C	Pa	62,5 micron	44,2 micron	31,2 micron	22,1 micron	20 micron	15,6 micron	7,8 micron	3,9 micron	1,95 micron		
		20 cm	20 cm	10 cm	10 cm	10 cm	10 cm	10 cm	5 cm	5 cm	H Min. Seg	H Min. Seg
		Segundos	Min. Seg.	Min. Seg.	Min. Seg.	Min. Seg.	Min. Seg.	Min. Seg.	Min. Seg.	Min. Seg.		
13°		20	2 17	2 18	4 35	5 35	9 11	36 44	73 20	4 54 06		
14°		20	2 14	2 14	4 27	5 26	8 57	35 46	71 24	4 46 22		
15°		20	2 10	2 11	4 25	5 18	8 43	34 52	69 35	4 39 05		
16°		20	2 07	2 07	4 14	5 10	8 29	33 58	67 47	4 31 51		
17°		20	2 04	2 04	4 07	5 02	8 17	33 06	66 05	4 25 01		
18°		20	2 00	2 00	4 00	4 55	8 00	31 59	63 58	4 16 00		
19°		20	1 57	1 57	3 54	4 47	7 48	31 11	62 22	4 09 00		
20°		20	1 54	1 54	3 48	4 48	7 36	30 26	61 01	4 03 00		
21°		20	1 51	1 51	3 42	4 41	7 25	29 41	59 23	3 58 00		
22°		20	1 49	1 49	3 37	4 35	7 35	28 59	57 58	3 52 00		
23°		20	1 46	1 46	3 32	4 28	7 05	28 18	56 36	3 46 00		
24°		20	1 44	1 44	3 27	4 22	6 55	27 39	55 18	3 41 00		
25°		20	1 41	1 41	3 22	4 16	6 45	27 13	54 02	3 36 00		
26°		20	1 39	1 39	3 18	4 10	6 36	26 25	52 49	3 31 00		
27°		20	1 37	1 37	3 13	4 04	6 27	25 49	51 39	3 27 00		