

Vanderleia Schmitz

**ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS EM DUAS  
BACIAS HIDROGRÁFICAS URBANAS**

Dissertação submetida ao Programa de  
Pós – Graduação em Engenharia  
Ambiental da Universidade Federal de  
Santa Catarina para a obtenção do Grau  
de Mestre em Engenharia Ambiental.  
Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Nadia Bernardi  
Bonumá  
Coorientador: Prof. Dr. Cesar Augusto  
Pompêo

Florianópolis/SC  
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária  
da UFSC.

Schmitz, Vanderléia

Estimativa da produção de sedimentos em duas  
bacias hidrográficas urbanas / Vanderléia Schmitz ;  
orientador, Nadia Bernardi Bonumá, coorientador,  
Cesar Augusto Pompêo, 2018.

130 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de  
Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós  
Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis,  
2018.

Inclui referências.

1. Engenharia Ambiental. 2. Sedimentologia  
urbana. 3. Amostragem de sólidos suspensos. 4. Curva  
chave de descarga sólida. 5. Produção de sedimentos.  
I. Bonumá, Nadia Bernardi. II. Pompêo, Cesar  
Augusto. III. Universidade Federal de Santa  
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Ambiental. IV. Título.



**“ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS EM DUAS BACIAS  
HIDROGRÁFICAS URBANAS”**


**VANDERLEIA SCHMITZ**

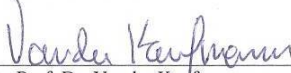
Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de


**MESTRE EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

na Área de Engenharia Ambiental.

Aprovado por:

  
\_\_\_\_\_  
Prof.ª Dr.ª Nadia Bernadi Bonumá  
(Orientadora)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Vander Kaufmann

  
\_\_\_\_\_  
Prof.ª Dr.ª Alexandra Rodrigues Finotti

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Pedro Luiz Borges Chaffe

  
\_\_\_\_\_  
Prof.ª Dr.ª Maria Eliza Nagel Hassemer  
(Coordenadora)

FLORIANÓPOLIS, SC – BRASIL  
JUNHO/2018



Este trabalho é dedicado a todas as  
pessoas que sempre me ajudaram e  
incentivaram a fluir na vida.



## AGRADECIMENTOS

A Deus.

Aos meus pais, Wanderley (*in memoriam*) e Irene e aos meus irmãos, Luciana e Marcelo, preciosa família, pelo carinho de vocês.

À José Vicente, meu marido, pelo companheirismo e apoio em todos os momentos.

A todos os meus amigos, pela alegria que me proporcionam a cada encontro. E em especial ao amigo Juarez que sempre me incentiva a fluir na vida assim como o rio.

Agradeço também a todos os colegas e bolsistas que convivi, pela ajuda com os trabalhos, aprendizados e pelo carinho e respeito que sempre tiveram comigo.

Meu agradecimento especial a minha orientadora, professora Nadia Bernardi Bonumá, pela orientação do trabalho, pelo apoio e confiança.

Aos professores, Cesar Augusto Pompêo, Pedro Luiz Borges Chaffe e Alexandra Rodrigues Finotti por todo o apoio na realização do trabalho.

Gratidão a todos que contribuíram com a realização deste trabalho!





## RESUMO

A ocupação e uso dos solos associada com a urbanização sem planejamento gera impactos ambientais, tais como: enchentes, erosão, assoreamento, escorregamentos e da qualidade da água, comprometendo a qualidade de vida da população. Estimativas precisas do fluxo de sedimentos em suspensão são essenciais para investigar as tendências temporais na produção de sedimentos. A amostragem de sedimentos requer investimentos de equipamentos, de tempo, além de pessoal treinado respeitando a técnica e a segurança dos equipamentos. A amostragem de eventos em pequenos rios é um esforço difícil: os eventos são frequentemente de curta duração; as condições de amostragem são, por vezes, perigosas. Para o estudo foram escolhidas as sub-bacias Córrego Grande e Ana D'Ávila, localizadas na bacia hidrográfica do rio Itacorubi. O objetivo geral deste trabalho foi estimar a produção de sedimentos em duas bacias hidrográficas urbanas, localizadas em Florianópolis – SC, com o uso de curvas-chaves elaboradas com amostragens de sedimentos simplificada e composta e vazão medida e estimada. Foram realizadas amostragens de sólidos suspensos utilizando dois tipos de amostragens: Composta e Margem. As concentrações de sólidos suspensos amostrados foram determinadas em laboratório pelo método da filtração. A produção de sedimento suspenso para cada bacia foi estimada por quatro curvas-chaves de sedimentos: “Descarga sólida suspensa Composta”; “Descarga sólida suspensa Composta vazão estimada”; “Descarga sólida suspensa Margem” e “Descarga sólida suspensa Composta e Margem”. Principais resultados: Os valores de concentração de sedimentos suspensos da Margem subestimam em média 15% os valores amostrados pelo método Composta para a estação Córrego Grande e superestimam em média 12% os valores amostrados pelo método Composta para a estação Ana D'Ávila. As três curvas-chaves de sedimentos elaboradas com a vazão estimada pela curva-chave cota x vazão subestimam os valores de descarga sólida suspensa das estações, quando comparados com os valores da curva-chave “Descarga sólida suspensa Composta”. As bacias dos rios Córrego Grande e Ana D'Ávila apresentaram valores de fluxo de sedimentos em suspensão médio específico de 7,2 e 18,3 ton.km<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>, respectivamente, valores estes classificados como baixo potencial de produção de sedimentos.

**Palavras-chave:** sedimentologia urbana, métodos de amostragem de sólidos suspensos, curva-chave de descarga sólida.



## ABSTRACT

Land use and land use associated with unplanned urbanization generates environmental impacts, such as floods, erosion, silting, landslides and water quality, compromising the quality of life of the population. Accurate estimates of suspended sediment flux are essential to investigate temporal trends in sediment yield. Sediment sampling requires investments in equipment, time and financial resources, as well as trained personnel to respect the technique and safety of equipment and equipment. The sampling of events in small rivers is a difficult endeavor: events are often of short duration; the sampling conditions are sometimes dangerous; travel time may be substantial; cost with equipment, laboratory and personnel. For the study, the sub-basins Córrego Grande and Ana D'Ávila were chosen, located in the basin of the river Itacorubi. The objective of this work was to estimate sediment yield in two urban watersheds, located in Florianópolis - SC, using key curves elaborated with simplified and composite sediment sampling and measured and estimated flow. Samples of suspended solids were carried out using two types of samplings: Composite and Margin. The concentrations of suspended solids sampled were determined in the laboratory by the filtration method. The production of suspended sediment for each basin was estimated by four sediment rating curves: "Solid suspended suspended discharge"; "Suspended solid discharge Composed estimated flow"; "Solid download suspended Margin" and "Solid download suspended Composite and Margin". Main results: The suspended sediment concentration values of the Margin underestimate, by an average of 15%, the values sampled by the Composite method for the Córrego Grande station and overestimate on average 12% the values sampled by the Composite method for the Ana D'Ávila station. The three sediment rating curves elaborated with the estimated flow rate by the coax effect curve underestimate the solid suspended discharge values of the stations, when compared to the values of the rating curve "Solid suspended suspended discharge". The basins of the Córrego Grande and Ana D'Ávila Rivers presented sediment flow values in specific medium suspension of 7.2 and 18.3 ton.km<sup>-2</sup>.an<sup>-1</sup>, respectively, values that are classified as low production potential of sediments. The Ana D'Ávila river basin presents a greater potential for the production of suspended sediments.

**Keywords:** urban sedimentology, suspended solids sampling methods, solid discharge rating curve.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1- Localização da área de estudo. ....	43
Figura 4.2- Localização das estações do monitoramento .....	45
Figura 4.3- Fotos das estações Ana D´ávila, Córrego Grande e Esmesc. .....	46
Figura 4.4 – Garrafas utilizadas na amostragem Margem e Composta. ....	49
Figura 4.5 – Análise laboratorial – membrana: anterior e posterior a filtração .....	49
Figura 5.1 - Curva-chave cotaxvazão da estação Córrego Grande: a) Definição da curva com as medições de vazão; b) Curva-chave com a extrapolação. ....	54
Figura 5.2 - Curva-chave cotaxvazão da estação Ana D´Ávila: a) Definição da curva com as medições de vazão; b) Curva-chave com a extrapolação. ....	55
Figura 5.3 - Precipitação mensal das estações Esmesc, UFSC e Epagri. .....	56
Figura 5.4 - Série de vazão média mensal das estações Córrego Grande e Ana D´Ávila. ....	57
Figura 5.5 - Séries de vazão média diária das estações: a) Córrego Grande; b) Ana D´Ávila. ....	59
Figura 5.6 - Curva de permanência da série de vazão média diária da estação Córrego Grande .....	60
Figura 5.7 - Curva de permanência da série de vazão média diária da estação Ana D´Ávila .....	60
Figura 5.8 - Amostragem e evento 25/10/2016. ....	65
Figura 5.9 - Amostragem e evento 16/11/2016. ....	65
Figura 5.10 - Amostragem e evento 08/12/2016. ....	66
Figura 5.11 - Amostragem e evento 13/08/2017. ....	66
Figura 5.12 - Amostragem e eventos 19 e 22/08/2017. ....	67
Figura 5.13 - Amostragem e evento 07/10/2017. ....	67
Figura 5.14 - Amostragem e evento 25/10/2017. ....	68
Figura 5.15 - Amostragem e evento 08/11/2017. ....	68
Figura 5.16 - Amostragem e evento 01/01/2018. ....	69
Figura 5.17 - Amostragem e evento 09/01/2018. ....	69
Figura 5.18- Perfil transversal da seção do rio Córrego Grande: profundidade (m) x distância (m) .....	71
Figura 5.19- Perfil transversal da seção do rio Ana d'Ávila: profundidade (m) x distância (m) .....	74
Figura 5.20- Curva-chave “Descarga sólida suspensa Composta”: a) Córrego Grande e b) Ana D´Ávila. ....	78

Figura 5.21- Curva-chave “Descarga sólida suspensa Composta Vazão Estimada”:	a) Córrego Grande e b) Ana D’Ávila. ....	79
Figura 5.22- Curva-chave “Descarga sólida suspensa Margem”:	a) Córrego Grande e b) Ana D’Ávila. ....	80
Figura 5.23- Curva-chave “Descarga sólida suspensa Composta e Margem (todos)”:	a) Córrego Grande e b) Ana D’Ávila. ....	81
Figura 5.24- a) Box plot da série de 5 minutos da Descarga sólida suspensa da estação Córrego Grande e b) Detalhe do Box plot. ....		87
Figura 5.25- a) Box plot da série de 5 minutos da Descarga sólida suspensa da estação Ana D’Ávila e b) Detalhe do Box plot. ....		88

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1- Informações dos trabalhos com monitoramento hidrossedimentométrico. ....	35
Tabela 3.2- Principais resultados dos trabalhos com monitoramento hidrossedimentométrico. ....	38
Tabela 4.1- Características morfométricas das bacias. ....	44
Tabela 4.2- Posição dos pontos medidos nas verticais. ....	48
Tabela 5.1- Resumo das curvas-chaves das estações. ....	53
Tabela 5.2- Resumo das amostragens por evento – Córrego Grande. ....	63
Tabela 5.3- Resumo das amostragens por evento – Ana D'Ávila. ....	64
Tabela 5.4- Erro da amostragem Composta e Margem da estação Córrego Grande. ....	71
Tabela 5.5- Análise das velocidades das amostragens da estação Córrego Grande. ....	71
Tabela 5.6- Erro da amostragem Composta e Margem da estação Ana D'Ávila. ....	73
Tabela 5.7 Análise das velocidades das amostragens da estação Ana D'Ávila. ....	73
Tabela 5.8- Resumo das curvas-chaves de sedimentos das estações Córrego Grande e Ana D'Ávila. ....	76
Tabela 5.9- Informações Estatísticas das series de descarga sólida suspensa. ....	85
Tabela 5.10- Características para comparação das bacias. ....	90





## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

IIL – Igual Incremento de Largura

IIL – Igual Incremento de Descarga

CASAN - Companhia Catarinense de Águas e Saneamento

ANA – Amostrador de Nível Ascendente

ANA – Agência Nacional de Águas

AMS1 – Amostrador de sedimento em suspensão USDH-48

GPRS - Serviços Gerais de Pacote por Rádio

APHA - American Public Health Association

NEA - Núcleo de Estudos da Água

PRAD - Projeto “Recuperação da Qualidade da Água dos Córregos do Campus Reitor João David Ferreira Lima”

