

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS**

**Relatório referente à bolsa de produtividade em  
pesquisa recebida – CNPq março de 2019 a  
março de 2021.**

**Nilza Maria dos Reis Castro**

## Sumário

DADOS INICIAIS .....	3
1. Resumo .....	5
2. Contextualização do projeto proposto ao CNPq .....	6
3. Atividades desenvolvidas e resultados obtidos nesse projeto. ....	7
3.1 Meta 1. Levantamento, medições, coletas, análises laboratoriais e armazenamento dos dados em banco de dados nas duas bacias hidrográficas.....	7
3.2 Meta 2. Elaboração das relações cota-vazão, turbidez-CSS ou cota-CSS (no caso de não haver dados de turbidez), obtenção de séries contínuas de vazões e CSS, estimativa da descarga sólida para cada bacia ao longo do período de monitoramento	8
3.3 Meta 3. Calibração e verificação dos modelos SWAT para as bacias do rio Potiribu e do LISEM para a bacia do arroio Ouro, para as variáveis vazão e descarga sólida, e dos modelos de RNAs para a estimativa de CSS para as bacias do rio Potiribu	16
3.4 Meta 4. Divulgação dos resultados na forma de publicações e orientação de três Teses de Doutorado:	25
4. Equipe do projeto .....	27
5. Disponibilidade efetiva de infra-estrutura.....	29
6. Resultados esperados.....	30
7. Atividades acadêmicas desenvolvidas pela autora no período da bolsa. ....	31
8. Conclusão .....	33
9. Referências Bibliográficas .....	34
10. ANEXOS.....	36

## DADOS INICIAIS

- a) Identificação: Relatório BOLSA DE PRODUTIVIDADE EM PESQUISA CNPq Chamada CNPq 06/2019 - Bolsas de Produtividade em Pesquisa Modalidade: PQ Categoria/Nível: 2
- b) Processo: 303558/2019-9
- c) Dados da bolsista: NOME: Nilza Maria dos Reis Castro, professora Titular do Departamento de Obras Hidráulicas-DOH do Instituto de Pesquisas Hidráulicas- IPH da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Ingresso na UFRGS em agosto de 1999, professora Titular desde dezembro de 2015.
- d) Período da bolsa: Termo de Aceite da bolsa assinado eletronicamente em 28/02/2020. 36 meses de bolsa.
- e) Título, resumo e objetivo geral do projeto proposto em 2019:

Título: Quantificação e modelagem da descarga sólida em suspensão transportada em rios em duas bacias hidrográficas rurais no Rio Grande do Sul.

Resumo do projeto: Os rios em bacias agrícolas possuem alta carga de sedimentos que são provenientes das lavouras, estradas e das margens e calhas dos rios, principalmente durante os eventos de cheias. Esses sedimentos, que foram desagregados das áreas agrícolas e transportados até os rios, além de já terem causado danos econômicos para os agricultores que perderam parte de seu solo, acarretam diversos problemas ambientais, econômicos e sociais. Ente eles podemos citar: prejuízo da flora e da fauna dos rios devido a processos de eutrofização, assoreamento de reservatórios e de trechos de rios e lagoas navegáveis, impossibilidade de uso do rio para área de lazer, necessidade de uso de filtros em sistema de irrigação com conseqüente aumento de custo para os irrigantes, aumento dos gastos para tratamento da água para consumo humano e etc. O conhecimento da descarga sólida nos rios é importante para tomada de decisões quanto ao manejo agrícola a fim de minimizar as perdas de solo e para a estimativa da vida útil de barragens e reservatórios utilizados em usinas hidrelétricas para produção de energia e para a captação de água para o consumo humano. No Brasil, existem dados de vazão e de sedimentos disponíveis no site da Agência Nacional de Recursos Hídricos (ANA), porém, somente para rios médios e grandes e os dados de sedimentos são realizados em menor número de rios e com baixa frequência, dificultando a estimativa da descarga sólida em rios de pequeno e médio porte. Nesse contexto, nesta pesquisa serão utilizados dados hidrossedimentológicos, coletados pela equipe do projeto, de duas bacias hidrográficas agrícolas para realizar uma análise e modelagem da descarga sólida transportada até os rios na seção fluviométrica correspondente ao exutório das duas bacias hidrográficas, sendo que em uma delas serão analisadas algumas sub-bacias embutidas na maior. Os resultados da descarga sólida simulada pelos modelos serão comparados com aqueles obtidos com medições realizadas no campo. As bacias hidrográficas de estudo estão localizadas no estado do Rio Grande do Sul, sendo uma no Sul (17,17 km<sup>2</sup>) e outra no noroeste (524,3 km<sup>2</sup>). Esta última possui dados de bacias embutidas dentro da maior (1,3 km<sup>2</sup>; 19,3 km<sup>2</sup> e 77,5 km<sup>2</sup>). Para isso essas bacias foram monitoradas com postos fluviométricos equipados com linígrafos e algumas delas com sensores de turbidez, além de postos pluviográficos. Foram realizadas medições de vazão em todas as bacias para obtenção de curva chave e coletas de sedimentos para obtenção da concentração de sedimentos em suspensão (CSS) e posterior cálculo da descarga sólida. Com os dados medidos à campo serão feitas e analisadas as relações cota x vazão e turbidez x CSS ou, na ausência de dados de turbidez, cota x CSS, a fim de se obter uma

série contínua de CSS, para posterior cálculo da descarga sólida transportada pelo rio. Em um segundo momento, serão utilizados três modelos para a estimativa da descarga sólida, sendo dois deles de base física, o SWAT e o LISEM, e um modelo empírico utilizando Redes Neurais Artificiais (RNAs). Os resultados de vazão e CSS medidos serão usados para calibrar os parâmetros do modelo e para verificar a eficiência destes. Por último, após a obtenção dos melhores modelos, será feita uma análise para encontrar as variáveis que são mais importantes para a CSS e Descarga sólida dos rios nas distintas bacias, considerando as diferentes escalas e os aspectos físico-climáticos distintos entre as bacias localizadas no sul e no noroeste do estado. A presente pesquisa contará com o apoio de três alunos de Doutorado, dois alunos da graduação, dois técnicos em hidrologia, três professores (um do IPH-UFRGS, um da UFPEL e uma da UFSM), além da autora.

Objetivo geral do projeto: O objetivo desta pesquisa é analisar as relações chuva-cota-vazão-concentração de sedimentos em suspensão (CSS) em duas distintas bacias hidrográficas localizadas no Rio Grande do Sul e estimar a concentração de sedimentos com uso de modelos.

- f) Informações relevantes sobre o projeto que foi desenvolvido: Este projeto foi baseado em dados coletados no monitoramento hidrossedimentológico de duas bacias rurais localizadas em distintas regiões do Rio Grande do Sul, com características físicas bem distintas: bacia do rio Potiribu e bacia do arroio Ouro. A primeira, é localizada no noroeste do estado do Rio Grande do Sul, tem relevo suave ondulado, solos profundos e argilosos (+60%), chuvas médias mensais entre 120 e 180 mm sem período seco, propiciando uma intensa atividade agrícola (aproximadamente 90%) com cultivo predominante de soja no verão e aveia e trigo no inverno, e geralmente as propriedades são de médio a grande porte (mais de 100 ha). Essa bacia tem área de 524,3 km<sup>2</sup> e compreende várias sub bacias, de diferentes escalas, que também são monitoradas pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul no período de 1989 à março de 2020 e após junho de 2022. Entre os anos de 2005 e 2006 houve interrupção no monitoramento dessa bacia por falta de recursos financeiros. Nos anos de 2020, 2021 até junho de 2022 o monitoramento também foi interrompido devido à pandemia, que impossibilitou as viagens (portarias oficiais da Universidade não permitiam as viagens e o funcionamento dos laboratórios e posterior falta de recursos). Em junho de 2022 foi possível retomar as viagens para coleta de dados, mas houve um grande atraso para recuperar os recursos financeiros que custeavam essas viagens, devido também a pandemia e a dificuldade de arrecadação de recursos. A segunda bacia é a do arroio Ouro de 17,17 km<sup>2</sup> com uma sub-bacia monitorada de 2,17 km<sup>2</sup>, localizada no sul do estado do Rio Grande do Sul, e foi monitorada pela Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) nos anos de 2014 à 2017. Nesta bacia os solos são mais arenosos e pouco profundos, com relevo plano a ondulado com precipitação ao longo de todo o ano e uso agrícola e pecuária em pequenas propriedades de subsistência. Uma pareceria na orientação conjunta de um aluno de Doutorado, entre a autora e o prof. Gilberto Colares da UFPEL, nos permitiu trabalhar com os dados dessa bacia neste projeto.

## 1. Resumo

O presente relatório tem o objetivo de prestar contas das atividades realizadas no quadro do projeto elaborado para a concessão da bolsa de produtividade em pesquisa concedida pelo CNPq para a autora em março de 2019. Nesse período foram realizadas atividades de pesquisa relacionadas com o projeto apresentado ao CNPq. A pesquisa foi realizada com dados de duas bacias agrícolas localizadas no Rio Grande do Sul, uma ao noroeste do estado (bacia do rio Potiribu), com solos profundos e relevo ondulado e outra no sul do estado (bacia do arroio D'Ouro) com solos rasos e relevo íngreme. Foram construídas relações cota-vazão-Concentração de sedimentos em suspensão nas 2 bacias e em algumas sub-bacias monitoradas e a partir dessas relações obteve-se séries de vazões e produção de sedimentos, que foram utilizadas para calibrar o modelo SWAT (bacias do rio Potiribu) e o modelo LISEM (bacia do arroio d'Ouro) e para desenvolver modelos de Redes Neurais Artificiais para a estimativa da umidade do solo em 2 profundidades (bacia do arroio D'ouros) e para a estimativa da Concentração de Sedimentos em Suspensão para as subbacias e bacia do rio Potiribu. Os resultados obtidos foram publicados em 3 Teses de Doutorado, um Trabalho de Conclusão de Curso e em 3 revistas internacionais classificadas como A1 pela CAPES na área de engenharia 1. Ainda 3 artigos foram submetidos em revistas internacionais, e está em elaboração mais um artigo, todos relacionados com o projeto. Como contribuição dessa pesquisa, podemos destacar a contribuição para a ciência de metodologias testadas e validadas de calibração dos modelos utilizados (SWAT e Lisem), do desenvolvimento de modelos para estimativa de umidade do solo e concentração de sedimentos em suspensão utilizando redes neurais artificiais. Como contribuição para a sociedade podemos destacar a formação de recursos humanos (3 Doutores, 1 engenheira ambiental e 3 alunos de graduação bolsistas), a possibilidade dos gestores públicos poderem aplicar as metodologias testadas e validadas para a estimativa de vazão e produção de sedimentos em cenários de alteração do uso de solos e de regime de chuvas para previsão de cheias, secas e tomada de decisões a tempo hábil para evitar desastres como os que tem acontecido no Rio Grande do Sul.

## 2. Contextualização do projeto proposto ao CNPq

No projeto aprovado pelo CNPq foi previsto a aplicação do modelo hidrossedimentológico SWAT para a bacia do rio Taboão (77,5 km<sup>2</sup>) localizada no noroeste do estado do Rio Grande do Sul, que é uma subbacia do rio Potiribu (563 km<sup>2</sup>), que desagua no rio Ijuí, que por sua vez pertence a bacia Uruguai, pertencente à bacia do Prata. Também foi previsto a elaboração de modelos de Redes neurais Artificiais - RNAs para a estimativa da Concentração de Sedimentos em Suspensão (CSS) em duas sub bacias (1,3 km<sup>2</sup>, 19,3 km<sup>2</sup>) localizadas dentro dessa. Além disso, foi previsto a aplicação do modelo hidrossedimentológico LISEM para a bacia do arroio d'Ouro (na sub-bacia de 2,16 km<sup>2</sup>), localizada no sul do estado do Rio Grande do Sul.

O objetivo desta pesquisa é analisar as relações chuva-cota-vazão-concentração de sedimentos em suspensão (CSS) em duas distintas bacias hidrográficas localizadas no Rio Grande do Sul e estimar a concentração de sedimentos nos rios com uso de modelos.

Para atingir este objetivo foram definidas quatro metas, sendo elas:

**Meta1:** Levantamento, medições, coletas, análises laboratoriais e armazenamento dos dados em banco de dados nas duas bacias hidrográficas;

**Meta 2:** Elaboração das relações cota-vazão, turbidez-CSS ou cota-CSS (no caso de não haver dados de turbidez), obtenção de séries contínuas de vazões e CSS, estimativa da descarga sólida para cada bacia ao longo do período de monitoramento;

**Meta 3:** Calibração e verificação dos modelos SWAT para as bacias do rio Potiribu e do LISEM para a bacia do arroio d'Ouro, para as variáveis vazão e descarga sólida, e dos modelos de RNAs para a estimativa de CSS para as bacias do rio Potiribu;

**Meta 4:** Divulgação dos resultados na forma de publicações e orientação de duas Teses de Doutorado.

### **3. Atividades desenvolvidas e resultados obtidos nesse projeto.**

As atividades desenvolvidas nesse projeto serão relatadas para cada meta elaborada no projeto proposto ao CNPq em 2019 para as duas bacias.

