

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**ESTUDO DAS RELAÇÕES ENTRE DESCARGAS
SÓLIDAS E LÍQUIDAS OBTIDAS POR MEIO DE
DIFERENTES MÉTODOS DE MEDIÇÃO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Letícia Grutka

Santa Maria, RS, Brasil.

2013

ESTUDO DAS RELAÇÕES ENTRE DESCARGAS SÓLIDAS E LÍQUIDAS OBTIDAS POR MEIO DE DIFERENTES MÉTODOS DE MEDIÇÃO

Letícia Grutka

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração Sistema Solo-Água, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM,RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Agrícola.**

Orientador: Prof. João Batista Dias de Paiva

Santa Maria, RS, Brasil.

2013

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Grutka, Letícia
ESTUDOS DA RELAÇÕES ENTRE DESCARGA SÓLIDAS E LÍQUIDAS
OBTIDAS POR MEIO DE DIFERENTES MÉTODOS DE MEDIÇÃO /
Letícia Grutka.-2013.
87 p.; 30cm

Orientador: João Batista Dias de Paiva
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2013

1. Molinete hidrométrico 2. Acoustic Doppler Profiler
(ADP) 3. Amostrador USDH 48 4. ISCO 5. Turbidímetro I.
Paiva, João Batista Dias de II. Título.

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**ESTUDO DAS RELAÇÕES ENTRE DESCARGAS SÓLIDAS E
LÍQUIDAS OBTIDAS POR MEIO DE DIFERENTES MÉTODOS DE
MEDIÇÃO**

elaborada por
Letícia Grutka
Engenheira Ambiental

Como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Agrícola

COMISSÃO EXAMINADORA:

João Batista Dias Paiva, Dr.
(Presidente/Orientador)

Nadia Bernardi Bonumá, Dr. (UFSC)

Jean Paolo Gomes Minella, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 2013.

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho aos meus pais
Albino Eduardo Grutka e Aniela Grutka.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador João Batista Dias de Paiva pelo ensinamento na área hidrossedimentológica, pela compreensão, dedicação, paciência e muito incentivo, meu muito obrigada!

Aos meus pais, Albino Eduardo Grutka e Aniela Grutka, pelo apoio, carinho e incentivo sempre.

À minha irmã Kátia Grutka pela amizade e incentivo.

Ao Alan Acosta pela compreensão, ajuda e incentivos em vários momentos deste trabalho.

Ao Alcides Sartori pelo apoio nas atividades de campo e pelo incentivo sempre, obrigada!

À colega Aline Schuck pelo incentivo, pela ajuda e aventuras a campo e pela amizade construída.

À Marielle Medeiros de Souza, pela ajuda e incentivos no trabalho.

Aos colegas Fábio Beling, Alencar Simão Rizzardie Robson Ilha pelo apoio e amizade.

Ao José Astério Rosa do Carmo pela amizade.

Aos bolsistas de iniciação científica Maíne Guerra e Luciane Calheiro pela ajuda nos trabalhos de laboratório e pela amizade.

A CAPES, CNPq e FINEP – CTHidro, pelas bolsas de estudos e apoio financeiro para o desenvolvimento desta pesquisa.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Santa Maria

ESTUDO DAS RELAÇÕES ENTRE DESCARGAS SÓLIDAS E LÍQUIDAS OBTIDAS POR MEIO DE DIFERENTES MÉTODOS DE MEDIÇÃO

AUTORA: LETÍCIA GRUTKA

ORIENTADOR: JOÃO BATISTA DIAS DE PAIVA

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 27 de fevereiro de 2013.

O objetivo deste trabalho foi estudar as relações entre descarga líquida e descarga sólida em suspensão segundo diferentes métodos. O trabalho foi realizado na Estação Fluviométrica Menino Deus IV, localizada em Santa Maria/RS. Relacionou-se a descarga sólida em suspensão, utilizando todas as amostras em ondas de cheia e dias sem precipitação, com a descarga líquida utilizando o amostrador integrado USDH 48 e o amostrador pontual ISCO. Obteve-se coeficientes de determinação de 93,4% e 85,0%, respectivamente para os amostradores USDH 48 e ISCO, podendo ser considerada uma boa correlação. Relacionou-se também a turbidez com a concentração de sedimentos em suspensão, obtendo a descarga sólida calculada com a descarga líquida utilizando o amostrador integrador USDH 48. Obteve-se um coeficiente de correlação de 93,0% com todas as amostras e com o ISCO de 85,2%. Observou que as medições automáticas de turbidez tornam-se uma alternativa viável em função da facilidade de instalação e por possibilitar um monitoramento contínuo e automático, sem a presença de um técnico no local, além da obtenção de resultados próximos aos métodos tradicionais sendo este o recomendado neste estudo. Para a determinação da descarga líquida, utilizou-se o método tradicional do molinete hidrométrico e o método acústico, utilizando o Acoustic Doppler Profiler (ADP). Pode-se concluir que com as profundidades inferiores a 0,28 m, o ADP não apresentou falhas na leitura de velocidade. Assim, para medições nestas condições, sugere-se utilizar o molinete hidrométrico, pois é um equipamento que fornece mais detalhes e agilidade no momento de manuseio.

Palavras-chave: ADP, molinete hidrométrico, ISCO, USDH 48, turbidímetro

ABSTRACT

Master Dissertation
Post-Graduation Program in Agricultural Engineering
Federal University of Santa Maria

STUDY OF RELATIONS BETWEEN SOLID AND LIQUID DISCHARGE OBTAINED BY DIFFERENT METHODS OF MEASUREMENT

AUTHOR: LETÍCIA GRUTKA

ADVISOR: JOÃO BATISTA DIAS DE PAIVA

Place and Date of Defence: Santa Maria, February 27, 2013.

The objective of this work was to study the relationship between liquid discharge and suspended sediment discharge by various methods. The study was carried out at Menino Deus IV Fluviometric Station, located in Santa Maria/RS. It was relating to solid discharge in suspension, using all samples in full waves and without precipitation, with the liquid discharge using the integrated sampler USDH 48 and ISCO sampler punctual. The coefficient of determination of 93.4 % and 85.0 %, were obtained respectively, to the samplers USDH 48 and ISCO, can be considered a good correlation. Also were related the turbidity with the sediments concentration in suspension, obtaining the solid discharge calculated with the liquid discharge using the sampler integrator USDH 48. A correlation coefficient of 93.0 % with all samples and the ISCO 85.2 % were obtained. It was observed that the automatic measurements by turbidity become a viable alternative due to the easy to install and to possible a continuous monitoring and automatic, without the presence of a technician in place, further obtaining similar results to the traditional methods which is recommended in this study. To determine the liquid discharge, the hydrometric windlass traditional method and the acoustic method was used, using an Acoustic Doppler Profiler (ADP). It can be concluded that with the depths less than 0.28 m, the ADP did not execute the reading speed and the presented reading failures. Thus, for measurements in these conditions, it is suggested to use the hydrometric windlass, because it is a device that provides more detail and flexibility when handling.

Key-words: ADP, hydrometric windlass, ISCO, USDH 48, turbidity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica Menino Deus IV.....	28
Figura 2 – Vista da Estação Fluviométrica Menino Deus IV em período normal (A) e em período de cheia (B).....	29
Figura 3 – Representação da seção transversal do rio da Estação Fluviométrica Menino Deus IV.....	29
Figura 4 – Mapa uso e ocupação do solo. (Fonte: Souza, 2013.).....	30
Figura 5 – Pluviógrafo da Estação Pluviométrica Maciel.....	32
Figura 6 – Detalhes do linígrafo. Abrigo (A) e sensor (B).....	33
Figura 7 – Perfilador acústico de corrente por Efeito Doppler (ADP) em uma prancha hidrodinâmica.....	34
Figura 8 – Amostrador integrador na profundidade USDH 48 (AMS1).....	35
Figura 9 – Amostrador ISCO (9A) e ISCO aberto com as 24 garrafas (9B).....	36
Figura 10 – Sonda digital DTS-12 (A) e Data Logger HDL-1 (B).	37
Figura 11 – Suporte e localização da sonda de turbidez.....	38
Figura 12 – Dados pluviométricos da Estação Pluviométrica Sítio do Maciel durante o período do estudo.....	40
Figura 13 – Representação da 1ª curva-chave válida para o período de outubro de 2011 a maio de 2012.....	42
Figura 14 – Representação da 2ª curva-chave, válida para junho a outubro de 2012.	43
Figura 15 – Perfil transversal da Estação Pluviométrica Menino Deus IV, no dia 5 janeiro de 2012.....	46
Figura 16 – Perfil transversal da Estação Pluviométrica Menino Deus IV, no dia 12 janeiro de 2012.....	46
Figura 17 – Perfil transversal com a velocidade absoluta da Estação Pluviométrica Menino Deus IV, no dia 12 janeiro de 2012.....	47
Figura 18 – Perfil de velocidade pelo ADP da Estação Pluviométrica Menino Deus IV, no dia 9 novembro de 2011.....	47

Figura 19 – Perfil de velocidade fornecido pelo ADP na Estação Pluviométrica Menino Deus IV, no dia 10 novembro de 2011.	48
Figura 20 – Descarga sólida em suspensão (Q_{ss}) x descarga líquida (Q), sendo Q_{ss} obtidas pelas amostras coletadas com o amostrador integrador na profundidade USDH 48 durante as ondas de cheia e em dias sem precipitação.	50
Figura 21 – Descarga sólida em suspensão (Q_{ss}) com o amostrador integrador na profundidade USDH 48 x descarga líquida (Q), na subida das ondas de cheia. ...	51
Figura 22 – Descarga sólida em suspensão (Q_{ss}) com o amostrador integrador na profundidade USDH 48 x descarga líquida (Q), na descida das ondas de cheia...	52
Figura 23 – Descarga sólida em suspensão média (Q_{ss} média) com o amostrador integrador na profundidade USDH 48 x descarga líquida (Q), nas ondas de cheia e em dias sem precipitação.	53
Figura 24 – Descarga sólida em suspensão média (Q_{ss} média) com o amostrador integrador na profundidade USDH 48 x descarga líquida (Q), na subida das ondas de cheia.	54
Figura 25 – Descarga sólida em suspensão média com o amostrador integrador na profundidade USDH 48 (Q_{ss} média) x descarga líquida (Q), na descida das ondas de cheia.	54
Figura 26 – Descarga sólida sedimentos em suspensão (Q_{ss}) com o amostrador ISCO x descarga líquida (Q), na subida e na descida das ondas de cheia.	56
Figura 27 – Descarga sólida em suspensão (Q_{ss}) obtida das amostras coletadas com o amostrador ISCO x descarga líquida (Q), na subida das ondas de cheia.	57
Figura 28 – Descarga sólida em suspensão (Q_{ss}) obtida das amostras coletadas com o amostrador ISCO x descarga líquida (Q) na descida das ondas de cheia.	57
Figura 29 – Descarga sólida em suspensão média (Q_{ss}) obtida das amostras coletadas com o amostrador ISCO x descarga líquida (Q), com todas as amostras nas ondas de cheia.	58
Figura 30 – Descarga sólida em suspensão média (Q_{ss} média) com o amostrador ISCO x descarga líquida (Q), na subida das ondas de cheia.	59
Figura 31 – Descarga sólida em suspensão média (Q_{ss} média) com o amostrador ISCO x descarga líquida (Q), na descida das ondas de cheia.	59
Figura 32 – Comparação dos resultados obtidos utilizando os 2 amostradores, relacionando a descarga sólida em suspensão média (Q_{ss} média) com a descarga líquida (Q)	61

Figura 33 – Relação entre descarga sólida em suspensão média utilizando o amostrador ISCO (Q _{ss} ISCO média) e descarga sólida em suspensão média utilizando o amostrador USDH 48(Q _{ss} USDH 48 média).....	62
Figura 34 – Relação da turbidez (T) com a concentração de sedimentos em suspensão (C _{ss}) obtida com o amostrador integrador na profundidade USDH 48 nas ondas de cheia e dias sem precipitação.	64
Figura 35 – Relação entre a Q _{ss} (t/dia) calculadas pela Equação 6 com a Q (m ³ /s), com as amostras das ondas de cheia e dias sem precipitação,	65
Figura 36 – Relação entre a Q _{ss} média (t/dia) calculadas pela Equação 6 com Q(m ³ /s), sendo estas obtidas com as amostras das ondas de cheia e dias sem precipitação	65
Figura 37- Relação da descarga sólida em suspensão calculada pela sonda de turbidez com a descarga sólida em suspensão obtida através do amostrador integrador na profundidade USDH 48, durante as ondas de cheias e em dias sem precipitação.	66
Figura 38 – Relação da turbidez (T) com a concentração de sedimentos em suspensão (C _{ss}) obtida com o amostrador integrador na profundidade USDH 48 na subida das ondas de cheia.....	67
Figura 39 – Relação Q _{ss} (t/dia) nas subidas das ondas de cheia calculadas pela equação 7 com a Q(m ³ /s).....	68
Figura 40 – Relação Q _{ss} média (t/dia) nas subidas das ondas de cheia calculadas pela equação 7 com a Q(m ³ /s)	68
Figura 41 – Relação da turbidez (T) com a concentração de sedimentos em suspensão (C _{ss}) com o amostrador integrador na profundidade USDH 48 na descida das ondas de cheia.....	69
Figura 42 – Relação Q _{ss} (t/dia) na descida das ondas de cheia calculada pela Equação 8 com a Q(m ³ /s).....	70
Figura 43 – Relação Q _{ss} média (t/dia) na descida das ondas de cheia calculada pela equação 8 com a Q (m ³ /s).....	70
Figura 44 – Relação da turbidez (T) com a concentração de sedimentos em suspensão (C _{ss}) obtida com o amostrador ISCO, na subida e na descida das ondas de cheia.....	72
Figura 45 – Relação da descarga sólida em suspensão (Q _{ss}) obtida com todas as amostras calculada pela equação 9 com a descarga líquida (Q).....	73
Figura 46 – Relação da descarga sólida em suspensão média (Q _{ss}) obtidas com todas as amostras calculada pela Equação 9 com a descarga líquida (Q)	74

Figura 47 – Relação da turbidez (T) com a concentração de sedimentos em suspensão (C _{ss}) com o amostrador ISCO na subida das ondas de cheia.	75
Figura 48 – Relação da descarga sólida em suspensão (Q _{ss}) calculada pela Equação 10 na subida das ondas de cheia com a descarga líquida (Q).....	76
Figura 49 – Relação da descarga sólida em suspensão média (Q _{ss}) calculada pela Equação 10 na subida das ondas de cheia com a descarga líquida (Q).....	76
Figura 50 – Relação da turbidez (T) com a concentração de sedimentos em suspensão (C _{ss}) com o amostrador ISCO na descida das ondas de cheia.....	77
Figura 51 – Relação da descarga sólida em suspensão (Q _{ss}) calculada pela equação 11 na descidas ondas de cheia com a descarga líquida (Q).....	78
Figura 52 – Relação da descarga sólida em suspensão média (Q _{ss} média) calculada pela equação 11 na descidas ondas de cheia com a descarga líquida (Q).	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Uso do solo na bacia hidrográfica Menino Deus IV.....	30
Tabela 2 – Caracterização do solo da bacia hidrográfica Menino Deus IV.	31
Tabela 3 – Medições utilizando o ADP.....	44
Tabela 4 – Estatística da relação entre descarga líquida com descarga sólida em suspensão (Qss) com o amostrador integrador na profundidade USDH 48, no geral, na subida e na descida das ondas de cheia.	55
Tabela 5 – Estatística da relação entre descarga líquida edescarga sólida em suspensão com o amostrador ISCO, no geral (todas as amostras), na subida e na descida das ondas de cheia.	60
Tabela 6 – Estatística da relação Qss Isco com Qss USDH 48.	63
Tabela 7 – Análise estatística da relação turbidez (T) e concentração de sedimentos em suspensão (Css) utilizando o amostrador integrador USDH 48, em todos as ondas de cheia e dias sem precipitação, na subida e na descida das ondas de cheia.	71
Tabela 8 – Análise estatística da relação Q x Qss, sendo o Qss e Qss médio calculo a partir da turbidez.	71
Tabela 9 – Análise estatística da relação turbidez (T) e concentração de sedimentos em suspensão (Css) utilizando o amostrador ISCO, com toda as amostras, na subida e na descida das onda de cheia.	80
Tabela 10 – Análise estatística da relação Q x Qss, sendo o Qss e Qss médio calculo a partir da turbidez.	80

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Abreviaturas da classificação do solo da Bacia Menino Deus IV.....	31
Quadro 2 – Comparação das vazões entre o molinete hidrométrico e o ADP.	45

SIGLAS

Css	Concentração de Sedimentos em Suspensão
T	Turbidez
Qss	Descarga sólida em suspensão
Q	Descarga Líquida
AMS1	Amostrador de material em suspensão, modelo 1
AMS2	Amostrador de material em suspensão, modelo 2
AMS3	Amostrador de material em suspensão, modelo 3
ADP	Acoustic Doppler Profiler
H	Altura
NTU	Unidades Nefelométricas de Turbidez
Qss média	Descarga sólida em suspensão média
Qss USDH 48	Descarga sólida em suspensão com amostrador integrador na profundidade USDH 48
Qss ISCO	Descarga sólida em suspensão com amostrador ISCO
Qss cal.	Descarga sólida em suspensão calculada
Qss cal. média	Descarga sólida em suspensão calculada média
Qss cal. geral	Descarga sólida em suspensão calculada geral

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 Objetivo Geral.....	19
1.2 Objetivos Específicos	19
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	20
2.1 Erosão	20
2.2 Sedimentos	20
2.3 Importância do monitoramento de sedimentos.....	21
2.4 Dados hidrológicos	22
2.4.1 Comparação de métodos convencionais e o método Acoustic Doppler Profiler (ADP) para medição de descarga líquida	23
2.5 Vantagens e desvantagens dos amostradores USDH 48 e ISCO.....	24
2.6 Amostragens isocinéticas	26
2.7 Concentração de sedimentos em suspensão e a turbidez.....	26
3 MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1 Descrições da área de estudo	28
3.2 Medidas Pluviográficas	32
3.3 Monitoramento de nível do rio	32
3.4 Medições de descarga líquida.....	33
3.4.1 Molinete Hidrométrico	33
3.5 Coletas de sedimentos em suspensão	35
3.5.1 Amostrador integrador na profundidade USDH 48.....	35
3.5.2 Amostrador ISCO	36
3.6 Turbidímetro	37
3.7 Análises de laboratório	38
3.8 Análises estatística.....	39
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
4.1 Dados Hidrológicos	40
4.1.1 Precipitação	40
4.1.2 Descarga líquida pelo molinete hidrométrico.....	41
4.1.3 Descarga líquida pelo Acoustic Doppler Profiler (ADP).....	43

4.2	Comparações das vazões utilizando o Molinete Hidrométrico e o ADP	44
4.3	Relação entre descarga sólida em suspensão e descarga líquida.....	49
4.3.1	Amostrador integrador na profundidade USDH 48.....	50
4.3.2	Amostrador ISCO	55
4.3.3	Comparações das relações utilizando os amostradores USDH 48 e ISCO.	60
4.3.4	Relação entre o amostrador USDH 48 e o amostrador ISCO.....	62
4.4	Relação turbidez e concentração de sedimentos em suspensão	63
4.4.1	Amostrador UDSH 48	63
4.4.2	Amostrador ISCO	72
5	CONCLUSÃO.....	81
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82

1 INTRODUÇÃO

Para o planejamento e aproveitamento dos recursos hídricos de uma região, o conhecimento de sedimentos transportados pelos rios é de extrema importância, uma vez que os danos causados pelos sedimentos dependem da quantidade e da natureza dos mesmos, os quais dependem dos processos de erosão, transporte e deposição. Os problemas começam a surgir quando a ocupação humana, muitas vezes desordenada, provoca um desequilíbrio nos processos naturais, trazendo consequências danosas para o meio ambiente.

O processo de urbanização, uso e ocupação do solo ocasiona grandes problemas do ponto de vista hidrológico e sedimentológico, provocando assim um desequilíbrio no ciclo hidrológico local e regional. Para uma melhor compreensão desses problemas se faz necessário o aprofundamento nos conhecimentos das áreas em processos de ocupação urbana e rural distintos por meio do monitoramento hidrosedimentológico.

A quantidade de sedimentos, proveniente da bacia hidrográfica, transportada em suspensão é altamente dependente das características físicas da bacia e da sua ocupação. Assim, os desmatamentos, agricultura, construções, asfaltamentos e outras ações antrópicas têm consequências imediatas sobre a produção de sedimentos, seu transporte e deposição nos cursos d'água.

Há restrições operacionais e econômicas que limitam a frequência de amostragem durante um evento de chuva, além dos problemas associados com o uso da curva-chave de sedimentos para extrapolar os dados fornecidos por um pequeno número de amostras.

Nesse contexto, há equipamentos que auxiliam nos monitoramentos hidrosedimentológicos sendo alguns mais trabalhosos e outros mais práticos. Para o monitoramento de sedimentos em suspensão destaca-se os equipamentos manuais como o USDH 48 sendo considerado um método tradicional sendo utilizado pela Agência Nacional das Águas e representativo em toda a seção transversal do rio e os equipamento automático por bombeamento como o ISCO sendo pontual, e podendo estar programado para a coleta por hora ou pelo nível do rio. A turbidez também pode ser uma alternativa para fornecer dados sobre a variação das concentrações de sedimentos em suspensão ao longo do tempo, gerando um registro contínuo de informações com menor custo operacional. Para o monitoramento da descarga líquida há equipamentos tradicionais como o hidromolinete hidrométrico e os aparelhos por efeito Doppler. Com isto sabe-se que há vários métodos que auxiliam para o

monitoramento hidrossedimentológico, mas cabe-se saber qual é mais apropriado e indicado em determinadas situações.

1.1 Objetivo Geral

Estudos das relações entre descarga líquida e descarga sólida em suspensão segundo diferentes métodos de descarga líquida e concentração de sedimentos em suspensão.

1.2 Objetivos Específicos

- ✓ Comparação de medidas de vazões utilizando o molinete hidrométrico e o ADP;
- ✓ Comparação de resultados obtidos de descarga sólida em suspensão com o amostrador integrador na profundidade USDH 48 (AMS1) e o amostrador ISCO;
- ✓ Obter relações entre turbidez e concentração de sedimentos em suspensão.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Erosão

Erosão é um conjunto de processos de desgaste de solos e rochas, podendo ser natural ou acelerada (SIMÕES; COIADO, 2001). A atuação gradual e contínua dos processos erosivos podem se dar pelos processos móveis ou antrópicos, que são responsáveis pela alteração do meio, de forma intensa e rápida, através da ação dos ventos ou ação mecânica da água sobre o solo. Os processos erosivos são definidos em três etapas: desagregação, transporte e deposição de sedimentos (CARVALHO, 2008).

A degradação do meio ambiente é conduzida pela utilização incorreta dos recursos naturais, dando a atenção ao uso e ocupação do solo. Este fato acelera os processos erosivos, ocasionando a degradação do solo, viabilizando a formação de ravinas, que poderão formar voçorocas, contribuindo diretamente para o assoreamento de cursos d'água e propiciando inundações. O uso e a ocupação desordenada do solo podem causar perturbações negativas no meio ambiente. Assim, levantamentos de informações sobre essa ocupação e suas consequências, tornam-se uma importante ferramenta no diagnóstico ambiental, sendo um processo contínuo de medição das características de determinado fenômeno, fundamental para a compreensão do meio-ambiente (KOBAYAMA et al., 2006).

2.2 Sedimentos

Os sedimentos podem ser definidos como fragmentos de rochas e de solo desagregados pelo processo de intemperismo e erosão. São consideradas sedimentos as partículas minerais e as orgânicas. Quando os sedimentos são transportados pelo escoamento dentro da calha fluvial são denominados de sedimentos fluviais (EDWARDS, 2007).

O sedimento em suspensão é considerado um componente importante dentro dos processos hidrológicos, geomorfológicos e ecológicos dos rios (GAO; JOSEFSON, 2012),

sendo fundamental estimar a concentração de sedimentos em suspensão nos estudos referentes a processos erosivos.

Conforme Cabral (2006) a deposição de sólidos em suspensão como nos lagos de usinas hidrelétricas é um problema, podendo-se destacar o assoreamento, conseqüentemente, alterando a capacidade de armazenamento de água, diminuindo a vida útil do reservatório e provocando a necessidade de dragagens de alto custo.

Conforme Nogueira, Cabral e Oliveira (2012) valores mais altos de concentração de sedimentos em suspensão têm a influência das precipitações que ocorreram nos dias das coletas. Segundo os autores, isto pode ser explicado pela existência de solos desprovidos de vegetação e também com áreas de pastagem, o que pode proporcionar valores elevados de concentração de sedimentos em suspensão para pontos avaliados neste período.

2.3 Importância do monitoramento de sedimentos

A capacidade em compreender os processos hidrossedimentológicos de uma bacia hidrográfica, com o intuito de propor alternativas de uso correto dos recursos naturais depende do monitoramento das variáveis envolvidas em um determinado período (MINELLA, 2004). Segundo Dalbianco et al. (2012), os melhores resultados para a determinação da concentração de sedimentos em suspensão (C_{ss}) são provenientes de coletas durante ondas de cheia. Entretanto, uma amostragem de sedimentos trimestral não corresponde à estimativa de amostragem semanal ou diária, podendo assim, haver uma subestimativa da produção de sedimentos quanto maior for este intervalo entre as medidas (MERTEN et al., 2006).