LISHA - Laboratório de Integração de Software e Hardware

EPAGRI - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

CIRAM - Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>21</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>25</b>
2.1.OBJETIVO GERAL.....	25
2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	25
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>26</b>
3.1.IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO NA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS.....	26
3.2.AMOSTRAGEM DE SEDIMENTOS E ERROS.....	28
3.3.PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS .....	30
3.4.MONITORAMENTO HIDROSEDIMENTOLÓGICO DO BRASIL EM BACIAS URBANAS .....	31
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>42</b>
4.1. ÁREA DE ESTUDO.....	42
4.2. MONITORAMENTO HIDROSEDIMENTOMÉTRICO.....	44
4.3.CURVA CHAVE COTA X VAZÃO.....	49
4.4.DESCARGA SÓLIDA EM SUSPENSÃO .....	50
4.5.CURVA CHAVE DE SEDIMENTOS.....	50
4.6. PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS .....	51
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>53</b>
5.1.CURVAS-CHAVES ELABORADAS A PARTIR DE CAMPANHAS DE MEDIÇÃO DIRETA DA DESCARGA LÍQUIDA DOS RIOS CÓRREGO GRANDE E ANA D´ÁVILA.....	53
5.2. ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO E VAZÃO DAS BACIAS.....	56
5.4.AVALIAÇÃO DA ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS DOS RIOS CÓRREGO GRANDE E ANA D´ÁVILA.....	70
5.5.COMPARAÇÃO DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS CÓRREGO GRANDE E ANA D´ÁVILA	89
<b>6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>92</b>
6.1.RECOMENDAÇÕES GERAIS .....	93
<b>7. REFERÊNCIAS</b> .....	<b>95</b>
<b>8.APENDICE A – INFORMAÇÕES E HISTÓRICO DAS ATIVIDADES DE CAMPO</b> .....	<b>109</b>
8.1. ATIVIDADES REALIZADAS.....	109
8.2. DADOS MEDIDOS E REGISTRADOS .....	111
8.2.1. Medições de Vazão e Sólidos Suspensos .....	112
8.2.2. Dados Registrados.....	116
8.3.SENSORES DE TURBIDEZ.....	122
8.4.CÓRREGO GRANDE.....	129

8.4.1. Ana D'Ávila..... 130

## 1. INTRODUÇÃO

A urbanização das bacias hidrográficas causa impactos no escoamento superficial e associada às características das precipitações tem repercussões na erosão hídrica. Portanto, a ocupação e uso dos solos associada com a urbanização sem planejamento gera impactos ambientais, tais como: enchentes, erosão, assoreamento, escorregamentos e da qualidade da água, comprometendo a qualidade de vida da população. Chuvas intensas em áreas urbanas sem planejamento e com redução contínua da vegetação produz mais sedimentos nos rios, causando assoreamento e favorecendo a ocorrência de enchentes.

Até o presente momento, segundo Sari (2013), existem poucas pesquisas de sedimentos em bacias com predomínio de área urbana. Em pequenas bacias urbanas os eventos hidrológicos ocorrem em poucas horas, dificultando a realização de um monitoramento hidrossedimentométrico adequado (POLETO, 2012). Horowitz (2015) aborda que a escolha do programa de amostragem manual (aleatório, baseado em calendário ou hidrológico) também tem influência na precisão da estimativa dos fluxos de sedimentos em suspensão em bacias hidrográficas. E Harmel (2006) contribui em sua pesquisa com a incerteza acumulada nas etapas de medição de vazão, coleta de amostra, preservação da amostra e análise laboratorial para bacias pequenas. Onde a incerteza provável acumulativa pode variar de 7% a 53% para a concentração de sólidos suspensos.

Estimativas precisas do fluxo de sedimentos em suspensão são essenciais para investigar as tendências temporais na produção de sedimentos e comparar a produção de sedimentos de sub-bacias (WALLING, 1988). A estimativa dos sedimentos pode ser realizada com o uso da curva-chave de sedimentos ou por modelos. Para a elaboração da curva-chave de sedimentos são necessários dados de campanhas de amostragem de sedimentos e de medição de descarga líquida, realizadas preferencialmente durante os eventos hidrológicos, abrangendo o intervalo de nível d'água registrado na seção do rio. A amostragem de sedimentos em suspensão costuma ser realizada com amostradores específicos, por integração na vertical e pelo método de igual incremento de largura (IIL).

A amostragem de sedimentos requer investimentos de equipamentos, de tempo e de recursos financeiros, além de pessoal treinado para que respeite a técnica e a segurança dos equipamentos e da equipe. A amostragem de eventos em pequenos rios é um esforço difícil: os eventos são frequentemente de curta duração; as condições de

amostragem são, por vezes, perigosas; o tempo de viagem pode ser substancial; custo com equipamentos, laboratório e pessoal. Portanto, o trabalho pretende contribuir com a simplificação das atividades de campo das amostragens de sedimentos em suspensão. Realizar simultaneamente amostragens de sedimentos na margem e composta (três verticais) por um período, com o uso de garrafa de vidro comum. Associar estas amostragens e identificar uma relação que estime a concentração de sedimentos em suspensão das seções dos rios a partir das amostragens realizadas nas margens das seções.

A bacia do Itacorubi, localizada na ilha de Santa Catarina, possui relevo com morros e uma extensa região com baixa declividade na qual encontra-se o manguezal do Itacorubi. A bacia é formada por três principais cursos d'água, Córrego Grande, Rio do Meio (ou do Sertão) e Itacorubi. Na maior parte da extensão destes rios é possível observar um cenário de degradação, caracterizado por ausência de vegetação ciliar, erosão e presença de resíduos sólidos e da construção civil nas margens, acúmulo de sedimentos no leito e edificações na área de proteção permanente. Diante deste contexto duas sub-bacias foram escolhidas nesta pesquisa: Córrego Grande e Ana D'Ávila. A bacia do Córrego Grande encontra-se em processo acelerado de urbanização, ainda que grande parte da mesma se encontre legalmente protegida (Áreas de Preservação Permanente, APP, Áreas de Preservação com Uso Limitado, APL). É o principal formador de área de drenagem natural da bacia hidrográfica do rio Itacorubi, nasce no interior do Parque Municipal do Maciço da Costeira, desagua no rio Itacorubi, e este desemboca no Parque do Manguezal do Itacorubi. O rio Córrego Grande também é utilizado como manancial de água pelo sistema de abastecimento da Companhia Estadual de Saneamento – CASAN. Evidenciando desta forma a importância de pesquisas no rio Córrego Grande, pois o mesmo realiza a conexão entre duas unidades de conservação que possuem objetivos de preservação e conservação de recursos naturais (POMPÊO et al, 2013). O manancial do rio Ana D'Avila é considerado uma reserva técnica de alternativa de abastecimento e encontra-se integrado ao Sistema de Abastecimento de Água de Florianópolis desde de 1910, juntamente à represa da Lagoa da Conceição. Desta forma se justifica o interesse de pesquisas nesta bacia (PEREIRA, 2018).

O estudo está inserido no Projeto de Pesquisa Hidrologia ambiental em cursos d'água urbanos – Bacia do Córrego Grande - MCTI/CNPq N°14/2013, elaborado pelo Núcleo de Estudos da Água e pelo Laboratório de Hidrologia da Universidade Federal de Santa Catarina.

A proposta da pesquisa é contribuir com a estimativa da produção de sedimentos nas duas bacias hidrográficas urbanas, com o uso de curvas-chave de sedimentos elaboradas a partir da simplificação das amostragens de sedimentos em suspensão.





## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

Estimar a produção de sedimentos em duas bacias hidrográficas urbanas, localizadas em Florianópolis – SC, com o uso de curvas-chaves elaboradas com amostragens de sedimentos simplificada e composta e vazão medida e estimada.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Os objetivos específicos propostos para este trabalho são:

- a) Avaliar o erro de uma metodologia de amostragem de sedimentos simplificada comparada com o método da medição composta;
- b) Estimar e comparar a produção de sedimentos com o uso de vazão medida e vazão estimada; e
- c) Comparar a produção de sedimentos estimada por curva-chave de duas bacias hidrográficas.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO NA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS

O processo de urbanização afeta o ciclo hidrológico da bacia hidrográfica, por intermédio da ampliação de áreas construídas e pavimentadas, reduzindo os ambientes naturais. O que provoca alterações na drenagem, elevando a possibilidade de ocorrência de enchentes e deslizamentos, impondo riscos à saúde e à vida humana (DE MIRANDA BENINI E MENDIONDO, 2015; TRUDEAU E RICHARDSON, 2016).

O regime da vazão varia de acordo com a bacia hidrográfica devido a inúmeras variáveis, incluindo o tamanho da bacia, a inclinação do canal e da bacia, a geomorfologia, a descarga das águas subterrâneas e a cobertura do solo. As características hidrológicas que mudam com a urbanização incluem a distribuição da água entre a vazão superficial e a vazão subterrânea, a frequência de vazões elevadas e a variabilidade diária da vazão. Essas mudanças hidrológicas ocorrem como resultado de múltiplas alterações simultâneas aos processos e condições dentro das bacias hidrográficas com a urbanização. Por exemplo, com a urbanização, a área de superfície impermeável aumenta enquanto a vegetação da paisagem é reduzida (TRUDEAU E RICHARDSON, 2016).

A degradação de pequenos rios começa entre 2% e 15% de cobertura impermeável, dependendo da região. Alterações nas dimensões do canal e o número de eventos que excedem a margem do rio mudam com o tempo, mesmo depois que as alterações de uso da terra cessam. Os esforços de proteção e restauração nas bacias hidrográficas urbanizadas tendem a se concentrar na proteção da zona ribeirinha e nas áreas florestais existentes. Por exemplo, na jurisdição da Autoridade de Conservação de Toronto e Região (TRCA), a cobertura florestal está presente nas regiões rurais de cabeceira e ao longo das margens dos rios. As características hidrológicas em escala de eventos começam a mudar em níveis muito baixos de urbanização. As medidas de desenvolvimento de baixo impacto deveriam ser dispersas em todas as áreas urbanizadas da bacia hidrográfica para mitigar os efeitos da urbanização em regimes de vazão de escala de eventos (TRUDEAU E RICHARDSON, 2016).

A mudança do uso da terra, em múltiplas escalas de tamanho de bacias hidrográficas geram mudanças na hidrologia e portanto os efeitos cumulativos aumentam os riscos de inundação ou outras consequências para a infraestrutura física (TRUDEAU E RICHARDSON, 2015).

Os resultados do estudo de Trudeau e Richardson (2015) demonstram que os padrões do rio principal de alta resolução temporal a longo prazo podem ser usados para identificar mudanças significativas nos regimes de vazão de eventos dentro de bacias hidrográficas urbanizadas. Essas mudanças são indicativas de impactos hidrológicos cumulativos marcantes da mudança da cobertura da terra durante um período de quatro décadas antes de alterações detectáveis nos padrões de precipitação. Os resultados também apontam para oportunidades de pesquisa para identificar potenciais mecanismos causais associados à alteração crônica de vazões de eventos que podem contribuir para a redução da biodiversidade aquática em bacias hidrográficas urbanizadas. No geral, os resultados justificam uma pesquisa adicional em estratégias potenciais para mitigar os danos físicos e biológicos em córregos e várzeas dentro de bacias hidrográficas urbanizadas (TRUDEAU E RICHARDSON, 2015).

O crescimento da população, em geral, tende a aumentar a erosão do solo, especialmente as ações: destruição da cobertura vegetal; o uso inadequado do solo, o cultivo agrícola com manejo e práticas inadequadas; a urbanização com ausência de gerenciamento das áreas ocupáveis; a expansão da malha viária e a construção de reservatórios. Fica evidente a influência das atividades humanas na aceleração dos processos de erosão (SARI et al., 2013). Segundo McCarthy et al. (2018) o conhecimento da concentrações de poluentes das águas urbanas é um requisito primário do manejo integrado da água urbana. Sari et al (2013) evidencia a importância de primeiro compreender os processos de erosão, transporte e deposição de sedimentos e posteriormente caracterizar os processos hidrossedimentológicos para então propor soluções de controle da erosão.

Os principais fatores da erosão em áreas urbanas relacionados ao escoamento superficial são: i) a vazão do escoamento das águas pluviais; ii) a declividade do terreno; iii) a natureza do terreno e; iv) a forma de ocupação do solo (ALMEIDA FILHO, 2008).

O conhecimento atual dos processos hidrológicos e sedimentológicos em pequenas e médias bacias hidrográficas urbanas é relevante e geralmente os trabalhos de pesquisa tem duração limitada, gerando resultados com curta série de dados (CABRAL; REIS FRAGOSO E JÚNIOR, 2013).

O trabalho de Silva et al. (2013) estimou a produção de sedimentos para uma microbacia urbanizada e de pequeno porte, localizada em Sorocaba, estado de São Paulo e concluiu que o desequilíbrio hidrossedimentológico é causado principalmente pela falta de vegetação

ciliar, o despejo de resíduos de construção civil em locais inadequados e o lançamento de esgoto não tratado. E entende que poderiam ser obtidas melhorias significativas na qualidade ambiental se estas causas fossem controladas, principalmente em relação à qualidade da água.