#### **3.1 Meta 1. Levantamento, medições, coletas, análises laboratoriais e armazenamento dos dados em banco de dados nas duas bacias hidrográficas**

**Bacia do rio Potiribu:** Essa bacia é localizada na região noroeste do Rio Grande do Sul e é monitorada pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas desde novembro de 1989 (Castro et al. 2000). Essa bacia foi escolhida para o monitoramento por ser considerada representativa de uma região agrícola importante situada sobre o planalto basáltico sul americano, em termos de tipo de solo, relevo e regime de chuvas, além do uso do solo muito característico com cultivo soja no verão e aveia e trigo no inverno (Bordas e Borge, 1990). Essa bacia é caracterizada por latossolos, que são profundos, argilosos e bem drenados e relevo suave ondulado. Nessa bacia as medições de vazão, coletas de dados e análises laboratoriais foram realizadas até março de 2020. Após esse período as viagens foram suspensas devido à pandemia e foram retomadas em junho de 2022. A pandemia, além de ter impossibilitado a realização das viagens (portarias da Universidade impediam as viagens e a abertura dos laboratórios), causou uma interrupção na aquisição de recursos que custeavam a coleta dos dados, que era proveniente de um projeto de extensão da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (projeto laboratório de sedimentos 6 administrado pela FAURGS). Portanto, ficamos sem recursos e sem permissão de realizar as viagens para a coleta dos dados. Entretanto, as pesquisas continuaram sendo feitas com os dados previamente coletados, originando bons resultados: defesa de duas Teses de Doutorado, dois artigos publicados em simpósio em 2021, um artigo publicado em revista internacional classificada pela CAPES como A1 na área de engenharias 1, 1 artigo submetido em fase de revisão para uma revista internacional classificada com A1 na área de engenharias 1.

**Bacia do Arroio D'Ouro:** Essa bacia é localizada na região Sul do Rio Grande do Sul, com relevo íngreme, solos rasos e arenosos. Nessa bacia os dados de cota do rio e medição de vazão são disponíveis de 2015 a 2017. Já os dados de CSS correspondem ao período de 2016 a 2019, com coletas mensais, sempre que foi possível. Também foram coletados dados de sedimentos transportados por arraste na estação fluviométrica e dados de umidade do solo em vários pontos da bacia. Esses dados foram suficientes para gerarem uma Tese de Doutorado e a publicação de dois artigos em revista internacional classificada como A1 pela CAPES na área de engenharias 1.

**3.2 Meta 2. Elaboração das relações cota-vazão, turbidez-CSS ou cota-CSS (no caso de não haver dados de turbidez), obtenção de séries contínuas de vazões e CSS, estimativa da descarga sólida para cada bacia ao longo do período de monitoramento**

**3.2.1 Bacias do rio Potiribu:**

Foram obtidas curvas-chave cota-vazão para as bacias do Donato (1,3 km<sup>2</sup>), Turcato (19,3 km<sup>2</sup>), Alemão (19,2 km<sup>2</sup>), Taboão (77,5 km<sup>2</sup>), Cambará (356,1 km<sup>2</sup>) e Potiribu (524,2 km<sup>2</sup>) a partir de monitoramento dessas bacias ao longo de muitos anos, incluindo as medições realizadas ao longo do período desse relatório. Na tabela 1 são apresentados os períodos dos monitoramentos das bacias e o número de medições realizadas para a elaboração das curvas-chave, além das equações das curvas-chave cota-vazão e o coeficiente de determinação (r<sup>2</sup>) dessas equações.

**Tabela 1. Curvas chave Cota-Vazão de todas as bacias monitoradas do rio Potiribu**

Bacia área km <sup>2</sup>	Data início medições	Data fim medições	Equação da curva chave	r <sup>2</sup>	Número de medições
Donato 1,3 km <sup>2</sup>	17/04/1991	30/10/2013	Equação do vertedor de 280 cm de altura e 1 m de largura com base triangular Cotas < 25 cm $Q=8(C-0,25)^{2,5}$ Cotas > 25 cm $Q=8[(C-0,25)^{2,5} - (C-0,55)^{2,5}]$ Q (L/s) C (m)		56 somente para aferição
Turcato – 19,2 km <sup>2</sup>	14/12/1989	12/02/2020	1º período: 14/12/89 à 31/12/95 $Q=0,7775C^2+1,561C-0,4195$ Q (m <sup>3</sup> /s) C (m)	0,988	62
			2º período: 01/01/96 à 23/07/98 não tem curva nesse período – seção muito instável. Sofreu vários desmoronamentos		
			3º período: 24/07/98 à 30/06/03 $Q = 0,7108C^2 + 1,8536C - 0,2156$ Q (m <sup>3</sup> /s) C (m)	0,989	54
			4º período: 01/07/03 à 19/09/04 $Q=0,961 C^2 + 2,3992C-0,3142$ Q (m <sup>3</sup> /s) C (m)	0,988	23
			5º período: 20/09/04 à 21/05/14 $Q=2,0496 C^2+0,0912C+0,1167$ Q (m <sup>3</sup> /s) C (m)	0,860	52
			6º período: 22/05/14 à 26/02/19 não tem curva chave. Seção muito instável		
			7º período: A partir 27/02/19 $Q = 2.0979C^2 + 2.8255 C - 2.8593$ Q (m <sup>3</sup> /s) C (m)	0,987	21
Alemão - 19,3 km <sup>2</sup>	02/08/2012	01/11/2022	02/08/12 à 21/12/13 e a partir 01/06/2015 $Q = 0,0225 C-0,6904$ Q (m <sup>3</sup> /s) C (m)	0,91	35

			01/01/14 à 30/05/15 período com obras na estrada Q=0,0119C-0,2928 Q (m <sup>3</sup> /s) C (m)	0,917	11
Taboão 77,5	01/01/2011	24/01/2019	Q = 0,0742 C – 2,6461 Q (m <sup>3</sup> /s) C (cm)	0,985	183
Cambará 356,1 km <sup>2</sup>	27/07/2016	01/11/2022	Q = 0,1007 C <sup>0,9695</sup>	0,965	24
Potiribu 524,2 km <sup>2</sup>	03/03/2015	01/11/2022	Q = 0,0015 C <sup>2</sup> -0,2925 C + 20,841 Q (m <sup>3</sup> /s) C (cm)	0,922	37

Q = vazão C = cota

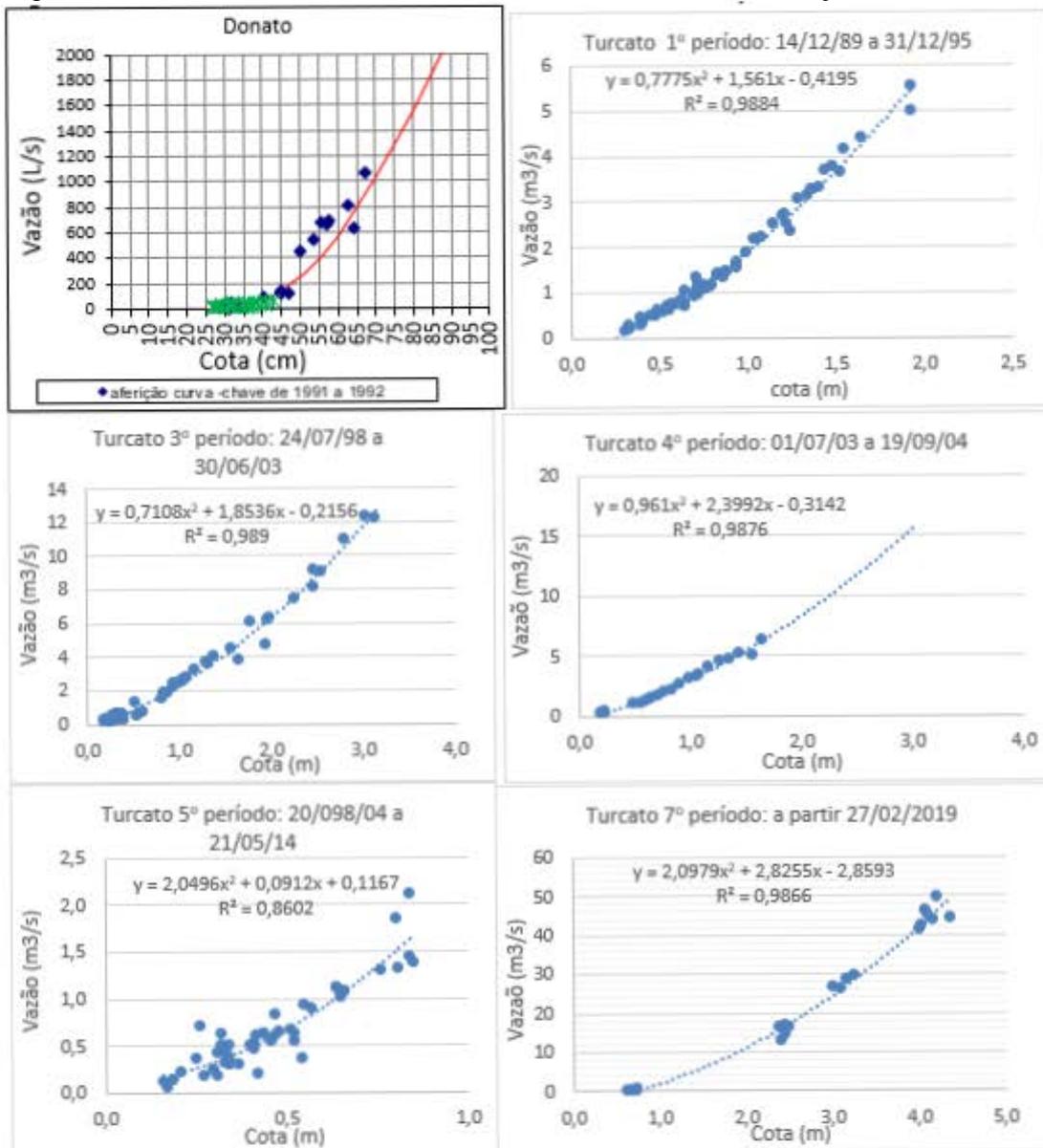
As medições de vazão foram realizadas ao longo de muitos anos e abrangem uma amplitude grande de cotas: Turcato (1º período 0,25 – 1,93 m; 3º período 0,19 – 3,18; 4º período 0,19- 3,0 m; 5º período 0,16 – 0,85; 7º período 0,62 – 4,37 m), Alemão (0,38 – 0,98), Taboão (0,25 – 2,75 m), Cambará (0,17 – 4,40 m) e Potiribu (1,03 – 2,68 m). Essas bacias possuem rios bastante encaixados, de forma retangular. A bacia do Turcato tem a seção de medição bastante instável e foram necessárias várias curvas-chave ao longo dos anos, pois a seção sofreu alguns desmoronamentos das margens. Cada vez que ocorre um desmoronamento de uma das margens, deve ser refeita a curva-chave para o período em que a seção se manteve estável, até a próxima alteração de seção. A seção do Alemão não sofreu desmoronamento, mas ficou assoreada por um período devido a obras realizadas na estrada. Quando o leito do rio voltou ao normal após as obras, observou-se que os novos pontos medidos de cota-vazão correspondiam às medições realizadas antes das obras. Na seção de medição do Donato foi construído um vertedor e a equação da curva-chave é a do vertedor e se mantém constante. Nos anos referentes a esse relatório (2020 a 2022) foram realizadas 04 medições de vazão no Alemão, 02 no Turcato (foram encerradas o monitoramento nessa bacia por problemas referentes ao acesso da equipe até o local das medições), 03 no Taboão, 04 no Cambará e 02 medições no Potiribu.