No Brasil, são poucas as informações sobre os aspectos relacionados com o uso e manejo do solo e a produção de sedimentos. Entre os principais fatores estão as dificuldades relacionadas com métodos capazes de mensurar esses efeitos. Com isto, é necessário o desenvolvimento de métodos adequados para a realização de diagnósticos de bacia hidrográfica e possibilitar um planejamento eficiente das medidas de controle da erosão e da produção de sedimentos (MINELLA; MERTEN, 2011).

2.4 Dados hidrológicos

Segundo Paiva (2001), as informações hidrológicas são fundamentais para o dimensionamento das obras, planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos de uma bacia. Medidas hidrológicas como a precipitação e vazão são essenciais para o entendimento do comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica, seja em um evento particular ou em um determinado período de tempo.

O monitoramento de pequenas bacias torna-se importante para a complementação de informações hidrológicas, sendo que no Brasil há carência destes dados hidrológicos, pois a instalação e a coleta de dados tiveram como o principal fator a geração de energia elétrica. Assim, há poucos postos de monitoramento em bacias com áreas menores que 500 km². (GOLDENFUM, 2001).

A qualidade das informações fluviométricas depende da eficiência da curva-chave, que por si depende do regime de escoamento. Medições frequentes de descarga líquida e sólidas em várias profundidades foram realizadas em pequenas bacias hidrográficas na cabeceira do rio Vacacaí Mirim em Santa Maria-RS, na busca de boas estimativas de vazões, a partir das curvas-chave (PAIVA et al., 2001).

Em uma avaliação da curva-chave do Rio Manoel Alves Grande, Barbosa, Schiessl e Feitosa (2010), apresentou resultados satisfatórios, sendo possível obter uma boa correlação entre cota e a vazão. Verificou-se necessidade de realizar medições de vazões regulares, mesmo após a definição da curva-chave, pois com o tempo podem ocorrer modificações no leito do rio que alterariam a área da secção para a coleta de dados e divergindo os valores medidos da descarga líquida com o valor relacionado entre cota e vazão.

A curva-chave está ligada às características hidráulicas da seção de controle, implicando na variação da expressão matemática quando há uma variação nestas constantes, como alterações na geometria da seção ou na declividade do rio geradas por erosões ao longo do tempo, podem causar mudanças na velocidade do escoamento e nas relações entre área, profundidade e raio hidráulico, afetando assim a relação cota com descarga líquida (PORTO et.al, 2003). Por isso, as curvas-chave, principalmente em pequenas bacias hidrográficas, devem ser atualizadas para que não se cometa grandes erros de avaliação, pois existem muitas incertezas no processo de elaboração das curvas-chave de pequenas bacias hidrográficas, fazendo com que as mesmas representem apenas um indicativo de vazão ocorrido nos cursos

de água em períodos compreendidos entre modificações significativas do leito (PAIVA et. al, 2001).

A equação da curva-chave só é válida para a faixa de cotas medidas e extrapolação de cotas não medidas, utiliza-se métodos para a extrapolação da mesma. O método de Stevens é utilizado para a extrapolação da curva-chave que utiliza a formula de Chezy para o escoamento uniforme (JACCON; CUDO, 1989).

2.4.1 Comparação de métodos convencionais e o método Acoustic Doppler Profiler (ADP) para medição de descarga líquida

Com o desenvolvimento da hidrologia aplicada surgem novos instrumentos e técnicas de medição de vazão, substituindo os equipamentos convencionais. O método mais difundido e tradicional para a estimativa de velocidade e consequentemente de vazão é o molinete hidrométrico, principalmente pela facilidade e seu custo benefício (CARVALHO, 2008). No entanto, seu uso apresenta algumas desvantagens como a excessiva demora na medição das velocidades em diferentes pontos da seção transversal de um rio, sendo que estender o tempo durante as medições em pequenas bacias, cujos os tempos de concentração em geral são baixos, pode induzir a erros na avaliação da vazão (PAIVA et al., 2001).

Outro método de medição de destaque são os aparelhos baseados no efeito Doppler, os perfiladores acústicos ADCP/ADP (Acoustic Doppler Current Profile/Acoustic Doppler Profile), que tem sido aplicado para medir o movimento do fluxo de água (Lu et al., 2006). O funcionamento ocorre através de transdutores que emitem sinais sonoros na água, ao atingirem as partículas em suspensão existentes, movimentadas pela corrente e são refletidos em várias direções, sendo que uma parcela dos sinais sonoros é captada pela mesma fonte emissora (SONTEK, 2009). O tempo de envio/retorno desse sinal sonoro é associado à velocidade das partículas presentes na água.

O principal mérito de ADP é que ele é capaz de medir continuamente um perfil de corrente do fluxo de água através da coluna de água e assim fornecer uma base de dados mais confiável e eficiente na diferentes escalas (Chen et al, 2007). Os ADPs permitem que se obtenham mais registros de verticais e de velocidades, além de inúmeras outras informações da seção em tempo real (MELCHIOR, 2006) e são mais rápidos do que os sistemas de medição convencionais durante as coletas de informações, além de apresentar melhor

precisão (SIMPSOM, 2001). A grande desvantagem deste aparelho é o alto custo de aquisição em relação aos molinetes hidrométricos.

Segundo Gamaro (2012), a medição com a ADP pouco difere com a medição com o molinete hidrométrico. Entretanto, seria mais detalhada e prática, pois com o molinete hidrométrico deve-se ir parando em cada vertical, ao contrário do ADP, que fornece a velocidade em mais verticais.

Rios et al. (2011) analisou quatro métodos distintos de medições de velocidades do escoamento no Rio Dourados em Goiás, o molinete hidrométrico, ADP, ADV (Acoustic Doppler Velocimeters/Velocímetro Acústico Doppler) e flutuadores, visando comparar as dificuldades, facilidades, limitações e precisão dos equipamentos. Analisando os resultados de Rios et al. (2011), observa-se que o molinete forneceu valores mais baixos, enquanto que os flutuadores forneceram os maiores valores medidos para as mesmas vazões. Segundo Rios (2011), os equipamentos, ADP e ADV não diferiram muito, intermediando os valores medidos e mostrando-se como os métodos mais confiáveis. Porém, ressalta as dificuldades em campo, principalmente no manuseio do ADV e do molinete hidrométrico, pela sensibilidade às influências de correntes fluviais. Melchior (2006), relacionou o método convencional com o acústico e concluiu que o método acústico apresenta vantagens, como rapidez de operação, aumento das informações disponíveis como vazão, velocidade, perfil transversal da seção, facilidade de instalação e operação do equipamento.

2.5 Vantagens e desvantagens dos amostradores USDH 48 e ISCO

Há diversos métodos para a determinação ou estimativa da concentração média de sedimentos em suspensão em cursos de água, cada qual tendo suas vantagens e desvantagens relacionadas com as condições do ambiente e ao objetivo do estudo que pretende realizar (CARVALHO et.al., 2000). No Brasil para amostragem de sedimentos em suspensão é utilizado os métodos Igual Incremento de Largura (IIL) e o Igual Incremento de Descarga (IID).

A utilização de métodos mais detalhados como Igual Incremento de Largura e Igual Incremento de Descarga, permite melhor conhecimento da distribuição de sedimentos em suspensão na seção fluviométrica, porém devido ao tempo utilizado nestes métodos, em pequenas bacias onde os eventos de cheia apresenta pequena duração esses métodos perdem a

sensibilidade pois apenas duas ou três medições são realizadas, sendo assim se torna apropriado a utilização de métodos pontuais e representativos (LOPES, 2011).

Para facilitar no monitoramento de recursos hídricos em bacias hidrográficas como nas dificuldades econômicas decorrentes das longas distâncias a serem percorridas e em locais de difícil acesso, pode-se utilizar o recurso de amostragens automáticas através de equipamentos programáveis, tais como os amostradores automáticos.

A coleta de amostras pode ser realizada sem a presença de técnicos, por meio de equipamentos automáticos como o ISCO, que apresenta vantagens em relação à amostragem manual, pois pode-se coletar automaticamente, por exemplo, quando começar a chover ou quando o nível do corpo de água estiver acima de um determinado valor. Outra vantagem sobre a amostragem manual ocorre em situações em que as amostras devem ser coletadas por um longo período de tempo ou com grande frequência (SANTOS et al. 2001).

Os procedimentos para a medição contínua da concentração de sedimentos em suspensão permitem a obtenção de dados para pequenos intervalos de tempo, favorecendo a compreensão da dinâmica hidrossedimentológica da bacia hidrográfica (VESTENA et al., 2007), assim quando utiliza-se amostradores automáticos ou turbidímetros a coleta é feita em apenas um ponto da seção transversal, sendo importante o conhecimento da variabilidade espacial da concentração de sedimentos para a transformação desses valores pontuais em médias globais na seção (LIMA, 2010).

Coiado (2001) considera a coleta de amostras realizada com amostradores convencionais como o amostrador USDH 48 é inviável quando se planeja coletar amostras num período seqüencial, com isto utilizou-se um amostrador fixo programável portátil ISCO, que permite programar a coleta de amostras durante um período seqüencial de 24 horas sem a necessidade da presença de técnicos, e verificou que os valores das concentrações obtidas, os dois tipos de coleta chegaram a resultados similares.

Lobo et al. (1999) enfatizou que dada a rapidez e o horário de ocorrência das cheias é mais prático a utilização de amostradores automáticos por bombeamento que o amostrador manual.

A amostragem automática pontual permite uma maior número de amostras em um intervalo curto de tempo, sendo possível a obtenção de várias amostras durante um evento (LOPES, 2011).

Uma vantagem do método pontual é o fato dele ser mais simples que o método da integração, que para a sua correta aplicação exige mais conhecimento técnico (LIMA, 2010).

Do método pontual tem como uma grande desvantagem a geração de um grande número de amostras serem coletas, assim gerando maior mão-de-obra e maior custo (LIMA, 2010).

2.6 Amostragens isocinéticas

Para amostragens realizadas com equipamentos manuais, é importante resaltar as 3 situações que são de extrema importância, sendo na condição isocinética que a velocidade de entrada é igual a velocidade do escoamento, sendo que a CSS amostrada é igual à CSS do escoamento. A Condição não isocinética em que a velocidade de entrada maior que a velocidade do escoamento, neste caso, a CSS amostrada é menor que a CSS do escoamento, e a condição não isocinética que a velocidade de entrada é menor que a velocidade do escoamento, sendo que neste caso a CSS amostrada é maior que a CSS do escoamento (MERTEN; MINELA, 2011).

2.7 Concentração de sedimentos em suspensão e a turbidez

A turbidez (T) é um dos métodos indiretos usado para determinar a concentração de sedimentos em suspensão (COIADO, 2001), ou seja, o turbidímetro faz a determinação quantitativa da turbidez, sendo possível estabelecer uma correlação entre a intensidade luminosa registrada e a concentração do material em suspensão.

Em um monitoramento hidrossedimentométrico as principais limitações estão relacionadas com o deslocamento até a seção e com o alto custo de coleta de amostras, além da análise da concentração de sedimentos em suspensão. Uma alternativa para minimizar estes problemas é a utilização de equipamentos automáticos de medição da turbidez para complementar a obtenção de dados, que tem sido considerada como uma técnica promissora na estimativa da concentração de sedimentos em suspensão (C_{ss}). Neste sentido, a turbidez é uma técnica complementar para o monitoramento de concentração de sedimentos em suspensão, sendo realizada em conjunto com técnicas tradicionais de coleta de dados, para a verificação e calibração dos turbidímetros (MINELLA; MERTEN, 2011).

Conforme Bicalho (2006), a utilização da turbidez em estudos sedimentológicos é frequente, sendo que a correlação com a concentração de sedimentos em suspensão consiste em uma forma complementar para melhorar a discretização temporal da concentração de sedimentos em suspensão através da elaboração de uma curva de T versus C_{ss}.

A eficiência do uso do turbidímetro para estimar a C_{ss} está vinculada com a calibração da relação entre turbidez e concentração de sedimentos em suspensão, cujo procedimento deve ser conduzido através de campanhas *in situ*, de maneira a representar as variações de vazões anuais (MERTEN, MORO, MINELLA, 2012).

A estimativa da concentração de sedimentos em suspensão com uso do turbidímetro apresenta como uma das principais vantagens a aquisição contínua de dados e o baixo custo operacional (MINELLA, et. al., 2009). A utilização da turbidez como forma de estimativa de concentração de sedimentos em suspensão, tem apresentados resultados satisfatórios (LEWIS; EADS, 1998). Schoelhamer (2002), aborda que a utilização de propriedades ópticas para o monitoramento de turbidez e a concentração de sedimentos em suspensão tem funcionado muito bem em vários casos.

Pavanelli et al. (2002), em estudo realizado na Itália, sugeriu a turbidez como alternativa para a avaliação da produção de sedimentos em suspensão, mas alertando que se deve ter cuidado no uso desta metodologia, pois é muito sensível à variações da granulometria e composição do material em suspensão. Lenzi e Marchi (2000), realizaram estudos sobre o tamanho das partículas e a turbidez e observaram que as maiores não provocam a mesma resposta de turbidez que as partículas mais finas.

Em seu trabalho NOGUEIRA, CABRAL E OLIVEIRA (2012) relatam que a turbidez apresentou um aumento nos períodos de maior precipitação, sendo influenciados também pela vegetação nas margens dos córregos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrições da área de estudo

O presente estudo foi desenvolvida na Estação Fluviométrica localizada nas coordenadas de 29°39'29,06" de latitude Sul e a 53°47'23,9" de longitude Oeste (Figura 1), no exutório bacia hidrográfica Menino Deus IV, com área de 18,796 km², contribuinte ao reservatório do Vacacai Mirim, responsável por parte do abastecimento de água da cidade de Santa Maria/RS. A Figura 2A apresenta a Estação Fluviométrica Menino Deus IV em período normal e a Figura 2B o rio em período de cheia. Este trabalho foi desenvolvido durante 1 ano de monitoramento, de novembro de 2011 a outubro de 2012.

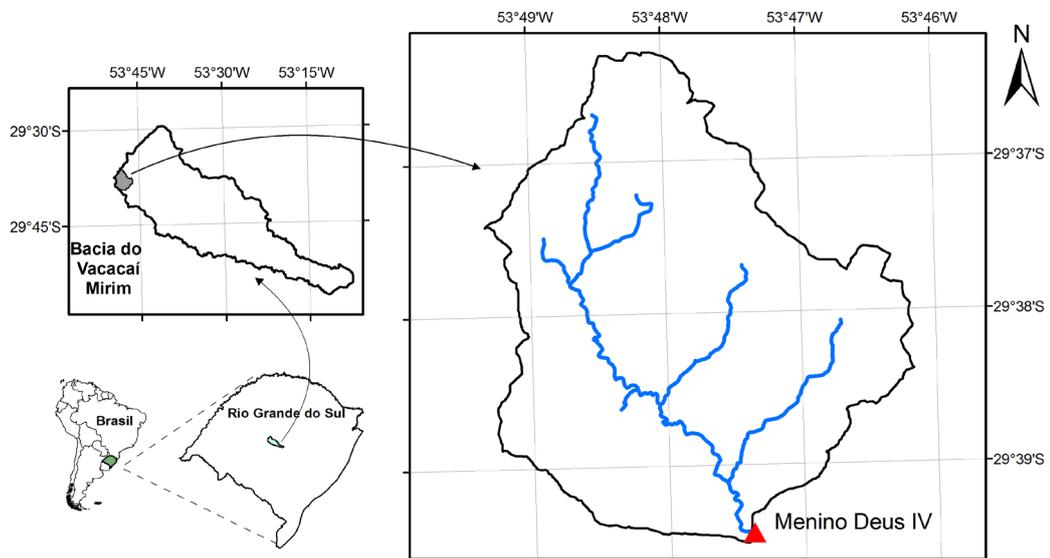


Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica Menino Deus IV.

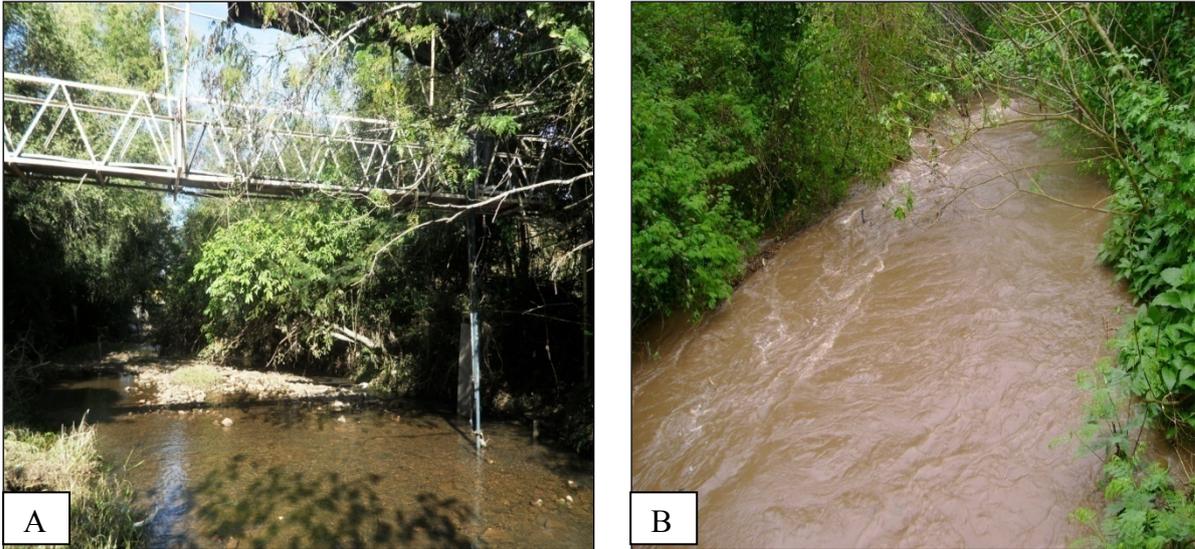


Figura 2 – Vista da Estação Fluviométrica Menino Deus IV em período normal (A) e em período de cheia (B).

A representação da seção transversal do rio da Estação Fluviométrica Menino Deus IV esta na figura 3.

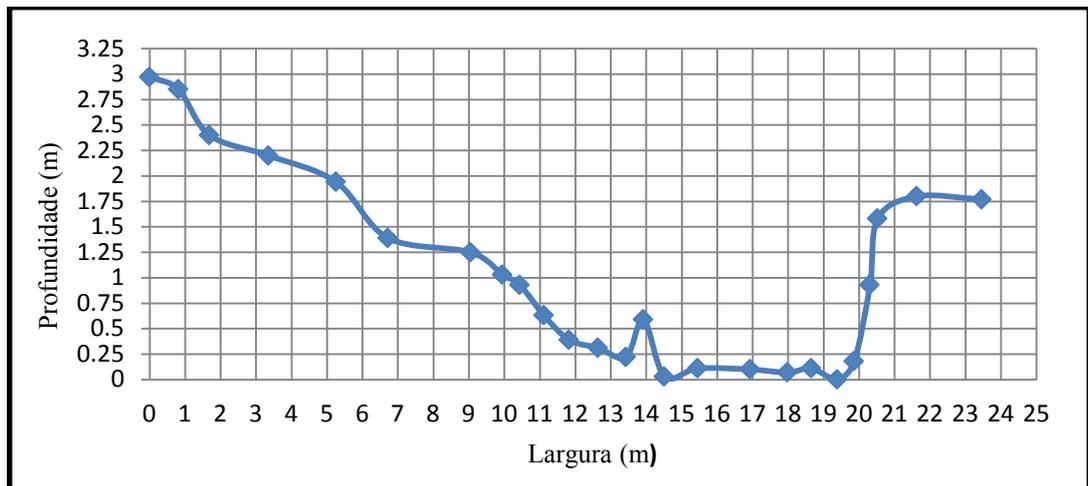


Figura 3 – Representação da seção transversal do rio da Estação Fluviométrica Menino Deus IV.

A Tabela 1 apresenta o uso do solo, que demonstra a predominância de mata nativa de (53,5%), campo (37,3%), agricultura (5,3%) e floresta (3,1%), caracterizando-se como uma bacia rural. O mapa de uso e ocupação do solo é mostrado na Figura 4.

Tabela 1 – Uso do solo na bacia hidrográfica Menino Deus IV.

Uso do Solo	Área (Km ²)	Percentual
Agricultura	0,99	5,3
Água	0,09	0,5
Campo	6,96	37,3
Mata Nativa	10,01	53,5
Impermeável	0,05	0,3
Pinus/Eucalipto	0,57	3,1

Fonte: Souza, 2013.

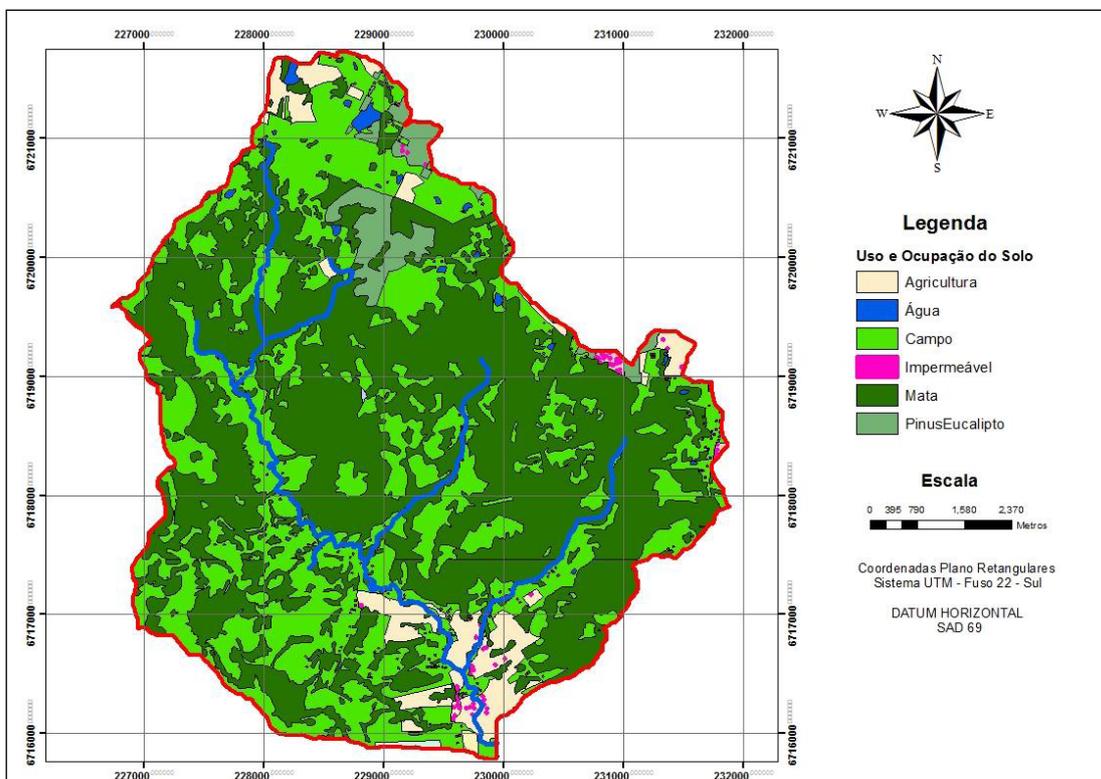


Figura 4 – Mapa uso e ocupação do solo. (Fonte: Souza, 2013.)

Conforme Beling (2010), a classificação do solo da bacia hidrográfica Menino Deus IV, foi obtida a partir do mapa da bacia hidrográfica Vacacaí Mirim, apresentado por Azolin e Mutti (1988). No Quadro 1, é apresentada a correspondência entre a classificação antiga com o atual sistema da classificação brasileiro de solo (EMBRAPA, 2006). A caracterização do solo da bacia está apresentada na Tabela 2.

SOLO	Antiga	Nova (2006)
Neossolo Litólico Eutrófico Chernossólico;	RE4	RLe1
Associação Neossolo Litólico Eutrófico Chernossólico-Cambissolo-Colúvios;	Re-C-Co	RLe1-C- Co
Associação Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico Alissólico e Neossolo Litólico Eutrófico	Tba-Rd	RVAA1-C-Co
Neossolo Litólico Distrófico relevo ondulado;	RD1	RLd1
Cambissolo	C1	C1

Quadro 1 – Abreviaturas da classificação do solo da Bacia Menino Deus IV.
Fonte: Beling, 2010.

Tabela 2 – Caracterização do solo da bacia hidrográfica Menino Deus IV.

Tipo de Solo	Área (km²)	%
RD1	1,118	5,95
RE 4	8,425	44,82
TBA_RD	2,786	14,82
C1	0,551	2,93
RE C CO	5,913	31,46

Fonte: Azolin; Mutti, 1988.

3.2 Medidas Pluviográficas

O pluviógrafo utilizado é dotado de data-logger, que permite o armazenamento e transferência dos dados eletronicamente através de computador (Figura 5) e está localizado na Estação Pluviométrica Sítio do Maciel, nas coordenadas 29°39'2,50" de latitude Sul e 53°46'26,21" de longitude Oeste.



Figura 5 – Pluviógrafo da Estação Pluviométrica Maciel.

3.3 Monitoramento de nível do rio

Para o acompanhamento da variação do nível do rio na Estação Fluviométrica Menino Deus IV, os dados foram obtidos através do registrador eletrônico de nível, que efetuava seus registros no intervalo de um minuto (Figura 6) e com a régua milimétrica verificava-se a cota do rio.