### 3.2. AMOSTRAGEM DE SEDIMENTOS E ERROS

A amostragem de sedimentos em suspensão pode ser realizada pelo método pontual ou por integração na vertical (clássico). Carvalho (2008) descreve onze tipos de amostragens pontuais mais comuns, entre elas a amostragem de uma única amostra à superfície. A amostragem por integração na vertical ou em profundidade é realizada em dois sentidos, de subida e descida, ou seja, desde a superfície até o fundo e retornando à superfície. O método por integração na vertical é o mais utilizado, pois é considerado o de melhor precisão. As amostragens em diversas verticais pode ser coletada por Igual Incremento de Largura (IIL) e por Igual Incremento de Descara (IID). No método IIL a seção transversal do rio é dividida numa série de segmentos de igual largura para a obtenção de uma série de amostras. No método IID a seção é dividida em uma série de subseções nas quais há a mesma porção de vazão. Em cada segmento é então efetuada a amostragem por integração na vertical em posição tal que também divide a descarga parcial em partes iguais, isto é, a amostra é obtida por integração a vertical na posição do centróide do segmento. Para a aplicação do método IID é necessário conhecer a distribuição da vazão na seção. Os métodos de amostragem em diversas verticais IIL e IID são os mais usados e mais recomendados (CARVALHO, 2008).

Um estudo avaliou os efeitos da utilização de diferentes programas de amostragem manual (aleatório, baseado em calendário e hidrológico) na precisão dos fluxos de sedimentos em suspensão anuais em bacias com áreas menores que 900 km<sup>2</sup>. Concluiu que: quase todos os programas de amostragem avaliados tendem a superestimar ou subestimar os fluxos de sedimentos; Os programas de amostragem baseados em calendários e aleatório são semelhantes e exigem 12 amostras por ano; A precisão dos fluxos de sedimentos em suspensão anuais estimados, baseados em amostragem aleatória e em calendário é afetada pelo tamanho da bacia e/ou pelo volume anual da vazão. Quanto maior a bacia e maior o volume de água, menor o número de amostras necessárias; programas de amostragem baseados em hidrologia não parecem ser tão afetados pelo tamanho da bacia quanto os programas de amostragem aleatório e de calendário, relativos à estimativa do fluxo de sedimentos em suspensão

anual, e parecem mais adequados para no uso de monitoramento (HOROWITZ, 2015).

A amostragem integrada fornece dados precisos de concentração média da transversal média, mas requer um tempo de coleta substancial, o que dificulta a coleta de várias amostras de vários locais. Embora o acesso por pontes e o treinamento e equipamentos especializados sejam necessários, a amostragem integrada é a técnica de coleta de amostra preferida em grandes rios devido às profundidades de fluxo de grande magnitude, tamanhos de canal e variabilidade de seção transversal (HARMEL; SLADE E HANEY, 2010).

O estudo de Mccarthy et al. (2018) indica que estratégias de amostragem aleatória é o método mais promissor no cálculo da concentração média do local para sólidos suspensos totais. As diferenças em coletar uma, duas ou três amostras aleatórias foram pequenas (até 20%), indicando que há pouco benefício em investir na coleta de mais de uma amostra por evento. Estima que uma média de 27 eventos na bacia sejam necessário para caracterizar a concentração média de sólidos suspensos totais. O estudo foi realizado com dados de monitoramento de sete bacias hidrográficas urbanas (uso do solo residencial, comercial e industrial), área de drenagem variando de  $0,46 \times 10^{-3}$  a  $1,86 \text{ km}^2$  e fração de área impermeável de 0,2 a 1,0.

A amostragem aleatória é o método mais simples, mas pode introduzir alta variabilidade e tendência. As amostras coletadas no início de um evento ou durante períodos muito intensos do evento geralmente são mais poluídas que as amostras coletadas no final ou durante períodos de baixa intensidade, no mesmo evento. A coleta de amostras exige que uma equipe seja enviada para o rio e é viável somente se a equipe estiver localizada perto da área de monitoramento. A amostragem automática contínua é muitas vezes considerada mais consistente (Lee et al., 2007), mas vem com custos adicionais e às vezes podem ser problemáticas devido às instalações complexas que inevitavelmente são associadas ao equipamento de amostragem automática. Em geral, a amostragem automática não é amplamente praticada na indústria e no município, embora seja muito provável o melhor método disponível e o mais utilizado pelos pesquisadores. No entanto, as extensas campanhas de monitoramento de escoamento de águas pluviais realizadas desde a década de 1980 em todo o mundo utilizaram diferentes métodos e protocolos, oferecendo pouca consistência e comparabilidade. Isso se deve principalmente à falta de protocolos acordados sobre como monitorar as águas pluviais (MCCARTHY et al., 2018).

Há um número limitado de estudos sobre estratégias de monitoramento de águas pluviais. Leecaster *et al.* (2002) recomendou que a amostragem de sete eventos por ano é o método mais eficiente para o cálculo da concentração média de sólidos suspensos totais (MCCARTHY *et al.*, 2018).

Qualquer que seja a técnica de amostragem escolhida, a amostragem de eventos em pequenos rio é um esforço difícil, pois os eventos são frequentemente de curta duração, as condições de amostragem são, por vezes, perigosas, o tempo de viagem pode ser substancial e o custo de equipamentos e pessoal. Além do que, os dados medidos são estimativas, os quais apresentam incertezas. É possível diminuir o valor das incertezas, mas implica em aumento do custo de amostras adicionais ou melhoria das técnicas, portanto deve-se avaliar o real benefício dos novos investimentos (HARMEL; SLADE E HANEY, 2010).

O estudo de Harmel (2006) apresenta a incerteza acumulativa de quatro etapas do processo: medição de vazão, coleta de amostra, preservação da amostra e análise laboratorial, para bacias pequenas. A incerteza provável acumulativa em cenários típicos variou de 6% a 19% para a medição de vazão e 7% para 53% para concentração de sólidos suspensos.

### 3.3. PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS

Segundo Minella e Merten (2006) fatores como a distribuição anual de chuvas, uso e manejo do solo, condições geomorfológicas do terreno e umidade antecedente tem grande influência na produção de sedimentos. Devido aos diversos fatores fica evidente que o comportamento de uma bacia em relação aos sedimentos, desde as partes altas até as planícies, é muito variável. Geralmente há maior erosão e transporte de sedimentos na parte alta bacia. Da alta para a média bacia, fora das regiões montanhosas, a erosão vai reduzindo, devido ao decréscimo das declividades e menor intensidade das chuvas (CARVALHO, 2008).

Os maiores valores de concentração de sedimentos em suspensão ocorrem durante os eventos de chuva na bacia hidrográfica. Dificultando o sucesso de um programa de monitoramento, pois requer disponibilidade de tempo e agilidade da equipe técnica de campo. Sendo na maior parte do tempo realizadas coletas em alguns dias do período do monitoramento e geralmente em condições de águas baixas (POLETO, 2012; MERTEN *et al.*, 2014).

Com o avanço tecnológico vem sendo implantado em substituição ao monitoramento tradicional de sedimentos suspensos em rios o turbidímetro, o qual realiza o monitoramento de forma automática, após as devidas calibrações (SARI et al, 2015; MERTEN et al, 2014). Possui a vantagem de fornecer valores de sedimentos em suspensão na mesma escala temporal dos registros de vazão, ou seja, subdiária (MERTEN et al, 2014). Segundo Merten et al (2014) as principais limitações no uso do turbidímetro na estimativa da concentração de sedimentos em suspensão são: a) por ser instalado em uma posição fixa em uma seção de medição, não consideram a variação natural da turbidez que ocorre em uma seção hidrométrica; b) limitações do sensor de turbidez de registrar o sinal de sedimentos correspondentes a fração areia; c) tem necessidade da limpeza frequente das lentes do sensor de turbidez para remover a presença de materiais que se aderem à lente e, conseqüentemente, obstruem o sinal de turbidez; d) tem-se a necessidade de calibração frequente do sensor de turbidez com soluções de turbidez conhecidas para verificar o funcionamento correto desse sensor.

Warrick (2015) conclui em seu estudo que embora as curvas-chaves de sedimentos sejam uma ferramenta importante na avaliação e descrição das cargas de sedimentos fluviais elas apresentam limitações e requerem cuidado na interpretação de seus resultados.

### 3.4. MONITORAMENTO HIDROSEDIMENTOLÓGICO DO BRASIL EM BACIAS URBANAS

Estudos de concentração de sólidos em suspensão sempre foram realizados ao longo das últimas décadas. Todavia muito mais em áreas rurais. E com o crescimento populacional em grandes centros faz com que a ocupação do solo modifique drasticamente as áreas urbanas. Evidenciando a importância de realizar pesquisas sobre sedimentos, através de monitoramentos com duração de tempo longo.

Foi realizada pesquisa com a finalidade de encontrar trabalhos de monitoramento hidrossedimentológico em bacias hidrográficas pequenas e localizadas em área urbanas, com o uso de turbidímetro. Foram encontrados 19 trabalhos de pesquisa em bacias, rurais e urbanas, com área de drenagem entre 0,53 e 36 km<sup>2</sup>, com monitoramento hidrossedimentológico. Dos trabalhos pesquisados, 8 utilizam turbidímetro, sendo realizados em bacias hidrográficas dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, com exceção de um estudo realizado no Ceará. A Tabela 3.1 apresenta os trabalhos pesquisados resumidamente, com informações de bacia hidrográfica, área de drenagem, tipo de bacia,

tipo de monitoramento e o título dos trabalhos. E na Tabela 3.2 estão descritos os principais resultados dos trabalhos com monitoramento hidrossedimentométrico pesquisados.

Os trabalhos que mais contribuíram com esta pesquisa se referem aos trabalhos com monitoramento hidrossedimentométrico de seis bacias urbanas, com área de drenagem de 0,53 a 26,39 km<sup>2</sup> e publicados entre 2001 e 2014. Todas as bacias localizadas no estado do Rio Grande do Sul, com exceção da bacia do rio Lavapés, situada no estado de São Paulo. Os trabalhos de pesquisa realizados no rio Mãe d'Água em Viamão/RS (POLETO, 2012), na bacia Alto da Colina em Santa Maria/RS (PAIVA et al., 2001), rio Lavapés em Sorocaba/SP (SILVA et al., 2013), arroio Cancela em Santa Maria/RS (SCAPIN et al., 2007) e arroio Cadena em Santa Maria/RS (ILHA, 2014) contribuíram com esta pesquisa.

O trabalho de Poletto (2012), realizado no rio Mãe d'Água, teve o objetivo de estimar os fluxos de sedimentos em suspensão e metais (Zn e Ni) que foram exportados para a região metropolitana de Porto Alegre/RS nos anos de 2004 e 2005. Contribuiu com os seguintes resultados: - as descargas sólidas calculadas resultaram em 51,06 ton.km<sup>2</sup>.ano<sup>1</sup> para o ano de 2004 e em 47,72 ton.km<sup>2</sup>.ano<sup>1</sup> para o ano de 2005. Os valores ficaram próximos as médias de áreas urbanizadas, como as apresentadas por Ellis (1996) e representam uma alta taxa de produção de sedimentos na qual favorece o assoreamento de corpos d'água lênticos que estão à jusante dessa área urbana; - uma descarga sólida média de 49,39 ton.km<sup>2</sup>.ano<sup>1</sup> ocorrida entre os dois anos de estudo apresentaram valores similares aos encontrados em outros estudos de áreas urbanas, porém estes valores podem ser considerados baixos se comparados a estudos em bacias hidrográficas rurais, como o realizado em uma bacia de cabeceira em Arvorezinha/RS por Minella (2007) que resultou em 150 ton.km<sup>2</sup>.ano<sup>1</sup>.

O trabalho de Paiva et al. (2001), realizado na bacia Alto da Colina, teve como finalidade apresentar resultados de concentração de sedimentos em suspensão de uma pequena bacia hidrográfica em urbanização, durante eventos de cheia. Contribuições: 1) Com a finalidade de comparar a representatividade da coleta com amostrador de nível ascendente (ANA), uma vez que a coleta é feita nas margens da seção transversal, foi procedida uma medição em três verticais, centro e nos terços médios, da seção transversal, com amostrador manual AMS-1. Este aparelho permite a retirada de amostras integradas na profundidade, em verticais representativas da seção. Os valores de concentração de sedimentos foram 115 mg/l no centro e 14 mg/l e 22 mg/l nos terços médios. Embora estes valores tenham sido coletados em período de vazão baixa, é esperado que as amostras coletadas com amostrador ANA



apresentem resultados inferiores aos obtidos com coletas integradas na seção transversal. Resultados coletados com AMS-1, em diversas verticais da seção transversal, mostrou que a concentração de sedimentos no centro é significativamente maior que nas demais verticais, em período de vazões baixas. É esperado que durante as cheias estes valores sejam mais uniformes, o que pode trazer uma melhor representatividade da coleta com amostrador ANA; 2) Os resultados de concentração de sedimentos durante 13 eventos chuvosos forneceram valores semelhantes aos encontrados na bibliografia; 3)

Conforme Matos et al. (1998), os parâmetros poluentes mais representativos na drenagem urbana parecem ser as partículas (sólidos em suspensão), os metais (sobretudo chumbo, zinco e ferro) e os hidrocarbonetos. Eles apresentam comparação entre valores de zona urbana e rural, que no caso de sólidos suspensos, os valores médios são de 26 mg/l na zona rural e 220 mg/l na zona urbana. No entanto, tais valores podem ser bastante variáveis, Gomes e Chaudhry (1979) encontraram em duas pequenas bacias hidrográficas de São Carlos, SP, concentrações de sólidos totais variando de 171 mg/l a 3499 mg/l. De Luca et al. (1991) também observaram que a drenagem pluvial de uma bacia de 1,8 ha na área urbana de Porto Alegre era mais rica em materiais minerais. A concentração de sólidos totais neste caso variou de 160 a 10225 mg/l, com média de 1522 mg/l. Resultados obtidos em bacias hidrográficas rurais em Santa Maria, conforme Branco et al. (1998), mostraram uma variação de 20 a 1200 mg/l para a concentração de sedimentos medida, enquanto Paiva et al (2001) apresentam valores que chegam a atingir 11000 mg/l, para a mesma região.