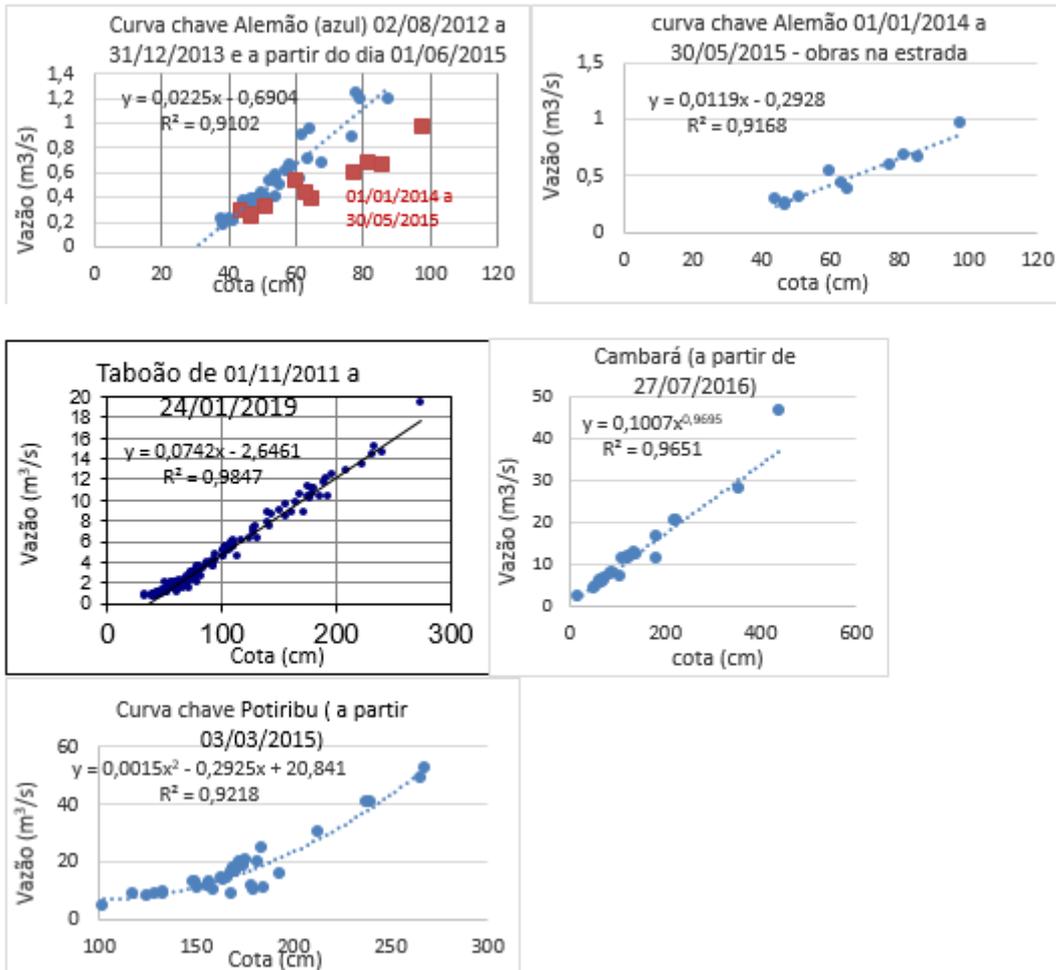
Na figura 1 são apresentados os gráficos das curvas chaves, sendo que para o Donato, em vermelho, é a apresentada a equação do vertedor.

Em geral as medições de cota e vazão foram em número e amplitude suficientes para a elaboração de curvas-chave com alto coeficiente de determinação. As bacias do Cambará e do Potiribu possuem menor número de medições, 24 e 37 respectivamente. O quarto e o sétimo período do Turcato também possuem poucas medições, 23 e 21 respectivamente. Mas o posto que menos medições possui, durante o período de obras na estrada, é o posto do Alemão com somente 11 medições. Em relação às curvas-chave para a estimativa de concentração de sedimentos em suspensão (CCS), essas são bem mais complexas do que as curvas-chave cota-vazão, pois os sedimentos em suspensão nos rios dependem de vários fatores além das cotas,

como intensidade das chuvas, tipo de solos, declividade das vertentes, e também do manejo do solo. Para a mesma cota, dependendo das condições da superfície do solo e da intensidade das chuvas que gerou o evento de chuva, a CSS pode ser totalmente diferente.

Figura 1. Curvas-chave cota-vazão das bacias nas sessões de medição

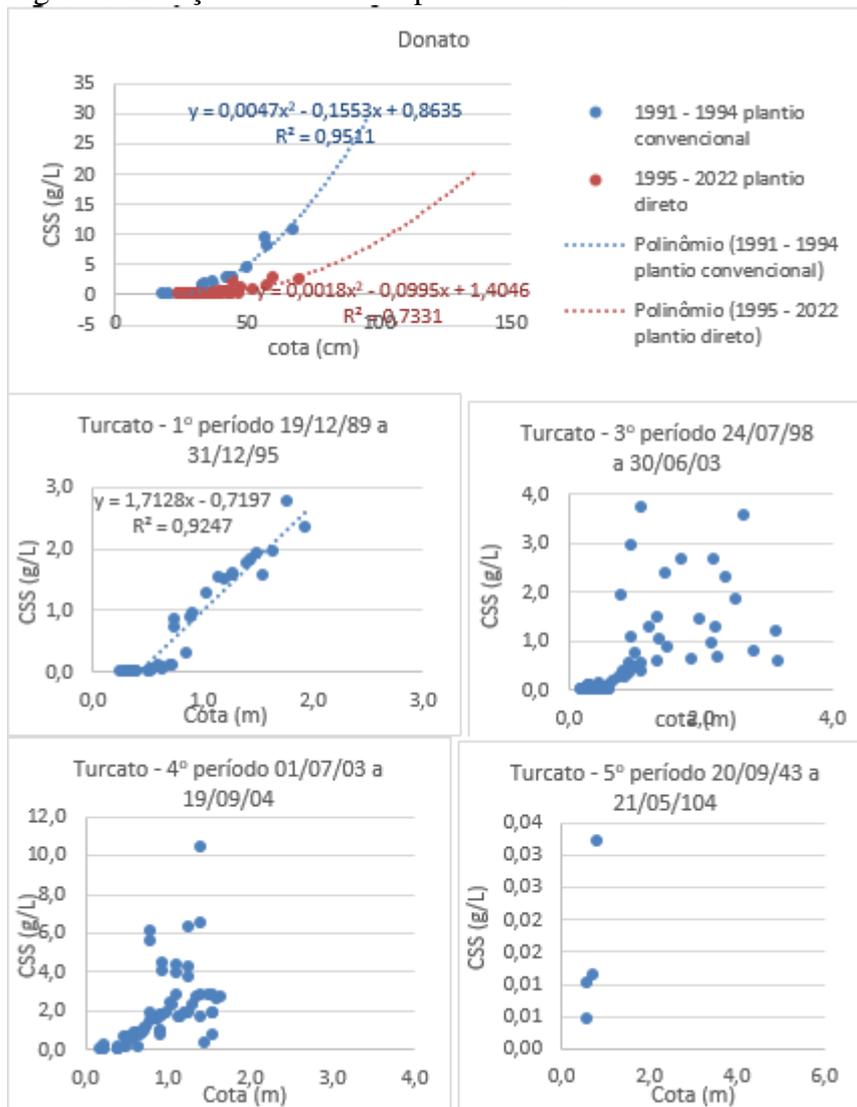


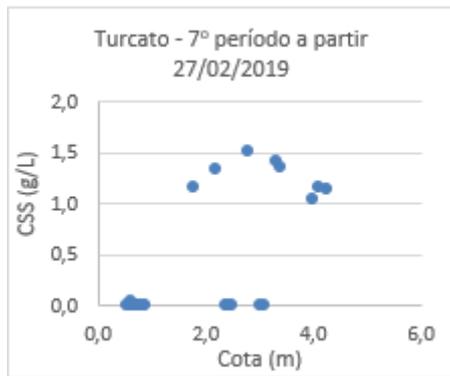


Foram construídas para essas bacias relações simples cota-CSS e são apresentadas na figura 2. Observa-se nessa figura que somente para as bacias do Donato e do Turcato - primeiro período obteve-se bons resultados na estimativa da CSS em função apenas da cota. Em todas as outras bacias essas relações são muito ruins e optou-se, nesse relatório, por não apresentar as equações. Essas relações devem ser utilizadas com muita cautela, pois a CSS depende de muitos outros fatores além da cota. Além disso, deveriam ser feitas mais medições principalmente para cotas altas durante a ocorrência dos eventos. Somente com um financiamento de longo prazo e com uma boa equipe treinada e boa infraestrutura é possível realizar as medições durante os eventos, que muitas vezes ocorrem durante as noites e madrugadas. Os postos de medição localizam-se no exutório das bacias, próximo às lavouras e as bacias estão distantes de 400 km de Porto Alegre, sede da UFRGS. Ao longo dos anos de monitoramento algumas vezes conseguimos realizar as medições durante os eventos de cheia, planejando campanhas intensivas de campo, mas muitas outras vezes não havia recursos financeiros para isso.

Para contornar esse problema, nos últimos anos têm sido utilizadas ferramentas de modelagem para auxiliar na determinação da CSS, empregando outras variáveis (medidas) como, por exemplo, a precipitação, a vazão e a turbidez. Entre esses modelos encontram-se as redes neurais artificiais (RNAs), uma alternativa que vem sendo usada para obtenção de séries longas de CSS e de descarga em suspensão (Lafdani et al. 2013; Afan et al. 2015; Adib and Mahmoodi 2017; Buyukyldiz and Kumcu 2017; Pektas and Cigizoglu 2017; UCA et al. 2018; Choubin et al. 2018 e Sari et al. 2017a).

Figura 2. Relações Cota – CSS para as bacias





Nessa pesquisa foram elaborados modelos de RNAs e de lógica fuzzy (Teixeira et al. 2020), para estimar a CSS nas estações fluviométricas localizadas nos exutórios das bacias Donato, Turcato, Alemão, Taboão, Cambará e Potiribu. As variáveis de entrada dos modelos foram utilizadas foram vazão, turbidez e relações com a chuva (média móvel, chuva acumulada e área da bacia). Os modelos que utilizaram turbidez foram estabelecidos para 04 dessas bacias (Donato, Turcato, Taboão e Potiribu), pois as outras não tinham dados de turbidez. Para a calibração e verificação do modelo utilizou-se dados de CSS medidos (191 registros). Para isso várias coletas de sedimentos em suspensão foram realizadas ao longo dos anos em todas as seções de medição dessas bacias utilizando o método de Igual Incremento de Largura - IIL (Edward e Glysson, 1999) e amostrador de sedimentos do tipo DH-48 ou DH-59. Como trata-se de um modelo regional, utiliza-se o mesmo modelo para todas as bacias, bastando definir qual a área da bacia que deseja-se calcular a CSS. O melhor modelo foi de RNA e teve uma eficiência de 0,957 e 0,953 na calibração e verificação respectivamente, e tem como dados de entrada a área da bacia, vazão e Turbidez. Apesar de não ter a melhor eficiência, o modelo com RNA que utiliza como dados de entrada somente o filtro de chuva EWMA e a área da bacia obteve eficiência muito boa de 0,867 e 0,956 na calibração e na verificação. Esse último modelo tem a vantagem de não necessitar de dados de turbidez, que é bem mais difícil de se obter do que dados de chuva.

Nessa pesquisa, a partir da CSS estimada pelos modelos de RNAs (com entrada somente de dados de chuva obtidos de pluviógrafos instalados na bacia com registros a cada 10 minutos e área da bacia), obteve-se séries contínuas de CSS para as bacias. A partir das curvas chaves cota-vazão e da série de cotas obtidas dos registros dos linígrafos instalados nas sessões de medições das bacias foi possível obter a série de vazões. A produção de sedimentos em suspensão das bacias foi calculada multiplicando-se a CSS pela vazão na escala diária. Para

esse relatório são apresentadas as produções de sedimentos para as bacias Donato, Turcato e Taboão.

Na tabela 2 são apresentados os resultados das produções de sedimentos em suspensão para essas bacias, além da chuva anual acumulada e da erosividade dessas chuvas. Essa produção é apresentada em toneladas para cada ano por área da bacia (ha).

Tabela 2. Produção de sedimentos para as bacias Donato, Turcato, Taboão (t/ano/ha)

ano	Chuva (mm)	Erosividade de chuva 0-10-5 (MJ/ha)·(mm/h)	Donato (1,3 km <sup>2</sup> )	Turcato (19,3 km <sup>2</sup> )	Taboão (77,5 km <sup>2</sup> )
2012	833	2828,59	1,98	1,91	1,86
2013	1189	3323,76	0,39	0,53	0,59
2014	1806	4307,89	0,73	0,64	1,00
2015	1424	2893,76	1,63	2,78	2,45
2016	1592	2078,91	1,75	2,58	2,46
2017	1812	2007,42	1,30	1,92	1,27
2018	1510	3599,67	1,26	2,11	1,63
2019	1618	4176,54			

Obs: Critério de separação dos eventos para erosividade => exemplo: Erosividade 0-10-5: 0 mm/h intensidade mínima da chuva; intervalo de tempo de 10 minutos para cada registro; 5 mm é o total mínimo de cada chuva.

O índice EI30 foi determinado para as chuvas individuais e erosivas. Foram utilizados os critérios sugeridos Wishmeier (1959). Assim se adotou como chuva individual aquela separada da anterior e posterior num período de 6 horas sem chuva ou com 1mm ou menos. São consideradas chuvas erosivas todas aquelas com volumes maiores de 10 mm ou com no mínimo 6 mm desde que tenham ocorrido em um intervalo de 15 minutos ou menos. Utilizou-se dados do pluviógrafo 40, que apresentava menos falha. Quando houve falhas nesse pluviógrafo, utilizou-se dados do pluviógrafo mais próximo desse. Observa-se que as maiores produções de sedimentos ocorreram nos anos de 2015 e 2016. Os anos em que ocorreram as maiores precipitações anuais foram 2014 e 2017 e os que ocorreram as maiores erosividades foram 2014 e 2018. Ou seja, as maiores produções de sedimentos não ocorreram em anos de maior chuva ou de maior erosividade de chuva. O uso do solo é muito importante no processo de produção de sedimentos. As chuvas erosivas, se caíram sob um solo nu causaram muito mais erosão que se caíram em um solo coberto. Em bacias agrícolas o uso do solo varia muito em função do calendário agrícola. Em geral, as maiores produções de sedimentos ocorreram na bacia do Turcato e as menores na bacia do Donato.