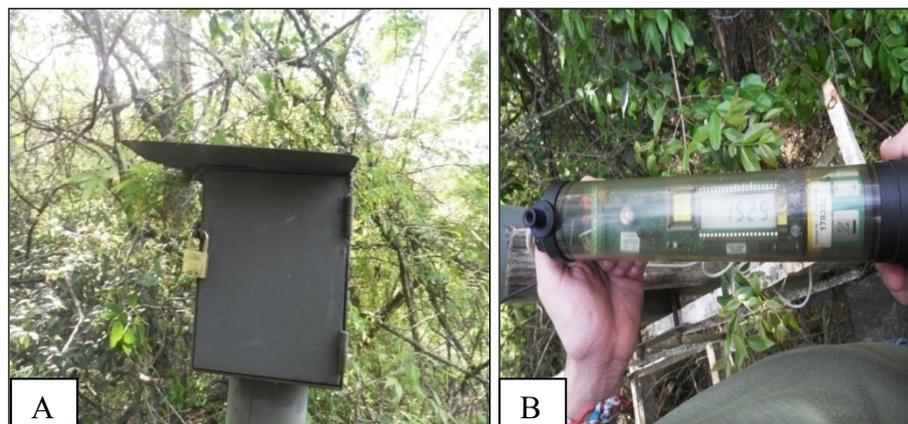


Figura 6 – Detalhes do linígrafo. Abrigo (A) e sensor (B).

3.4 Medições de descarga líquida

Para a determinação da descarga líquida foi utilizado dois equipamentos:

- Molinete Hidrométrico
- Perfilador acústico a ADP (Acoustic Doppler Profiler)

3.4.1 Molinete Hidrométrico

Foi utilizado um molinete universal para medições em águas altas e um micromolinete para medições em águas baixas. Todas as medições foram feitas a vau à partir da ponte hidrométrica. Para o cálculo das vazões foi utilizado o método da seção média.

3.4.2 Acoustic Doppler Current Profiler (ADP)

Neste trabalho foi utilizado o perfilador acústico de corrente por Efeito Doppler (ADP) com máximo de 5 m para medidas de velocidades e vazões e de 15 m para medidas de

profundidade para batimetria. O equipamento utilizado possui quatro transdutores para determinação do perfil, com a frequência de 3.0 MHz que emite feixes sonoros perpendiculares e um transdutor de 1.0 MHz, utilizado para a medição da profundidade com feixe vertical. Esse equipamento possui ainda uma combinação de velocidade acústica Doppler, aliado ao um conjunto de softwares, fornecido pelo fabricante para o processamento dos dados de velocidade, vazão e perfil transversal da seção.

O ADP foi montado em uma prancha hidrodinâmica e leve (Figura 7) e guiado por cordas de uma margem à outra no rio para emitir e captar um número maior de verticais possíveis. Para cada medição de vazão foram realizadas, no mínimo, três travessias do ADP no rio, sendo que cada uma inclui duas passagens guiadas do aparelho de uma margem a outra e retornando a margem inicial, de forma a obter a média de vazões e descartar medições que super/subestimam os dados.



Figura 7 – Perfilador acústico de corrente por Efeito Doppler (ADP) em uma prancha hidrodinâmica.

3.5 Coletas de sedimentos em suspensão

Para a amostragem de sedimentos em suspensão utilizou-se o amostrador integrador na profundidade USDH 48 e o amostrador automático por bombeamento ISCO de forma a possibilitar a amostragem de sedimentos durante a subida e descida da onda de cheia.

3.5.1 Amostrador integrador na profundidade USDH 48

Para a determinação de sedimentos em suspensão na seção transversal foi utilizado o amostrador integrador na profundidade USDH 48 (AMS1) (Figura 8), com o objetivo de fazer a amostragem de sedimentos, integradas na profundidade, em várias verticais ao longo da seção transversal do escoamento, utilizando o método de incremento de largura (IIL), conforme descrito em Carvalho (2008), sendo usado de maneira a vau. Além de fazer coletas em eventos de cheia, foram feitas coletas também em dias sem precipitação.



Figura 8 – Amostrador integrador na profundidade USDH 48 (AMS1).

3.5.2 Amostrador ISCO

É um equipamento utilizado para medição indireta de bombeamento programável portátil, automático e de coleta pontual. Conforme Carvalho (2008), sabe-se que utilizando o amostrador ISCO, tem-se uma amostra pontual e não representativa em toda a seção. Por isso, é de extrema importância fazer algumas coletas manuais, utilizando o amostrador integrador na profundidade USDH 48, durante alguns eventos de cheia, para se ter a quantificação em toda a seção do rio e não só em um determinado ponto.

Utilizou-se o amostrador ISCO de bombeamento programável portátil (Figura 9A), composto de 24 garrafas (Figura 9B) com capacidade de 1000 mL. As garrafas ficam acondicionadas no interior do amostrador, o qual é composto de três partes bem definida: painel de controle, bomba de sucção e suporte. As coletas são realizadas com o auxílio da bomba de sucção e por intermédio de uma mangueira devidamente instalada no equipamento até o curso d'água, onde a bomba succiona a mistura água-sedimento do rio acondicionando-a nas garrafas no interior do equipamento. Tendo assim uma eficiência hidráulica e sendo uma amostragem não isosinética.

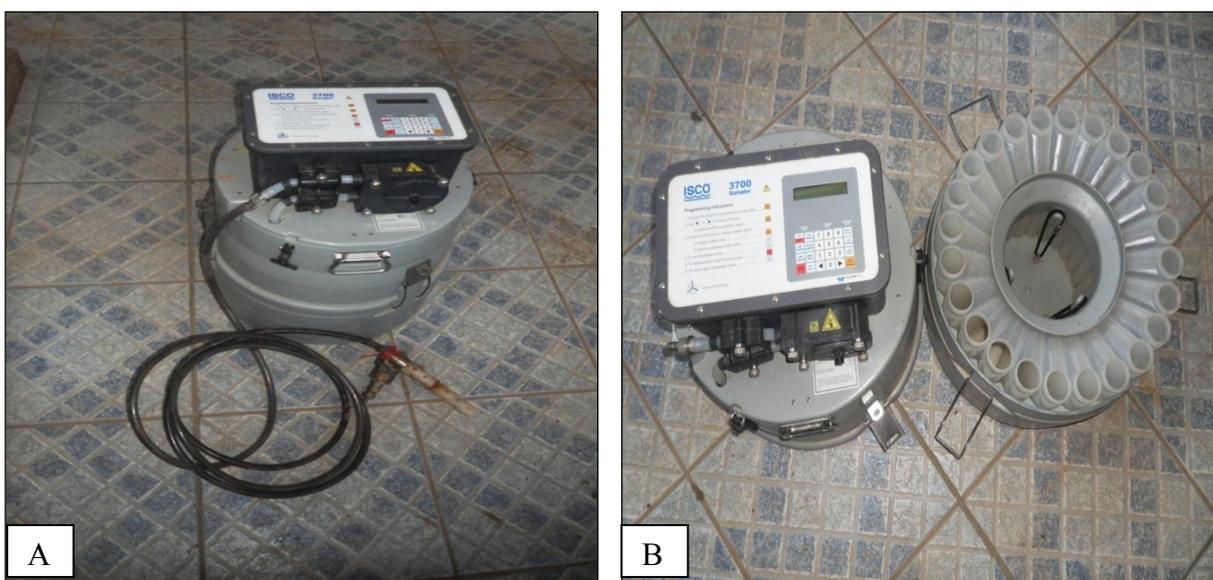


Figura 9 – Amostrador ISCO (9A) e ISCO aberto com as 24 garrafas (9B).

Este equipamento foi utilizado somente em eventos de cheia, na subida e na descida, sendo sua sonda fixada a 1,2 m da margem direita, ao lado do turbidímetro e a 0,10 m do

fundo do leito do rio. O amostrador ISCO foi programado para coletar amostras de 10 em 10 minutos, e em alguns eventos maiores o equipamento foi programado de 30 minutos a 1 hora, dependendo da intensidade do evento.

3.6 Turbidímetro

Foi instalado um turbidímetro digital DTS-12 (Figura 10A), dotado de um sistema de limpeza da face do sensor ótico composto por uma lâmina cortada em dois sulcos feita em material sintético que faz um movimento de arraste (ida e volta) sobre o sensor logo após cada leitura, evitando o acúmulo de matéria orgânica na superfície do sensor, com uma faixa de leituras de 0 à 1600 NTU, programado para efetuar leituras em intervalos de tempo de 10 minutos. As leituras da turbidez da água foram registradas em data logger HDL-1 (Figura 10B).

A sonda de turbidez foi fixada a 1,2 m da margem direita e a 0,10 m do leito do rio (Figura 11), sendo colocada em um suporte e sua posição sendo inclinada.

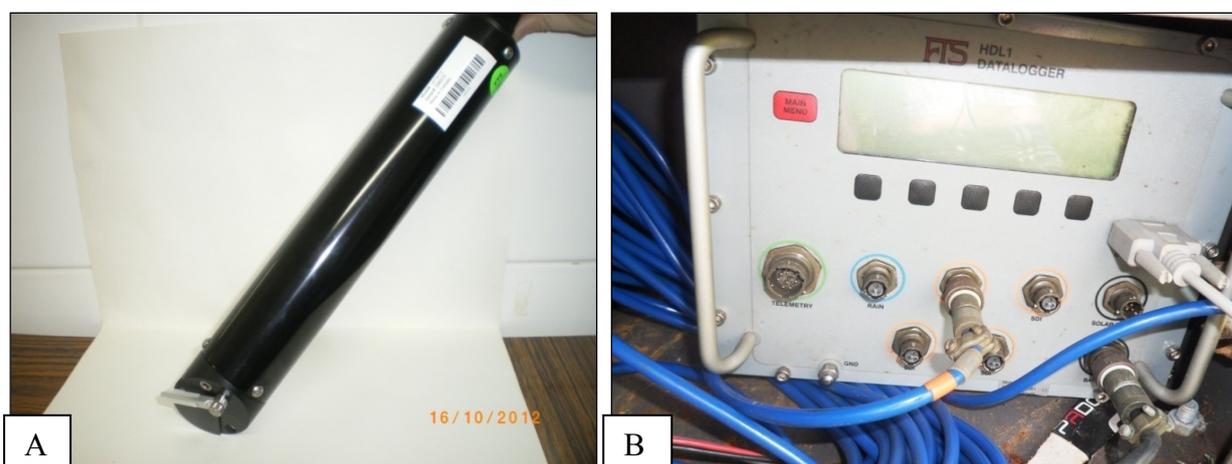


Figura 10 – Sonda digital DTS-12 (A) e Data Logger HDL-1 (B).



Figura 11 – Suporte e localização da sonda de turbidez.

Antes da sua instalação no campo o turbidímetro foi testado em laboratório, com a utilização de uma substância patronizada (formazina), para testar o equipamento e para confirmar a eficiência e estabilidade do sensor.

3.7 Análises de laboratório

Após as coletas, as amostras foram transportadas para o Laboratório de Sedimentos de Departamento de Engenharia Ambiental Sanitária da Universidade Federal de Santa Maria, com o objetivo de determinar a concentração de sedimentos em suspensão (Css) de cada amostras coletada.

Segundo Carvalho (2008), para a determinação Css, aconselha-se utilizar a filtração para concentrações abaixo de 200 mg/L e evaporação acima de 200 mg/L. A maioria das amostras foram analisadas pelo método de filtração, utilizando-se filtro de malha de 0,45 μm . Somente um evento utilizou-se o método de evaporação, pois apresentou concentrações altas e assim poderia haver entupimento do filtro.

3.8 Análises estatística

Para analisar os dados estatisticamente utilizou-se o software **SPSS *Statistcs 17.0*** para cálculo das médias (μ), mínimos, máximos, mediana, desvio padrão (DP) e correlação de Pearson (r).

O coeficiente de correlação linear de Pearson (r) indica o grau de intensidade da correlação entre duas variáveis, o sentido dessa e evidência a força de associação entre as variáveis (UWE 2012), sendo um coeficiente adimensional (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Os valores deste coeficiente foram classificados conforme SHIMAKURA (2006):

$0 \leq r \leq 0,19$ – Correlação muito fraca

$0,2 \leq r \leq 0,39$ – Correlação fraca

$0,4 \leq r \leq 0,69$ – Correlação moderada

$0,7 \leq r \leq 0,89$ – Correlação forte

$0,9 \leq r \leq 1,00$ – Correlação muito forte

Este coeficiente varia entre -1 e +1, sendo que duas variáveis apresentam uma correlação linear quando os pontos do diagrama de dispersão se aproximam de uma reta, onde esta correlação por ser positiva que são valores crescente de X, tendenciando valores crescentes em Y e negativa para valores crescente de X e tendenciado a valores decrescente a Y (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Dados Hidrológicos

4.1.1 Precipitação

Os dados mensais de chuva estão apresentados na Figura 12, observando-se que no período da pesquisa obteve-se a precipitação anual de 1.314mm, tendo assim uma precipitação média anual de 109,6mm, sendo um ano de pesquisa considerado seco (baixa precipitação). Os meses com maiores precipitações foram fevereiro, maio, setembro e outubro, sendo os meses em que foram executadas o maior número de coletas. O mês de menor precipitação foi dezembro de 2011, não havendo coletas em evento de chuva, só em dias sem precipitação, com o amostrador USDH 48.

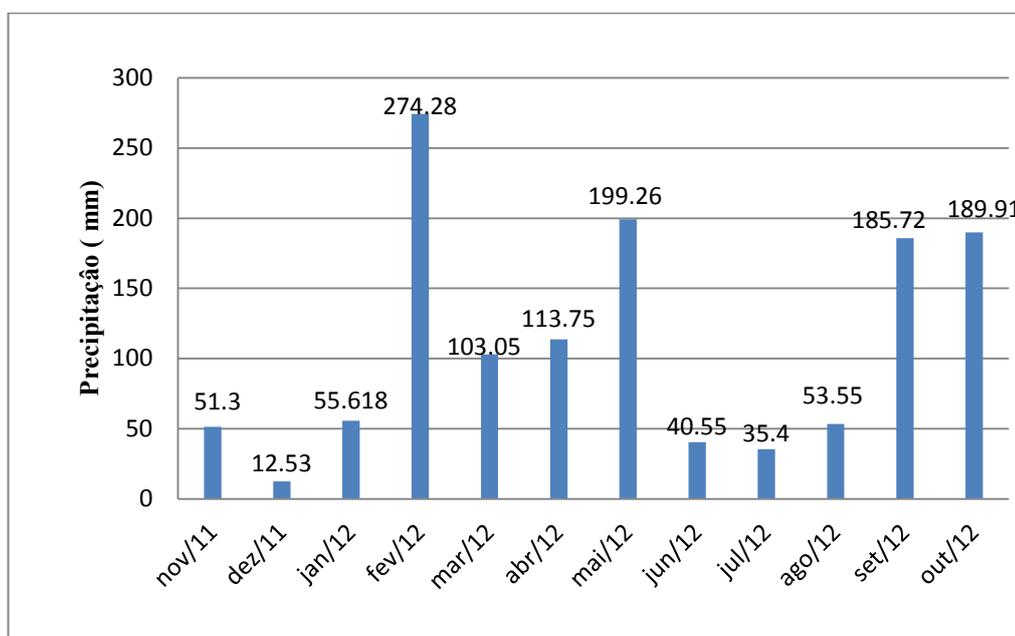


Figura 12 – Dados pluviométricos da Estação Pluviométrica Sítio do Maciel durante o período do estudo.

4.1.2 Descarga líquida pelo molinete hidrométrico

As leituras do nível d'água, registradas através do linígrafo eletrônico, foram convertidas nas respectivas descargas líquidas através das equações das curvas-chave. Foram confeccionadas 2 curvas-chave que relacionaram cota do rio com a descarga líquida, devido alteração do leito do rio durante o período de pesquisa.

A primeira curva-chave tem validade de outubro 2011 á maio 2012, sendo esta elaborada com a utilização de 19 medições de vazões, utilizando o molinete hidrométrico. O ajuste foi dividido em 2 partes, sendo de $0,20 \leq h \leq 0,3$ m e $0,3 < h \leq 0,795$ m, conforme descrito nas Equações 1 e 2 e representados na Figura 13. Para cota acima de 0,795 m, a curva chave foi extrapolada, utilizando-se o método de Stevens (Equação 3).

Sendo: Q = Descarga Líquida (m^3/s);

H = Cota do rio (m).

Para $0,20 \leq H \leq 0,30$ m

$$Q = 12,83H^2 - 5,385H + 0,585, \text{ com } R^2 = 0,903 \quad (1)$$

Para $0,30 < H \leq 0,795$ m

$$Q = 19,13H^2 - 11,45H - 1,884, \text{ com } R^2 = 0,997 \quad (2)$$

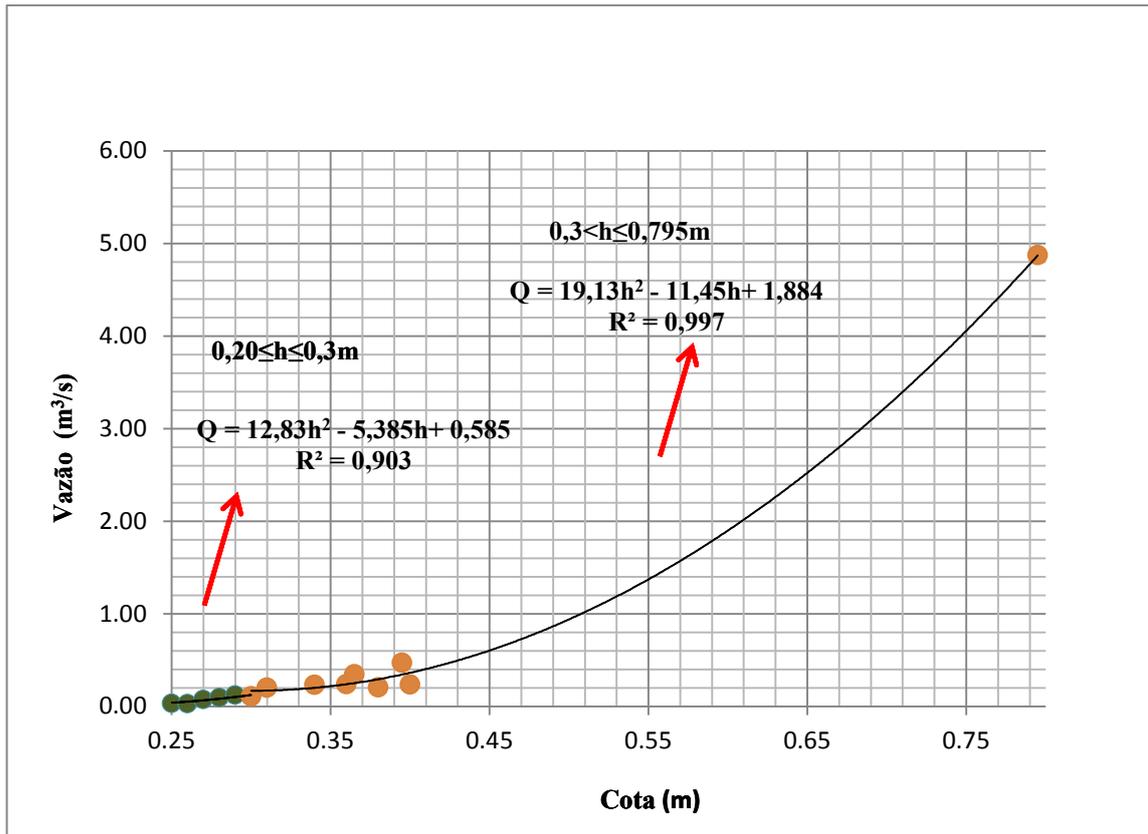


Figura 13 – Representação da 1ª curva-chave válida para o período de outubro de 2011 a maio de 2012.

Com a extrapolação da curva-chave, utilizando o método de Stevens, obteve-se a seguinte Equação:

Para $H \geq 0,795 \text{ m}$

$$Q = 0,613H + 0,696, \text{ com } R^2 = 0,986 \quad (3)$$

A segunda curva-chave com validade de junho á outubro de 2012, foi elaborada com a utilização de 11 medições em campo utilizando o molinete hidrométrico. O ajuste foi dividido em 2 partes, sendo de $0,32 \leq h \leq 0,49 \text{ m}$ e $0,49 < h \leq 0,94 \text{ m}$, conforme descrito nas Equações 4 e 5 e ilustrada na Figura 14.

Para $0,32 \leq H \leq 0,49 \text{ m}$

$$Q = 62,62 H^{5,801}, \text{ com } R^2 = 0,977 \quad (4)$$

Para $0,49 < H \leq 0,94$ m

$$Q = 10,2H - 3,995, \text{ com } R^2 = 0,995 \quad (5)$$

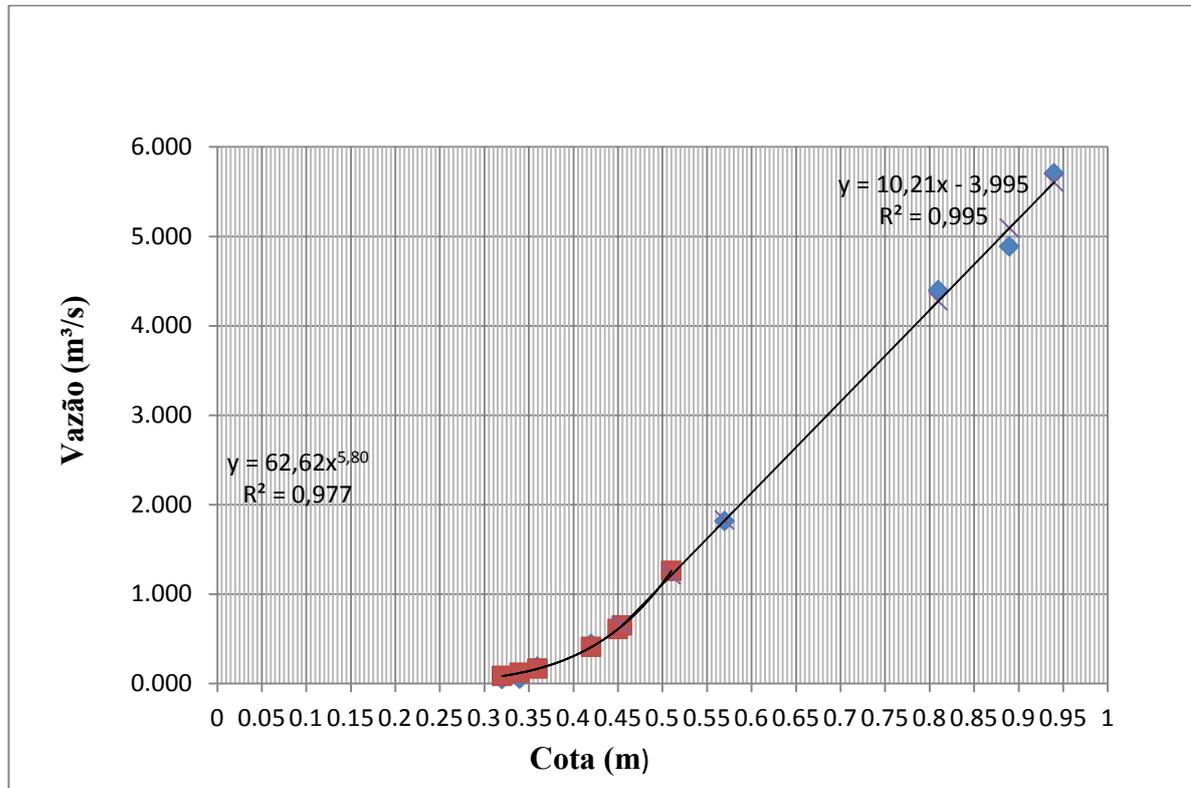


Figura 14 – Representação da 2ª curva-chave, válida para junho a outubro de 2012.

Observa-se que as duas curvas-chave cota versus vazão, com os seus coeficientes de determinação (R^2), indicaram ter uma boa correlação entre os dados analisados. Foram realizadas medições suficientes e em diferentes cotas para a determinação das curvas-chave.

4.1.3 Descarga líquida pelo Acoustic Doppler Profiler (ADP)

Foram realizadas 10 medições utilizando o Acoustic Doppler Profiler (ADP) para a medição de descarga líquida, sendo os valores representados na Tabela 3.

Tabela 3 – Medições utilizando o ADP.

DATA	Cota(m)	VAZÃO (ADCP) (m³/s)
26/08/2011	0,31	0,192
09/11/2011	0,27	0,033
10/11/2011	0,34	0,276
23/11/2011	0,28	0,090
05/01/2012	0,22	0
12/01/2012	0,23	0
24/01/2012	0,34	0,233
25/02/2012	0,36	0,204
30/05/2012	0,67	2,789
30/05/2012	0,57	0,709

4.2 Comparações das vazões utilizando o Molinete Hidrométrico e o ADP

Comparando-se as vazões utilizando o molinete hidrométrico e o ADP, tem-se a Quadro 2.