O trabalho de Silva et al. (2013), realizado no rio Lavapés, teve como objetivo estimar a produção de sedimentos para uma microbacia urbanizada e de pequeno porte. Contribuições: 1) A produção específica de sedimentos foi de 541,7 t.km<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>. Tal valor é maior que os 422 t.km<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup> encontrados por Machado e Vettorazzi (2003) em uma bacia hidrográfica brasileira (59,7 km<sup>2</sup>) localizada em Piracicaba (100 km de Sorocaba) e está próxima de valores estimados por Haan et al. (1994) para várias pequenas bacias hidrográficas espalhadas pelo mundo. A produção anual de sedimentos estimada para o período do experimento foi de 1.636,1 ton. Mudanças geomórficas na morfologia do canal foram observadas e claramente influenciaram a dinâmica hidrosedimentológica da área de estudo. Afirmam que o aumento da urbanização da área de estudo resultou em um desequilíbrio hidrosedimentológico causado pela inexistência de vegetação ciliar, pelo despejo de resíduos da construção e pelo descarte inadequado de esgoto. Ressaltam que, se os principais

fatores de degradação fossem controlados, uma melhoria expressiva da qualidade ambiental poderia ser alcançada.

O trabalho de Scapin et al. (2007), realizado no arroio Cancela, apresenta os resultados da avaliação de métodos para o cálculo da descarga sólida em rios, utilizando resultados de treze medições de descargas líquidas e sólidas, realizadas durante eventos chuvosos em um córrego urbano na cidade de Santa Maria — RS. Contribuições: 1) Cabe observar que apesar do número pequeno de eventos, 13 eventos apenas, eles tiveram uma grande amplitude em termos de vazões e concentrações de sedimentos. As profundidades variaram de 0,37 a 2,22 m, com vazões variando 0,56 a 13,10 m<sup>3</sup>/s e concentrações de sedimentos em suspensão variando de 151 a 1619 mg/l.

O trabalho de Ilha (2014), realizado no arroio Cadena, teve como objetivo avaliar as relações, o comportamento espacial e temporal dos processos hidrossedimentológicos na bacia hidrográfica. Contribuições: Os valores de concentração de sedimentos em suspensão encontrados nas estações foi de 0,8051 a 60,56 mg/l. Os valores de vazão sólida encontrados nas estações foi de 0,0108 a 13,76 ton/dia. E o valor da produção específica de sedimentos em suspensão para 2013 foi de 42,29 ton/km<sup>2</sup>.ano.

Tabela 3.1 – Informações dos trabalhos com monitoramento hidrossedimentométrico.

BACIA HIDROGRÁFICA	ÁREA DE DRENAGEM (km <sup>2</sup> )	BACIA	TIPO DE MONITORAMENTO	TÍTULO (ano)
Arroio Vacacaí-Mirim (Santa Maria/RS)	0,53	Urbana	Precipitação, nível (linígrafo), vazão e sedimentos (suspensão e fundo).	Avaliação da Produção de Sedimentos em Eventos Chuvosos em uma Pequena Bacia Hidrográfica Semi-Urbana de Encosta (2007)
Arroio Vacacaí-Mirim (Santa Maria/RS)	0,53	Urbana	Nível (linígrafo), vazão e sedimentos (suspensão e fundo).	Características Hidrossedimentométricas de duas Pequenas Áreas em fases distintas de Urbanização em uma Pequena Bacia de Encosta (2004)
Riacho Jacu (Serra Talhada/PE)	0,619	Rural	Vazão e sedimentos (suspensão).	Produção de Sedimento Suspenso de uma Típica Bacia Hidrográfica Semi-Árida (2008)
Rio Mãe d'Água (Viamão/RS)	0,83	Urbana	Precipitação, nível (linígrafo), vazão, sedimentos (suspensão) e Zn e Ni.	Fluxos de sedimentos em suspensão e metais em uma bacia urbana de cabeceira (2012)
Rio Vacacaí Mirim (Santa Maria/RS)	1,36 e 5,03	-	Sedimentos (suspensão) e turbidez (coletada).	Limitações ao uso da relação entre Turbidez e Concentração de Sedimento em Suspensão em duas Pequenas Bacias em Santa Maria-RS (2004)
PBH (Júlio de Castilhos/RS)	1,39	Rural	Sedimentos (suspensão e fundo) e turbidez (turbidímetro).	Calibração de Turbidímetro para Estimativa da Concentração de Sedimento em Suspensão em uma Pequena Bacia Hidrográfica (2012)
Alto da Colina (Santa Maria/RS)	1,5	Urbana	Precipitação, nível (registro eletrônico), vazão e sedimentos (suspensão).	Concentração de Sedimentos em Suspensão em uma Pequena Bacia Hidrográfica em Urbanização (2001)

(continuação)

<b>BACIA HIDROGRÁFICA</b>	<b>ÁREA DE DRENAGEM (km<sup>2</sup>)</b>	<b>BACIA</b>	<b>TIPO DE MONITORAMENTO</b>	<b>TÍTULO (ano)</b>
Alto da Colina (Santa Maria/RS)	1,80	Urbana	Precipitação, nível (registro eletrônico), vazão, sedimentos (suspensão) e turbidez (sonda).	Produção de Sedimento em Bacia Urbana (2002)
Rio Vacacaí (Santa Maria/RS)	2,31	Rural e urbana	Precipitação, nível (registro eletrônico) e vazão.	Monitoramento fluviométrico de duas bacias hidrográficas vizinhas: comparação de vazões em períodos concomitantes (2015)
Ribeirão Concórdia (Lontras/SC)	2,36 a 30,74	Rural	Precipitação, nível (linigrafo), vazão e sedimentos (suspensão).	Transporte de Sedimentos em Suspensão em Áreas Agrícolas em Diferentes Escalas Espaciais (2011)
Rio Lavapés (Sorocaba/SP)	3,02	Urbana	Vazão e sedimentos (suspensão).	Desequilíbrio hidrossedimentológico numa microbacia urbanizada e de pequeno porte (2013)
Arroio Cancela (Santa Maria/RS)	4,92	Urbana	Vazão e sedimentos (suspensão e fundo).	Avaliação de Métodos de Cálculo do Transporte de Sedimentos em um Pequeno Rio Urbano (2007)
Rio Vacacaí Mirim (Santa Maria/RS)	11,98	-	Precipitação, nível (linigrafo), vazão, sedimentos (suspensão) e turbidez (turbidímetro).	Produção de Sedimentos em Diferentes Escalas Espaço-Temporais de Duas Pequenas Bacias e um Lisímetro no Bioma Mata Atlântica (2012)
Bacia Experimental do Alto Jaguaribe(Iguatu/CE)	16,74	-	Precipitação, nível (linigrafo), sedimentos (suspensão) e turbidez (turbidímetro).	Calibração de Turbidímetro para Estimativa da Concentração de Sedimento em Suspensão na Bacia Experimental de Iguatu-CE (2014)

(continuação)

BACIA HIDROGRÁFICA	ÁREA DE DRENAGEM (km <sup>2</sup> )	BACIA	TIPO DE MONITORAMENTO	TÍTULO (ano)
Arroio do Ouro (Pelotas/RS)	16,96	Rural	Precipitação, nível (linigrafo), sedimentos (suspensão) e turbidez (turbidímetro).	Estimativa da Concentração de Sedimentos em Suspensão com o uso de Sensor Ótico de Turbidez na Bacia do Arroio do Ouro no Rio Grande do Sul (2014)
Rio Turcato (região noroeste do RS)	19,5	Rural	Sedimentos (suspensão) e turbidez (turbidímetro).	Efeitos do tamanho da partícula e da concentração de sedimentos suspensos sobre a turbidez (2017)
Arroio Cadena (Santa Maria/RS)	26,39	Urbana	Precipitação, nível (linigrafo), vazão e sedimentos (suspensão e teor de matéria orgânica).	Diagnostico Hidrossedimentológico da bacia do arroio cadena - santa maria/rs (2014)
Rio Vacacaí Mirim (Santa Maria/RS)	34,76	-	Nível (linigrafo), sedimentos (suspensão) e turbidez (turbidímetro).	Relação da Concentração de Sedimentos em Suspensão com a Turbidez em uma Pequena Bacia Hidrográfica de Santa Maria - RS (2015)
Arroio Garapiá (Maquiné/RS)	36,00	-	Precipitação, vazão e sedimentos (suspensão).	Estudo do transporte de sedimentos em suspensão na bacia hidrográfica do arroio garapiá - Maquiné-RS (2012)

Fonte: Da Autora (2018).

Tabela 3.2 – Principais resultados dos trabalhos com monitoramento hidrossedimentométrico.

BACIA	TÍTULO (ano)	RESULTADOS
Urbana	Avaliação da Produção de Sedimentos em Eventos Chuvosos em uma Pequena Bacia Hidrográfica Semi-Urbana de Encosta (2007)	Os dados observados permitiram um bom ajuste da curva-chave de sedimentos e apresentam uma boa concordância com resultados da MUSLE com parâmetros ajustados.
Urbana	Características Hidrossedimentométricas de duas Pequenas Áreas em fases distintas de Urbanização em uma Pequena Bacia de Encosta (2004)	Foram obtidos bons ajustes entre a produção de sedimentos e o produto do volume escoado pela vazão de pico, com coeficiente de determinação $R^2 = 81,09$ para a área com alto índice de urbanização, e $R^2 = 90,90$ para a área em fase incipiente de urbanização. Na área urbana, em 9 eventos analisados, foi obtido um coeficiente de determinação $R^2 = 91,15$ , para o ajuste entre a produção de sedimentos e o volume de escoamento superficial. A produção de sedimentos média nesta área foi de $0,0055 \text{ ton/m}^3$ de água escoada superficialmente.
Rural	Produção de Sedimento Suspenso de uma Típica Bacia Hidrográfica Semi-Árida (2008)	Apresenta bom ajuste na curva chave nível e vazão e na curva de descarga sólida em suspensão com descarga líquida, apresentando coeficientes de correlação de $R^2=0,9697$ e $R^2=0,9633$ respectivamente. A produção de sedimentos na microbacia do riacho Jacu foi $4,319 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ . Essa produção de sedimentos é reflexo das práticas agrícolas na área da bacia na forma da agricultura de sequeiro com a utilização das queimadas, sob a ação de chuvas concentradas, que provocam altos picos de escoamento superficial.
Urbana	Fluxos de sedimentos em suspensão e metais em uma bacia urbana de cabeceira (2012)  Limitações ao uso da relação entre Turbidez e Concentração de Sedimento em Suspensão em duas Pequenas Bacias em Santa Maria-RS (2004)	As descargas sólidas calculadas resultaram em $51,06 \text{ ton} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{ano}^{-1}$ para o ano de 2004 e em $47,72 \text{ ton} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{ano}^{-1}$ para o ano de 2005. Por ser de uma área residencial, a produção de sedimentos e os fluxos de metais podem ser considerados altos e, conseqüentemente, resultam em sérios problemas ambientais (físicos e químicos) que comprometem o ecossistema aquático à jusante.  Os resultados permitem concluir que, para as duas sub-bacias estudadas, com teores de areia no material em suspensão de $51,8\%$ e $47,5\%$ respectivamente: • a presença de maior percentagem de areia na composição do material em suspensão prejudica a sensibilidade do turbidímetro, confirmando a afirmação de diversos autores; • é bastante limitado o uso da relação turbidez versus concentração de sedimento em suspensão, para as sub bacias das estações Menino Deus II e Alto da Colina II, devido a não confiabilidade dos resultados encontrados a partir do valor de turbidez de $527 \text{ NTU}$ e $505 \text{ NTU}$ , respectivamente.