### 3.2.2 Bacia do Arroio D'Ouro:

Foram realizadas 17 medições, no exutório da bacia do D'Ouro de 2,16 km<sup>2</sup>, entre 16/07/2016 e 11/09/2019, de cota-vazão-Concentração de sedimentos (CSS) em suspensão com o objetivo de se estabelecer uma curva-chave para a estação fluviométrica localizada na bacia do Arroio D'Ouro. Essas medições não são em número suficiente para uma curva-chave de boa qualidade, mas no momento apresentamos a curva-chave elaborada a partir dessa relação. Nas figuras 2 e 3 essas relações são apresentadas. Ressalta-se que apesar dos valores altos do coeficiente de determinação (r<sup>2</sup>) para ambas relações, é necessário realizar mais medições, principalmente realizadas durante eventos de cheia para aumentar o domínio dessas equações e diminuir as incertezas.

Figura 2. Curva-chave Cota-Vazão para a estação fluviométrica do arroio D'Ouro

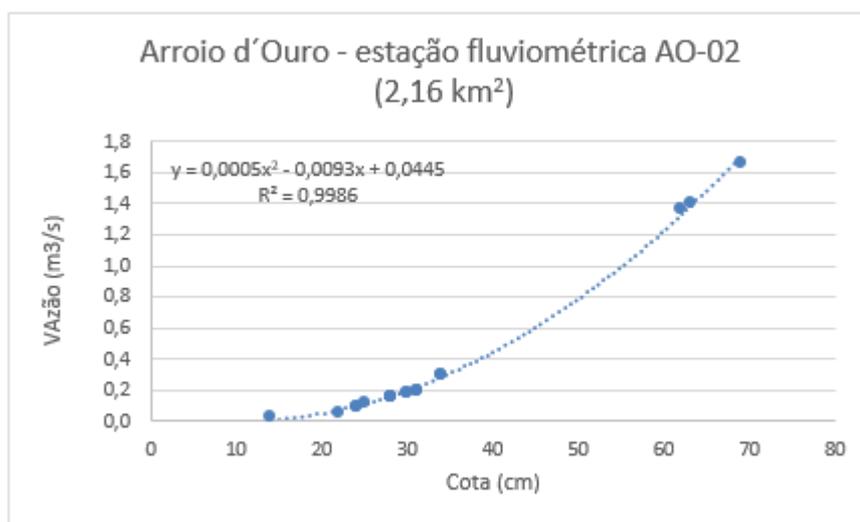


Figura 3. Curva-chave Cota-CSS para a estação fluviométrica do arroio D'Ouro

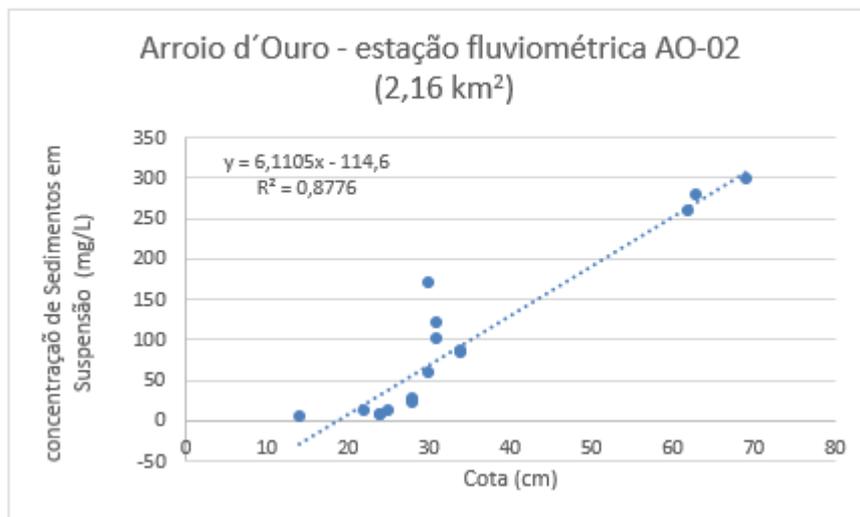


Figura 2. Curva-chave Cota-Vazão para a estação fluviométrica do arroio D'Ouro

### **3.3 Meta 3. Calibração e verificação dos modelos SWAT para as bacias do rio Potiribu e do LISEM para a bacia do arroio Ouro, para as variáveis vazão e descarga sólida, e dos modelos de RNAs para a estimativa de CSS para as bacias do rio Potiribu**

#### **Bacia do rio Potiribu:**

##### **a) Modelo SWAT**

O modelo SWAT foi aplicado na bacia do arroio Taboão (77,5 km<sup>2</sup>) para o período de 2008 a 2018, primeiramente para estimar a Vazão e após a calibração adequada da vazão, esse modelo foi aplicado para a calibração da CSS, com posterior estimativa da CSS e cálculo da produção de sedimentos. Em um primeiro momento, foi feita uma calibração pontual no modelo, ou seja, com dados observados de vazão e produção de sedimentos no exutório da bacia do Taboão. Depois, foi realizada a calibração multi-espacial, utilizando para a calibração dos parâmetros do modelo SWAT, além dos dados do exutório da bacia do Taboão, dados das sub-bacias do Donato, Turcarto e Alemão.

Para isso foram utilizados dados obtidos com medições à campo nesse período, de características físico-hídricas do solo, mapas (modelo digital do terreno, mapa de uso de solo, mapa de tipo de solo), dados de chuva, vazão e CSS; sendo que vazão e CSS óbitos no exutório da bacia (estação fluviométrica). Em ambos os métodos de calibração, pontual e multi-espacial, foram realizados vários testes utilizando o SWATCUP (programa para fazer a calibração automática do SWAT) para ajustar os parâmetros considerados mais sensíveis do modelo e resultar em melhor desempenho na calibração, tanto da vazão como da CSS. Foi selecionada uma série de dados para ser usada no aquecimento do modelo, uma série para ser usada na calibração e uma série distinta para ser usada na verificação.

Nesse projeto foram realizados diversos testes em busca da melhor calibração dos parâmetros para a estimativa de vazão, sendo eles:

- a) Cálculo do escoamento pelo método do CN, com chuva diária;
- b) Cálculo do escoamento pelo método de Green e Ampt utilizando chuvas com frequência de 60 minutos;
- c) Vários períodos de aquecimento de modelo e
- d) Separação da série de calibração do modelo em anos secos, anos úmidos e anos intermediários;

O melhor resultado para a calibração pontual da vazão (NS = 0,71 e PBIAS=1,20) foi obtido utilizando o método de Green e Ampt com chuvas horárias com aquecimento do modelo

no período de 01/01/2008 à 31/12/2009, série de calibração da vazão utilizando somente os meses úmidos (meses com chuva mensal igual ou superior a 25% a mais que a média mensal) dos anos de 2013, 2014, 2015 e 2016. A verificação (NS=0,69; PBIAS 1,80) foi feita utilizando somente os meses secos e intermediários do ano de 2014. Para a mesma série de calibração, utilizando o método de CN foi obtido um Ns de 0,39 e PBIAS = 29,90.

Para a estimativa da produção de sedimentos da bacia, a melhor calibração pontual foi obtida para o período 2013, 2014 e 2015 (NS=0,83 e PBIAS=11,6) e melhor validação (NS=0,77 e PBIAS=12,2) para os meses úmidos de 2014, 2015 e 2016, utilizando o método do CN. Para a produção de sedimentos não foi testado o método do CN, visto que os resultados foram muito ruins para a vazão. Um artigo com esses resultados foi submetido em abril de 2023 em revista internacional classificada como A1 pela CAPES e encontra-se em processo de revisão.

Para a calibração multi-espacial, foi utilizada a configuração cujos melhores resultados foram obtidos para a estimativa da vazão na bacia do Taboão: método Green e Ampt (com chuvas horárias), série de calibração com os meses úmidos de 2013 à 2016 para vazão, série de calibração dos meses úmidos de 2013 à 2015 para a produção de sedimentos, porém agora inserindo-se a vazão e CSS do Donato, Turcato e Alemão como dados de entrada do modelo. Fez-se, portanto, nova análise de sensibilidade e procedeu-se a análise da calibração multi-espacial.

Quando calibrado de forma pontual os valores de NS das 4 bacias variaram entre 0,68 e 0,71 e quando verificado de 0,23 a 0,77, ambos para determinação de vazão. Ao aplicar o método multiespacial encontrou-se de 0,59 a 0,62 para calibração e para verificação de vazão de 0,16 a 0,76.

Para determinação da produção de sedimentos o método de calibração multiespacial não foi satisfatório, sendo que os valores de NS variaram entre 0,07 e 0,14. Já para o método pontual o modelo se ajustou muito bem resultando em valores de NS de 0,80 a 0,83 para calibração e para verificação da produção de sedimentos de 0,58 a 0,77. Os resultados destacam que a calibração multiespacial não demonstrou uma eficiência significativamente superior à calibração pontual na simulação de vazão na bacia do Taboão e não foi satisfatória na previsão da produção de sedimentos. Um artigo com essa pesquisa foi submetido na revista Journal of Hydrology em outubro de 2023.

### **b) Modelo com RNAs para as bacias do Potiribu (Teixeira et al. 2020)**

Utilizando dados hidrológicos de quatro sub bacias da bacia do rio Potiribu com áreas de drenagem de 1,3; 19,2; 77,5 e 524,3 km<sup>2</sup> foram feitos 15 modelos regionais com Redes Neurais Artificiais e 15 modelos regionais com lógica fuzzy para estimar a Concentração de Sedimentos em Suspensão (CSS) em seus rios nos pontos correspondentes aos exutórios. Também foram feitos 7 modelos regionais com RNAs e 7 com lógica fuzzy para estimar a Turbidez nessas em rios localizados no exutório dessas quatro bacias.

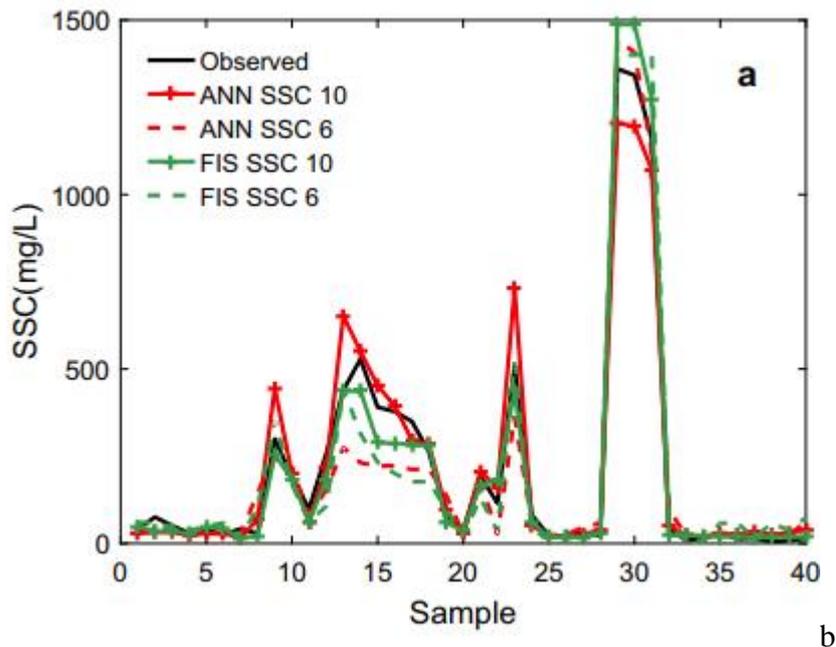
Chamamos de modelos regionais, pois o mesmo modelo estima a CSS de cada uma das quatro bacias, bastando entrar com os dados correspondentes de cada bacia. Os modelos se diferenciam entre si pelas diferentes combinações de entradas de variáveis. No modelo ANN\_SSC\_4 foi utilizada apenas a chuva transformada por filtros com ponderação exponencial da média móvel das precipitações de algumas horas antecedentes (EWMA) no momento da coleta de sedimentos e no modelo ANN\_SSC\_6 foi utilizada além da EWMA, a vazão como variáveis de entrada. O EWMA é igual para todas as bacias, pois a chuva foi considerada homogênea nas bacias. Além dessas duas variáveis se utilizou, em outros modelos, a turbidez e a área das bacias, em diferentes combinações. O melhor modelo regional para estimar a CSS foi o ANN\_SSC\_6 com NS na série de verificação de 0,972 utilizando EWMA e Vazão como dados de entrada. O ANN\_SSC\_4, que utilizou somente o EWMA obteve NS na verificação de 0,886. O melhor modelo utilizando lógica fuzzy resultou em  $N_s=0,977$  com EWMA, Vazão e turbidez como dados de entrada.