DATA	Cota (m)	Q ADP (m³/s)	Q Molinete (m³/s)	Diferença %	Situação
26/08/2011	0,31	0,192	0,17	11,6	Sem precipitação
09/11/2011	0,27	0,033	0,066	49,7	Sem precipitação
10/11/2011	0,34	0,276	0,202	36,4	Pós precipitação
23/11/2011	0,28	0,090	0,083	7,7	Com Precipitação / Sem alterar cota
05/01/2012	0,22	0	0,021	100,0	Sem Precipitação / Pouco sedimentos
12/01/2012	0,23	0	0,025	100,0	Sem Precipitação / Pouco sedimentos
24/01/2012	0,34	0,233	0,202	15,1	Evento de precipitação
25/02/2012	0,36	0,204	0,241	15,4	Evento de precipitação
30/05/2012	0,67	2,789	2,846	2,00	Pós precipitação
30/05/2012	0,57	0,709	1,825	38,9	Pós precipitação

Quadro 2 – Comparação das vazões entre o molinete hidrométrico e o ADP.

Observando-se os resultados, a maior diferença está nos dias 5 e 12 de janeiro de 2012. Nestas datas não foi possível realizar as medições das vazões pelo ADP, pois a concentração de sedimentos suspensos era pequena e a profundidade do rio era baixa, sendo de 0,22 e 0,23 m. Estes fatores não permitiram que o ADP identificasse as velocidades existentes na seção. Conforme orientações do manual do equipamento, a profundidade mínima recomendada é de 0,20 m, para que permita a descrição do perfil transversal de velocidade de qualquer seção analisada.

Com software de processamento dos dados é possível acompanhar o deslocamento em tempo real da travessia da seção analisada. Nestas datas, verificou-se que houve os registros de ecos emitidos e recebidos pelos transdutores e abrangendo a seção inteira. A Figura 15 apresenta o perfil da seção transversal resultante da medição do dia 5 de janeiro de 2012, que foi um dia sem precipitação.

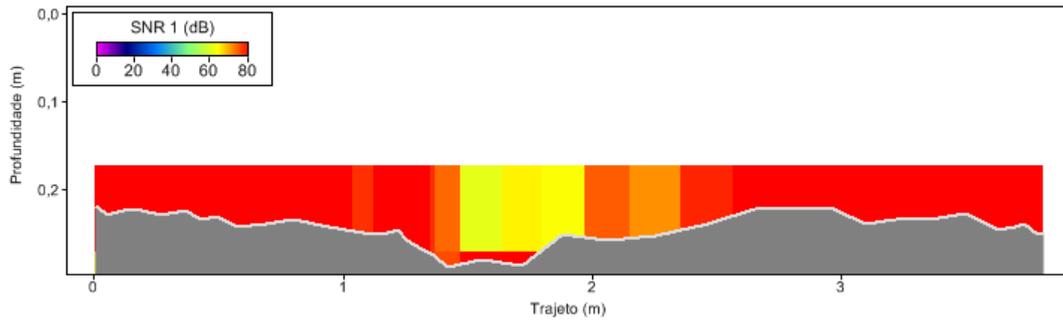


Figura 15 – Perfil transversal da Estação Pluviométrica Menino Deus IV, no dia 5 janeiro de 2012.

No dia 12 de janeiro de 2012, com a cota de 0,23 m, sendo 0,01 m a mais do dia 5 de janeiro de 2012, pode-se notar conforme a Figura 16, que também não houve registro da velocidade e apresentou o registro dos ecos ao longo da seção. Nota-se que as falhas na medição para o ADP, possivelmente referem-se a inexistência de velocidade em vários pontos, sendo que esta fora da faixa de medição de velocidade. Na Figura 17, percebe-se a existência de velocidades na região central, porém com o registro de uma estreita faixa de velocidade.

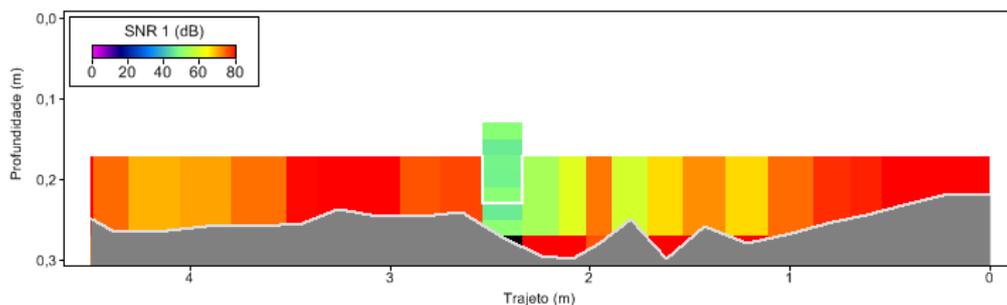


Figura 16 – Perfil transversal da Estação Pluviométrica Menino Deus IV, no dia 12 janeiro de 2012.

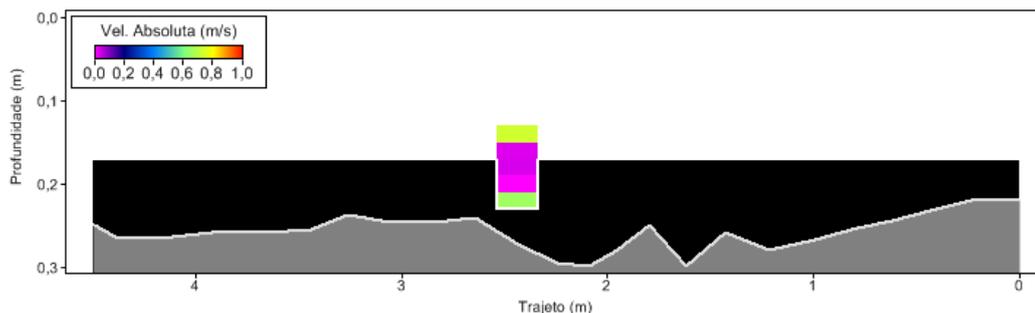


Figura 17 – Perfil transversal com a velocidade absoluta da Estação Pluviométrica Menino Deus IV, no dia 12 janeiro de 2012.

Conforme Gamaro (2012), um dos problemas mais estudados na área de hidroacústica é a realização de uma medição de vazão com qualidade em locais rasos, pois a proximidade do fundo e das margens ocasiona um confinamento de pulso, criando ruídos que reduzem a qualidade da medição.

A medição do dia 9 de novembro de 2011, foi novamente uma medição sem precipitação e com uma profundidade de 0,27 m. Observa-se na Figura 18, que o ADP registrou baixa vazão e alguns pontos com velocidade na seção, diferente do molinete que registrou os conta-giros das hélices para posteriores cálculos de vazões, havendo uma diferença de 49,7% entre os resultados. Observa-se que com o aumento da profundidade, o ADP registrou a velocidade, mas ainda com falhas.

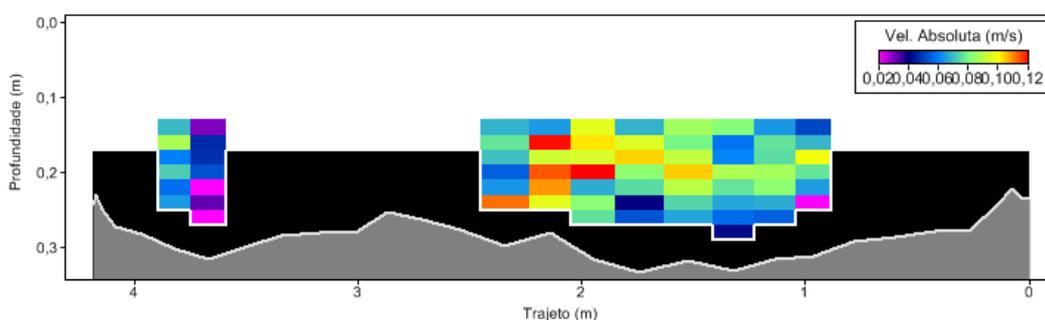


Figura 18 – Perfil de velocidade pelo ADP da Estação Pluviométrica Menino Deus IV, no dia 9 novembro de 2011.

Segundo Piton (2007), em períodos de pequenas vazões, o ADP pode ter sua eficiência afetada e assim o molinete torna-se uma ferramenta mais precisa nas medições. A intrusão dos transdutores do ADP na água é de 0,07 m abaixo da superfície, reduzindo a área de medição pelo equipamento. As margens, uma parte da superfície e do leito do rio são indiretamente extrapoladas pelo programa de processamento de dados do ADP. Esta área não medida na superfície é devido ao somatório de uma restrição acústica do aparelho chamada *blank* e a área de imersão do mesmo (GAMARO, 2012).

Na medição realizada em 10 de novembro de 2012, um dia com precipitação, observa-se no perfil apresentado na Figura 19 que a seção apresentou características diferentes da medição citada anteriormente, pois com o aumento da profundidade, foi possível o registro de mais pontos de velocidade.

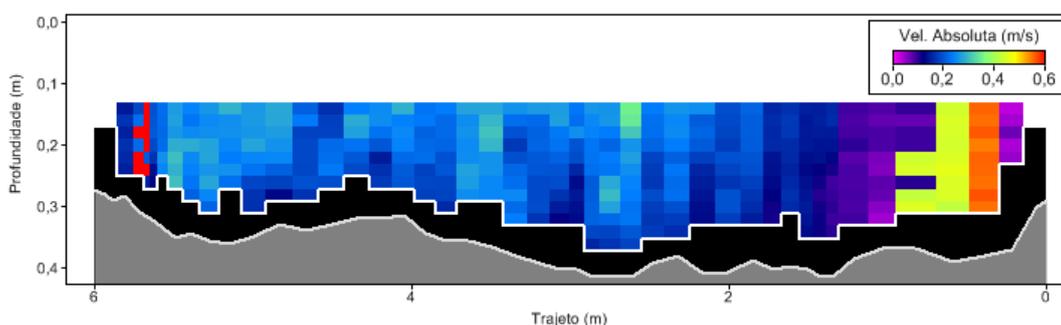


Figura 19 – Perfil de velocidade fornecido pelo ADP na Estação Pluviométrica Menino Deus IV, no dia 10 novembro de 2011.

Analisando as demais medições, a diferença entre a determinação da vazão por molinete e o ADP foi se reduzindo na maioria dos casos quando aumentava a profundidade do rio. Pode-se observar que na medição do dia 26 de agosto de 2011 a profundidade do rio foi de 0,31 m e comparando o método do molinete hidrométrico com o ADP, teve-se uma diferença de 11,60%. No dia 23 de novembro de 2011, foi pequena sendo de 7,69%, sendo uma profundidade de 0,28 m.

Nas medições dos dias 24 de janeiro de 2012 e 25 de fevereiro de 2012, tendo a profundidade de 0,34 m e 0,36 m, respectivamente, tendo uma diferença em torno de 15%, sendo evento de cheia, havendo assim quantidade significativa de sedimentos que pode ter também influenciado na leitura da ADP. Na medição do dia 30 de maio de 2012, observa-se

que a diferença da descarga líquida, utilizando o molinete hidrométrico e o ADP é de apenas 2% e a profundidade do rio era de 0,67 m, não tendo diferença entre os métodos. Nota-se que na maioria dos casos, conforme o aumento da profundidade do rio a diferença entre os 2 métodos utilizados se reduz.

Algumas falhas nos registros de velocidades foram registradas pelo ADP na Estação Fluviométrica Menino Deus IV que, neste caso, as medições com molinete hidrométrico puderam identificar. Assim, analisando as demais medições, nota-se que quando houve uma cota maior, as leituras do ADP e o molinete apresentavam pequena diferença. Já para eventos de cheia ou pós eventos de cheia, os resultados do ADP eram melhores, devido ao fato que em eventos de chuva há maior transporte de sedimentos. Rios et al. (2011), ressalta que as medições com ADP são as mais seguras comparadas a outros métodos.

No dia 18 de setembro de 2012, houve medição com o ADP, mas a velocidade não foi registrada, sendo feita medições com o molinete hidrométrico, nas profundidades de 0,81 m, 0,89 m e 0,94 m, pois havia muita turbulência no rio, sendo que o ADP chegava a ficar fora da água. Conforme Gamaro (2012), o ADP não funciona em locais com turbulência.

4.3 Relação entre descarga sólida em suspensão e descarga líquida

Para a determinação da descarga sólida em suspensão, utilizou-se para a coleta das amostras os amostradores USDH 48 e o ISCO. As coletas foram executadas no período de outubro de 2011 à outubro de 2012, totalizando 14 eventos de chuva (ondas de cheia) e também coletas em dias sem precipitação.

A descarga sólida em suspensão (Q_{ss} (t/dia)) foi calculada pela seguinte Equação:

$$Q_{ss} = Q \times C_{ss} \times 0,0864 \quad (5)$$

Sendo:

Q_{ss} = Descarga sólida em suspensão (t/dia)

Q = Vazão líquida (m^3/s)

C_{ss} = Concentração de sedimentos em suspensão

0,0864 = Fator de correlação de transformação de g/s em t/dia.

4.3.1 Amostrador integrador na profundidade USDH 48

Para coleta de sedimentos em suspensão em toda a seção transversal do rio, foi utilizado o amostrador integrador na profundidade USDH 48, totalizando 49 amostras, sendo 21 amostras das ondas de cheia, coletadas na subida, pico e descida, e as outras 28 em dias sem precipitação.

A Figura 20 apresenta a relação entre a descarga sólida em suspensão e a descarga líquida, sendo que as Q_{ss} são obtidas pelas amostras coletadas pelo amostrador integrador na profundidade USDH 48, tendo amostras das ondas de cheia e em dias sem precipitação. Obteve-se a equação potencial representada pela linha de tendência identificada no gráfico com o coeficiente de determinação $R^2 = 0,937$ entre Q_{ss} (t/dia) e Q (m^3/s), podendo ser considerada uma boa correlação. Branco (1998), que realizou seu trabalho na Estação Fluviométrica Menino Deus I, próxima da Estação Fluviométrica Menino Deus IV, concluiu que a concentração de sedimentos em suspensão acompanha a vazão líquida, obtendo também uma boa relação entre elas.

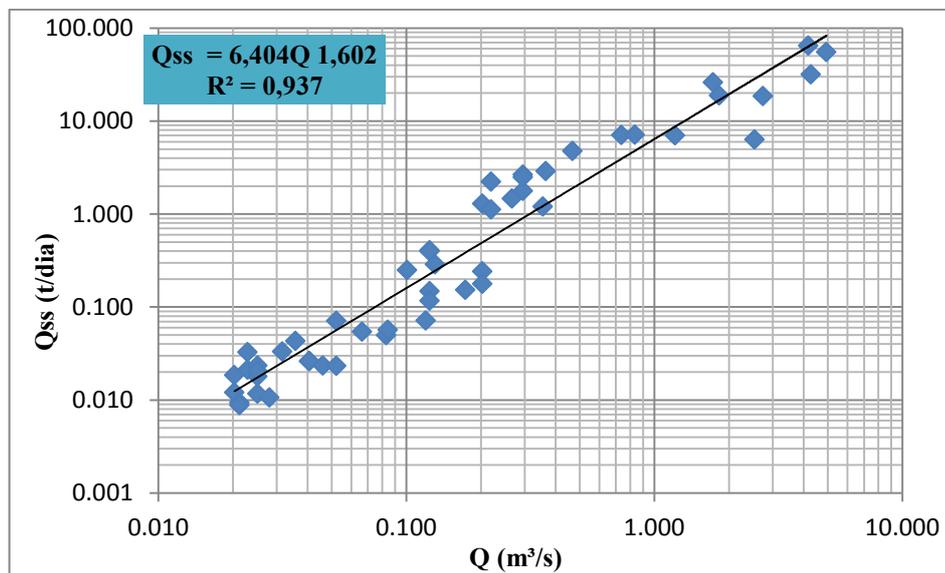


Figura 20 – Descarga sólida em suspensão (Q_{ss}) x descarga líquida (Q), sendo Q_{ss} obtidas pelas amostras coletadas com o amostrador integrador na profundidade USDH 48 durante as ondas de cheia e em dias sem precipitação.

A relação entre descarga sólida em suspensão (Q_{ss}) e descarga líquida (Q), sendo que as Q_{ss} são obtidas pelas amostras coletas pelo amostrador integrador na profundidade USDH 48 nas subidas das ondas de cheia, forneceu a equação potencial representada pela linha de tendência identificada no gráfico da Figura 21 com o coeficiente de determinação $R^2 = 0,98$. Na descida das ondas de cheia obteve-se também a equação potencial representada pela linha de tendência identificada no gráfico (Figura 22) com o coeficiente de determinação $R^2 = 0,943$. Em ambos os casos, pode ser considerado que uma boa correlação entre Q_{ss} (t/dia) e Q (m^3/s).

Paranhos (2003) monitorou a Estação Fluviométrica Menino Deus II, localizada nas proximidades da estudada, fez a correlação de Q_{ss} (t/dia) com a Q (m^3/s) utilizando o amostrador integrador na profundidade USDH 48 e obteve um coeficiente de determinação $R^2 = 0,94$ na subida e $R^2 = 0,85$ na descida nas ondas de cheia. Sendo assim, pode-se notar que, nos dois casos, pode se considerar que houve uma boa correlação com os dados analisados.

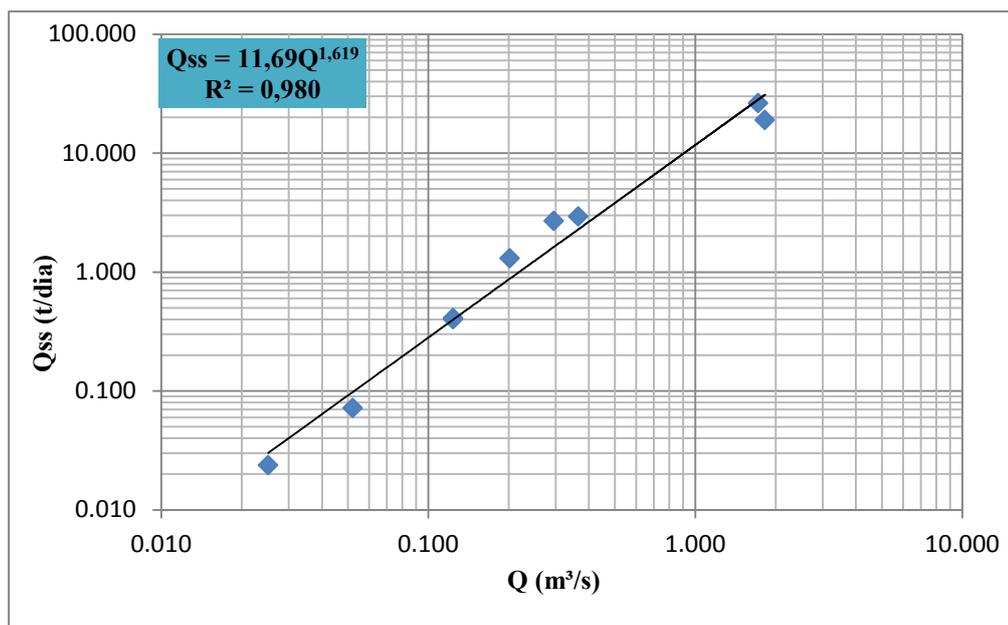


Figura 21 – Descarga sólida em suspensão (Q_{ss}) com o amostrador integrador na profundidade USDH 48 x descarga líquida (Q), na subida das ondas de cheia.

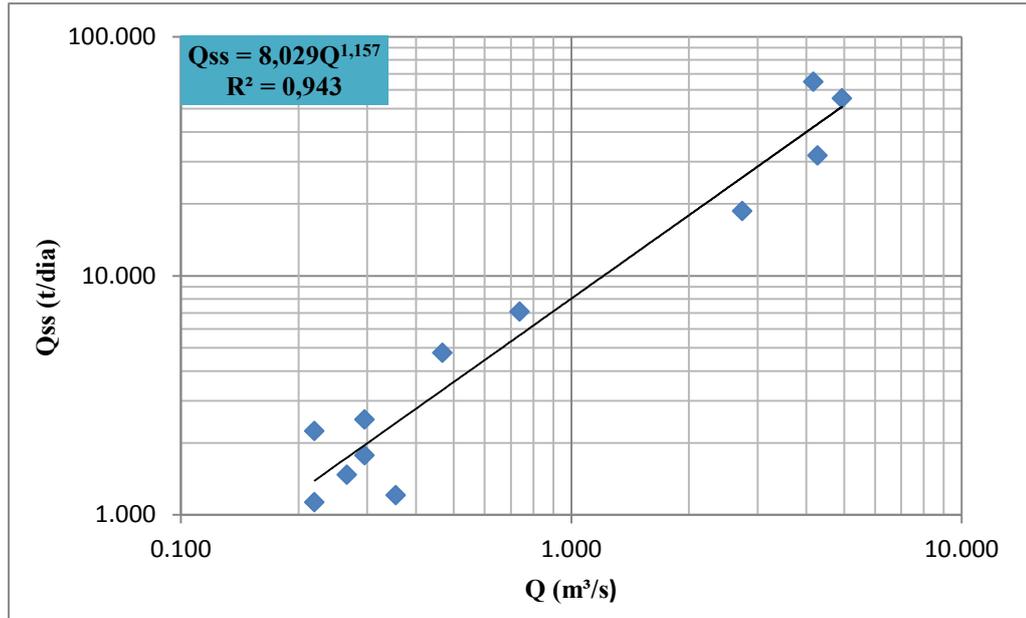


Figura 22 – Descarga sólida em suspensão (Q_{ss}) com o amostrador integrador na profundidade USDH 48 x descarga líquida (Q), na descida das ondas de cheia.

De todas as amostras coletadas fez-se uma média das descargas sólidas de sedimentos em suspensão referente a cada vazão. A relação entre a descarga sólida em suspensão média e a descarga líquida, sendo para Q_{ss} média utilizado o amostrador integrador na profundidade USDH 48 com amostras nas ondas de cheia, como em dias sem precipitação (Figura 23), obteve-se a equação potencial representada pela linha de tendência identificada no gráfico com o coeficiente de determinação $R^2 = 0,934$.

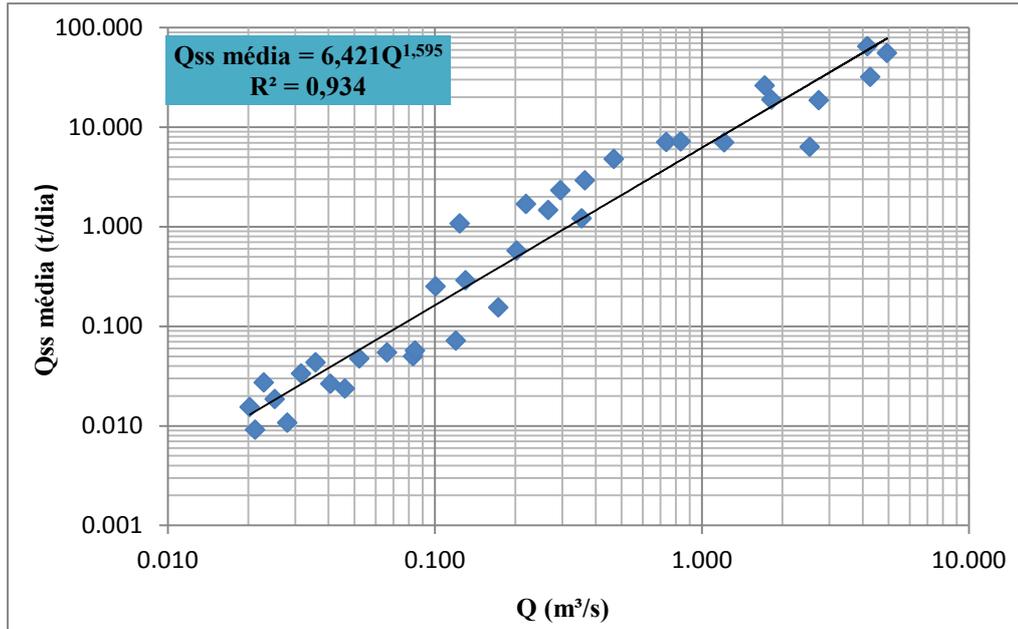


Figura 23 – Descarga sólida em suspensão média (Q_{ss} média) com o amostrador integrador na profundidade USDH 48 x descarga líquida (Q), nas ondas de cheia e em dias sem precipitação.

Para a relação entre a descarga sólida em suspensão média e a descarga líquida, na subida das ondas de cheia para as amostras coletadas pelo amostrador integrador na profundidade USDH 48 (Figura 24), obteve-se a equação potencial representada pela linha de tendência identificada no gráfico com o coeficiente de determinação $R^2 = 0,979$ e para a descida (Figura 25), obteve-se a equação potencial representada pela linha de tendência identificada no gráfico com o coeficiente de determinação $R^2 = 0,949$.

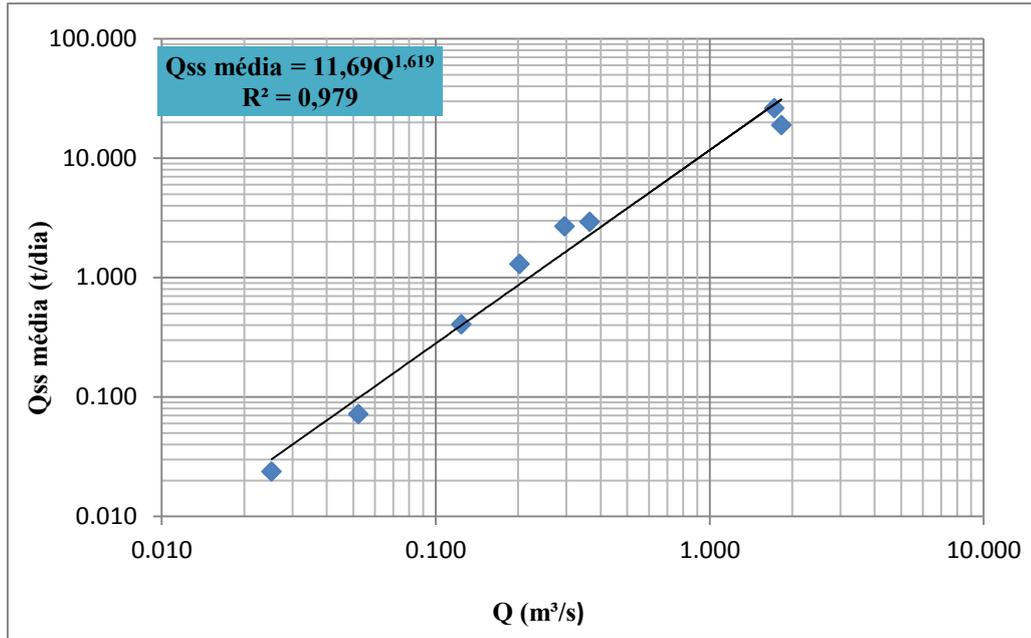


Figura 24 – Descarga sólida em suspensão média (Q_{ss} média) com o amostrador integrador na profundidade USDH 48 x descarga líquida (Q), na subida das ondas de cheia.