(continuação)

BACIA	TÍTULO (ano)	RESULTADOS
Rural	Calibração de Turbidímetro para Estimativa da Concentração de Sedimento em Suspensão em uma Pequena Bacia Hidrográfica (2012)	1. A turbidimetria pode ser utilizada para estimativa da CSS desde que devidamente calibrada, com solução padrão e métodos que se ajustem ao observado. 2. O método de amostragem por integração (torpedo) possibilita a obtenção de material para testes de calibração, além de simular eventos de alta CSS. 3. A granulometria do sedimento amostrado deve ser ajustada à vazão. 4. A dispersão prévia por agitação deve ser utilizada sugerindo um tempo mínimo igual ou maior ao tempo de concentração da bacia.
Urbana	Concentração de Sedimentos em Suspensão em uma Pequena Bacia Hidrográfica em Urbanização (2001)	Foram observados treze eventos de cheia, que forneceram média de 2596 mg/l, desvio padrão de 1904 mg/l, valor máximo observado de 8455 mg/l e mínimo observado de 506 mg/l, para a concentração de sedimentos. A parcela de sólidos orgânicos representou 7% dos sólidos totais. A variação da concentração de sedimentos com o tempo apresentou comportamento diferenciado da vazão. Foi constatado picos de concentração de sedimentos, no início da cheia, que provavelmente correspondam a carga de lavagem das ruas, e a seguir um comportamento acompanhando as variações de vazão.
Urbana	Produção de Sedimento em Bacia Urbana (2002)	Os resultados mostraram bom ajuste da concentração de sedimento com a vazão. Resultados semelhantes, obtidos com amostrador automático, mostraram baixa correlação. As comparações da curva-chave obtida para a bacia em estudo com outras semelhantes mostraram a coerência dos resultados e a influência da urbanização no aumento da produção de sedimentos. A turbidez apresentou boa correlação com a concentração de sedimentos, concluindo que o melhor ajuste foi o exponencial.
Rural e urbana	Monitoramento fluviométrico de duas bacias hidrográficas vizinhas: comparação de vazões em períodos concomitantes (2015)	Os resultados encontrados em relação as vazões medianas e mínimas, quando comparadas as bacias, foram diferentes dos resultados esperados, isto devido ao comportamento do escoamento das águas subterrâneas da área de estudo. Em comparação com a bacia rural, esperavam-se vazões medianas e mínimas menores na bacia urbana, devido à impermeabilização, pois naquela, naturalmente, existe maior infiltração, o que aumenta a reserva hídrica subterrânea, ficando disponível para os períodos de estiagem. Contudo, neste estudo, foram encontrados resultados opostos. Na bacia rural, o valor encontrado para Q95 foi nulo e para Q50; 1,29 L/s. Já para a bacia com urbanização, contrário senso, os valores encontrados foram de 6,72 e 19,78 L/s para Q95e Q50, considerando idêntico o período de monitoramento concomitante. Constatou-se que este fato é decorrente da peculiaridade do complexo hidrogeológico local, pois existe fortes tendências que o lençol freático da bacia rural conduz sua contribuição subterrânea, não para seu exutório, mas para a bacia hidrográfica ao lado com isto não recebendo contribuição subterrânea nos períodos de estiagem.

(continuação)

BACIA	TÍTULO (ano)	RESULTADOS
Rural	Transporte de Sedimentos em Suspensão em Áreas Agrícolas em Diferentes Escalas Espaciais (2011)	As concentrações características na bacia do ribeirão Concórdia durante período observado variaram entre 0,027 a 47,66 g.l-1. As cargas de sedimentos em suspensão nas três estações fluviométricas foram diferentes, não refletindo uma evolução espacial proporcional à área de drenagem. A seção fluviométrica intermediária apresentou os maiores valores médios de concentração, enquanto na seção de montante, os valores foram os mais baixos. Nota-se que as heterogeneidades espaciais na bacia hidrográfica influenciam fortemente as concentrações de sedimentos em suspensão encontrados no escoamento fluvial.
Urbana	Desequilíbrio hidrossedimentológico numa microbacia urbanizada e de pequeno porte (2013)	A produção anual de sedimento estimada para o período foi 1.636,1 toneladas. A produção específica de sedimentos foi 541.7 t.km-2.ano-1. As principais forças que causam o desequilíbrio hidrossedimentológico são a falta de vegetação ciliar, o despejo de resíduos de construção civil em locais inadequados e o lançamento de esgoto não tratado.
Urbana	Avaliação de Métodos de Cálculo do Transporte de Sedimentos em um Pequeno Rio Urbano (2007)	A concentrações de sedimentos em suspensão variou entre 151 a 1619 mg.l-1, realizadas em 13 eventos, com grande amplitude em termos de vazões e concentrações de sedimentos.
-	Produção de Sedimentos em Diferentes Escalas Espaço-Temporais de Duas Pequenas Bacias e um Lisímetro no Bioma Mata Atlântica (2012)	Nas três áreas monitoradas, registraram-se os seguintes valores de produção de sedimentos: 1,7.10 <sup>-4</sup> mm (solo)/mm(precipitação efetiva) para o lisímetro; 2,6.10 <sup>-4</sup> mm/mm para a bacia Rancho do Amaral; e 3,0 .10 <sup>-4</sup> mm/mm para a bacia Rincão do Soturno. Por estas medições, pode-se concluir que o fator preponderante para a produção de sedimentos foi o uso e a ocupação do solo, além da precipitação efetiva ocorrida nas áreas de estudo.
-	Calibração de Turbidímetro para Estimativa da Concentração de Sedimento em Suspensão na Bacia Experimental de Iguatu-CE (2014)	A concentração de sedimentos em suspensão variou entre 2 a 217 mg.l-1. O método de calibração do turbidímetro por meio de concentração de sólidos suspensos gerou uma equação representativa para estimar a concentração de sedimentos na Bacia Experimental de Iguatu. A turbidimetria pode ser utilizada para estimativa da CSS desde que esteja devidamente calibrada.
Rural	Estimativa da Concentração de Sedimentos em Suspensão com o uso de Sensor Ótico de Turbidez na Bacia do Arroio do Ouro no Rio Grande do Sul (2014)	Os resultados melhor ajustaram a uma equação de regressão polinomial (R <sup>2</sup> de 0,9992), quando comparada a linear (R <sup>2</sup> =0,9852). As equações de 0 a 400 e 400 a 4000 mg L-1 quando separadas, observa-se que esta variação aumenta, ajustando-se melhor a uma relação curvilínea. Nas regressões de 400 a 4000 mg L-1 a regressão polinomial obteve melhor ajuste, por apresentar maior linearidade.



(continuação)

BACIA	TÍTULO (ano)	RESULTADOS
Rural	Efeitos do tamanho da partícula e da concentração de sedimentos suspensos sobre a turbidez (2017)	Os resultados demonstram grande influência da CSS e do tamanho da partícula sobre a turbidez. Para qualquer situação, o aumento da turbidez é inverso ao tamanho da partícula e diretamente relacionado ao aumento da CSS. As variações da turbidez, expressas em função da CSS (sensibilidade do sensor), são maiores para menores diâmetros, atingindo valores quase constantes para partículas de areia. Para uma mesma CSS, a leitura de turbidez pode ser diferente, conforme a classe granulométrica analisada. A turbidez registrada pelo sensor para a classe silte equivale a uma turbidez observada para uma CSS dez vezes menor para a classe das areias.
Urbana	Diagnostico Hidrossedimentológico da bacia do arroio cadena - Santa Maria/RS (2014)	No período de estudo o arroio Cadena não apresentou tendência à erosão e nem a deposição do sedimento. Foi observado que nos meses de setembro a novembro há um significativo aumento na produção de sedimentos na bacia, fenômeno esse que faz parte da variabilidade intra-anual climática da região. As concentrações de sedimentos em suspensão amostrados variaram entre 0,80 a 60,56 mg/l. E a produção de sedimento em suspensão mensal, referente ao período de maio de 2012 a fevereiro de 2014, variaram entre 6,02 a 234,02 ton.km-2.mês-1. As variáveis relacionadas à vazão e a precipitação dos eventos analisados apresentaram uma boa correlação com a concentração de sedimentos em suspensão medida.
-	Relação da Concentração de Sedimentos em Suspensão com a Turbidez em uma Pequena Bacia Hidrográfica de Santa Maria - RS (2015)	A curva que relaciona a Css e a turbidez encontrada na estação fluviossedimentométrica João Goulart é bastante representativa para a seção em estudo e corresponde a um coeficiente de determinação de 0,84, demonstrando uma boa relação entre os parâmetros envolvidos.
-	Estudo do transporte de sedimentos em suspensão na bacia hidrográfica do arroio garapiá - Maquiné-RS (2012)	Foram encontrados ao longo de quatro campanhas de coleta, somente um grande regime de vazão. Sendo este na primeira coleta, onde o transporte total de sedimentos em suspensão foi de 994 kg/dia em trânsito para fora da bacia. As campanhas de coleta realizadas em períodos secos onde a vazão se apresentou muito baixa, o transporte de sedimentos diminuiu consideravelmente, o volume amostrado foi de 0,30 kg/dia. As concentrações de sedimentos em suspensão amostrados variaram entre 0,50 a 5,30 mg/l. Esta grande variação nos regimes hídricos se deu principalmente pelas características climáticas e o baixo nível de precipitação pluviométrica no segundo bimestre do ano de 2012.

Fonte: Da Autora (2018).

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é composta por duas sub-bacias contíguas, rio Córrego Grande e rio Ana D'ávila, localizadas na bacia hidrográfica do Itacorubi, na região central da ilha Santa Catarina. As bacias estudadas correspondem a cerca de 45% da área da bacia hidrográfica do Itacorubi (Figura 4.1).

As bacias hidrográficas dos rios Córrego Grande e Ana D'ávila apresentam uso do solo com predominância de área permeável, 86 e 91%, respectivamente, constituídas de vegetação arbórea e rasteira. E 14 e 9% de suas áreas são impermeáveis, ou seja, compostas de telhados, ruas e calçadas. As áreas urbanas estão localizadas junto aos rios principais em seus trechos baixos.

O clima na região das bacias, segundo a classificação de Köeppen, é do tipo Cfa - mesotérmico úmido e de verão quente. É marcado pela diferenciação térmica durante o ano, onde os principais extremos de temperatura ocorrem no verão e no inverno e não possui estação seca. A temperatura média na região é de 20 °C, a umidade relativa do ar anual é de 82 a 84% e a precipitação total anual média é de 1500 a 1700 mm (PANDOLFO et al., 2002).

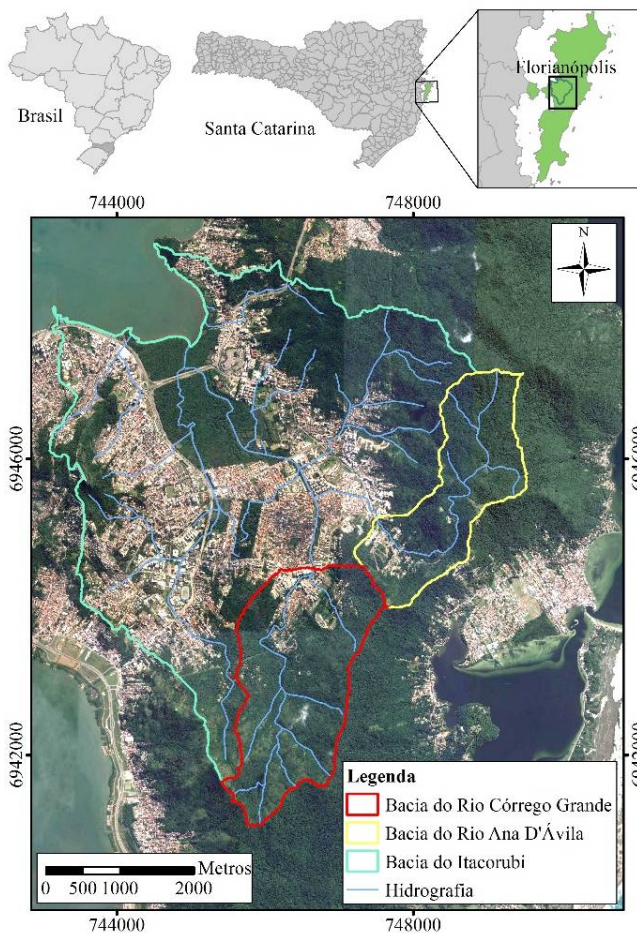
Para compreender a dinâmica hidrológica das bacias foram calculados os seguintes parâmetros morfométricos: área de drenagem, perímetro da bacia, comprimento do rio principal, comprimento total de drenagem, declividade média, coeficiente de compactidade, fator de forma, índice de circularidade e a densidade de drenagem. E o tempo de concentração das bacias foi calculado pela Equação de Kirpich (Eq. 1), corrigida por Brutsaert em 2005 (DE ALMEIDA MOTA E KOBIYAMA, 2015):

$$tc = 0,015 * \frac{L^{0,798}}{S^{0,399}} \quad (1)$$

em que:

tc - tempo de concentração, em minutos,  
L - comprimento do talvegue, em metros e  
S - declividade do talvegue, em m.m<sup>-1</sup>.

Figura 4.1- Localização da área de estudo.



Fonte: Da Autora (2018).

As características morfométricas das bacias hidrográficas dos rios Córrego Grande e Ana D'Ávila estão apresentadas na Tabela 4.1. Os parâmetros coeficiente de compacidade, fator de forma e índice de circularidade mostram que as bacias não possuem formato circular. Corroborando com os formatos das bacias apresentados na Figura , ou seja, mais alongadas. Foram encontradas densidades de drenagem semelhantes ( $4,93 \text{ km}^2/\text{km}^2$  e  $4,90 \text{ km}^2/\text{km}^2$ ), classificadas como bacias excepcionalmente bem drenadas, ou seja, com capacidade de produzir escoamentos

rápidos na foz ou locais mais baixos nas bacias. Os valores encontrados dos tempos de concentração das bacias dos rios Córrego Grande e Ana D'Ávila foram 26,5 min e 24,8 min, respectivamente.