O modelo regional de RNAs, utilizando apenas EWMA e área da bacia, conseguiu estimar a CSS com um NS na série de verificação de 0,956. Esse resultado é bastante animador, pois em casos que só esteja disponível a série de chuvas, seria possível estimar CSS com uma ótima eficiência.

A figura 4 apresenta a SSC estimada pelo melhor modelo de RNA e pelo melhor modelo de lógica fuzzy, além da SSC observada (linha preta).

Esses resultados foram publicados em um artigo na revista *Water Resources Management*: Teixeira et al. (2020). Artificial Neural Network and Fuzzy Inference System Models for Forecasting Suspended Sediment and Turbidity in Basins at Different Scales. *Water Resources Management* (2020) 34:3709–3723.

Figura 4. SSC observada e estimada pelos modelos 6 e 10 de RNAs (ANN) e lógica fuzzy (FIS).



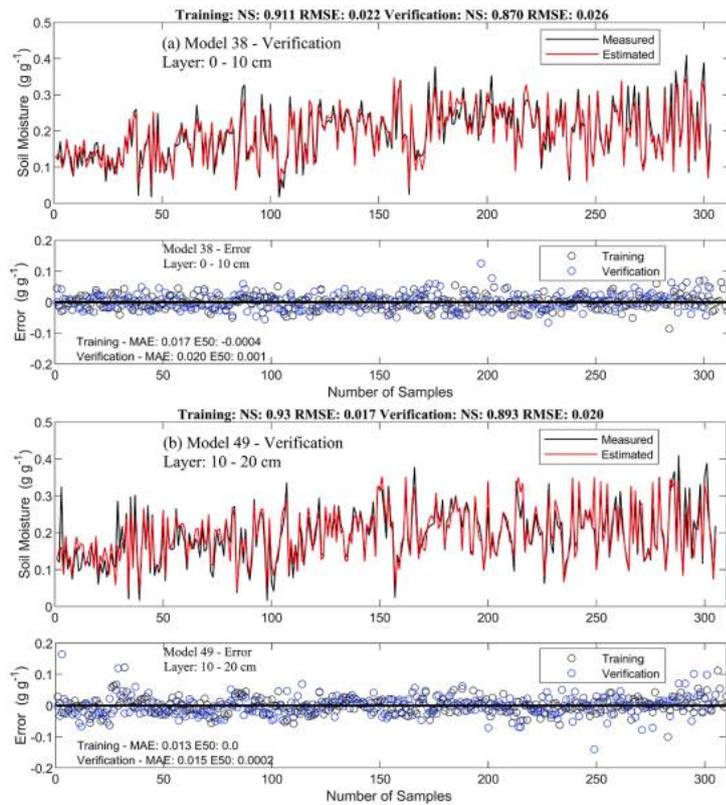
#### Bacia do Arroio D'Ouro:

##### a) Modelo com RNAs

Na bacia do arroio Ouro (17,17 km<sup>2</sup>), os dados de umidade do solo medidos em duas profundidades distintas (0-10 cm e 10-20 cm), foram utilizados para calibração e verificação de um modelo para estimar umidade de solo nessas duas profundidades com uso de Redes Neurais Artificiais. Como dados de entrada utilizou-se a variável EWMA, obtida da mesma forma que foi utilizada na bacia do rio Potiribu, e mais 33 variáveis de solo, clima e topografia. Posteriormente, os dados estimados de umidade do solo nessa etapa foram utilizados para estimativa da vazão com uso do modelo LISEM que é anterior à etapa de estimativa de CSS.

O melhor modelo para estimar a umidade do solo na camada superficial (0-10 cm) foi o Modelo 38 (NS=0,87) com 11 variáveis de entrada. Para a estimativa da umidade do solo na profundidade de 10-20 cm foi o modelo 49 com 13 variáveis de entrada (NS = 0,893). Na figura 5 são apresentadas as umidades do solo estimadas pelos modelos M38 e M49 as umidades medidas (linha azul).

Figura 5. Umidade do solo observada e estimada com modelo de RNAs para as profundidades entre 0 e 10 cm e entre 10 e 20 cm.



Esses resultados foram publicados na revista CATENA: Bartels et al. (2021). Soil moisture estimation in two layers for a small watershed with neural network models: Assessment of the main factors that affect the results. CATENA 207 (2021) 105631.

Utilizando as umidades do solo medidas e estimadas por RNAs (artigo anterior) foi realizada uma investigação da relação entre a umidade do solo, a chuva e o escoamento na bacia hidrográfica do Arroio do Ouro. Foram avaliados os possíveis impactos da umidade antecedente do solo ( $\Theta_i$ ) no coeficiente de escoamento. Para isso, foram analisados 104 eventos de chuva – vazão, que ocorreram durante 4 anos de monitoramento (8/2017 – 9/2021) e os dados de umidade do solo foram obtidos a partir de um modelo robusto de redes neurais artificiais. Os resultados indicam uma relação significativa entre a profundidade do escoamento e a precipitação total (P). O índice antecedente de umidade do solo (IAS) apresentou coeficiente de correlação de Pearson significativo com o escoamento superficial apenas quando utilizado em conjunto com P (IAS+P). A relação entre  $\Theta_i$  e o coeficiente de escoamento superficial foi significativa, mas fraca, com grande dispersão do coeficiente de escoamento superficial para teor de água do solo acima da capacidade de campo. Embora não tenha sido evidente um limiar

entre  $\Theta_i$  e o coeficiente de escoamento superficial, os maiores coeficientes de escoamento superficial foram registrados em eventos cujo  $\Theta_i$  foi próximo ou superior à capacidade de campo. Esse artigo foi submetido na revista *Environmental Monitoring and Assessment* e estamos em processo de revisão: Bartels et al. (2022). Influence of initial soil moisture and precipitation on runoff generation in a small catchment. *Environmental Monitoring and Assessment*. Submetido.

#### **b) Modelo LISEM**

O modelo Lisem foi aplicado na sub bacia do arroio do Ouro de 2,16 km<sup>2</sup>. Foram selecionados 11 eventos ocorridos entre 2017 e 2019 para a calibração do modelo Lisem para a estimativa da vazão, utilizando dados de umidade do solo estimados com RNAS com vazão máxima entre 0,156 (evento de 08/08/2017) e 3,09 m<sup>3</sup>/s (evento de 03/10/2019). Nesse modelo, cada evento é calibrado separadamente dos demais, resultando em parâmetros distintos. Foram calibrados os parâmetros de Condutividade hidráulica saturada, coeficiente de Manning para o canal e coeficiente de Manning para a vertente. Na figura 5 são apresentados os hidrogramas observados (linha preta) e os simulados (linha vermelha) e o hietrograma (gráfico de barras em azul).

O coeficiente NS para esses eventos variou entre 0,53 e 0,9, sendo que 7 eventos tiveram NS > 0,65 (considerados como bons ou muito bons por Moriasi et al. 2007). A forma dos hidrogramas simulados acompanhou bem os observados. Os outros quatro eventos foram considerados com desempenho satisfatório, segundo Moriasi et al. (2007), com Ns entre 0,5 e 0,65). Os bons resultados devem-se em parte a ótima resolução do Modelo Digital do Terreno com curvas de nível a cada 5 metros, que foi construído com medições de topografia e auxílio de drone. A umidade inicial do solo, que foi estimada com modelo de RNAs e utilizada como dado de entrada no modelo, também foi um fator importante para a obtenção dos bons resultados. Em outros estudos a umidade inicial do solo foi obtida com estimativa baseada nas chuvas antecedentes aos eventos simulados (de Barros et al., 2021; Vargas et al., 2021), entretanto a chuva não foi considerada menos importante para estimar umidade do solo quando comparada às características do solo principalmente na camada de 10 a 20 cm (Bartels et al., 2021b).

O Lisem conseguiu simular bem eventos mais complexos, com mais de um pico de vazão (eventos 1, 4 e 9), entretanto não simulou bem os pequenos picos que ocorreram após a

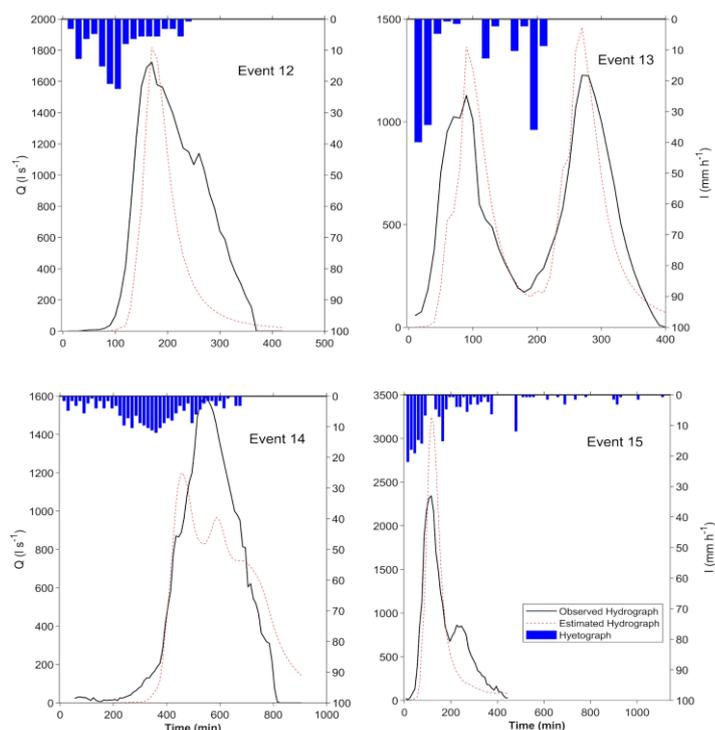
vazão máxima (Evento 1) e antes da vazão máxima (evento 11). Essa dificuldade também relatada por outros autores (de Barros et al., 2021a; Grum et al., 2017 e Hessel et al., 2006).

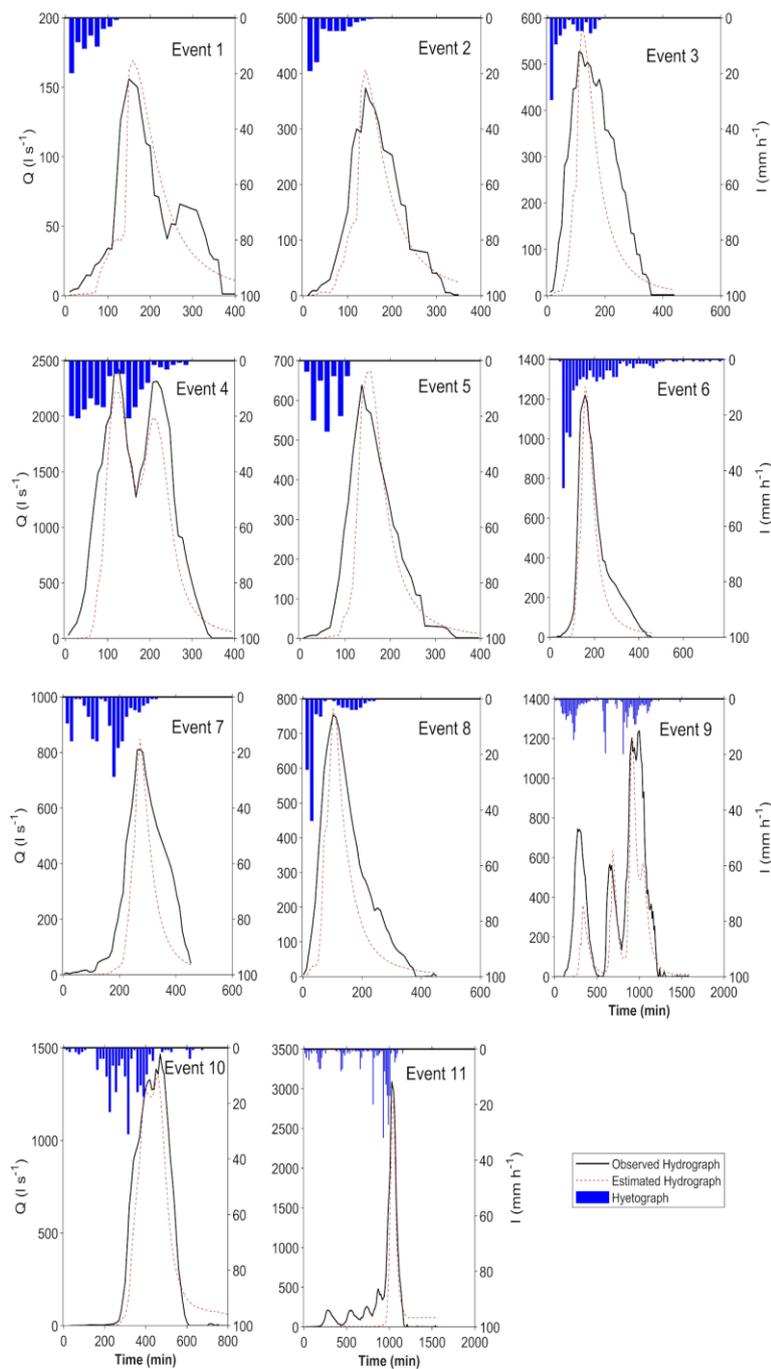
Após a etapa de calibração do modelo Lisem foram selecionados quatro eventos (que não haviam sido utilizados na etapa de calibração) para aplicar o modelo Lisem utilizando a média dos parâmetros calibrados para os 11 eventos e utilizando a umidade inicial do solo estimada pelo modelo de RNAs para o momento imediatamente anterior ao início dos eventos. Esses eventos ocorreram em 2019 e em 2021 com vazões máximas entre 1,23 m<sup>3</sup>/s e 2,34 m<sup>3</sup>/s. Os coeficientes NS obtidos para esses eventos foram de 0,54; 0,67; 0,75 e 0,61. Os desempenhos de dois eventos (eventos 13 e 14) foram considerados bons, segundo Moriasi et al. (2007) com NS entre 0,65 e 0,75 e dos outros dois eventos (eventos 12 e 15) foram considerados satisfatórios por Moriasi et al (2007) com NS entre 0,5 e 0,65. Além disso a forma dos hidrogramas também foi simulada de maneira satisfatória, incluindo o evento 13 com dois picos de vazão.