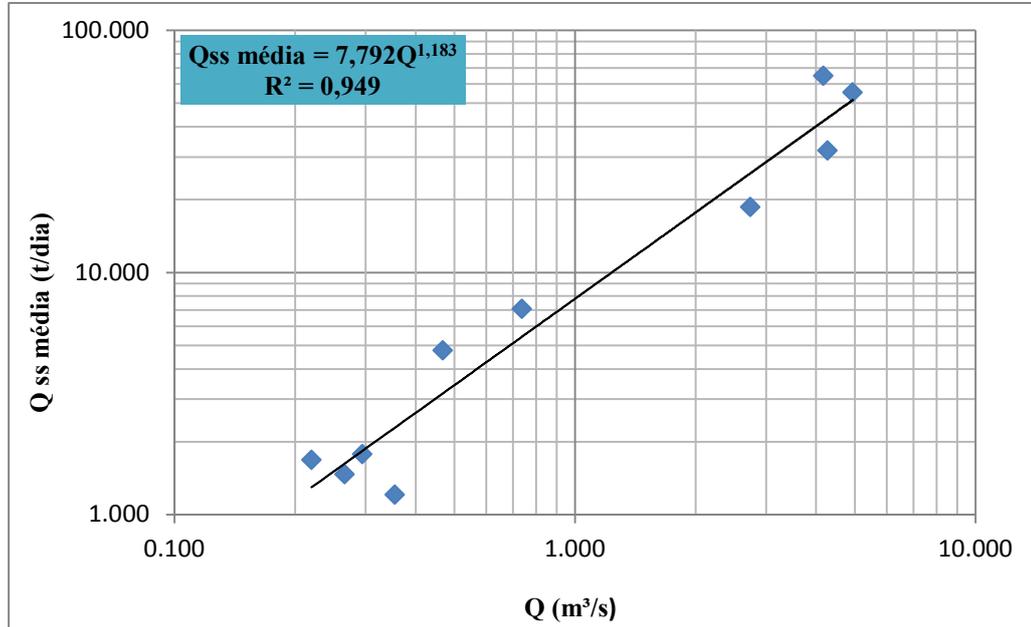


Figura 25 – Descarga sólida em suspensão média com o amostrador integrador na profundidade USDH 48 (Q_{ss} média) x descarga líquida (Q), na descida das ondas de cheia.

Analisando estatisticamente os valores da relação entre a descarga sólida em suspensão obtida com as amostras coletadas utilizando o amostrador integrador na profundidade USDH 48 com a descarga líquida, no geral, na subida e na descida das ondas de cheia e suas devidas médias, apresentadas na Tabela 4, observa-se que os valores dos coeficientes de correlação linear de Person indicam a existência de uma correlação muito forte entre os dados obtidos, sendo este coeficiente superior a 0,90.

Tabela 4 – Estatística da relação entre descarga líquida com descarga sólida em suspensão (Qss) com o amostrador integrador na profundidade USDH 48, no geral, na subida e na descida das ondas de cheia.

Parâmetros	DP	Média	Máxima	Mínima	Mediana	Coefficiente de Person (r)
Qss Geral	13,01	5,24	64,66	0,01	0,18	0,92
Qss Geral média	15,26	7,42	64,66	0,01	0,57	0,92
Qss subida	9,65	5,86	26,1	0,02	1,29	0,99
Qss subida média	10,08	6,54	26,1	0,02	1,98	0,97
Qss descida	22,54	16,03	64,66	1,13	3,63	0,93
Qss descida média	23,86	18,81	64,66	1,21	5,91	0,92

4.3.2 Amostrador ISCO

O amostrador ISCO, foi utilizado em 14 eventos de chuva. Nos quais foi coletado um total de 332 amostras, com 124 amostras nas subidas e 208 nas descidas das ondas de cheia.

A relação entre descarga sólida em suspensão e a descarga líquida, sendo que as Qss são obtidas pelas amostras coletas pelo amostrador ISCO na subida e na descida das ondas de cheia (Figura 26) (Qss geral), obteve-se a equação potencial representada pela linha de tendência identificada no gráfico com o coeficiente de determinação $R^2 = 0,852$, podendo-se ser considerar que há uma boa correlação entre a descarga sólida amostrada e a descarga líquida.

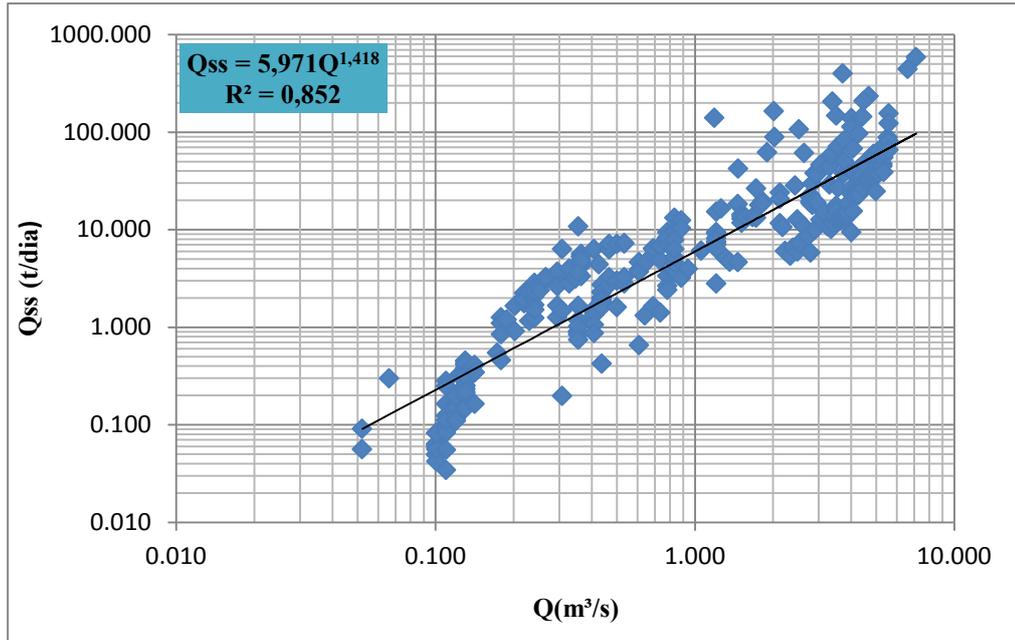


Figura 26 – Descarga sólida sedimentos em suspensão (Q_{ss}) com o amostrador ISCO x descarga líquida (Q), na subida e na descida das ondas de cheia.

Para a relação entre a descarga sólida em suspensão na subida das ondas de cheia obtidas das amostras coletadas pelo amostrador ISCO (Figura 27) e a descarga líquida, obteve-se a equação potencial representada pela linha de tendência identificada no gráfico com um coeficiente de determinação de $R^2 = 0,90$. E na descida (Figura 28), obteve-se a equação potencial representada pela linha de tendência identificada no gráfico com o coeficiente de determinação de $R^2 = 0,82$, ambas podendo ser consideradas uma boa correlação.

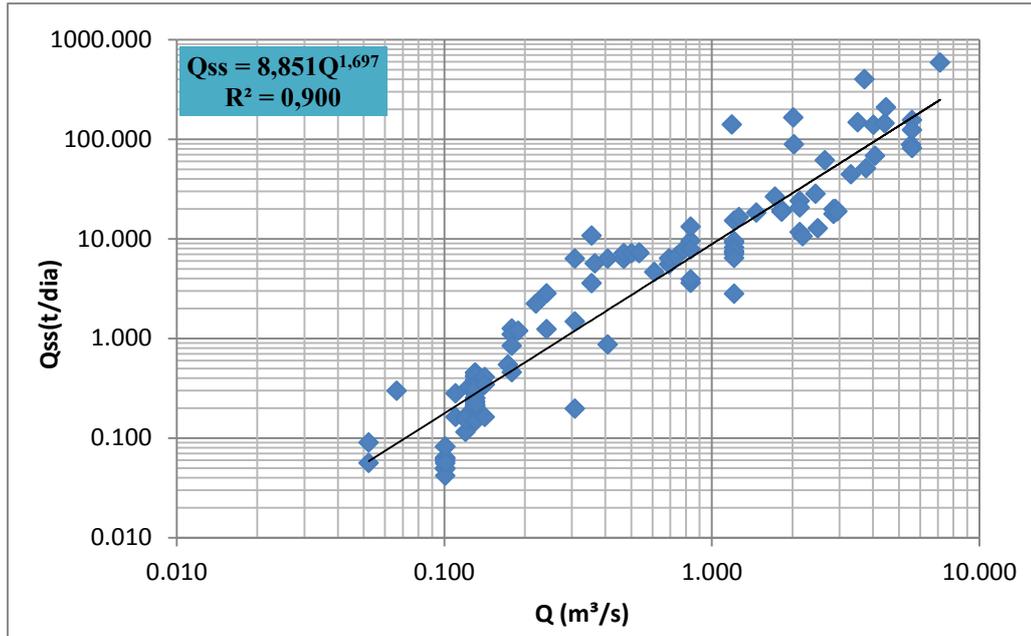


Figura 27 – Descarga sólida em suspensão (Q_{ss}) obtida das amostras coletadas com o amostrador ISCO x descarga líquida (Q), na subida das ondas de cheia.

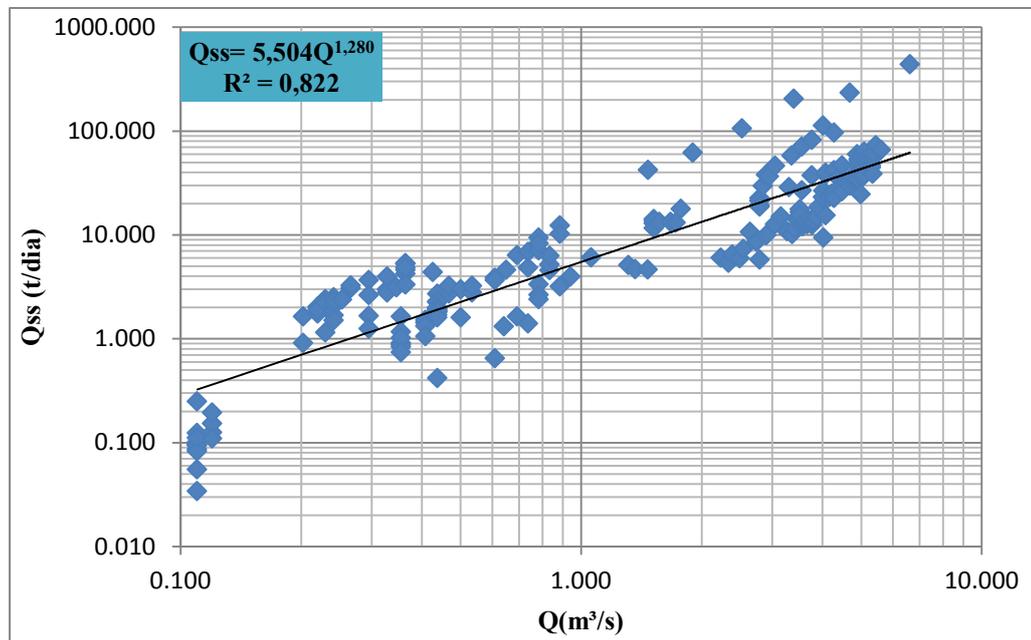


Figura 28 – Descarga sólida em suspensão (Q_{ss}) obtida das amostras coletadas com o amostrador ISCO x descarga líquida (Q) na descida das ondas de cheia.

De todas as amostras coletadas fez-se uma média das descargas sólidas de sedimentos em suspensão referente a cada vazão. Para a relação entre a descarga sólida em suspensão média de todas as amostras coletas pelo amostrador ISCO e a descarga líquida, (Figura 29) obteve-se a equação potencial representada pela linha de tendência identificada no gráfico com o coeficiente de determinação de $R^2 = 0,766$.

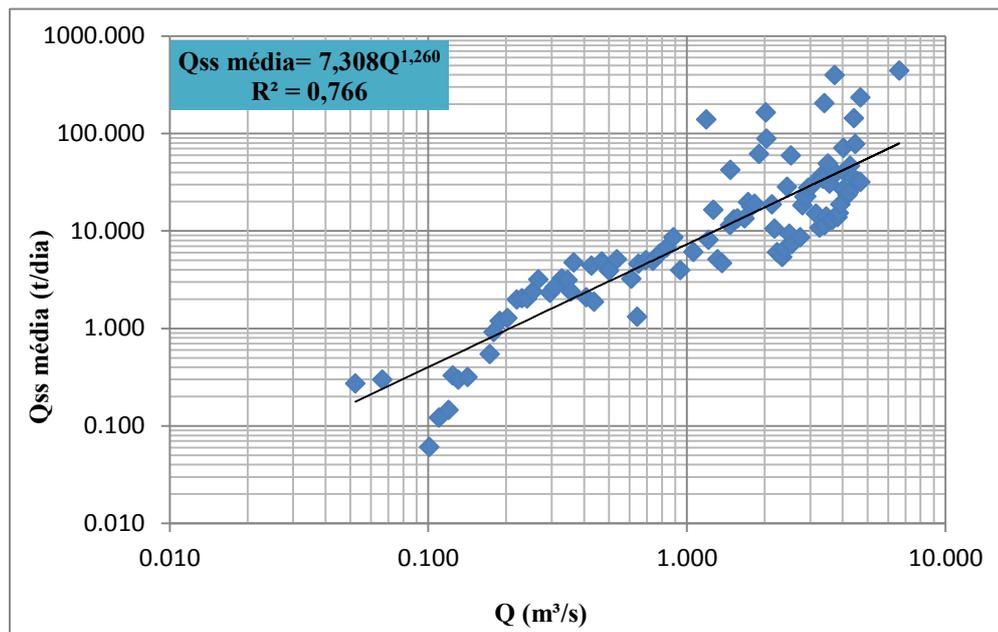


Figura 29 – Descarga sólida em suspensão média (Q_{ss}) obtida das amostras coletadas com o amostrador ISCO x descarga líquida (Q), com todas as amostras nas ondas de cheia.

Para a relação entre descarga sólida em suspensão média e descarga líquida, na subida das ondas de cheia pelo amostrador ISCO (Figura 30), obteve-se a equação potencial representada pela linha de tendência identificada no gráfico com o coeficiente de determinação $R^2 = 0,870$. Também obteve-se a relação entre descarga sólida em suspensão média e descarga líquida, na descida das ondas de cheia, (Figura 31), tendo-se assim a equação potencial representada pela linha de tendência identificada no gráfico com o coeficiente de determinação de $R^2 = 0,726$.

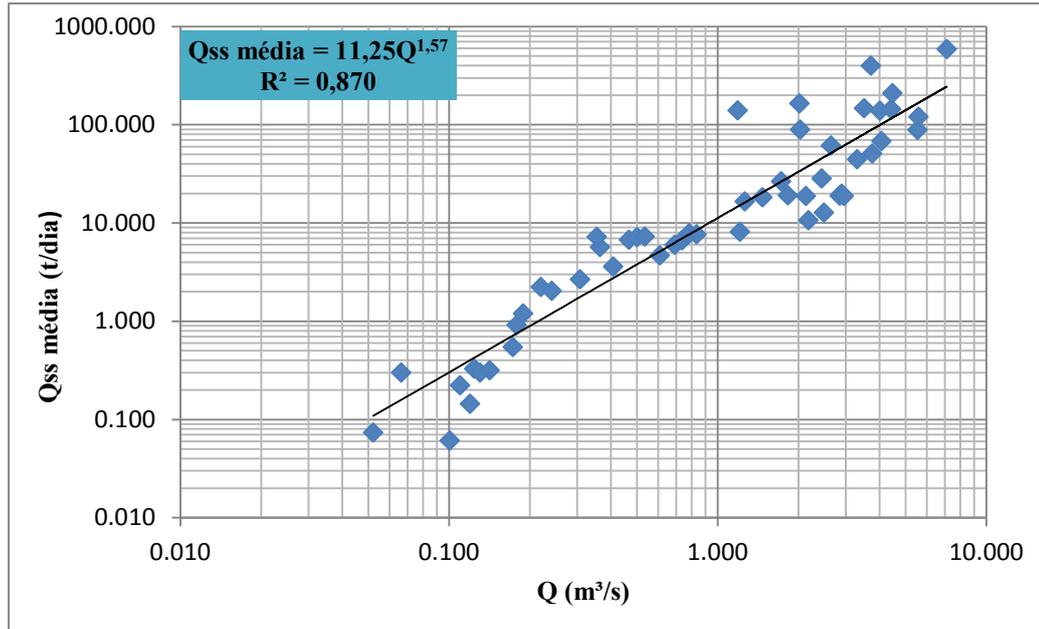


Figura 30 – Descarga sólida em suspensão média (Q_{ss} média) com o amostrador ISCO x descarga líquida (Q), na subida das ondas de cheia.

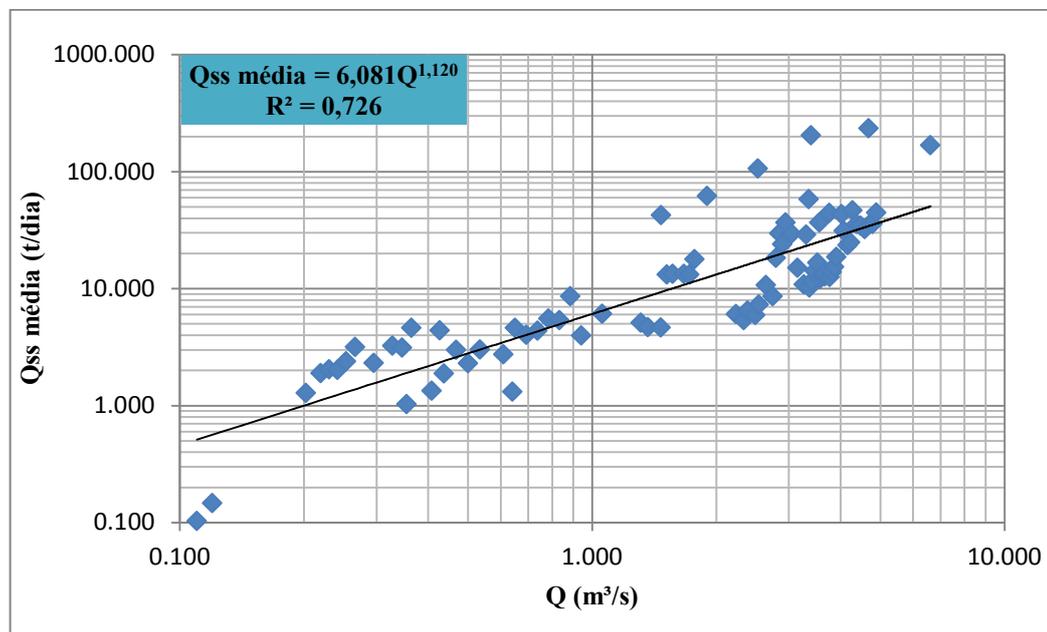


Figura 31 – Descarga sólida em suspensão média (Q_{ss} média) com o amostrador ISCO x descarga líquida (Q), na descida das ondas de cheia.

Analisando estatisticamente os valores da relação descarga líquida com descarga sólida em suspensão com o amostrador ISCO, no geral (todas as amostras), na subida e na descida das ondas de cheia estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Estatística da relação entre descarga líquida edescarga sólida em suspensão com o amostrador ISCO, no geral (todas as amostras), na subida e na descida das ondas de cheia.

Parâmetros	DP	Média	Máxima	Mínima	Mediana	Coefficiente de Person (r)
Qss Geral	55,08	22,82	586,21	0,03	5,86	0,55
Qss Geral média	83,1	39,68	586,21	0,06	13,58	0,51
Qss subida	72,72	25,95	586,21	0,04	2,81	0,72
Qss subida média	104,35	52,67	586,21	0,06	9,33	0,71
Qss descida	41,24	20,96	440,7	0,03	6,97	0,54
Qss descida média	38,28	26,04	233,85	0,1	13,15	0,55

Observa-se na Tabela 5 que os valores dos coeficientes de correlação linear de Person (r) na subida das ondas de cheia indicam a existência de uma correlação forte entre os dados obtidos. Com todas as amostras e na descida das ondas de cheia obteve-se uma correlação moderada.

4.3.3 Comparações das relações utilizando os amostradores USDH 48 e ISCO.

Depois de analisado as relações de descarga líquida e descarga sólida em suspensão média para os 2 amostradores, fez-se uma relação entre eles, conforme ilustrado na Figura 32.

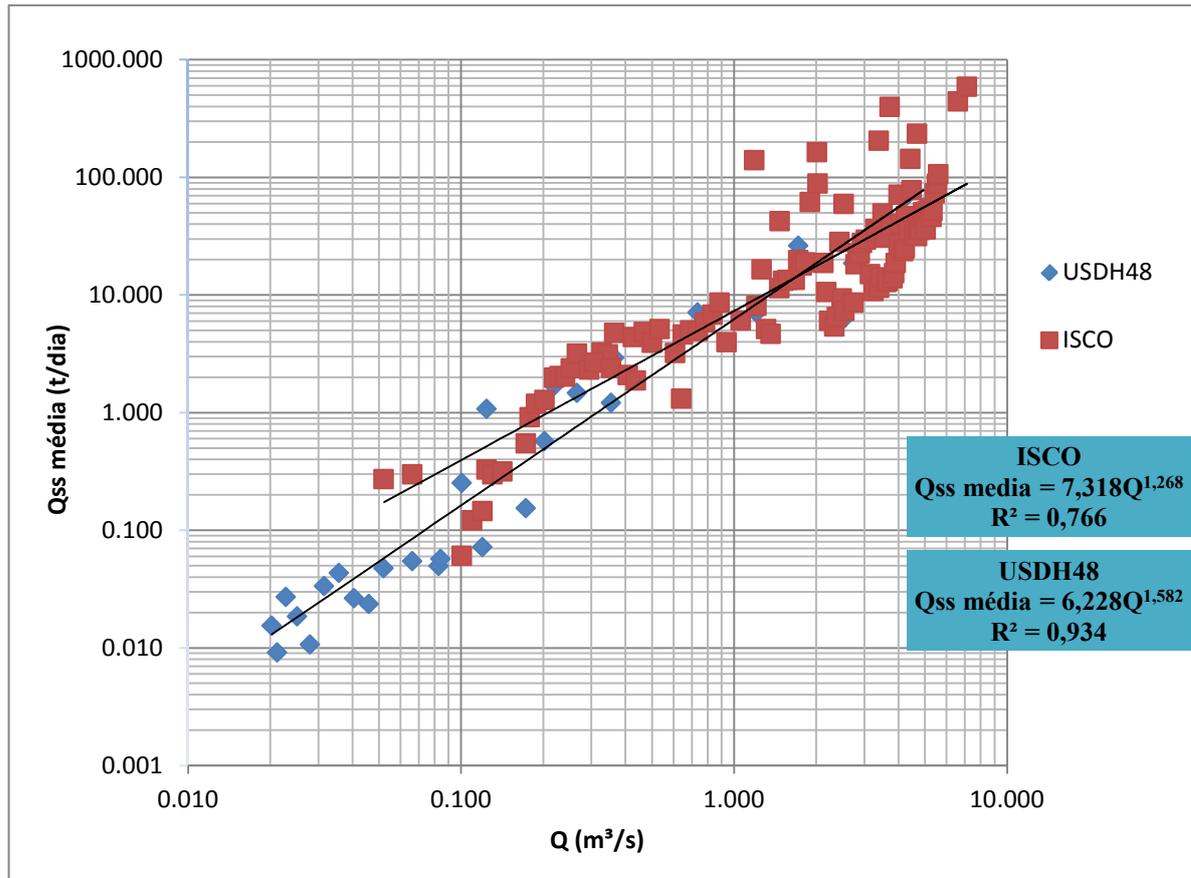


Figura 32 – Comparação dos resultados obtidos utilizando os 2 amostradores, relacionando a descarga sólida em suspensão média (Q_{ss} média) com a descarga líquida (Q)

Ao se comparar a relação de descarga líquida (m^3/s) com descarga sólida em suspensão (t/dia) com todas as amostras (Q_{ss} geral), obtidas utilizando o amostrador integrador na profundidade USDH 48 obteve-se o coeficiente de determinação $R^2 = 0,937$ e com o amostrador ISCO obteve-se o coeficiente de determinação $R^2 = 0,85$, estas diferenças podem ocorrer devido que com o amostrador USDH 48 mais representativo em toda a seção transversal e não somente pontual.