Tabela 4.1 - Características morfométricas das bacias.

Parâmetros	Córrego Grande	Ana D'Ávila
Área de Drenagem (km <sup>2</sup> )	4,675	3,298
Perímetro da Bacia (km)	10,548	9,825
Comprimento do Rio (km)	4,32	4,43
Comprimento Total de Drenagem (km)	23,039	16,158
Declividade Média (m/m)	0,1352	0,1680
Coefficiente de Compacidade	1,37	1,51
Fator de Forma	0,25	0,17
Índice de Circularidade	0,53	0,43
Densidade de Drenagem (km/km <sup>2</sup> )	4,93	4,90
Tempo de Concentração (min)	26,55	24,83

Fonte: Da Autora (2018).

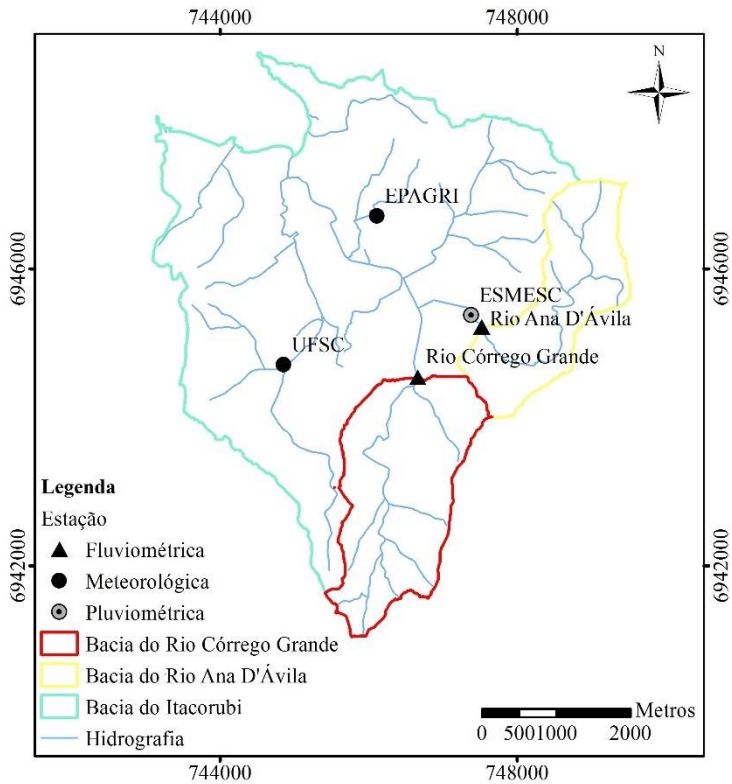
#### 4.2. MONITORAMENTO HIDROSEDIMENTOMÉTRICO

O monitoramento foi realizado em duas estações hidrossedimentométricas, uma localizada na sub-bacia do rio Córrego Grande e outra localizada na sub-bacia do rio Ana D'Ávila. Uma estação pluviométrica localizada na sub-bacia do rio Ana D'Ávila. E duas estações meteorológicas, UFSC e EPAGRI, localizadas a jusante das sub-bacias (Figura 4.2).

O monitoramento hidrossedimentológico nas bacias hidrográficas está sendo realizado desde 2016, por meio de registros automáticos de precipitação e nível do rio (a cada 5 minutos), medições de vazão e coleta de amostragem de água para determinação de sólidos suspensos.

Na Figura 4.3 são apresentados registros fotográficos das estações, vista montante da seção do Ana D'Ávila, vista jusante da seção do Córrego Grande e vista geral da estação Esmesc.

Figura 4.2- Localização das estações do monitoramento



Fonte: Da Autora (2018).

Figura 4.3- Fotos das estações Ana D'Ávila, Córrego Grande e Esmesc.



(a)

Vista montante da estação Ana D'Ávila



(b)

Vista jusante da estação Córrego Grande



(c) Estação pluviométrica Esmesc

Fonte: Da Autora (2018).

#### 4.2.1. Registros automáticos

O monitoramento dos dados automáticos foi realizado pela plataforma EposMote. A qual é formada pelo Módulo Hidrológico EposMote III, o EposMote III, a placa GPRS e os sensores. Permitindo que o sistema realize o registro, processamento e transmissão dos dados

a cada 5 minutos para o banco de dados. Os dados registrados estão disponíveis, praticamente em tempo real, no site do Núcleo de Estudos da Água da UFSC - NEA (<http://www.neagua.ufsc.br/tiki-index.php>) (GIL et al, 2017).

Os sensores de nível das estações Córrego Grande e Ana D'Ávila são do tipo pressão e produzem sinais elétricos que são convertidos em valor de nível d'água. Os sensores instalados são da marca Solar. E a partir de setembro de 2017 o sensor de nível da estação Córrego Grande foi substituído por um sensor da marca Campbell. O pluviógrafo eletrônico instalado é do tipo cubas basculante e da marca Solar.

#### **4.2.2. Campanhas de medições**

Foram realizadas pelo Projeto de Pesquisa Hidrologia ambiental em cursos d'água urbanos – Bacia do Córrego Grande ao longo de 2016 medições de descarga líquida (com o espaçamento das verticais a cada 20 centímetros) na estação do Córrego Grande (PEREIRA, 2016).

A partir e de 2017 as medições de descarga líquida foram realizadas de forma semelhante. Pelo método convencional com o uso de micromolinete da marca OTT. O método utilizado é o (Tabela 4.2) e com o tempo de medição de cada ponto de 30 segundos. As medições de 2017 foram realizadas com espaçamento entre as verticais de 30 centímetros. As seções dos rios das estações apresentam largura de até 3 metros e segundo recomendações da ANA (2012) rios com largura inferior a 3 metros a distância entre as verticais é de 30 cm. As medições de descargas líquidas realizadas no período de 2016 a 2018 foram realizadas com medição em uma posição na vertical (0,60p), pois nos dias das campanhas as profundidades das seções dos rios encontravam-se inferiores a 0,60 m (Tabela 4.2).

Somente na campanha do dia 21/05/2017 foram realizadas medições em duas profundidades das verticais (0,2p e 0,8p), nas duas seções dos rios. Neste dia foi realizada uma medição, na seção do rio da estação Ana D'Ávila, na profundidade de 74 cm e leitura do nível de água de 58 cm. E no mesmo dia foram realizadas duas medições, na seção do rio da estação Córrego Grande, na profundidade de 90 cm e leitura do nível de água de 82 cm e na profundidade de 68 cm e leitura do nível de água de 68 cm.

Foram realizadas pelo Projeto de Pesquisa Hidrologia ambiental em cursos d'água urbanos – Bacia do Córrego Grande ao longo de 2016 coletadas de amostras de água de forma pontual na

margem para determinação em laboratório da concentração de sólidos suspensos nas estações Córrego Grande e Ana D'ávila. As amostras foram coletadas com uma garrafa de vidro (PEREIRA, 2016).

Tabela 4.2 - Posição dos pontos medidos nas verticais.

Posição na Vertical em relação a profundidade (p)	Cálculo da velocidade média ( $V_m$ ) na vertical	Profundidade (m)
0,60 p	$V_m = v_{0,6}$	0,15 – 0,60
0,20 e 0,80 p	$V_m = (v_{0,2} + v_{0,8})/2$	0,60 – 1,20

Fonte: Adaptado de ANA (2012).

A partir de 2017 as amostras continuaram sendo coletadas com a mesma garrafa, para utilizar os dados de 2016 neste trabalho. Foram realizadas amostragens para determinação do fluxo de sólido suspenso baseado em sua concentração (CSS), utilizando dois tipos de amostragem: Composta e Margem. O método de amostragem Composta foi realizado em três verticais distribuídas igualmente ao longo da seção de medição de descarga líquida.

Em algumas coletas as verticais precisaram ser ajustadas devido a obstáculos (pedra) no fundo do rio. Foi utilizado tempo de coleta de 10 segundos de amostragem para cada uma das três verticais, segundo recomendado por Carvalho (2008). As amostras foram coletadas com uma garrafa de vidro (Figura 4.4).

As três amostras eram homogeneizadas em uma amostra para análise laboratorial. O método de coleta Margem foi realizado próximo a margem direita, sempre no mesmo local, superficial e tempo de coleta de 10 segundos. Em laboratório foram determinadas as concentrações de sólidos suspensos para as amostras Composta e Margem (Figura 4.5) pelo método da filtração, segundo o Standart Methods (APHA, 2005).



Figura 4.4 – Garrafas utilizadas na amostragem Margem e Composta



Fonte: Da Autora (2018).

Figura 4.5 – Análise laboratorial – membrana: anterior e posterior a filtração



Fonte: Da Autora (2018).

### 4.3. CURVA CHAVE COTA X VAZÃO

A curva chave cota x vazão consiste na relação entre o nível de água do rio e a vazão medida nesta cota da seção. Neste trabalho foram utilizadas as curvas-chaves das estações Córrego Grande e Ana D'ávila elaboradas por Gallina (2017). Os traçados das curvas-chaves foram realizados dentro do intervalo de pontos medidos, utilizando o método dos mínimos quadrados. Os traçados foram ajustados para equação do tipo potencial (Eq. 2). Foram escolhidas as curvas-chaves extrapoladas pelo método logarítmico, por superestimar as pseudos vazões no trecho de extrapolação.

$$Q = a (H - H_0)^n \quad (2)$$

onde:

Q - vazão (m<sup>3</sup>/s)

H<sub>0</sub> - altura da lâmina d'água para a vazão mínima

H - altura da lâmina d'água registrada

a e n - coeficientes de ajuste da curva

#### 4.4. DESCARGA SÓLIDA EM SUSPENSÃO

Para o cálculo da descarga sólida suspensa foram utilizadas a vazão da medição de descarga líquida e a concentração de sedimentos em suspensão coletadas. Estes pares de valores foram aplicados na equação 3:

$$Q_{ss} = 0,0864 \cdot Q \cdot C_{ss} \quad (3)$$

em que:

Q<sub>ss</sub> - descarga sólida em suspensão, ton/dia

Q - descarga líquida (vazão), m<sup>3</sup>/s

C<sub>ss</sub> - concentração de sedimento em suspensão, mg/l

0,0864 - é um fator de conversão de unidades, convertendo segundos para dia e miligrama por litro em toneladas por metro cúbico.

#### 4.5. CURVA CHAVE DE SEDIMENTOS

As curvas chaves de sedimentos foram elaboradas com os pares de valores da descarga sólida em suspensão e da vazão, conforme a equação 4 (ASSELMAN, 2000):

$$Q_{ss} = a \cdot Q^b \quad (4)$$

em que:

Q<sub>ss</sub> - descarga sólida em suspensão, ton/dia

Q - descarga líquida (vazão), m<sup>3</sup>/s

a e b - são valores adimensionais de ajuste da equação.

#### 4.6. PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS

A produção de sedimento suspenso para cada bacia foi estimada por quatro métodos, conforme o tipo de amostragem de sólidos suspensos. A escolha dos quatro métodos foi definida a partir dos tipos de dados disponíveis, levantados nas campanhas de medição de descarga líquida e amostragem de sólidos suspensos, no período do estudo. Os dados disponíveis foram agrupados conforme as seguintes características:

1) **Composta:** dados com vazão medida e amostragem de sólidos suspensos pelo método composto (coleta em três verticais).

2) **Composta com vazão estimada:** dados com vazão estimada a partir da leitura de régua e curva-chave cotaxvazão e amostragem de sólidos suspensos pelo método composto (coleta em três verticais com integração).

3) **Margem:** dados com vazão medida e amostragem de sólidos suspensos pelo método margem (coleta superficial em um ponto próximo da margem) e dados com vazão estimada a partir da leitura de régua e curva-chave cotaxvazão e amostragem de sólidos suspensos pelo método margem (coleta superficial em um ponto próximo da margem).

4) **Composta e Margem:** com todos os dados dos itens 1, 2 e 3.

A produção de sedimento suspenso para cada bacia foi estimada por quatro curvas-chaves de sedimentos, elaboradas conforme os quatro métodos de análise deste estudo:

- Curva-chave de sedimentos “Descarga sólida suspensa Composta” - com os pares de valores de vazão medida e descarga sólida medida Composta.

- Curva-chave de sedimentos “Descarga sólida suspensa Composta vazão estimada” - com os pares de valores de vazão medida e descarga sólida Composta e os pares de valores de vazão estimada (curva-chave) e descarga sólida Composta.

- Curva-chave de sedimentos “Descarga sólida suspensa Margem” - com os pares de valores de vazão medida e descarga sólida medida na margem e os pares de valores de vazão estimada (curva-chave) e descarga sólida medida na margem.