Na figura 6 são apresentados os hidrogramas observados (linha preta) e simulados (linha azul) e o hietograma (gráfico de barras azul) para os 04 eventos utilizados na etapa de verificação. Como conclusão dessa etapa da pesquisa podemos afirmar que a boa qualidade do modelo digital do terreno, aliado ao dado de umidade do solo estimado com RNAs.

Um artigo com esses resultados está sendo elaborado para publicação.

Figura 6. Hidrogramas Observados e simulados com o modelo Lisem para alguns eventos.





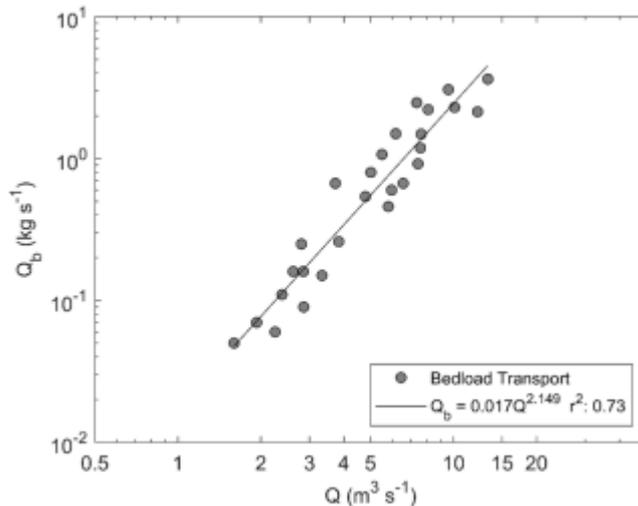
**c) Aplicação de equações para avaliar o transporte de sedimentos por arraste:**

Na bacia do arroio Ouro, os dados de sedimentos por arraste foram utilizados para avaliar o desempenho de cinco equações para estimar a carga de arraste em rios, sendo elas descritas em: Wilcock e Crowe (2003), Rickenmann (2001), Recking (2010), Recking (2013) e Meyer-Peter e Mueller (1948). Utilizou-se vazões entre 1,6 e 14,8 m<sup>3</sup>/s e mediu-se 0,05 à 3,63 kg/s de material transportado pelo leito do rio no local medido (exutório da bacia). Com os

dados medidos de Vazão e Descarga sólida do leito obteve-se um ajuste para uma curva exponencial com a seguinte equação:

Descarga sólida no leito=  $0,017 \times \text{Vazão}^{2,149}$  , onde Descarga sólida em kg/s e Vazão em  $\text{m}^3/\text{s}$ . Na figura 7 é apresentada essa relação.

Figura 7. Relação Descarga sólida e vazão na estação fluviométrica da bacia do D'Ouro



Dentre todas as equações, Recking (2013) apresentou o melhor resultado para o caso em que 85,2% das estimativas ficaram dentro de uma ordem de grandeza das taxas de transporte medidas ( $0,1 < r < 10,0$ ); isso foi seguido pelo Recking (2010) (70,4% das estimativas dentro de uma ordem de magnitude) e equações de Meyer-Peter e Müller (1948) (37% das estimativas dentro de uma ordem de magnitude). Resultados ótimos na estimativa da taxa de transporte de carga de fundo foram obtidos ao usar o cisalhamento reduzido tensão ( $\tau'$ ) e fator de redução do material de leito disponível (Frm) juntos nas cinco equações testadas. Analisando as duas abordagens separadamente, a implementação de  $\tau'$  provou ser mais importante para melhorar o desempenho das equações do que usar apenas Frm. Porém, observamos que as equações superestimaram a taxa de transporte da carga de fundo no trecho do rio estudado, indicando uma subestimação da perda de energia nas equações de resistência ao fluxo de leitos rochosos mistos-canais aluviais.

Esses resultados foram publicados no artigo: Bartels et al (2021) - Performance of bedload transport equations in a mixed bedrock-alluvial channel environment; CATENA 199 (2021b) 105108.

Nesta pesquisa foram selecionados os modelos de base física hidrossedimentológicos SWAT e LISEM e modelos matemáticos feitos com Redes Neurais Artificiais (RNAs) para realizar a estimativa da descarga sólida, além da estimativa de outras variáveis que serviram

como variável de entrada para o uso dos modelos SWAT e Lisem. A seguir serão descritos os resultados obtidos com a aplicação dos modelos SWAT e LISEM e com a elaboração e aplicação dos modelos com RNAs.

### 3.4 Meta 4. Divulgação dos resultados na forma de publicações e orientação de três Teses de Doutorado:

Foi planejado, em 2019, obter-se com esse projeto de pesquisa **três Teses** de Doutorado e **cinco artigos** científicos publicados em periódicos.

Foram obtidas, além das **três Teses de Doutorado, um Trabalho de Conclusão de Curso** da engenharia Ambiental e até o presente momento (outubro de 2022) foram elaborados **seis artigos**, sendo que três foram publicados e três foram submetidos, todos em periódicos internacionais classificados como A1 pela CAPES na área de engenharia 1. Além desses, estamos aguardando coleta de dados na bacia do D'Ouro para complementar informações e elaborar outro artigo.

Na tabela 3 são apresentados os trabalhos planejados no momento da submissão do projeto de pesquisa ao CNPq e os trabalhos publicados e submetidos.

Tabela 3. Teses e artigos planejados em junho de 2019 e situação atual.

Tese ou artigo planejado no projeto de pesquisa (elaborado em junho de 2019)	Trabalhos publicados ou submetidos
Tese 1: Laís Teixeira – Estimativa da concentração de sedimentos em suspensão em bacias agrícolas embutidas com uso de Redes Neurais Artificiais – bacia no noroeste do Rio Grande do Sul.	Estimativa de produção de sedimentos em bacias agrícolas para cenários futuros Data do exame de qualificação: 15/05/2020 Data da defesa da Tese: 07/10/2022 Orientador: Olavo Pedrollo Co-orientadora: Nilza Maria dos Reis Castro <a href="http://hdl.handle.net/10183/253086">http://hdl.handle.net/10183/253086</a>
Tese 2: Priscila Mariani – Estimativa da descarga sólida com uso o modelo SWAT e calibração multiespacial em bacias agrícolas no noroeste do Rio Grande do Sul.	Calibração multiespacial do modelo SWAT para estimativa de vazão e produção de sedimentos em suspensão em bacia hidrográfica agrícola. Data do exame de qualificação: 29/04/2020 Data da defesa da Tese: 02/10/2023. Orientadora: Nilza Maria dos Reis Castro

<p>Tese 3: Guilherme Bartels – Influência dos dados de umidade do solo na eficiência do modelo LISEM em estimar descarga sólida em uma pequena bacia agrícola no sul do Rio Grande do Sul.</p>	<p>Dinâmica da umidade do solo na geração de escoamento superficial em uma pequena bacia hidrográfica.</p> <p>Aluno Guilherme Kruiger Bartels</p> <p>Data da defesa da Tese: 31/03/2022</p> <p>Orientadora: Nilza Maria dos Reis Castro</p> <p><a href="http://hdl.handle.net/10183/240000">http://hdl.handle.net/10183/240000</a></p>
<p><b>TCC Extra:</b> Não foi previsto esse trabalho no momento do projeto submetido ao CNPq, mas foi possível realizá-lo. Trata-se de um Trabalho de Conclusão de Curso - TCC da engenharia ambiental.</p>	<p>Estimativa da curva-chave com redes neurais artificiais: estudo de caso - arroio Taboão,</p> <p>Aluna: Angélica de Paoli Schmidt</p> <p>Data da defesa do TCC: 18/05/2022</p> <p>Orientadora: Nilza Maria dos Reis Castro</p> <p><a href="http://hdl.handle.net/10183/255259">http://hdl.handle.net/10183/255259</a></p>
<p>Artigo 1: Estimativa da umidade do solo com uso de Redes Neurais Artificiais na bacia do arroio Ouro → <b>Publicado</b></p>	<p>Bartels, G.K. Nilza Maria dos Reis Castro, Pedrollo, O.; Collares, G.L. Soil moisture estimation in two layers for a small watershed with neural network models: Assessment of the main factors that affect the results. Catena 207 (2021) 105631.</p> <p><a href="https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105631">https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105631</a></p>
<p>Artigo 2: Avaliação da carga de sedimentos de leito do rio na bacia do arroio Ouro → <b>Publicado.</b></p>	<p>Bartels, G.K.; Castro, N.M.R.; Collares, G.L.; Fan, F.M. Performance of bedload transport equations in a mixed bedrock–alluvial channel environment. Catena 199 (2021) 105108.</p> <p><a href="https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.105108">https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.105108</a></p>
<p>Artigo 3: Estimativa da descarga sólida com uso do modelo LISEM para bacia do arroio Ouro → <b>Parcialmente executado, em elaboração.</b></p>	<p>Os dados de CSS obtidos na bacia do arroio do Ouro não são suficientes para uma estimativa adequada da curva chave cota-CSS. Essa curva chave é essencial para a obtenção da série de CSS para a aplicação do modelo LISEM para estimativa da descarga sólida em suspensão.</p> <p>Porém, toda a parte da calibração e verificação da vazão com esse modelo já foi realizada e um artigo foi submetido com esses resultados. Essa é uma etapa anterior à estimativa da descarga sólida. Estamos fazendo esforços para obter dados de CSS em número e qualidade suficiente para elaborar uma curva chave (cota-CSS) e assim poder aplicar o modelo LISEM para a estimativa da descarga sólida.</p>

<p>Artigo 4: Estimativa da Concentração de sedimentos em suspensão (CSS) com redes neurais artificiais, para várias escalas de bacias embutidas no rio Potiribu.--&gt; <b>Publicado.</b></p>	<p>Teixeira, L. C.; Mariani, P. P.; Olavo Correa Pedrollo, O. C.; Castro, N.M.R; Sari, V. Artificial Neural Network and Fuzzy Inference System -Models for Forecasting Suspended Sediment and Turbidity in Basins at Different Scales. Water Resources Management (2020) 34:3709–3723. <a href="https://doi.org/10.1007/s11269-020-02647-9">https://doi.org/10.1007/s11269-020-02647-9</a></p>
<p>Artigos 5 e 6: Estimativa da descarga sólida utilizando o modelo SWAT e calibração multiespacial na bacia do rio Taboão (sub bacia do rio Potiribu)→ <b>Submetidos.</b></p> <p>Foram elaborados e submetidos 2 artigos sobre esse tema.</p>	<p>Mariani, P.P.; Castro, N.M.R; Sari, V.;Schmitt, T.C.; Pedrollo, O. Different infiltration methods for swat model seasonal calibration of flow and sediment production. 2023. Submetido. Water Resources Management. Artigo aceito com correções a fazer. Estamos trabalhando nas correções. (aceite do editor em anexo)</p> <p>Mariani, P.P.; Castro, N.M.R; Pedrollo, O.; Sari, V.; Medeiros, P.M. Eficiencia da calibração multiespacial do modelo swat para estimativa da vazão e da produção de sedimentos em bacia hidrográfica rural. 2023. Revista Journal of Hydrology → <b>Submetido</b></p>
<p><b>Extra:</b> Artigo 7, não planejado em junho de 2019, mas foi possível elaborá-lo. Trata-se da análise da umidade inicial do solo na bacia do arroio do Ouro obtida com o modelo de RNAs e análise da chuva e da geração de escoamento na bacia.--&gt; <b>Submetido.</b></p>	<p>Bartels et al. (2022 submetido). . Revista Environmental Monitoring and Assessment submetido em 2022. Artigo aceito com correções a fazer. Estamos trabalhando nas correções (aceite do editor em anexo)</p>

#### 4. Equipe do projeto

Na tabela 4 é apresentada uma lista com a equipe prevista para a realização do projeto e são feitos alguns comentários se a pessoa prevista na equipe conseguiu efetivamente trabalhar no projeto.