4.3.4 Relação entre o amostrador USDH 48 e o amostrador ISCO

Como nem sempre são possibilitadas as idas a campo em determinados horários ou não se chega a tempo de monitorar um evento de chuva utilizando o amostrador manual USDH 48, que coleta amostras representativa em toda a seção do rio, fez-se uma relação das amostras das médias de descarga sólida em suspensão coletadas utilizando-se o amostrador ISCO com as coletadas com o amostrador USDH 48 (Figura 33), obtendo-se a equação linear representada pela linha de tendência identificada no gráfico com o coeficiente de determinação $R^2 = 0,998$, que pode ser considerada uma boa correlação.

O trabalho realizado por Lima et. al. (2010), na Bacia Experimental do Alto Rio Jardim no Distrito Federal, fez a comparação entre as concentrações médias de sedimentos em suspensão obtidas com o amostrador por integração na vertical USDH 48 e com o amostrador pontual desenvolvido pela Embrapa Cerrados, obteve uma boa correlação, com coeficiente de determinação $R^2 = 1$, indicando que a variabilidade dos resultados obtidos com o amostrador pontual é passível de ser utilizada para explicar a variabilidade dos dados médios com o amostrador por integração na vertical.

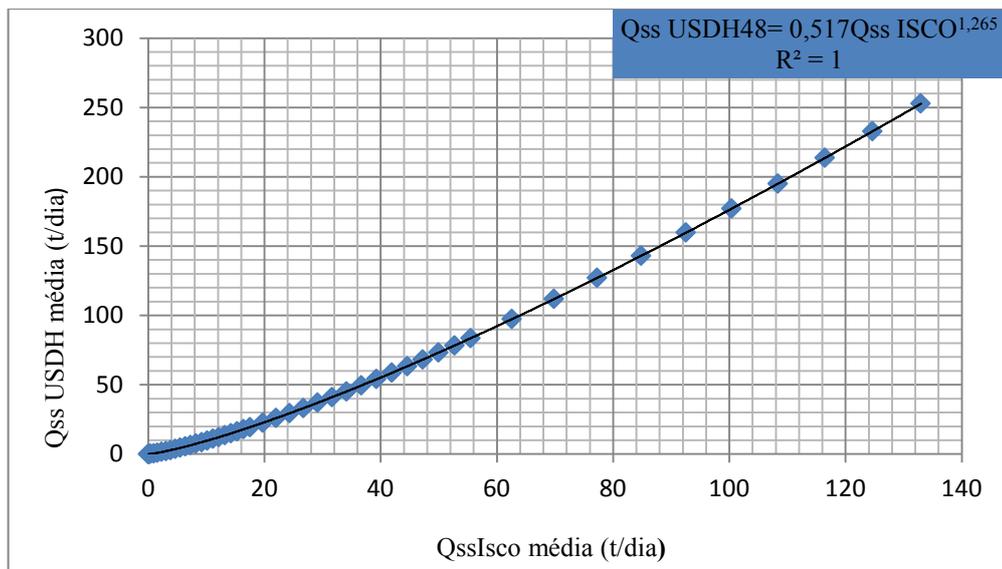


Figura 33 – Relação entre descarga sólida em suspensão média utilizando o amostrador ISCO (Qss ISCO média) e descarga sólida em suspensão média utilizando o amostrador USDH 48 (Qss USDH 48 média).

O resumo estatístico dos dados de Qss ISCO média e Qss USDH 48 média, é apresentado na Tabela 6. Obteve-se o coeficiente de correlação de $r = 0,96$, indicando assim uma correlação muito forte entre os dados obtidos.

Tabela 6 – Estatística da relação Qss Isco com Qss USDH 48.

Parâmetros	DP	Média	Máxima	Mínima	Mediana	Coeficiente de Person (r)
Qss USDH 48	36,90	35,21	132,98	0,05	20,88	0,96
Qss ISCO	68,26	54,86	252,70	0,01	24,26	

Lima et. al. (2010), obteve um coeficiente de Person de 0,99, indicando a existência de uma correlação muito forte entre os dados obtidos com ambos os métodos de amostragem utilizados.

4.4 Relação turbidez e concentração de sedimentos em suspensão

4.4.1 Amostrador UDSH 48

A relação da turbidez com a concentração de sedimentos em suspensão obtidas com todas as amostras coletas pelo amostrador integrador na profundidade USDH 48, tanto em ondas de cheia, como em dias sem precipitação (Figura 34), obteve a equação linear (Equação 6) representada pela linha de tendência identificada no gráfico com o coeficiente de determinação $R^2 = 0,867$, podendo ser considerado uma boa correlação.

No trabalho de Cardoso, Kobiyana e Grison (2012), que relacionou turbidez com concentração de sedimentos em suspensão utilizando o amostrador USDH 48, coletando 10 amostras de 15 em 15 dias, obtendo uma equação linear e outra potencial, são relatados coeficientes de determinação de $R^2 = 0,971$ e $R^2 = 0,851$, respectivamente. Os autores constataram que devido ao número reduzido de amostras, a curva-chave fica suscetível a

erros, principalmente para valores maiores da turbidez. Com isto recomendam coletar um número maior de amostras durante ondas de cheia em que a turbidez tenha um valor elevado, a fim de ajustar melhor a curva-chave.

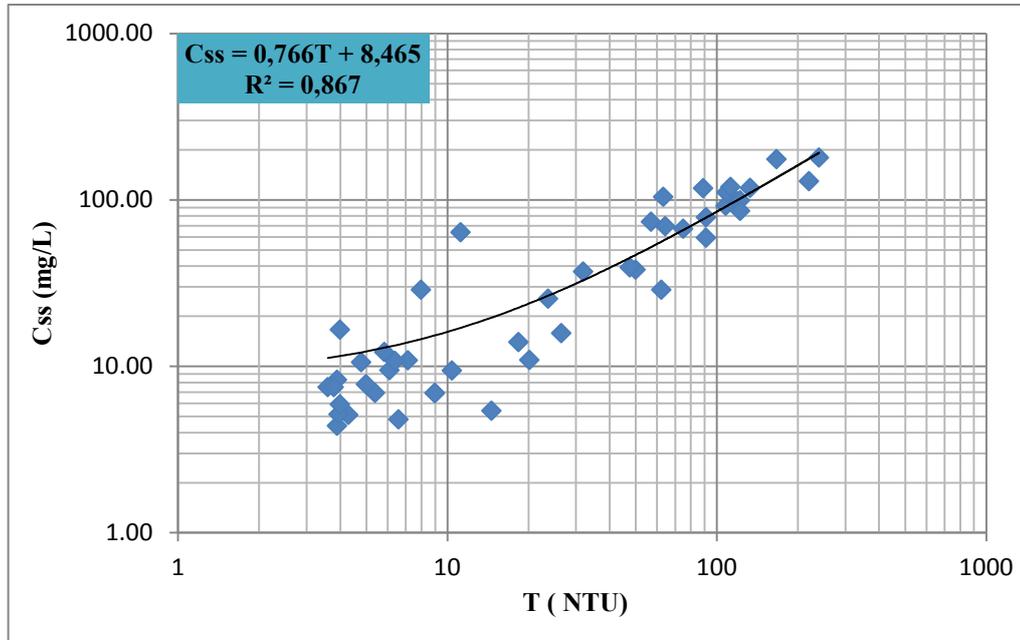


Figura 34 – Relação da turbidez (T) com a concentração de sedimentos em suspensão (C_{ss}) obtida com o amostrador integrador na profundidade USDH 48 nas ondas de cheia e dias sem precipitação.

$$C_{ss} = 0,766T + 8,465 \quad (6)$$

A partir da Equação 6, calculou-se o valor de Q_{ss} (t/dia) com as amostras das ondas de cheia e dias sem precipitação e relacionou-se com a Q (m³/s) (Figura 35). Obteve-se a equação potencial representada pela linha de tendência identificada no gráfico com o coeficiente de determinação R² = 0,97.

A Figura 36 apresenta a relação entre a Q_{ss} média (t/dia) calculadas pela equação 6 com descarga líquida (Q). Foi obtida a equação potencial representada pela linha de tendência identificada no gráfico com o coeficiente de determinação R² = 0,973, que indica uma boa correlação entre os dados analisados.

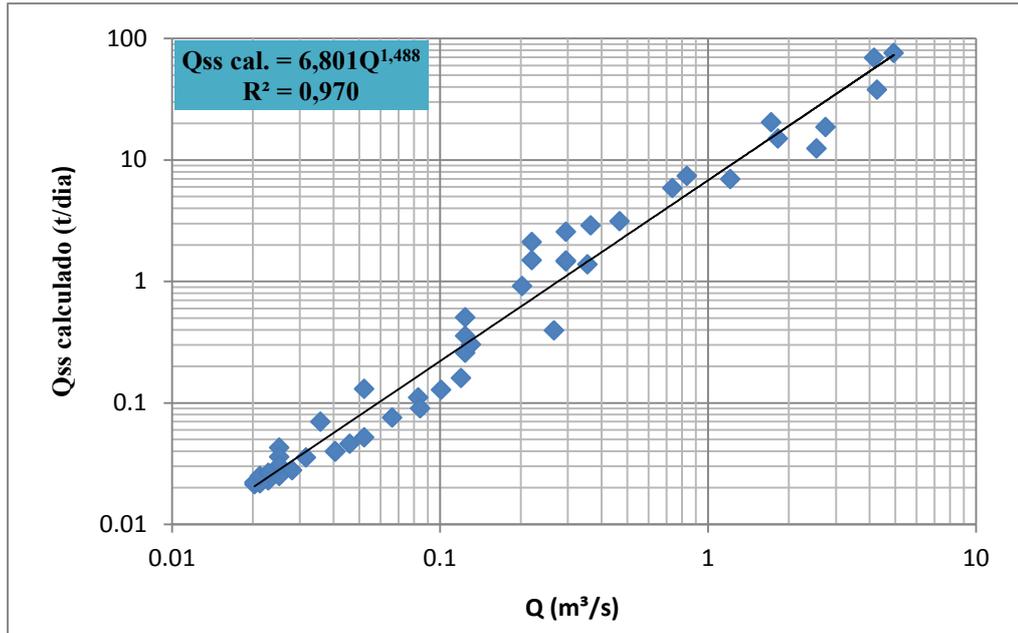


Figura 35 – Relação entre a Qss (t/dia) calculadas pela Equação 6 com a Q (m³/s), com as amostras das ondas de cheia e dias sem precipitação,

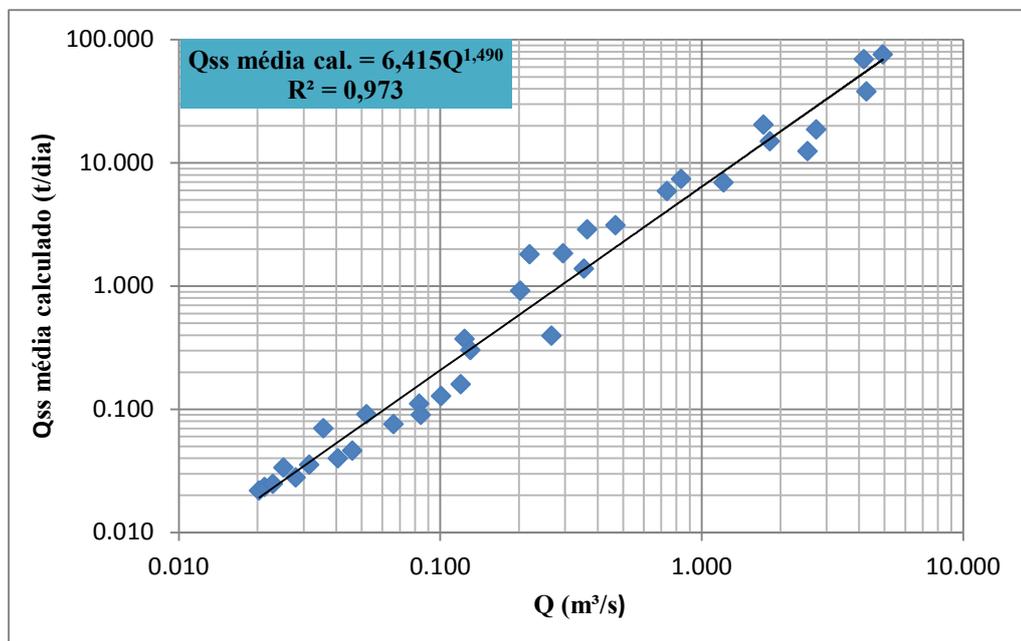


Figura 36 – Relação entre a Qss média (t/dia) calculadas pela Equação 6 com Q(m³/s), sendo estas obtidas com as amostras das ondas de cheia e dias sem precipitação

Relacionou-se a descarga s3lida em suspens3o calculada pela turbidez (pelo amostrador USDH 48) com a descarga s3lida obtidas pelas amostras coletadas com o amostrador integrador na profundidade USDH 48, durante as ondas de cheias e dias sem precipita33o, sendo esta representada pela figura 37. Esta rela33o se torna importante pois com ela pode-se obter dados cont3nuos da descarga s3lida em suspens3o desta 3rea monitorada, com o aux3lio da sonda de turbidez.

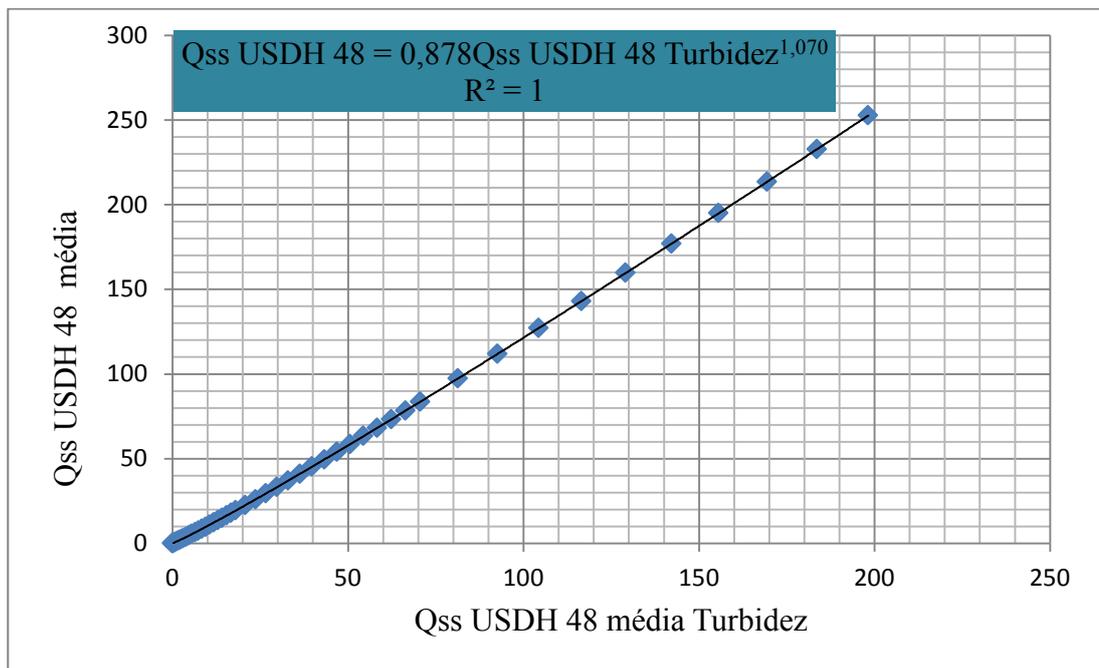


Figura 37- Rela33o da descarga s3lida em suspens3o calculada pela sonda de turbidez com a descarga s3lida em suspens3o obtida atrav3s do amostrador integrador na profundidade USDH 48, durante as ondas de cheias e em dias sem precipita33o.

Com a rela33o da turbidez com a concentra33o de sedimentos em suspens3o na subida das ondas de cheia obtidas das amostras coletadas pelo amostrador integrador na profundidade USDH 48 (Figura 38), obteve-se a equa33o linear (Equa33o 7) representada pela linha de tend3ncia identificada no gr3fico com o coeficiente de determina33o $R^2 = 0,897$ podendo ser considerado uma boa correla33o entre os dados analisados.

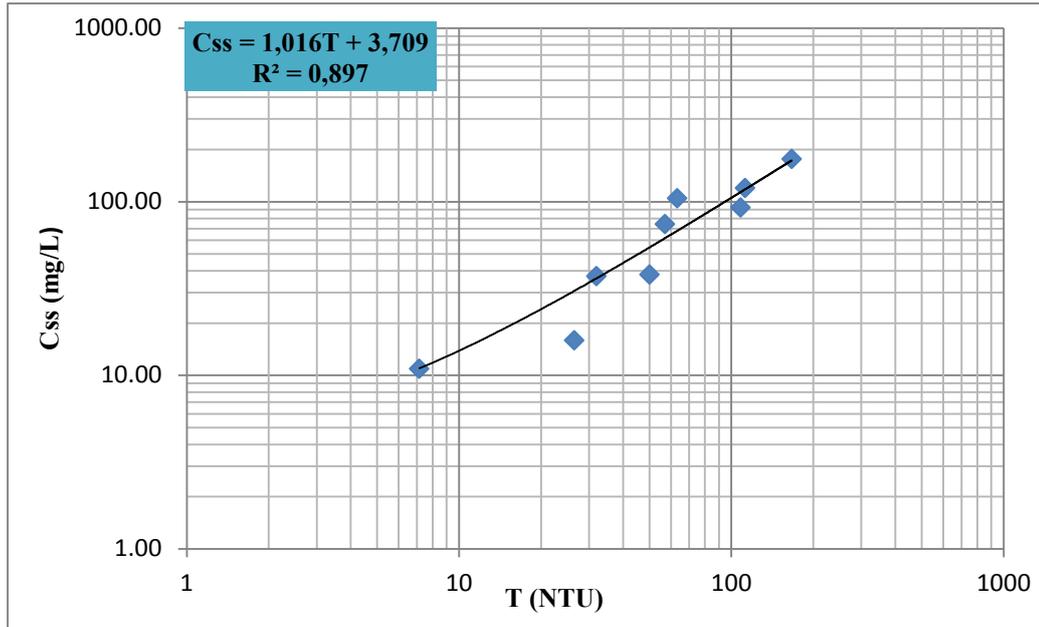


Figura 38 – Relação da turbidez (T) com a concentração de sedimentos em suspensão (C_{ss}) obtida com o amostrador integrador na profundidade USDH 48 na subida das ondas de cheia.

$$C_{ss} = 1,0116T + 3,709 \quad (7)$$

A partir da Equação 7, calculou-se o valor de Q_{ss} (t/dia) nas subidas das ondas de cheia relacionando-se com a Q (m³/s) (Figura 39) e obteve-se a equação potencial representada pela linha de tendência identificada no gráfico com o coeficiente de determinação R² = 0,982.

Na Figura 40 está a representação da relação Q_{ss} média (t/dia) calculadas pela equação 7 com as Q (m³/s) nas subidas das ondas de cheia, representada pela linha de tendência identificada no gráfico com o coeficiente de determinação R² = 0,984, assim podendo ser considerado uma boa correlação.

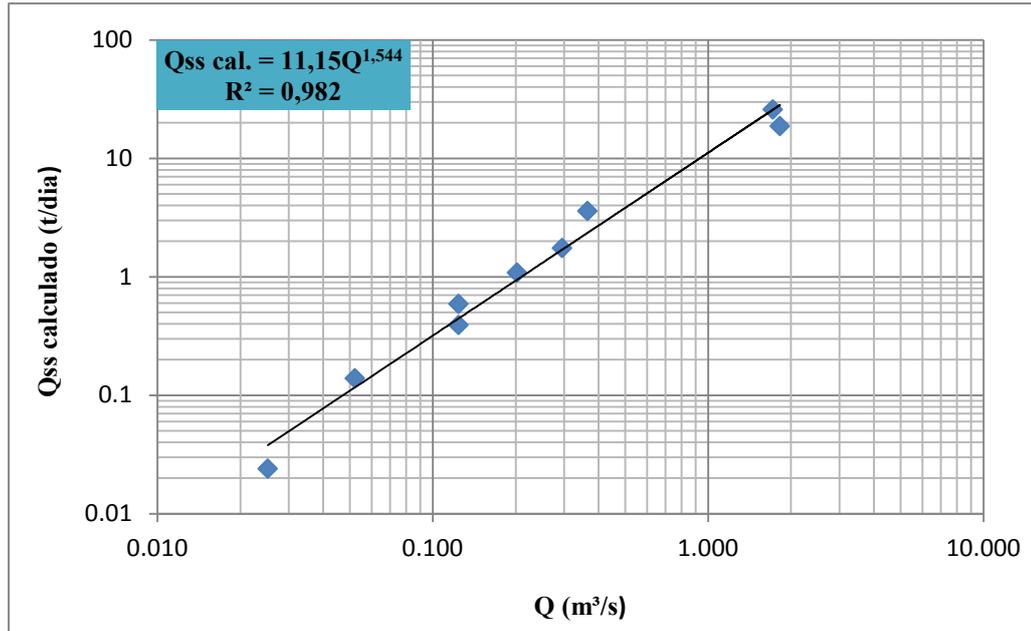


Figura 39 – Relação Q_{ss} (t/dia) nas subidas das ondas de cheia calculadas pela equação 7 com a Q (m³/s).

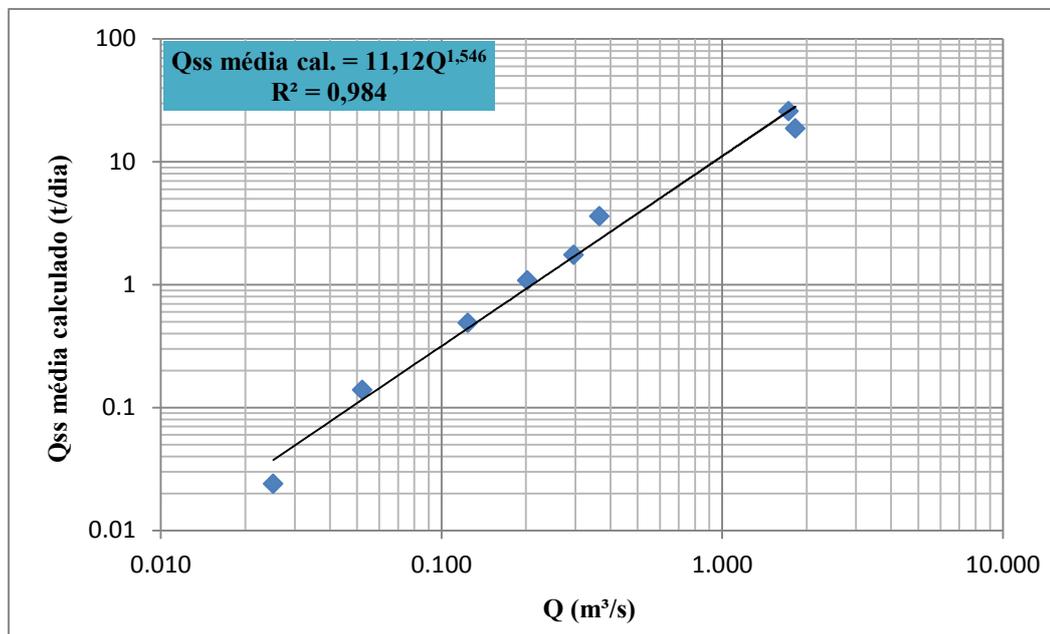


Figura 40 – Relação Q_{ss} média (t/dia) nas subidas das ondas de cheia calculadas pela equação 7 com a Q (m³/s)

Com a relação da turbidez com a concentração de sedimentos em suspensão das amostras coletas pelo amostrador integrador na profundidade USDH 48 na descida das ondas de cheia (Figura 41), obteve-se a equação linear (Equação 8) representada pela linha de tendência identificada no gráfico com o coeficiente de determinação $R^2 = 0,735$.

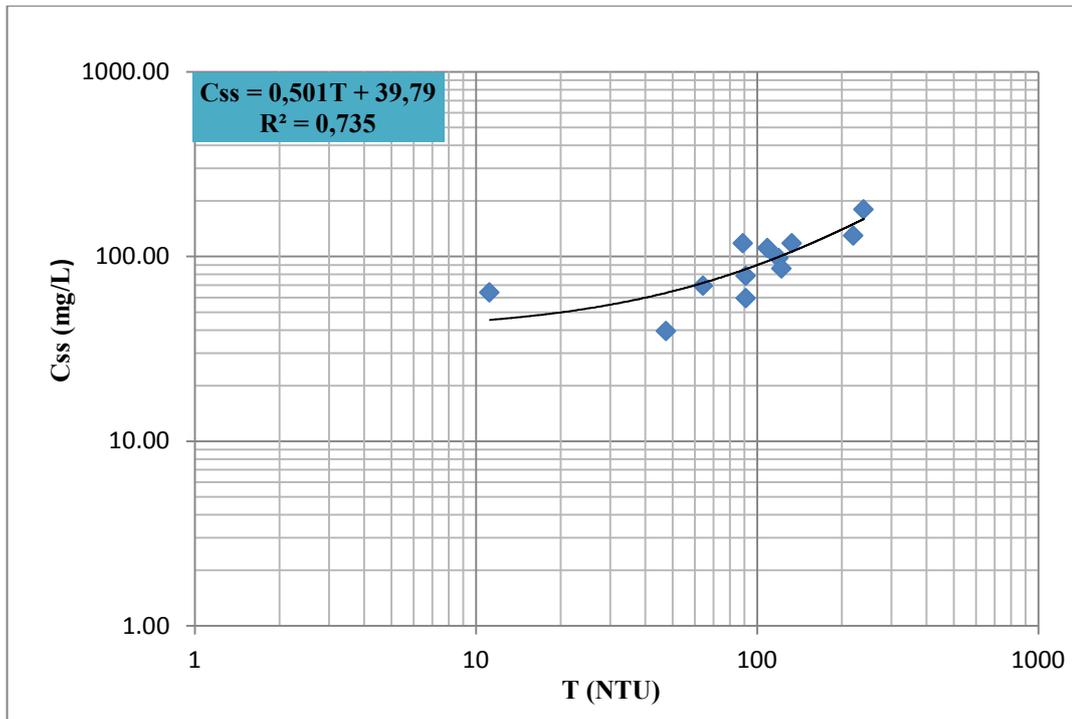


Figura 41 – Relação da turbidez (T) com a concentração de sedimentos em suspensão (C_{ss}) com o amostrador integrador na profundidade USDH 48 na descida das ondas de cheia.

$$C_{ss} = 0,501T + 39,79 \quad (8)$$

A partir da Equação 8, calculou-se o valor de Q_{ss} (t/dia) das descidas das ondas de cheia relacionando-se com a Q (m³/s) (Figura 42) e obteve-se a equação potencial representada pela linha de tendência identificada no gráfico com o coeficiente de determinação $R^2 = 0,96$.