- Curva-chave de sedimentos “Descarga sólida suspensa Composta e Margem (todos)” - com os pares de valores de vazão medida e descarga sólida Composta, os pares de valores de vazão estimada (curva-chave) e descarga sólida Composta, os pares de valores de vazão

medida e descarga s3lida medida na Margem e os pares de valores de vaz3o estimada (curva-chave) e descarga s3lida medida na Margem.

As quatro curvas-chaves de sedimentos foram aplicadas nas s3ries de vaz3o (5 minutos) gerando quatro s3ries de descarga s3lida em suspens3o (5 minutos) para cada bacia.

A produ33o de sedimento em suspens3o espec3fico (Q ss esp) foi estimada pela express3o da Eq. 5:

$$Q_{ss\ esp} = \frac{Q_{ss}}{A} \quad (5)$$

em que:

Q ss esp - produ33o de sedimento suspenso espec3fico (ton.km<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup>)

Q<sub>ss</sub> - m3dia da descarga s3lida suspensa (ton.dia<sup>-1</sup>)

A - 3rea da bacia (km<sup>2</sup>).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. CURVAS-CHAVES ELABORADAS A PARTIR DE CAMPANHAS DE MEDIÇÃO DIRETA DA DESCARGA LÍQUIDA DOS RIOS CÓRREGO GRANDE E ANA D'ÁVILA

Foram realizadas 14 campanhas de medição de descarga líquida (Ql) nos rios das estações Córrego Grande e Ana D'Ávila, no período de abril a agosto de 2017. A curva-chave da estação Córrego Grande foi definida com os valores de vazão medidos, no intervalo de nível d'água de 21 a 82 cm, por meio do método dos mínimos quadrados. O traçado da curva foi ajustado para equação do tipo potencial e extrapolação logarítmico até o nível d'água de 450 cm (Figura 5.1). E a curva-chave da estação Ana D'Ávila foi definida com os valores de vazão medidos, no intervalo de nível d'água de 25 a 85 cm, por meio do método dos mínimos quadrados. O traçado da curva foi ajustado para equação do tipo potencial e extrapolação logarítmico até o nível d'água de 220 cm (Figura 5.1).

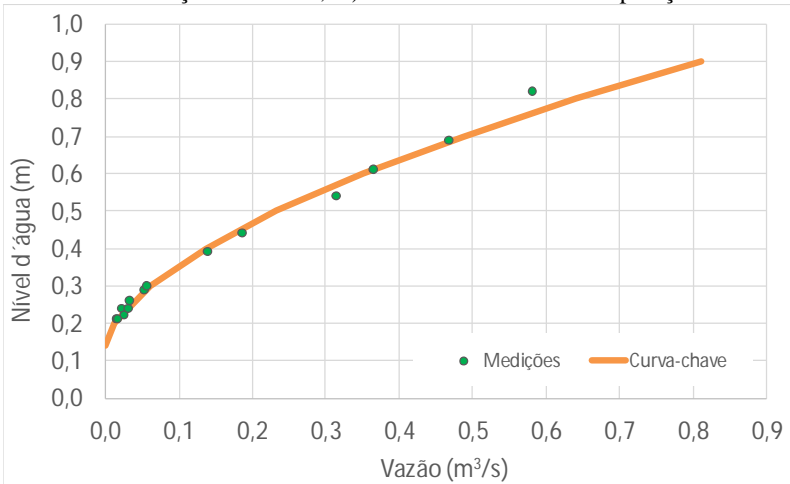
As curvas-chaves das estações apresentam excelentes ajustes com os pontos medidos, segundo os valores dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), para os intervalos de nível d'água medidos. E para estimar as vazões a partir dos níveis d'água máximos medidos (0,82 e 0,85 m) as curvas foram extrapoladas até 3,68 e 1,35 m (Tabela 5.1).

Tabela 5.1- Resumo das curvas-chaves das estações.

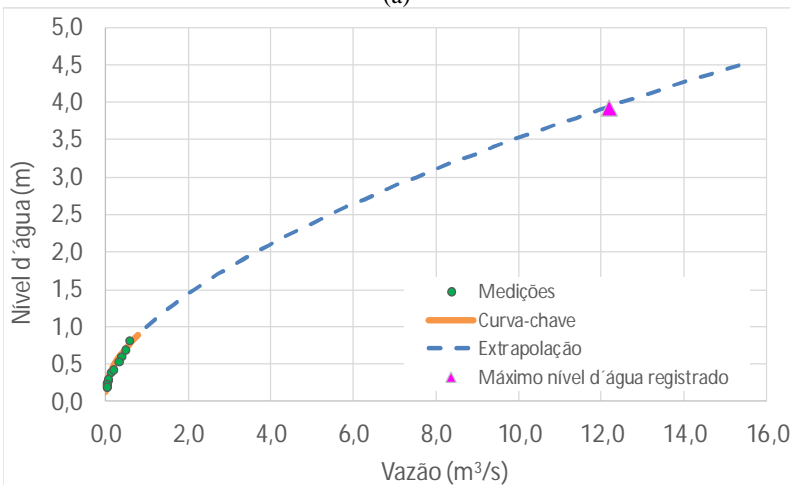
Informações	Córrego Grande	Ana D'Ávila
Equação	$Q = 1,270 \times (H-0,133)^{1,690}$	$Q = 3,071 \times (H-0,120)^{2,583}$
$R^2$	0,98751	0,99103
Intervalo de nível d'água com vazão medida (m)	0,21 a 0,82	0,25 a 0,85
Valor da extrapolação (m)	3,68	1,35
Período de aplicação da equação	Setembro/2016 a 11/01/2018	Setembro/2016 a 11/01/2018

Fonte: Da Autora (2018).

Figura 5.1 - Curva-chave cotaxvazão da estação Córrego Grande: a) Definição da curva com as medições de vazão; b) Curva-chave com a extrapolação.



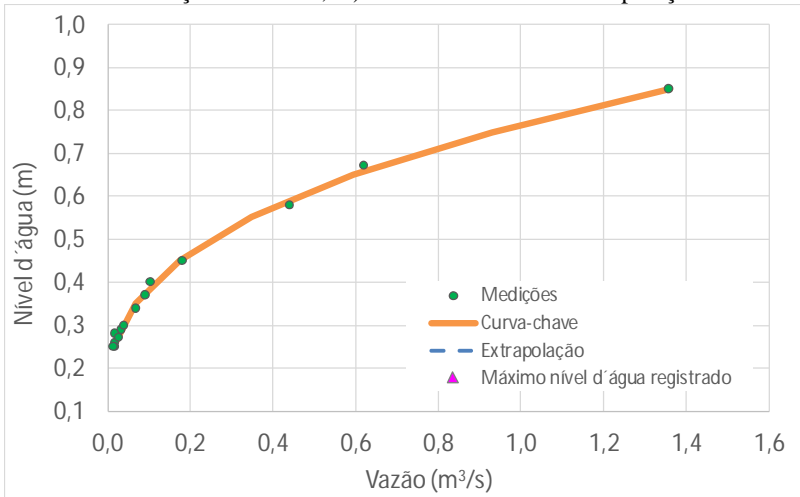
(a)



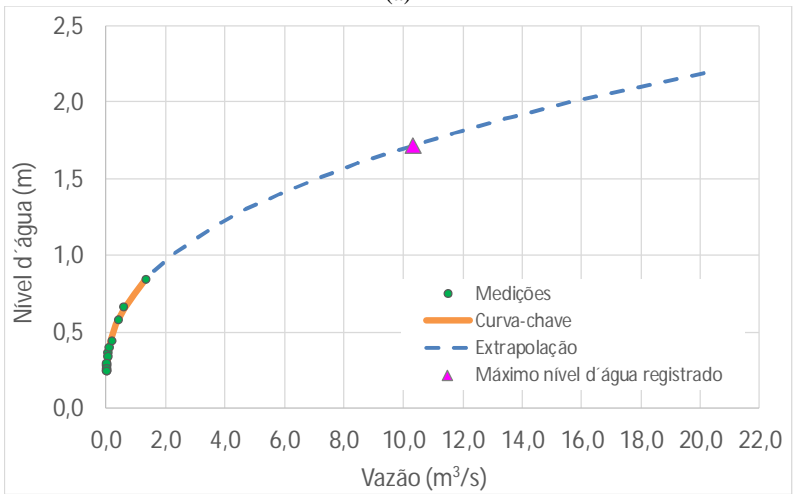
(b)

Fonte: Adaptado de Gallina (2017).

Figura 5.2 - Curva-chave cotaxvazão da estação Ana D'Ávila: a) Definição da curva com as medições de vazão; b) Curva-chave com a extrapolação.



(a)



(b)

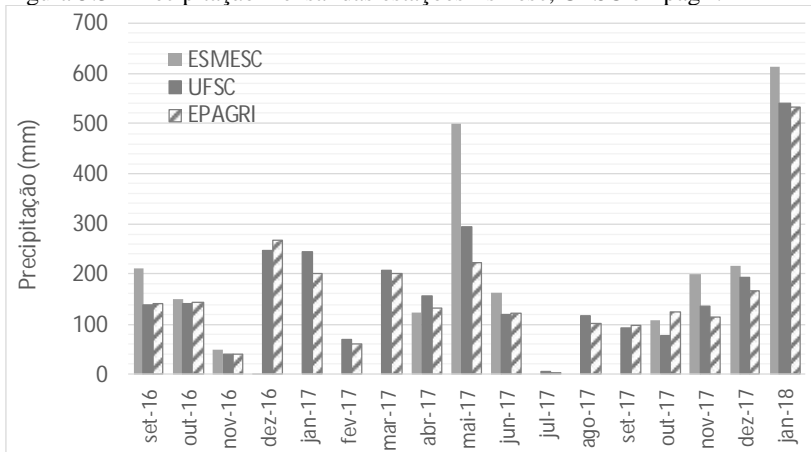
Fonte: Adaptado de Gallina (2017).

## 5.2. ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO E VAZÃO DAS BACIAS

A Figura 5.3 apresenta os dados de precipitação total mensal das estações Esmesc, UFSC e Epagri. Em alguns meses as estações Esmesc e UFSC apresentam totais de precipitação calculados com dados registrados em menos de 30 dias. Na estação Esmesc são os meses de março, abril, maio e julho de 2017 e janeiro de 2018. E na estação UFSC são os meses de novembro de 2016 e outubro e novembro de 2017.

No período de setembro de 2016 a janeiro de 2018 a estação Esmesc apresenta precipitação total mensal de 0 a 612,6 mm. No mês de janeiro de 2018, a estação apresentou o maior valor de precipitação total, 612,6 mm, mesmo com registro incompleto de dados. Indicando que o valor de precipitação do mês de janeiro de 2018 é superior a 612,6 mm. A estação UFSC, no mesmo período, apresenta precipitação total mensal de 5,9 a 539,3 mm. Já a estação Epagri apresenta precipitação total mensal de 4,6 a 534 mm, para o mesmo período. Nas três estações os maiores valores de totais de precipitação mensal foram registrados em janeiro de 2018.

Figura 5.3 - Precipitação mensal das estações Esmesc, UFSC e Epagri.



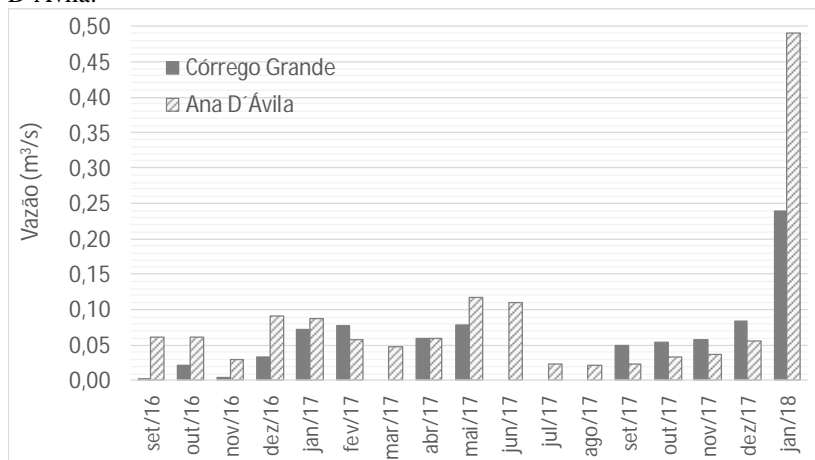
Fonte: Da Autora (2018).

A Figura 5.4 mostra os dados de vazão média mensal das estações Córrego Grande e Ana D'Ávila. Em alguns meses as estações apresentam valores de vazão inferior a 30 dias. Na estação Córrego Grande somente janeiro e outubro de 2017 apresentam registros de dados com 30 dias. E a estação Ana D'Ávila apresenta registros de dados inferiores a 30 dias em dezembro de 2016, fevereiro, março, maio e julho de 2017 e janeiro



de 2018. A vazão média mensal das estações Córrego Grande e Ana D'Ávila, no período de setembro de 2016 a janeiro de 2018 é, respectivamente, 0,06 m<sup>3</sup>/s e 0,08 m<sup>3</sup>/s. Os maiores valores de vazão média mensal ocorreram em janeiro de 2018 corroborando com os maiores valores registrados nas três estações pluviométricas no mesmo período.