Tabela 4. Equipe de trabalho.

Equipe prevista	Comentários
Três alunos de doutorado: <b>Guilherme Bartels, Laís Teixeira e Priscila Marini.</b>	Todos os três alunos de Doutorado trabalharam nesse projeto. Atualmente Laís Texeira é professora na Faculdade de Horizontina (FAHOR), Priscila é professora na Universidade de Santa Cruz (UNICRUZ)

	e Guilherme trabalha como pesquisador em um projeto conjunto da Embrapa e Itaipú.
Uma aluna de graduação (engenharia hídrica), bolsista do projeto de extensão “Laboratório de sedimentos” cuja autora é coordenadora. Esta aluna (Sílvia Pereira Marengo) é formada no Curso Técnico em Hidrologia (CTH) e fará as análises laboratoriais sob supervisão do técnico responsável, além de ajudar os técnicos na coleta de dados à campo.	Essa aluna foi bolsista de janeiro a junho de 2020, mas não foi possível mantê-la no projeto, pois o laboratório teve que permanecer fechado na maior parte dos meses dos anos de 2020 e 2021. Quando o laboratório foi reaberto em 2022, contratamos um bolsista da graduação da engenharia cartográfica, que também é técnico em hidrologia e ele participou da equipe auxiliando nas análises laboratoriais quando foram retomadas em junho de 2022. O nome desse bolsista é <b>Rudimar Kaminski</b> .
Um aluno de graduação (agronomia), bolsista do projeto de extensão “laboratório de Sedimentos” cuja autora é a coordenadora. Este aluno é responsável pela inserção dos dados no banco de dados utilizado nesta pesquisa, o HYDRACESS, além de ajudar na crítica dos dados, análises e redação de artigos. Este aluno está se preparando para ingressar no Mestrado do Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental na Instituição e tem muito interesse em continuar trabalhando neste projeto.	Esse aluno, Luis Henrique Dieter, permaneceu como bolsista até junho de 2020, mas sua bolsa foi cancelada devido à falta de recursos durante a pandemia. O técnico em hidrologia e servidor do IPH UFRGS Pedro Medeiros realizou essa atividade. Sua participação já estava prevista neste projeto para trabalho de campo.
	Uma aluna de graduação (engenharia ambiental) foi incluída nessa pesquisa sob minha orientação em seu TCC ( <b>Angélica de Paoli</b> ).
Dois técnicos em hidrologia, servidores da instituição: <b>Aron Funke e Pedro Medeiros</b> . O primeiro é responsável pelas coletas mensais dos dados da bacia do rio Potiribu e pelas análises laboratoriais. O outro realizará as coletas dos dados quando o hidrotécnico responsável não tiver disponibilidade de ir à campo, e trabalhará na confecção de mapas que serão utilizados nos relatórios e publicações. Ambos têm formação além do curso técnico em hidrologia, de graduação. O primeiro em geologia e o segundo em geografia.	Esses dois técnicos fizeram parte da equipe desse projeto e foram fundamentais para realizar a coleta de dados e medições à campo.
Um professor do IPH-UFRGS – <b>Olavo Pedrollo</b> - especialista em Redes Neurais	Além de orientar a aluna de doutorado Laís Teixeira, esse professor foi co-autor de várias

Artificiais que orientará a aluna de Doutorado Laís Teixeira →	publicações realizadas no quadro desse projeto, e participou como principal colaborador em todos os modelos realizados com Redes Neurais Artificiais (estimativa da CSS para as bacias do rio Potiribu, estimativa da umidade do solo para a bacia do arroio d'Ouro, estimativa da curva chave cotavazão para a bacia do Taboão.
Um professor da UFPEL – <b>Gilberto Colares</b> - que é co-orientador do aluno de Doutorado Guilherme Bartels e que é responsável por toda infra-estrutura da coleta dos dados e análises laboratoriais da bacia do arroio Ouro, localizada no sul do estado, além de ter ampla experiência em pesquisa com bacias experimentais, hidrologia e sedimentologia.	Esse professor participou ativamente de toda a pesquisa e publicações realizadas na bacia do arroio d'Ouro e na co-orientação da Tese de Doutorado do aluno Guilherme Kruger Bartels e é co-autor dos artigos realizados que foram realizados sobre a bacia do arroio D'Ouro.
Uma professora da UFSM – <b>Vanessa Sari</b> que é co-orientadora da aluna Priscila Marini e atuará principalmente com as pesquisas relacionadas ao modelo SWAT.	Essa professora participou ativamente da co-orientação da Tese de Doutorado da aluna Priscila Mariani que trata das simulações com o modelo SWAT nas bacias do rio Potiribu e é co-autora de dois artigos que foram submetidos.
A autora do projeto Nilza Maria dos Reis Castro	A autora do projeto participou ativamente de todas as etapas dessa pesquisa, na coordenação do projeto de extensão que arrecada fundos para o financiamento das despesas para a coleta de dados (diárias de campo, combustível e bolsas), na orientação de alunos, na co-autoria de publicações e na confecção de relatórios e na orientação e co-orientação do TCC e das Teses de Doutorado relacionadas.

## 5. Disponibilidade efetiva de infra-estruutra

O presente projeto foi realizado no Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) com apoio da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL).

Para os dados da bacia do rio Potiribu, que vem sendo monitorada pelo IPH-UFRGS desde 1989, temos o apoio dos técnicos em hidrologia do Instituto, motoristas, veículos tracionados, barcos, guincho, sistema de cabo teleférico, equipamentos com o molinete, contadores, ADCP, GPS, amostradores de sedimentos em suspensão, gerador de energia, ferramentas, equipamentos de proteção (macacão, coletes de salva vida, botas), computadores, note-books

entre outros. No campo, estão instalados os seguintes equipamentos: uma estação meteorológica, quatro linígrafos, seis pluviógrafos. Temos alguns dados de turbidímetros, mas no momento não há nenhum disponível para instalação no campo. Contamos também com a estrutura do laboratório de sedimentos, cuja autora do projeto é chefe desde 01/08/2009, equipado com estufas, balanças de precisão, equipamento de filtragem à vácuo, dessecadores, peneiras, vidrarias, reagentes, destilador, etc..

A continuidade da coleta de dados deveria ser garantida com o apoio do projeto de extensão laboratório de sedimentos (administrado pela FAURGS), coordenado pela autora deste projeto, que vem sendo renovado a cada dois anos desde 2009. Foi previsto nesse projeto, que caso não ocorresse renovação do projeto a partir de 2020, faríamos este projeto com dados coletados até esse período. Na verdade, houve renovação desse projeto, porém, algo totalmente inesperado aconteceu: a pandemia. Devido à pandemia, não foi possível utilizar o laboratório em vários meses dos anos de 2020 e 2021 (regras da UFRGS), e quando foi possível a reabertura, não havia recursos financeiros para financiar as viagens de campo e bolsistas. Então, conforme previsto pela autora no momento da proposta desse projeto, realizamos a maior parte desse projeto com dados coletados até março de 2020.

Para os dados da bacia de Pelotas, contamos com o apoio financeiro da UFPEL (Universidade Federal de Pelotas). O professor Gilberto Colares, da UFPEL é co-orientador do aluno Guilherme Bartels e faz parte da equipe desse projeto, e colocou à disposição todo o apoio logístico de coleta de dados e análises laboratoriais que foram realizadas nessa universidade. Porém essa bacia também foi afetada pela pandemia e houve problemas para coleta de dados a partir de março de 2020.

## **6. Resultados esperados**

Foram previstos obter-se os seguintes resultados para as bacias de estudo:

1. Vazão líquida (L/s) a cada 10 minutos ao longo de período selecionado, obtida com a curva chave cota x vazão,
2. Concentração de sedimentos em suspensão (CSS) (G/L) a cada 10 minutos ao longo de período selecionado, obtida com a curva chave cota x CSS,
3. Descarga sólida (g/s) a cada 10 minutos ao longo de período selecionado (cálculo),
4. Descarga sólida em suspensão transportada pelo rio (Toneladas/dia) e descarga sólida específica (tonelada/dia/km<sup>2</sup>), que passa pelo exutório das bacias, em um

período selecionado (não necessariamente o mesmo para cada bacia em função dos dados obtidos).

5. Calibração dos modelos SWAT, LISEM e RNAs para estimativa de vazão e CSS (ou descarga sólida) para as bacias do Potiribu e do arroio Ouro, e verificação com dados obtidos à campo.
6. Publicação dos resultados em 3 Teses de Doutorado e 3 artigos em revistas científicas, sendo que mais 3 artigos estão submetidos (2 em processo de revisão, com aceite parcial).

Esses resultados foram obtidos e apresentados e discutidos nos seguintes trabalhos: Trabalho de Conclusão de Curso, três Teses de Doutorado e 6 publicações em artigos científicos. São produtos muito preciosos para a compreensão dos processos hidrossedimentológicos nas bacias hidrográficas.

## **7. Atividades acadêmicas desenvolvidas pela autora no período da bolsa.**

A seguir é apresentado um breve resumo das atividades acadêmicas desenvolvidas pela autora, no período da bolsa obtida.

a) **Atividades de ensino:** A autora ministrou aulas na graduação (Irrigação e Drenagem para Agronomia, Irrigação e Drenagem para engenharia hídrica, Irrigação e Drenagem para a engenharia ambiental e engenharia civil) e pós-graduação (Hidrometria e Irrigação).

b) **Atividades de pesquisa:** As atividades de pesquisa desenvolvidas pela autora neste período, referem-se à linha de pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do IPH-UFRGS intitulada “Monitoramento, análise e modelagem de variáveis hidrológicas (ou sedimentológicas) em bacias rurais”. Tanto as orientações de Mestrado e Doutorado, como os artigos publicados se referem à essa linha de pesquisa.

c) **Atividades de extensão:** A autora foi durante todo este período e continua sendo coordenadora do projeto de extensão Laboratório de sedimentos na forma de anexo III. Neste projeto são realizadas análises laboratoriais. Foram acolhidos nesse projeto bolsistas da graduação. Com este projeto é possível manter as bolsas dos estagiários e fazer a manutenção da estrutura física do laboratório, aquisição de equipamentos e de materiais de consumo, que são utilizados no laboratório para as análises das pesquisas realizadas na instituição e para as aulas da Graduação e Pós-Graduação, além de possibilitar ajuda de custo para o monitoramento

da bacia do rio Potiribu. Com a pandemia a aquisição de recursos através desse projeto foi severamente prejudicada, pois o laboratório ficou fechado por vários meses, devido às portarias da Universidade, e quando foi possível o retorno das atividades no laboratório, as empresas que enviavam amostras para serem analisadas, também afetadas pela crise financeira devido à pandemia, diminuíram consideravelmente o número de amostras. Esse problema acarretou a suspensão da coleta de dados na bacia do rio Potiribu entre março de 2020 e maio de 2022. Além desse laboratório, a autora trabalhou na inserção de carga horária de extensão em atividade de ensino, nas disciplinas da graduação de irrigação e drenagem. Nesse projeto de extensão, os alunos da graduação desenvolvem um projeto de irrigação em hortas comunitárias localizadas em Porto Alegre. Muitos contatos e visitas foram realizadas na horta selecionada para os projetos e as apresentações dos projetos foram realizadas pelos alunos para as voluntárias da horta. O Instituto Koinós, que é uma fundação sem fins lucrativos, financiou os materiais para a instalação dos projetos na horta. Esse projeto segue em desenvolvimento, e em cada semestre é selecionada uma horta comunitária, a partir das demandas da comunidade. Esse projeto foi selecionado pela UFRGS para apresentação oral no 41º SEURS- Seminário de Extensão Universitária da Região Sul, que acontecerá de 24 a 27 de outubro de 2015 em Ponta Grossa. A Pró Reitoria de Extensão da UFRGS, selecionou 15 projetos para serem apresentados nesse evento, de forma oral. Nosso projeto é intitulado: PROJETOS DE IRRIGAÇÃO EM HORTAS COMUNITÁRIAS URBANAS: INSERÇÃO DE ATIVIDADE DE EXTENSÃO NA DISCIPLINA DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM. Coordenação: Nilza Maria dos Reis Castro (Instituto de Pesquisas Hidráulicas). Área temática: Meio Ambiente. Link [PROEXT divulga trabalhos selecionados para representar a UFRGS no 41º SEURS – UFRGS – PROEXT](#)

d) **Atividades administrativas:** A autora é chefe do laboratório de sedimentos do IPH desde 2008.

e) **Publicações:** Entre março de 2020 e março de 2023, a autora publicou três artigos em periódicos internacionais classificados como A1 pela CAPES, todos relacionados com o projeto, sendo Teixeira et al. (2020) referente à bacia do rio Potiribu e os dois de Bartels et al. (2021) referentes à bacia do rio d'Ouro. Foi defendida um TCC e três Teses de Doutorado sob minha orientação ou co-orientação, todas relacionadas com o projeto. Esses trabalhos estão descritos na tabela 3.