Na Figura 43 esta a representação da relação Q_{ss} média (t/dia) na descida das ondas de cheia calculada pela equação 8 com a Q (m³/s) representada pela linha de tendência identificada no gráfico com o coeficiente de determinação $R^2 = 0,97$ podendo ser considerado uma boa correlação.

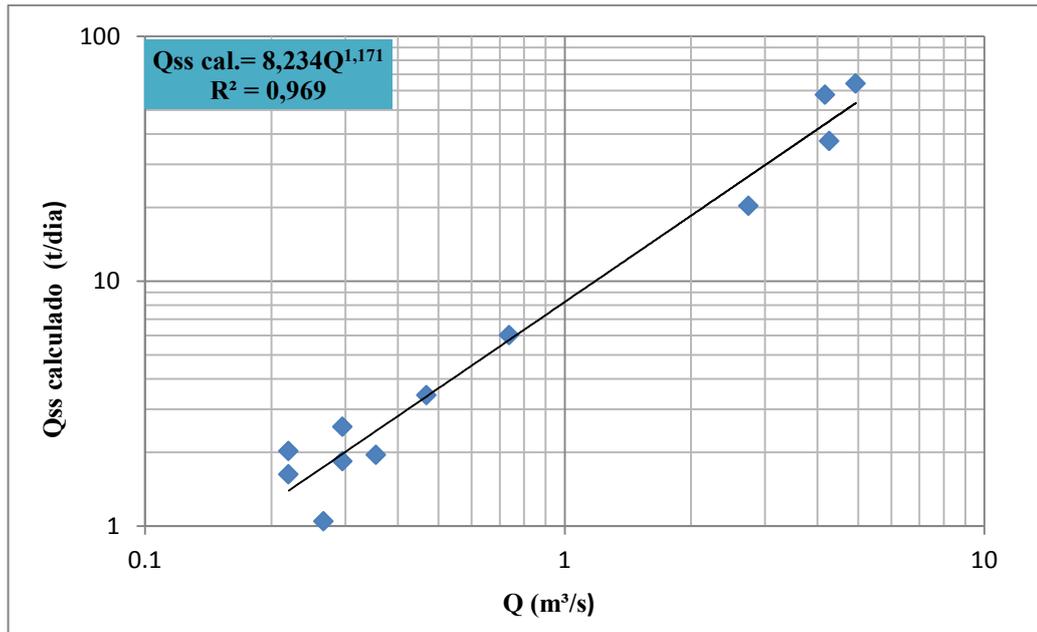


Figura 42 – Relação Q_{ss} (t/dia) na descida das ondas de cheia calculada pela Equação 8 com a Q (m^3/s).

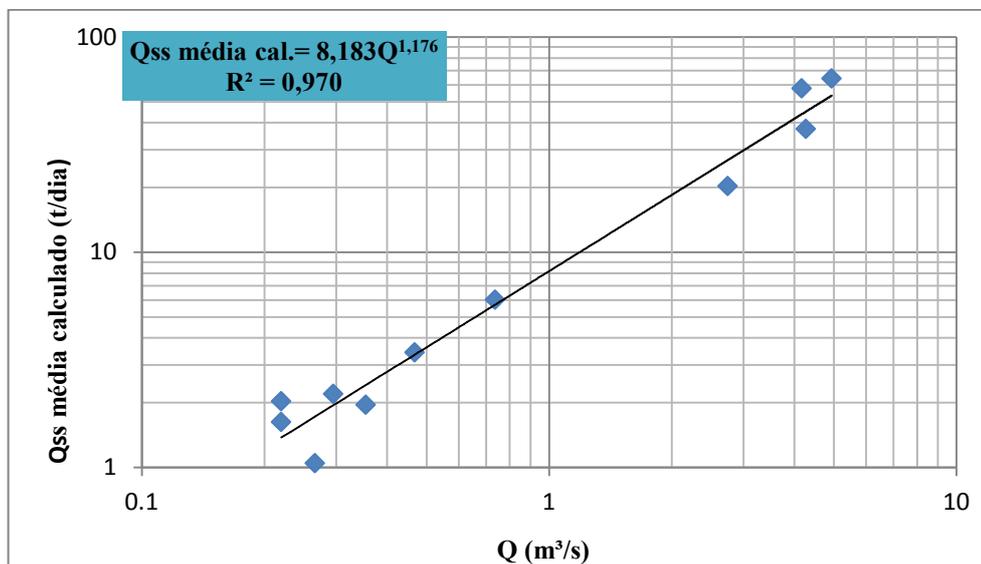


Figura 43 – Relação Q_{ss} média (t/dia) na descida das ondas de cheia calculada pela equação 8 com a Q (m^3/s).

O resumo estatístico da relação turbidez e concentração de sedimentos em suspensão utilizando o amostrador integrador na profundidade USDH 48, em todos os eventos de chuva e seco (geral), na subida e na descida das onda de cheia está apresentada na Tabela 7. Nota-se

que a relação C_{ss} (mg/L) com T (NTU) com todos as amostras (geral) e na subidas das ondas de cheia os coeficientes de correlacçõa linear de Person foram de 0,931 e 0,947, respectivamente, indicando a existência de uma correlação muito forte entre os dados obtidos. Na descida da onda de cheia obteve-se o $R = 0,858$, sendo uma correlação forte.

Tabela 7 – Análise estatística da relação turbidez (T) e concentração de sedimentos em suspensão (C_{ss}) utilizando o amostrador integrador USDH 48, em todos as ondas de cheia e dias sem precipitação, na subida e na descida das ondas de cheia.

Parâmetros	DP	Média	Máxima	Mínima	Mediana	Coefficiente de Person (r)
Css geral	48,99	47,71	179,33	4,40	25,50	0,931
T geral	59,57	51,23	239,7	3,60	20,20	
Css subida	54,34	74,15	175,33	10,86	74,00	0,947
T subida	50,63	69,29	166,75	7,15	57,10	
Css descida	38,05	95,76	179,33	39,33	92,00	0,858
T descida	65,10	111,62	239,70	11,20	100,17	

Através da equação gerada por meio da correlação turbidez e concentração de sedimentos em suspensão, calculou-se a descarga sólida em suspensão e a descarga sólida em suspensão média e estas foram relacionadas com as descargas líquidas, sendo o resumo estatístico apresentado na Tabela 8. Na relação com Q (m^3/s) e Q_{ss} (t/dia), observa-se que os valores do coeficiente de Person são maiores que 0,9, indicam a existência de uma correlação muito forte entre os dados analisados,

Tabela 8 – Análise estatística da relação Q x Q_{ss} , sendo o Q_{ss} e Q_{ss} médio calculo a partir da turbidez.

Parâmetros	DP	Média	Máxima	Mínima	Mediana	Coefficiente de Person (r)
Q_{ss} cal. geral	15,78	6,16	75,65	0,02	0,256	0,936
Q_{ss} cal. geral média	18,16	8,32	75,65	0,02	0,382	0,933
Q_{ss} cal. subida	9,54	5,77	25,77	0,02	1,08	0,973
Q_{ss} cal. subida média	9,97	6,43	25,77	0,02	1,4	0,97
Q_{ss} cal. descida	23,31	16,65	65,1	0	2,98	0,96
Q_{ss} cal. descida média	23,97	17,97	64,1	1,04	3,41	0,965

4.4.2 Amostrador ISCO

Com a relação da turbidez (T) e concentração de sedimentos em suspensão (Css) de todas as amostras coletas pelo amostrador ISCO, tanto na subida como na descida do evento de chuva (Figura 44), obteve-se a equação polinomial (Equação 9) representada pela linha de tendência identificada no gráfico com o coeficiente de determinação $R^2 = 0,903$, que indica haver uma boa correlação entre os parâmetros analisados, sendo uma boa alternativa para ser ter dados contínuos de concentração de sedimentos em suspensão.

Pereira (2010), trabalhou em duas estações de monitoramento Rancho do Amaral e Rincão do Soturno e correlacionou a variável turbidez com a concentração de sedimentos em suspensão obtida pelo amostrador ISCO, obtendo na primeira um coeficiente de determinação $R^2 = 0,76$ e na segunda 0,71. Concluiu que tanto o amostrador ISCO quanto a sonda de turbidez apresentam bons resultados, desde que estejam posicionados em locais representativos da seção de medição e seus intervalos de coleta. As sondas de turbidez mediante calibração e possibilidade de limpeza automática de sua lente se mostram bons equipamentos para o acompanhamento contínuo da concentração de sedimentos em suspensão.

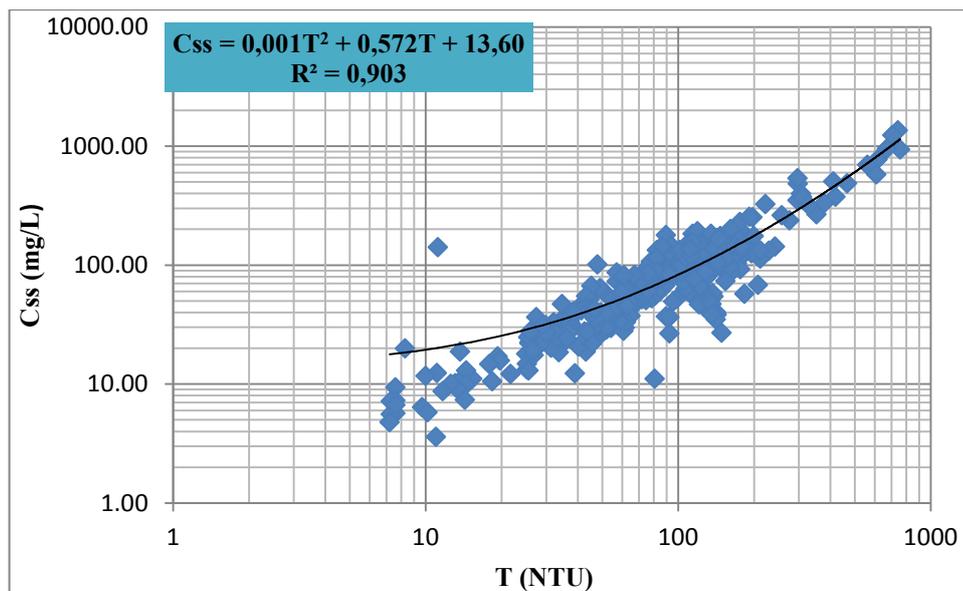


Figura 44 – Relação da turbidez (T) com a concentração de sedimentos em suspensão (Css) obtida com o amostrador ISCO, na subida e na descida das ondas de cheia.

$$C_{ss} = 0,001T^2 + 0,572T + 13,60 \quad (9)$$

A partir da Equação 9, calculou-se o valor de Q_{ss} (t/dia) com todas as amostras relacionando-se com Q (m^3/s) (Figura 45) e obteve-se a equação potencial representada pela linha de tendência identificada no gráfico com o coeficiente de determinação $R^2 = 0,902$

Da relação Q_{ss} (t/dia) média calculada pela Equação 9 com todas as amostras (t/dia) com a Q (m^3/s) obteve-se a equação potencial representada pela linha de tendência identificada no gráfico (Figura 46) com o coeficiente de determinação $R^2 = 0,84$, podendo ser considerada uma boa correlação

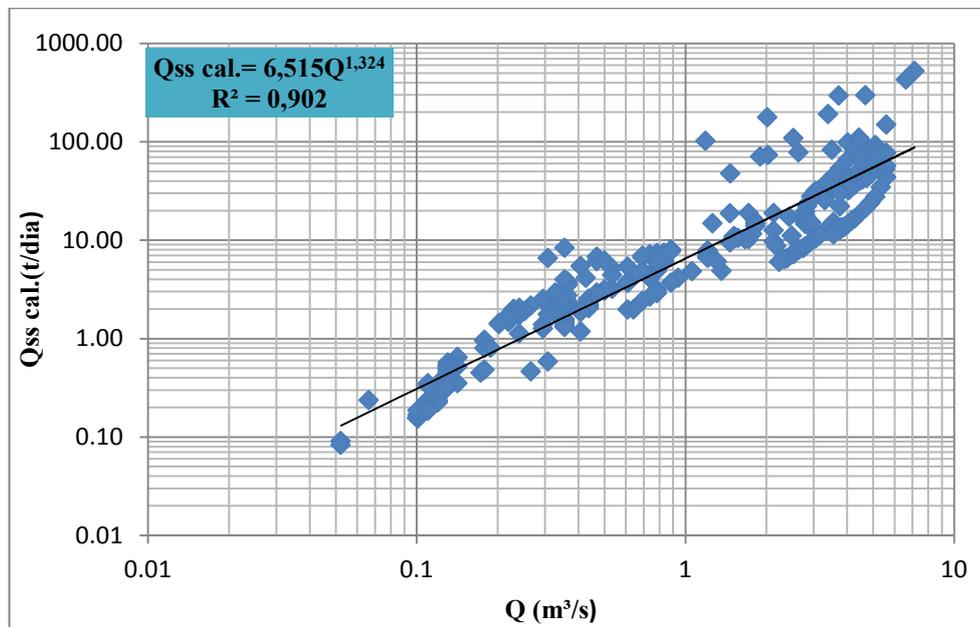


Figura 45 – Relação da descarga sólida em suspensão (Q_{ss}) obtida com todas as amostras calculada pela equação 9 com a descarga líquida (Q).

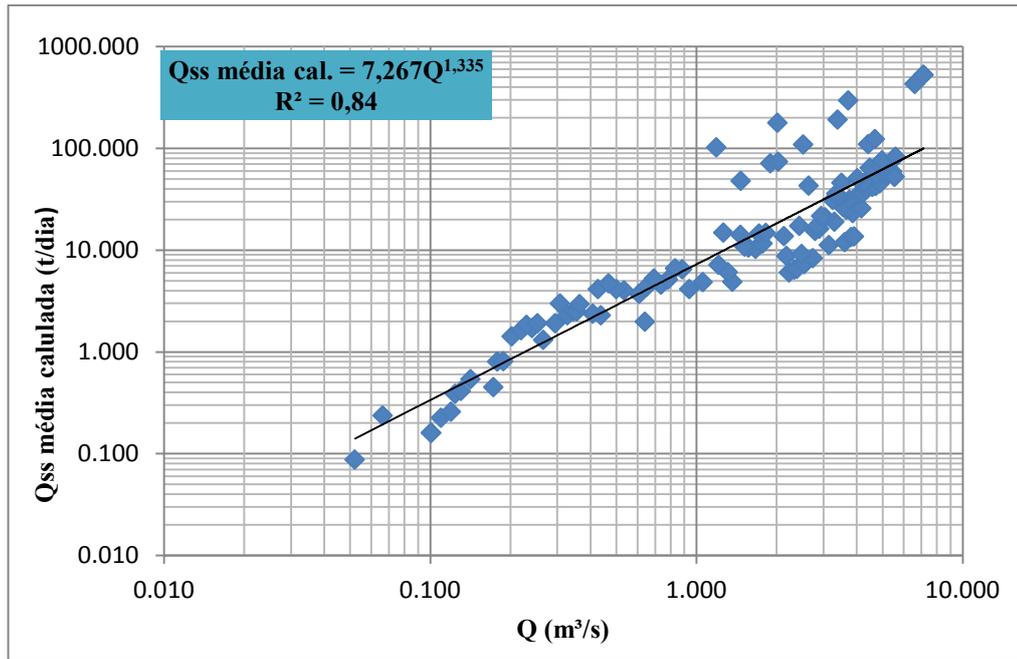


Figura 46 – Relação da descarga sólida em suspensão média (Q_{ss}) obtidas com todas as amostras calculada pela Equação 9 com a descarga líquida (Q)

A relação da turbidez (T) com a concentração de sedimentos em suspensão (C_{ss}) das amostras coletas pelo amostrador ISCO na subida das ondas de cheia (Figura 47), obteve-se a equação linear (Equação 10) representada pela linha de tendência identificada no gráfico com o coeficiente de determinação $R^2 = 0,925$, podendo ser considerado uma boa correlação entre os parâmetros analisados.

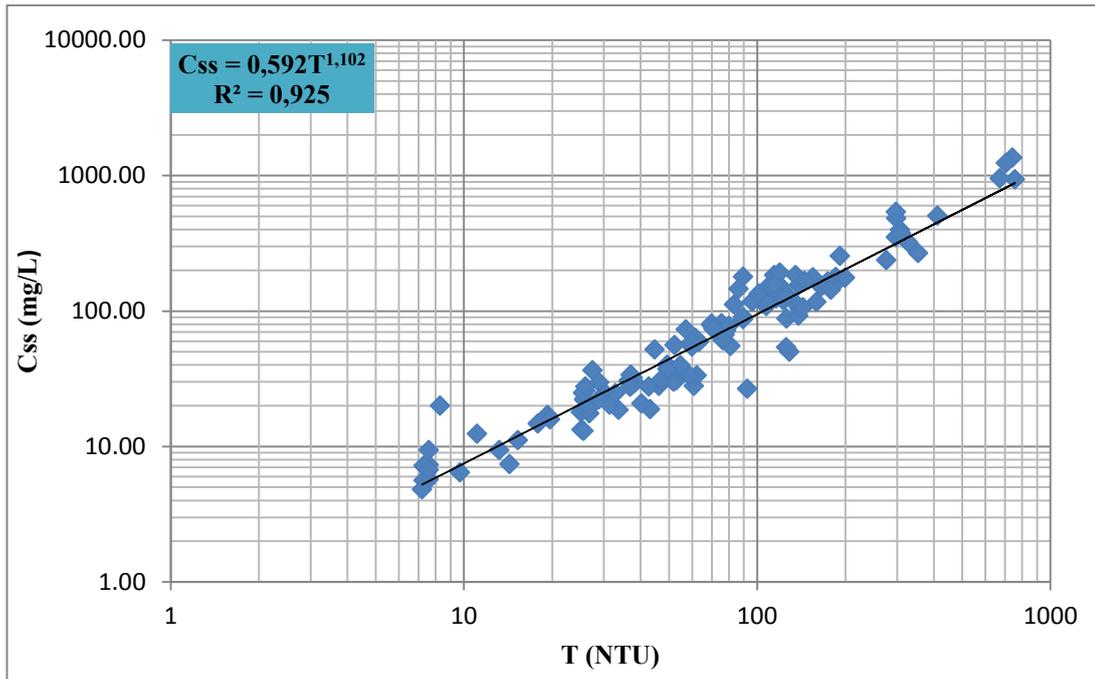


Figura 47 – Relação da turbidez (T) com a concentração de sedimentos em suspensão (Css) com o amostrador ISCO na subida das ondas de cheia.

$$C_{ss} = 0,592 T^{1,102} \quad (10)$$

A partir da Equação 10, calculou-se o valor de Q_{ss} (t/dia) na subida das ondas de cheia relacionando-se com a Q (m^3/s) (Figura 48) e obteve-se a equação potencial representada pela linha de tendência identificada no gráfico com o coeficiente de determinação $R^2 = 0,893$

A correlação Q_{ss} média (t/dia) na subida da onda de cheia calculada pela equação 10 com a Q (m^3/s) representada pela linha de tendência identificada no gráfico (Figura 49) com o coeficiente de determinação $R^2 = 0,887$ podendo indicar uma boa correlação.

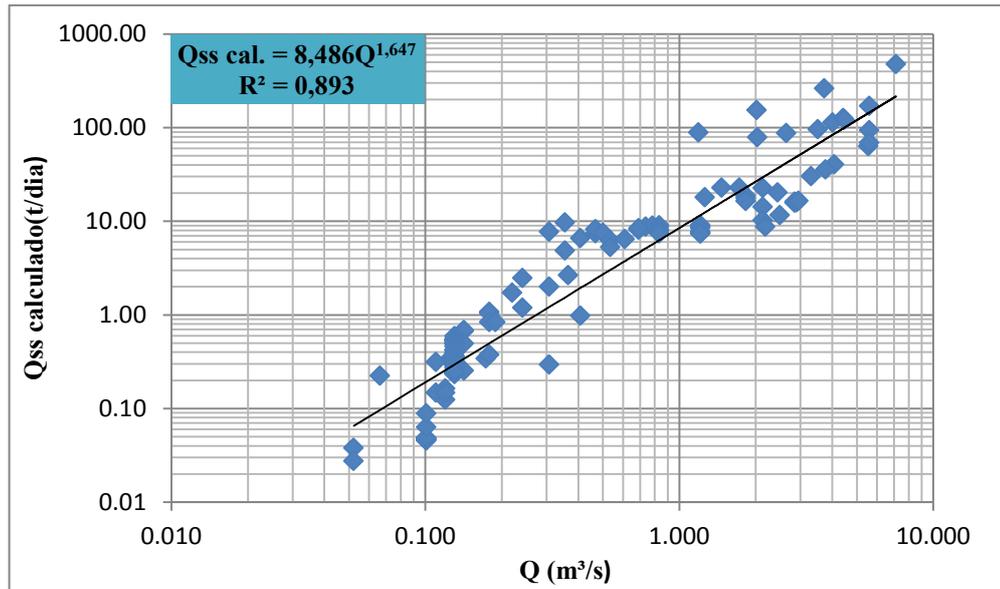


Figura 48 – Relação da descarga sólida em suspensão (Q_{ss}) calculada pela Equação 10 na subida das ondas de cheia com a descarga líquida (Q).

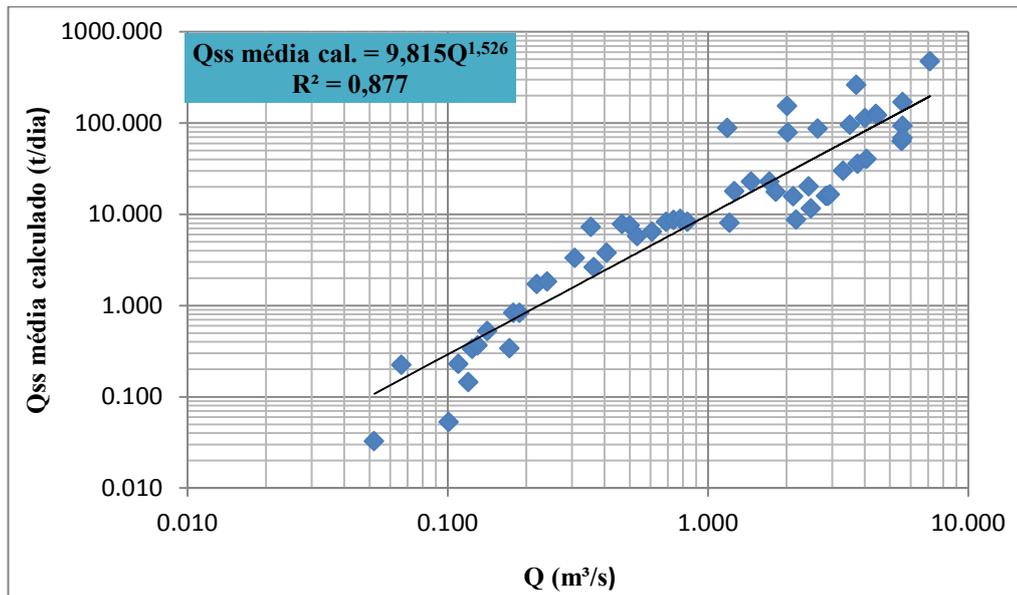


Figura 49 – Relação da descarga sólida em suspensão média (Q_{ss}) calculada pela Equação 10 na subida das ondas de cheia com a descarga líquida (Q).

A relação da turbidez (T) com a concentração de sedimentos em suspensão (C_{ss}) das amostras coletas pelo amostrador ISCO na descida das ondas de cheia (Figura 50), obteve-se a

equação potencial (Equação 11) que esta representada pela linha de tendência identificada no gráfico com o coeficiente de determinação $R^2 = 0,851$.

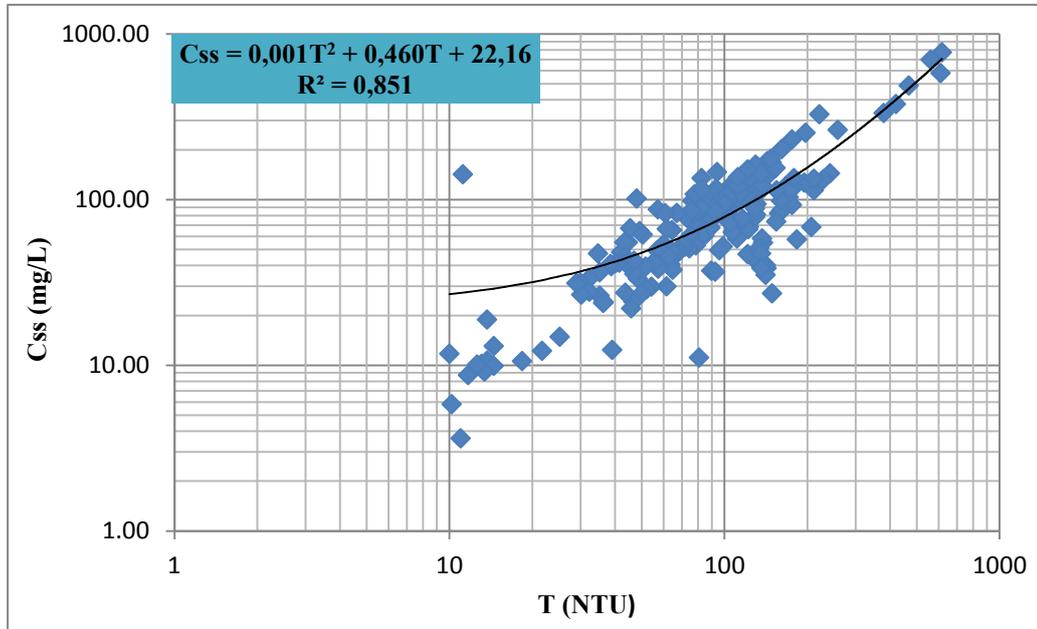


Figura 50 – Relação da turbidez (T) com a concentração de sedimentos em suspensão (C_{ss}) com o amostrador ISCO na descida das ondas de cheia.

$$C_{ss} = 0,001T^2 + 0,460T + 22,16 \quad (11)$$

A partir da Equação 11, calculou-se o valor de Q_{ss} (t/dia) na descida das ondas de cheia, relacionando-se com a Q (m³/s) (Figura 51) e obteve-se a equação potencial representada pela linha de tendência identificada no gráfico com o coeficiente de determinação $R^2 = 0,907$.

A correlação Q_{ss} (t/dia) média na descida das ondas de cheia calculada a partir da equação 11 com a Q (m³/s) representada pela linha de tendência identificada no gráfico (Figura 52) com o coeficiente de determinação $R^2 = 0,841$, podendo ser considerado uma boa correlação entre os dados analisados.

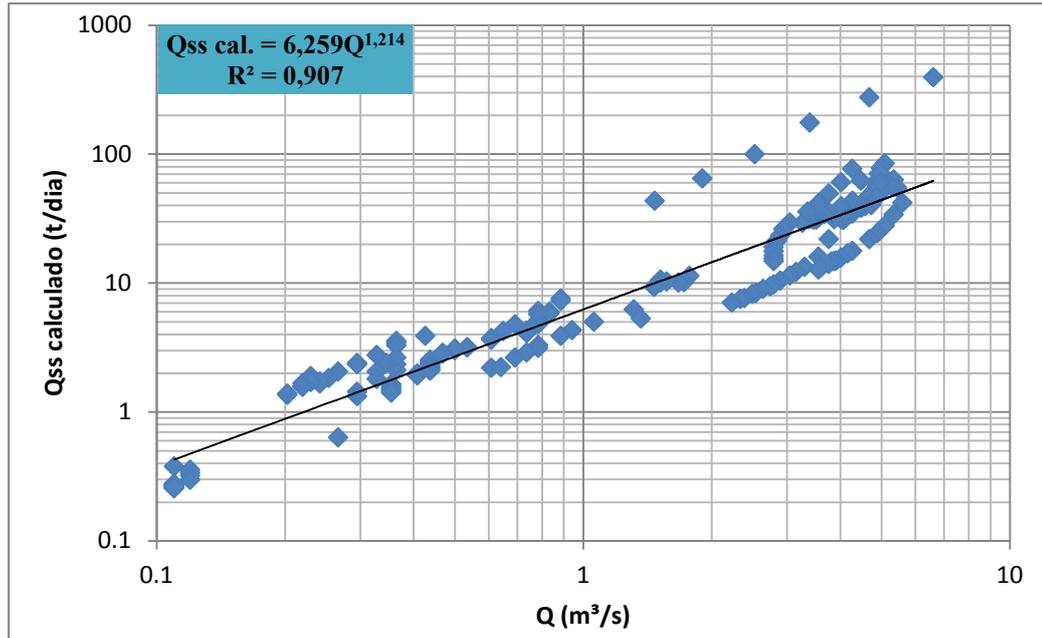


Figura 51 – Relação da descarga sólida em suspensão (Q_{ss}) calculada pela equação 11 na descidas ondas de cheia com a descarga líquida (Q).

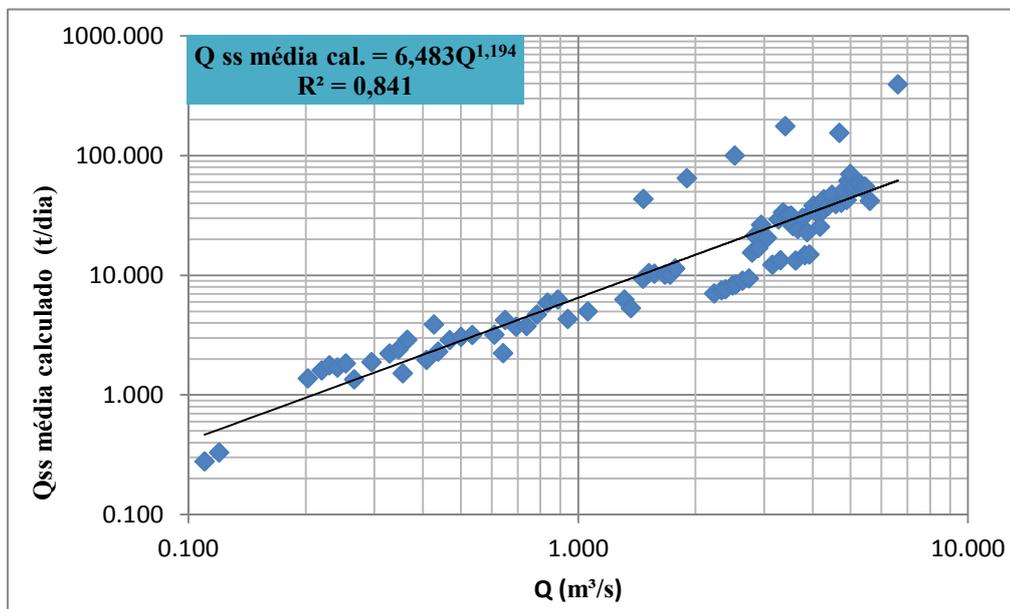


Figura 52 – Relação da descarga sólida em suspensão média ($Q_{ss} \text{ média}$) calculada pela equação 11 na descidas ondas de cheia com a descarga líquida (Q).

Por meio da equação gerada pela correlação entre a turbidez e a concentração de sedimentos em suspensão obtidas por amostras coletadas com o amostrador integrador na profundidade USDH 48, calculou-se a descarga sólida em suspensão e relacionou-se com a descarga líquida, obtendo-se um coeficiente de determinação de 97,0% com todos os dados, 98,2% para subida e 96,9% na descida da onda de cheia. Por meio da equação gerada pela correlação entre a turbidez e a concentração de sedimentos em suspensão obtidas por amostras coletadas com o amostrador ISCO, calculou-se a descarga sólida em suspensão e relacionou-se com a descarga líquida, obtendo-se assim o coeficiente de determinação de 90,2% com todos os dados, 89,3% para subida e 90,7% na descida da onda de cheia.

Se compararmos estes resultados com os do método tradicional, que seria relacionar a descarga líquida com a descarga sólida em suspensão diretamente, obteve-se com amostrador integrador na profundidade USDH 48 com coeficiente de determinação de 93,7% com todos os dados, 98,0% para subida e 94,3% na descida da onda de cheia. Com o amostrador ISCO obteve-se coeficiente de determinação de 85,2% com todos os dados, 90% para subida e 82% na descida da onda de cheia. Comparando estes dois métodos pode-se observar que os dados não tiveram diferença em seus coeficientes de determinação (R^2), podendo-se concluir que as medidas de turbidez tornam-se uma alternativa viável e possibilitam um monitoramento contínuo e automático.

Manz, Santos e de Paula (2010), que realizaram um monitoramento na Estação Hidrossedimentológica da bacia do rio Sagrado, localizado na Serra do Mar Paranaense/PR, relacionou os dados de turbidez com a C_{ss} (mg/L), obtidos de amostras coletadas nas proximidades do sensor em diferentes momentos do hidrograma. Foram utilizados 13 amostras variando de 45,6 a 206 mg/L, para a obtenção da relação turbidez e concentração de sedimentos em suspensão, obtendo-se um coeficiente de determinação $R^2 = 0,976$ apontando assim a aplicabilidade do método de monitoramento automático de turbidez.

O resumo estatístico da relação entre a turbidez e a concentração de sedimentos em suspensão utilizando o amostrador ISCO, com todas as amostras (geral), na subida e na descida das ondas de cheia está apresentada na Tabela 9. Nota-se que a relação C_{ss} (mg/L) com T (NTU) com todas as amostras (geral), na subida e na descida das ondas de cheia os coeficientes de correlação linear de Person (r) foram de 0,93; 0,96 e 0,90, respectivamente, indicando a existência de uma correlação muito forte entre os dados obtidos.

Tabela 9 – Análise estatística da relação turbidez (T) e concentração de sedimentos em suspensão (Css) utilizando o amostrador ISCO, com toda as amostras, na subida e na descida das onda de cheia.

Parâmetros	DP	Média	Máxima	Mínima	Mediana	Coefficiente de Person (r)
Css geral	150,38	104,4	1355,24	3,6	70,00	0,93
T geral	108,86	106,51	757,00	7,2	86,65	
Css subida	211,66	125,76	1355,24	4,8	59,98	0,96
T subida	138,07	110,43	757,00	7,2	70,50	
Css descida	95,43	91,67	770,82	3,6	72,75	0,90
T descida	87,29	107,36	617,30	10,0	94,75	

Através da equação gerada por meio da correlação turbidez e concentração de sedimentos em suspensão, calculou-se a descarga sólida em suspensão e a descarga sólida em suspensão média e estas foram relacionadas com as descargas líquidas, sendo o resumo estatístico apresentado na Tabela 10. Na relação com Q (m³/s) e Qss (t/dia), na subida das ondas de cheia os coeficientes de correlação linear de Person (r) indicam a existência de uma correlação forte entre os dados analisados. A relação com todas as amostras (geral) e na descida das ondas de cheia, obteve-se os coeficientes de correlacao indicou a existência de uma correlação moderada entre os dados obtidos.

Tabela 10 – Análise estatística da relação Q x Qss, sendo o Qss e Qss médio calculo a partir da turbidez.

Parâmetros	DP	Média	Máxima	Mínima	Mediana	Coefficiente de Person (r)
Qss cal. Geral	49,93	21,89	523,42	0,083	6,03	0,590
Qss cal. geral média	91,76	44,94	523,42	0,087	13,89	0,597
Qss cal. subida	56,65	21,14	476,14	0,028	2,55	0,733
Qss cal. subida média	80,35	44,18	476,14	0,030	10,25	0,708
Qss cal. descida	39,34	21,53	392,88	0,260	7,51	0,610
Qss cal. descida média	48,70	28,56	392,88	0,280	13,19	0,569

5 CONCLUSÃO

O molinete hidrométrico, apesar do tempo demandado para cada medição, é uma melhor alternativa que o ADP utilizado, quando a seção apresenta baixa lâmina de água. Porém, para profundidades maiores, recomenda-se utilizar o ADP, pois é um mecanismo mais ágil para as medições e fornece maior quantidade de informações em tempo real sobre a área estudada. Verificou-se também que o ADP não faz leituras das velocidades quando o escoamento apresenta-se com alta turbulência.

Para comparação dos amostradores, relacionou-se a descarga sólida com todas as amostras coletadas (Q_{ss} geral) e com a descarga líquida (Q), obtendo-se a melhor correlação, com coeficiente de determinação de 93,4% para o amostrador integrador na profundidade USDH 48, que é considerado o método padrão para a quantificação de sedimentos em suspensão. A correlação de descarga sólida com todas as amostras coletadas com a descarga líquida com o amostrador ISCO, teve um coeficiente de determinação de apenas 85,0%. Analisando estes mesmos dados pelo coeficiente de correlação linear de Person, obteve-se $r = 0,93$ com o amostrador integrador na profundidade USDH 48, sendo considerado uma correlação muito forte. Utilizando o amostrador ISCO obteve-se $r = 0,55$, sendo considerado uma correlação moderada.

A correlação entre as descargas sólida em suspensão, obtida pelo ISCO e as obtidas pelo USDH 48, forneceu um coeficiente de determinação $R^2 = 0,99$, podendo-se concluir que os resultados são satisfatórios e tendo uma boa correlação dos dados apresentados. Obteve-se o coeficiente de correlação linear de Person de 0,96, sendo considerada uma correlação muito forte.

Por meio das correlações de turbidez com concentrações de sedimentos em suspensão, calculando a descarga sólida em suspensão e posteriormente relacionando com a descarga líquida, pode-se concluir que as medidas de turbidez tornam-se uma alternativa viável e possibilitam um monitoramento contínuo e automático, sendo uma alternativa recomendável, devido a praticidade, baixo custo apresenta bons resultados, sendo a melhor alternativa nos resultados e praticidade para o monitoramento que foi executado neste trabalho.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZZOLIN, M. A. D; MUTTI, L. S. M. **Solos da Bacia Hidrográfica do Vacacaí Mirim**. Santa Maria- DNOS- UFSM, 1987/1988. 20p. (Relatório técnico não publicado).

BARBOSA,G.S; SCHIESSL, M.A; FEITOSA, T.B. Determinação da curva-chave da vazão do Rio Manoel Alves Grande, Goiatins- To. XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia. Belém. 2010

BELING, F.A. **Hidrograma de projeto utilizando o modelo Kineros2 em uma pequena bacia de encosta em Santa Maria**. 2010. 75f. Trabalho final de graduação (Engenheira Civil)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

BICALHO, C. C. (2006). **Estudo do transporte de sedimentos em suspensão na bacia do rio Descoberto**.123 f. 2006. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos)- Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

BRANCO, N. **Avaliação da Produção de Sedimentos de Eventos Chuvosos em uma Pequena Bacia Hidrográfica Rural de Encosta**. 1998. 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1998.

CABRAL, J.B.P. **Análise da sedimentação e aplicação de métodos de previsão para tomada de medidas mitigadoras quanto ao processo de assoreamento no reservatório de Cachoeira Dourada – GO/MG**. 194f. 2006. Tese (Doutorado em Geologia, Área de Concentração Geologia Ambiental) - Universidade Federal do Paraná.Curitiba, 2006.

CARDOSO, A.T.; KOYAMA, M; GRISON, F. Problemas na estimacão de sedimentos em suspensão associados à elaboração da curva-chave para sensor de tubidez. In: X Encontro Nacional de Sedimentos. 2012, Foz do Iguaçu.

CARVALHO, N. de O. *et al.*, **Guia de práticas sedimentométricas**, Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas, 2000, 154 p.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 599p

Chen Z, Chen D. C. Acoustic Doppler Current Profiler surveys along the Changjiang River. In: **Geomorphology**, 2007. p.155–163.

COIADO, E. M. Uso do amostrador fixo programável na determinação da concentração dos sedimentos transportados em suspensão no Rio Atibaia/SP. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. 2001, Aracaju. Associação Brasileira de Recursos Hídrico, 2001.

DALBIANCO, L; RAMON,R; MINELLA, J.P.G; BARROS,C.A.P; DIDONÉ, E.J; KOCHEN, M.L; MERTEN, G.H. Eficiência na estimativa da concentração de sedimentos em suspensão por diferentes estratégias amostrais na calibração de turbidímetros. X Encontro Nacional de Sedimentos. Foz do Iguaçu.2012.

EDWARDS, K. H. (2007). Fluvial Environments. In: Perry, C.; Taylor, K. (Eds.). **Environmental Sedimentology**.UK: Blackwell Publishing Ltd. 441p.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação do Solo**. 2º Edição. Brasília.2006, 306 p.

GAMARO, P.E.M.**Medidores Acústico Doppler de vazão**. Foz do Iguaçu. 2012. 164p.

GAO, P.; JOSEFSON, M. (2012). Temporal variations of suspended sediment transport in Oneida Creek watershed, central New York. *Journal of Hydrology*, v.426, pp. 17-27.

GOLDENFUM, J.A. Pequenas Bacias Hidrológicas: conceitos básicos. In: PAIVA. J. B. D; PAIVA, E. M. C. D.(Org.).**Hidrologia Aplicada a Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2001. Cap. 1, p. 3- 13.

GRAY, J. R.; GARTNER, J., W.; U.S. Geological Survey Synopsis of selected surrogate technologies for continuous suspended-sediment monitoring in rivers.In: IDE, C., N.; VAL, L., A., A.; RIBEIRO, M., L.(Org.).**Produção de sedimentos e seus impactos ambientais, sociais e econômicos**. Campo Grande. 2009. Consultado em www.scopus.com em 30/09/2011.

JACCON, G; CUDO, K.J. **Hidrologia. Curva-chave- análise e traçado**. DNAEE- MME, Brasília, 1989.273p.

JULIEN, P.Y. **Suspended load. Erosion and sedimentation**. Cambridge: University Press, 1998. V13. 280p.

KOBIYAMA, M. MENDONÇA, M; MORENO, D.A; MARCELINO, I.P.V.O; MARCELINO, E.F; BRAZETTI, L.P.P; GOERL, F.R; MOLLERI, G.S.F; RUDORFF, F.M. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos.** Curitiba, 2006. 109 p.

LENZI, M. A.; MARCHI. L.; Suspended sediment load during floods in a small stream of the dolomites. In: CATENA, 2000. p 267-282.

LEWIS, J. EADS, R. Automatic real-time control of suspended sediment sampling based upon high frequency in situ measurements of nephelometric turbidity. In: PROCEEDINGS FEDERAL INTERAGENCY WORKSHOP. Sediment Technology for the 21st Century. St. Petersburg, FL, 1998. P.17-19.

LIMA, J.E.F.W; LOPES, W.T.A; OLIVEIRA FILHO, E.C; MARTINS, E.S; REATTO, A; SILCA, E.M; MINIZ, D.H.F. Avaliação de método pontual de coleta de amostras hisrossedimentométricas em pequenos cursos de água. In.: IX Encontro Nacional de Sedimentos. Brasília. 2010.

LOPES, G.R. TAVORA, B.E; SANTOS, R.M; KOIDE, S. Reflexões sobre a elaboração e a aplicação de curva-chave de sedimento em pequenas bacias. In: 3, J.E.F.W; LOPES, W.T.A. (Org.). **Engenharia de sedimentos na busca de solução para problemas de erosão e assoreamento.** Brasília, 2011.

Lu J Y, Su C C, Wang C Y . Application of a portable measuring system with acoustic Doppler Current Profiler to discharge observations in steep rivers. In: **Flow Measurement and Instrumentation**, 2006. p. 179–192.

MANZ, R.E; SANTOS, I. PAULA, E.V. Avaliação do comportamento do transporte de sedimentos em suspensão por meio de monitoramento automático da turbidez. IX Encontro Nacional de Sedimentos. Brasília. 2010.

MELCHIOR, C. **Comparativo de Resultados de Medição de Vazão pelos Métodos: convencional e acústico.** Trabalho de conclusão de curso. União Dinâmica de faculdades Cataratas- UDC. Foz do Iguaçu – PR, 2006. 72p.

MERTEN, G.H. et al. Considerações sobre a utilização da curva-chave de sedimentos para determinação de fluxo de sedimentos. In: MERTEN, G.H. et al. (Ed). **Sedimentos: o desafio da multidisciplinaridade.** Porto Alegre: ABRH, 2006. p.83-94.

MERTEN, G.H.; MINELA, J.P.G. **Determinação da concentração de sedimentos em suspensão em rios com o uso do turbidímetro.** Porto Alegre. 2011.

MERTEN,G.H.; MORO.M.; MINELLA, J.P.G. Estimativa de fluxo de sedimentos em rios através da uso de curva-chave do sensor óptico de turbidez- IN.: X Encontro Nacional de Sedimentos – Foz do Iguaçu. 2012.

MINELLA, J. P. G. Avaliação parâmetros hidrossedimentométricos numa bacia do Rio Grande do Sul. **Revista Eletrônica de Recursos Hídricos**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas: UFRGS, 2004.Vol. 1, nº. 1, p.54-60.

MINELLA, J.P.G. et al., Turbidimetria e a estimativa da concentração de sedimentos em suspensão. In: IDE, C., N.; VAL,; RIBEIRO, M., L.(organizadores). **Produção de sedimentos e seus impactos ambientais, sociais e econômicos**. Campo Grande, MS, 2009.633–638p.

MINELA, J.P.G.; MERTEN G.H. Monitoramento de bacias hidrográficas para identificar fontes de sedimentos em suspensão . Ciência Rural, Santa Maria. 2011.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A.(Coord). **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552 p.

NOGUEIRA,P.F.; CABRAL,J.B.P; OLIVEIRA, S.F. Análise da concentração de sólidos em suspensão, turbidez e TDS principais afluentes do reservatório da UHE Barra dos CoqueirosGo. Revista Geonorte, Edição especial, V. 3, N.4. p. 485-494, 2012.

ORWIN, J. F.; SMART, C. C. **An inexpensive turbidimeter for monitoring suspended sediment**. Department of Geography, The University of Western Ontario, London, Canada Smart / Geomorphology 68 (2005) 3–15. Elsevier B.V

PAIVA, J.B.D; PAIVA, M.C.D; PARANHOS, R.M; EMMER,R. Curvas-chave de vazões e de sedimentos de pequenas bacias hidrográficas. O que representam?IV ENCONTRO NACIONAL DE SEDIEMNTOS. 2001, Porto Alegre.**Anais...** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2001. p. 53-79.

PARANHOS, R.M. Avaliação de metodologia para a estimativade produção de sedimentos em uma pequena bacia rural de encosta. 129f.Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

PAVANELLI, D.; PAGLIARANI, A. Soil and Water: Monitoring Water Flow, Turbidity and Suspended Sediment Load, from an Apennine Catchment Basin,Italy, Biosystems

Engineering. Volume 83 (4), 2002. p. 463-468.
em: <http://www.sciencedirect.com/science/article> . Acesso em 20 set. 2011.

PEREIRA, M.A.F. Processos hidrossedimentológicos em diferentes escalas espaço temporais no bioma mata atlântica. 2010. 116f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

PITON, C. P. **Evolução Tecnológica nas Medições de Vazões em Rios**. Trabalho de conclusão de curso. União Dinâmica de faculdades Cataratas- UDC. Foz do Iguaçu-PR, 67p, 2007.

PORTO, R.L; ZANED FILHO, K; SILVA, R.K. **Medição de vazão e curva-chave**. São Paulo. 2003. 49p.

RIOS, F.P; FORMIGA, K.T.M; ALVES, P.L; OLIVEIRA, V.T. Estudo comparativo entre métodos de medição de vazão em cursos d'água. SIMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRICOS, 19, 2011. Maceió- AL. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2011.

SANTOS, I. dos. (organizador). **Hidrometria Aplicada**, ed. il. Color.cm., Curitiba, 2001, 372 p.

SCHOELLHAMER, D.H. **Use of optical properties to monitor turbidity and suspended-sediment concentration**, In: Proceedings of the Federal Interagency workshop on turbidity and other Sediment Surrogates. Reno, NV, 2002. 343-357p.

SIMÕES, S. J. C.; COIADO, E. M. Processos Erosivos. In: PAIVA, J. B. D; PAIVA, E. M. C. D. (Org.) **Hidrologia Aplicada a Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2001. Cap. 10, p. 283-293.

SIMPSON, M.R.; BLAND, R. **Methods** for accurate estimation of net discharge in a tidal channel. **Journal of Oceanic Engineering**. 2001. p. 437-445.

SHIMAKURA, Silvia E. Interpretação do coeficiente de correlação. 2006. Disponível em: <HTTP://leg.ufpr.br/~shimakur/CE003/node74.html>. Acesso em : 17 jan.2013.

SONTEK/YSI. **Manual do Sistema River Surveyor S5/M9 Acoustic Doppler Profiler**. Technical Documentation, 131p, 2009.

SOUZA, M. M. **Carga de Poluição Difusa em Bacias Hidrográficas com Diferentes Impactos Antrópicos.** (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

UWE - UNIVERSITY OF THE WEST OF ENGLAND. **Pearson's Correlation Coefficient, (r).** 2012. Disponível em: <<http://hsc.uwe.ac.uk/dataanalysis/quantInfAssPear.asp>>. Acesso em: 17 jan. 2013.

VESTENA, L.R.; LUCI, H.; KOBAYAMA, M. Monitoramento Automático da Concentração de Sedimentos em Suspensão na Bacia Hidrográfica do Caeté, Alfredo Wagner/SC. In: **Workshop de Geografia e Mudanças Ambientais: Desafios da sociedade do presente e do futuro.** Guarapuava: Ed. Unicentro, 2007. p. 61-70.