## 8. Conclusão

A pandemia atrapalhou, mas não impediu de obtermos os resultados esperados para esse projeto de pesquisa. Nós conseguimos obter todos os resultados planejados no momento da elaboração do projeto para bolsa de produtividade em pesquisa do CNPq, em 2019. Fico muito feliz com os resultados obtidos, pois, além do cumprimento das promessas realizadas no momento da elaboração do projeto, certamente contribuíram para a ciência, para a formação de recursos humanos e para a sociedade.

Como formação de recursos humanos nesse projeto, destaca-se uma aluna de graduação que realizou seu TCC, três alunos de Doutorado que defenderam suas Teses, todos no quadro desse projeto. Também podemos destacar alunos de graduação que foram bolsistas do projeto, por um curto prazo, devido a pandemia, mas que tiveram formação nessa área.

Como contribuição para a sociedade, além dos recursos humanos formados com a ajuda desse projeto (alunos de graduação e pós-graduação), conseguimos melhorar o conhecimento científico na área de hidrologia e sedimentos de bacias hidrográficas. Testamos metodologias para calibração de modelos hidrossedimentológicos de base física e desenvolvemos modelos de inteligência artificial (Redes Neurais Artificiais) que se mostraram eficientes em estimar umidade do solo, vazão e produção de sedimentos em bacias hidrográficas rurais. Com os conhecimentos adquiridos e publicados, os modelos elaborados, calibrados e testados, poderão ser utilizados para a estimativas de vazão e produção de sedimentos em diversas situações de alteração de uso do solo e de eventos extremos de chuvas, por exemplo. Com as mudanças climáticas, eventos extremos estão ocorrendo e o poder público (prefeituras, estado, defesa civil, bombeiros) precisa de instrumentos eficientes para previsão e tomada de decisão. Portanto, acredito que essa pesquisa pode contribuir para a sociedade.

Para o sucesso desse projeto, foi fundamental o envolvimento de alunos de graduação e de pós-graduação, professores e técnicos da UFRGS, UFSM e UFPEL que trabalharam em uma bela sinergia.

Acredito que cumpri tudo que foi planejado nesse projeto de pesquisa de maneira bastante satisfatória.

## 9. Referências Bibliográficas

- ADIB A, MAHMOODI A. Prediction of suspended sediment load using ANN GA conjunction model with Markov chain approach at flood conditions. *KSCE Journal of Civil Engineering* 21: 447-457. 2015. <https://doi.org/10.1007/s12205-016-0444-2>.
- AFAN HA, EL-SHAFIE A, YASEEN ZM, HAMEED MM, MOHTAR WHMW, HUSSAIN A. ANN based sediment prediction model utilizing different input scenarios. *Water Resour Manag* 29:1231–1245, 2015.
- BARTELS, G.K. NILZA MARIA DOS REIS CASTRO, PEDROLLO, O.; COLLARES, G.L. Soil moisture estimation in two layers for a small watershed with neural network models: Assessment of the main factors that affect the results. *Catena* 207. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105631>
- BARTELS, G.K.; CASTRO, N.M.R.; COLLARES, G.L.; FAN, F.M. Performance of bedload transport equations in a mixed bedrock–alluvial channel environment. *Catena* 199 2021b. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.105108>
- BARTELS G.; CASTRO, N.M.R.; COLARES, G. Influence of initial soil moisture and precipitation on runoff generation in a small catchment. *Revista Environmental Monitoring and Assessment* submetido em 2022.
- BORDAS, M.P.; BORGES, A.L. Escolha de bacias representativas e experimentais para estudo da erosão no planalto basáltico sulamericano. Trabalho apresentado no 8o. Congresso Brasileiro e Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação do Solo, Londrina, 1990.
- BUYUKYILDIZ M, KUMCU S.Y. An estimation of the suspended sediment load using adaptive network based fuzzy inference system, support vector machine and artificial neural network Models. *Water Resour Res* 31(4):1343–1359. 2017
- CASTRO N.M.R.; CHEVALLIER P. ; GOLDENFUM J. Projeto Potiribu atualização 1989-1998: dados básicos de fluviometria e pluviometria. Porto Alegre: Instituto de pesquisas Hidráulicas da UFRGS, (Recursos Hídricos, 35). 2000.
- CHOUBIN B, DARABI H, RAHMATI O, SAJEDI-HOSSEINI F, KLØVE B. River suspended sediment modelling using the CART model: A comparative study of machine learning techniques. *Science of the Total Environment* 615:272–281. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.293>
- DE BARROS, C. A. P., GOVERS, G., MINELLA, J.P.G., RAMON, R. How water flow components affect sediment dynamics modeling in a Brazilian catchment. *J. Hydrol.* 597. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126111>
- DE BARROS, C. A.P., MINELLA, J.P.G., SCHLESNER, A.A., RAMON, R., COPETTI, A.C. Impact of data sources to DEM construction and application to runoff and sediment yield modelling using LISEM model. *J. Earth Syst. Sci.* 130. 2021b. <https://doi.org/10.1007/s12040-020-01547-1>

EDWARDS, T.K., GLYSSON, D. Field methods for measurement of fluvial sediment, in: *Techniques of Water-Resources Investigations of the U.S. Geological Survey*. p. 89. 1999. <https://doi.org/10.1177/1525822X03262664>

GRUM, B., WOLDEAREGAY, K., HESSEL, R., BAARTMAN, J.E.M., ABDULKADIR, M., YAZEW, E., KESSLER, A., RITSEMA, C.J., GEISSEN, V.. Assessing the effect of water harvesting techniques on event-based hydrological responses and sediment yield at a catchment scale in northern Ethiopia using the Limburg Soil Erosion Model (LISEM). *Catena* 159, 20–34. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.07.018>

HESSEL, R., VAN DEN BOSCH, R., VIGIAK, O., 2006. Evaluation of the LISEM soil erosion model in two catchments in the East African Highlands. *Earth Surf. Process. Landforms* 31, 469–486. <https://doi.org/10.1002/esp.1280>

LAFDANI EK, NIA AM, AHMADI A. Daily suspended sediment load prediction using artificial neural networks and support vector machines. *Journal of Hydrology* 478:50-62. 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.11.048>

MEYER-PETER, E., MÜLLER, R. Formulas for bed-load transport. In: *Proceedings of the 2nd Meeting of the International Association of Hydraulic Research*. Stockholm, pp. 39–64. 1948. <https://doi.org/1948-06-07>.

MORIASI, D.N.; ARNOLD, J.G.; VAN LIEW, M.W.; BINGNER, R. L.; HARMEL, R.D.; VEITH, T.L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers*, v. 50, n. 3, p. 885-900, 2007.

PEKTAS AO, CIGIZOGLU HK. Investigating the extrapolation performance of neural network models in suspended sediment data. *Hydrological Sciences Journal* 62:1694–1703. 2017. <https://doi.org/10.1080/02626667.2017.1349316>

RECKING, A. Simple method for calculating reach-averaged bed-load transport. *J. Hydraul. Eng.* 139, 70–75. 2013. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0000653](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000653).

RECKING, A. A comparison between flume and field bed load transport data and consequences for surface-based bed load transport prediction. *Water Resour. Res.* 46, 1–16. 2010. <https://doi.org/10.1029/2009WR008007>.

RICKENMANN, D. Comparison of bed load transport in torrents and gravel bed streams. *Water Resour. Res.* 37, 3295–3305. 2001. <https://doi.org/10.1029/2001WR000319>.

SARI, V. CASTRO, N.M. dos R.; PEDROLLO, O.C. Estimate of suspended sediment concentration from monitored data of turbidity and water level using artificial neural networks. *Water Resources Management*, v. 31, n. 15, p. 4909-4923, 2017a. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1785-4>

TEIXEIRA, L. C.; MARIANI, P. P.; OLAVO CORREA PEDROLLO, O. C.; CASTRO, N.M.R; SARI, V. Artificial Neural Network and Fuzzy Inference System -Models for Forecasting Suspended Sediment and Turbidity in Basins at Different Scales. *Water Resources Management*, 34:3709–3723. 2020. <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02647-9>

UCA, EKHWAN T, OTHMAN J, ROSMINI M, AMAL A, ANSARI SA. Daily Suspended Sediment Discharge Prediction Using Multiple Linear Regression and Artificial Neural Network. J Phys: Conf Ser 954 012030. 2018. [doi :10.1088/1742-6596/954/1/012030](https://doi.org/10.1088/1742-6596/954/1/012030)

VARGAS, M.M., BESKOW, S., DE MELLO, C.R., DE MOURA, M.M., NUNES, M.C.M., FARIA, L.C., AQUINO, L.S. Capability of LISEM to estimate flood hydrographs in a watershed with predominance of long-duration rainfall events. Nat. Hazards 109, 593–614. 2021. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04850-2>

WILCOCK, P.R., CROWE, J.C.. Surface-based transport model for mixed-size sediment. J. Hydraul. Eng. 129, 120–128. 2003. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2003\)129:2\(120\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2003)129:2(120)).

WISCHMEIER, W.H. A rainfall erosion index for a Universal Soil Equation. Proceedings Soil Science Society of America, Madison, v. 23, p. 246-249, 1959.

## 10.ANEXOS

ANEXO 1. e-mail recebido do editor da revista Water Resources Managements aceitando o artigo, com a ressalva que devemos fazer as correções sugeridas pelos revisores, em relação ao artigo 5 (tabela 3).

**Fwd: WARM: Major Revisions Requested for WARM-D-23-00443**



**De** Priscila Pacheco Mariani <priscilamariani@unisc.br>  
**Para** Nilza Maria Dos Reis Castro <nilza.castro@ufrgs.br>, VANESSA SARI <vanessa.sari@ufsm.br>  
**Data** 2023-09-05 18:47

— Mensagem encaminhada —

**De:** Journals Editorial Office Water Resources Management <em@editorialmanager.com>  
**Data:** ter., 5 de set. de 2023 às 05:28  
**Assunto:** WARM: Major Revisions Requested for WARM-D-23-00443  
**Para:** Priscila Pacheco Mariani <priscilamariani@unisc.br>

Dear Mestre Mariani,

We have received the reports from our advisors on your article, "DIFFERENT INFILTRATION METHODS FOR SWAT MODEL SEASONAL CALIBRATION OF FLOW AND SEDIMENT PRODUCTION", which you submitted to "Water Resources Management".

Based on the advice received, I feel that your article could be reconsidered for publication should you be prepared to incorporate major revisions. When preparing your revised article, you are asked to carefully consider the reviewer comments which can be found below, and submit a list of responses to the comments.

If one or more reviewers have uploaded files related to their reviews, these files can be found on line.

In order to submit your revised article, please access the following web site:

Your username is: Priscila Pacheco Mariani  
If you forgot your password, you can click the 'Send Login Details' link on the EM Login page at <https://www.editorialmanager.com/warm/>.

We look forward to receiving your revised article within eight weeks.

Please make sure to submit your editable source files (i. e. Word, TeX).

With kind regards,

George P. Tsakiris, Ph.D.  
Editor-in-Chief  
Water Resources Management

Anexo 2: e-mail recebido do editor da revista Environmental Monitoring and Assessment aceitando o artigo, com a ressalva que devemos fazer as correções sugeridas pelos revisores, em relação ao artigo 7 (tabela 3).

----- Forwarded message -----

De: **Environmental Monitoring and Assessment** <[em@editorialmanager.com](mailto:em@editorialmanager.com)>

Date: seg., 8 de ago. de 2022 às 01:13

Subject: Major Revisions requested EMAS-D-22-01907

To: Guilherme Bartels <[guilhermebartels@gmail.com](mailto:guilhermebartels@gmail.com)>

Dear Dr Bartels,

We have received the reports from our advisors on your manuscript, "Influence of Initial Soil Moisture and Precipitation on Runoff Generation in a Small Catchment", which you submitted to Environmental Monitoring and Assessment.

Based on the advice received, I feel that your manuscript could be reconsidered for publication should you be prepared to incorporate major revisions. When preparing your revised manuscript, you are asked to carefully consider the reviewer comments below, and submit a list of responses to the comments.

You are kindly requested to also check the website for possible reviewer attachment(s).

You will need to log in to the journal and check the submission details as described below.

Your username is: guilhermebartels

If you forgot your password, you can click the 'Send Login Details' link on the EM Login page at <https://www.editorialmanager.com/emas/>.

To submit your revision, please login as author and click the Submissions Needing Revision link.

Also, please make sure to submit your editable source files (i. e. Word, TeX).

We look forward to receiving your revised manuscript before 31 Oct 2022

With kind regards,  
Dr. Frederick W. Kutz  
Associate Editor