Figura 5.4 - Série de vazão média mensal das estações Córrego Grande e Ana D'Ávila.



Fonte: Da Autora (2018).

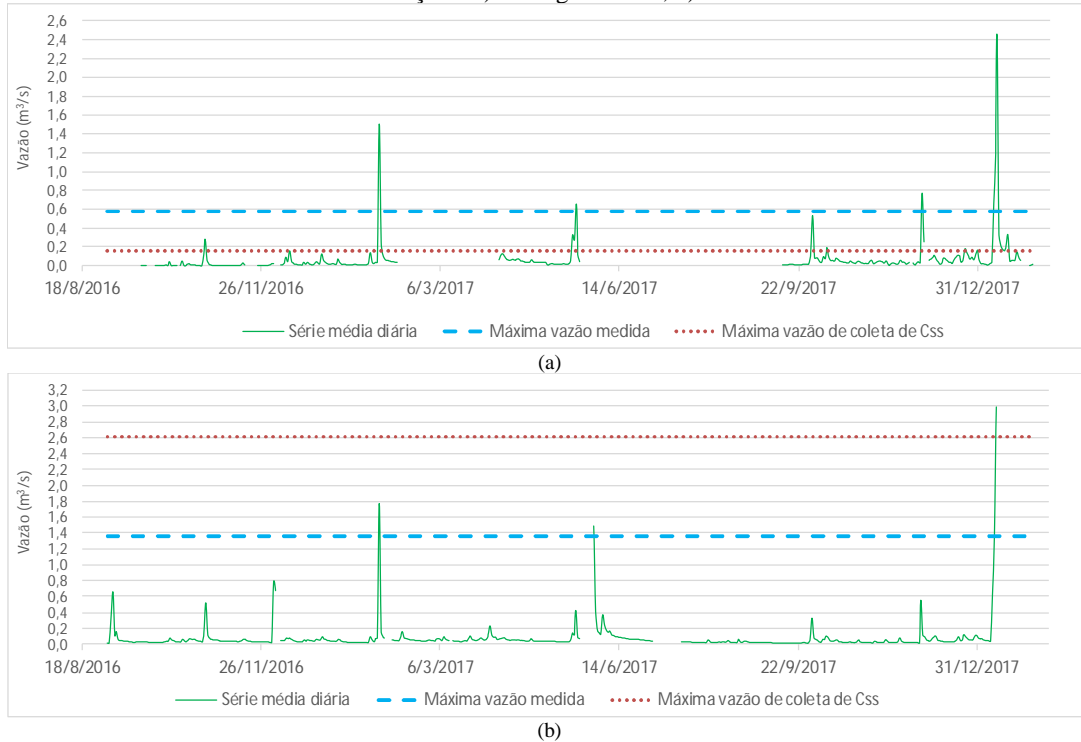
As séries de vazão média diária calculadas para as estações Córrego Grande e Ana D'Ávila, representadas na Figura , apresentam vazão média semelhantes, respectivamente, 0,0674 m<sup>3</sup>/s e 0,0679 m<sup>3</sup>/s. E permanência de 20% e 16% do tempo, respectivamente (Figura 5.5 e Figura 5.6). No evento hidrológico de janeiro de 2018 foram obtidas as maiores vazões da série, 2,45 m<sup>3</sup>/s e 3,00 m<sup>3</sup>/s, nas estações Córrego Grande e Ana D'Ávila, respectivamente. As vazões mínimas calculadas são próximas de zero, sendo o valor da estação Córrego Grande inferior ao valor da estação Ana D'Ávila.

A máxima vazão medida na estação Córrego Grande foi de 0,581 m<sup>3</sup>/s e apresenta permanência em cerca de 2% do tempo. No gráfico da Figura é possível observar que este valor ocorreu em quatro eventos hidrológicos. Já a máxima vazão medida com coleta de sedimentos em suspensão é 0,149 m<sup>3</sup>/s, com permanência em torno de 7% do tempo.

A máxima vazão medida na estação Ana D'Ávila foi de 1,359 m<sup>3</sup>/s e apresenta permanência em cerca de 0,8% do tempo. No gráfico da Figura 5.7 é possível observar que este valor ocorreu em três eventos

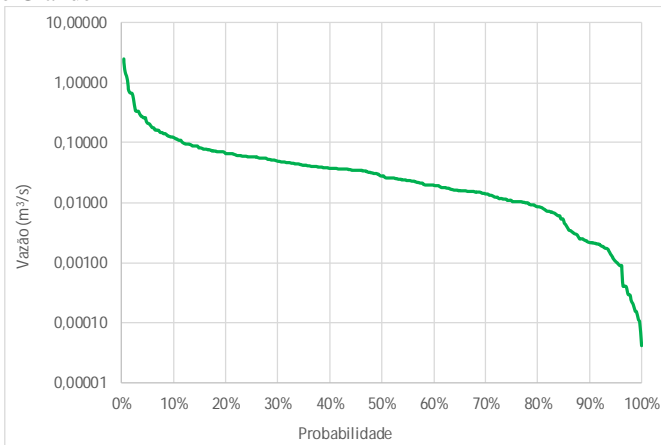
hidrológicos. E a máxima vazão de coleta de sedimentos em suspensão é  $2,617 \text{ m}^3/\text{s}$ , com permanência em torno de 0,3% do tempo.

Figura 5.5 - Séries de vazão média diária das estações: a) Córrego Grande; b) Ana D'Ávila.



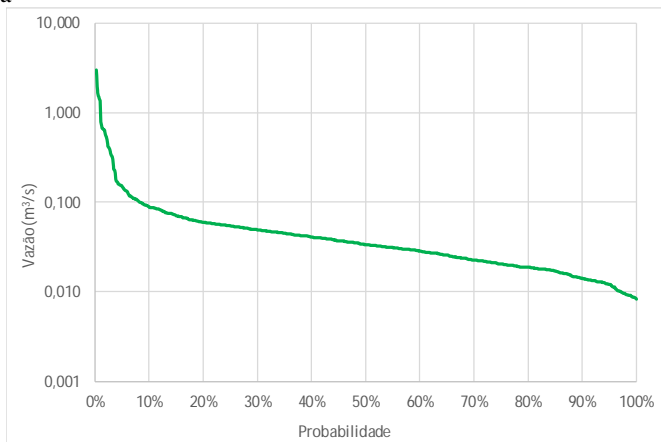
Fonte: Da Autora (2018).

Figura 5.6 - Curva de permanência da série de vazão média diária da estação Córrego Grande



Fonte: Da Autora (2018).

Figura 5.7 - Curva de permanência da série de vazão média diária da estação Ana D'Ávila



Fonte: Da Autora (2018).

### 4.3. ANÁLISE DAS AMOSTRAGENS DE CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS SUSPENSOS E EVENTOS

Com os valores das amostragens da concentração de sólidos suspensos, composta e margem, da estação Córrego Grande, relacionados na Tabela 5.2, foram elaborados seis gráficos com os eventos hidrológicos (Figura 5.8, Figura 5.9, Figura 5.10, Figura 5.11, Figura 5.12 e Figura 5.13). O evento de 25/10/2016 apresentou os maiores valores de precipitação e vazão máxima, respectivamente, 98,8 mm e 0,501 m<sup>3</sup>/s, quando comparado aos demais eventos.

Para a estação Ana D'Ávila foram elaborados nove gráficos com os eventos hidrológicos (Figura 5.8, Figura 5.9, Figura 5.10, Figura 5.11, Figura 5.12 e Figura 5.13), considerando os valores das amostragens da concentração de sólidos suspensos, composta e margem, relacionados na Tabela 5.2. O evento de 11/01/2018 apresentou os maiores valores de precipitação e vazão máxima, respectivamente, 405,8 mm e 10,12 m<sup>3</sup>/s, quando comparado aos demais eventos. E o segundo maior evento foi o de 25/10/2016, com valores de precipitação e vazão máxima, respectivamente, de 98,8 mm e 1,068 m<sup>3</sup>/s.

Os valores das amostragens compostas da concentração de sólidos suspensos da estação Córrego Grande são superiores aos valores das amostragens realizadas na margem. Os valores amostrados pelo método composto variam de 4 a 44 mg/l e os valores amostrados na margem variam de 2 a 22 mg/l. As amostragens foram realizadas nas seguintes condições: de um a cinco dias após o início da precipitação, com totais de precipitação entre 6,0 a 15,2 mm e valores de vazão de 0,020 a 0,062 m<sup>3</sup>/s no momento das amostragens (Tabela ). Os maiores valores da concentração de sólidos suspensos composto são 34 e 44 mg/l, amostrados em 09/11/2017, após o evento de 08/11/2017 (Figura 5.14), com precipitação total de 6,0 mm e vazão máxima de 0,158 m<sup>3</sup>/s. O maior valor da concentração de sólidos suspensos margem é 22 mg/l, amostrado em 17/11/2016, após o evento de 16/11/2017 (Figura 5.15), com precipitação total de 24,2 mm e vazão máxima de 0,181 m<sup>3</sup>/s.

Os valores das amostragens compostas da concentração de sólidos suspensos da estação Ana D'Ávila, em média, são semelhantes aos valores das amostragens realizadas na margem. Os valores amostrados pelo método composto variam de 4 a 20

mg/l e os valores amostrados na margem variam de 4 a 18 mg/l. As amostragens foram realizadas nas seguintes condições: de um a seis dias após o início da precipitação, com totais de precipitação entre 7,5 a 28,6 mm e valores de vazão de 0,015 a 0,048 m<sup>3</sup>/s no momento das amostragens (Tabela ).

O maior valor da concentração de sólidos suspensos composto é 20 mg/l, amostrado em 14/08/2017, após o evento de 13/08/2017 (Figura 5.16), com precipitação total de 19,9 mm e vazão máxima superior a 0,045 m<sup>3</sup>/s.

O maior valor da concentração de sólidos suspensos margem é 18 mg/l (até 03/01/2018), amostrado em 14/08/2017, após o evento de 13/08/2017 (Figura 5.17), com precipitação total de 19,9 mm e vazão máxima superior a 0,045 m<sup>3</sup>/s.

Tabela 5.2- Resumo das amostragens por evento – Córrego Grande.

Amostragem				Evento		
Data	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Concentração de Sólidos Suspensos Composta (mg/l)	Concentração de Sólidos Suspensos Margem (mg/l)	Data	Precipitação (mm)	Vazão Máxima (m <sup>3</sup> /s)
27/10/16	0,062	-	17	25/10/16	98,8	0,501
17/11/16	0,007	-	22	16/11/16	24,2	0,181
08/12/16	0,010	-	18	08/12/16	4,8	0,042
30/10/17	0,027	32	20			
30/10/17	0,027	24	22	25/10/17	15,2	0,094
30/10/17	0,027	14	16			
09/11/17	0,020	44	18			
09/11/17	0,020	34	16	08/11/17	6,0	0,158
03/01/18	0,062	4	2			
03/01/18	0,062	6	4	01/01/18	10,4	0,125

Fonte: Da Autora (2018).

Tabela 5.3- Resumo das amostragens por evento – Ana D'Ávila.

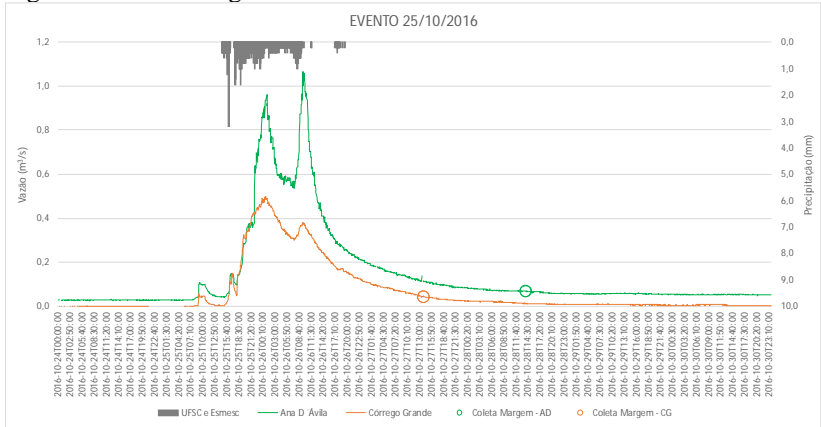
Amostragem				Evento		
Data	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Concentração de Sólidos Suspensos Composta (mg/l)	Concentração de Sólidos Suspensos Margem (mg/l)	Data	Precipitação (mm)	Vazão Máxima (m <sup>3</sup> /s)
28/10/16	0,069	-	10	25/10/16	98,8	1,068
17/11/16	0,055	-	10	16/11/16	24,2	0,189
14/08/17	0,039	20	10	13/08/17	19,9	0,045 (*)
14/08/17	0,039	16	18			
21/08/17	0,026	8	10	19/08/17	28,6	0,213
21/08/17	0,026	8	16			
28/08/17	0,015	14	14	22/08/17	7,5	0,045
10/10/17	0,032	-	8	07/10/17	20,8	0,214
30/10/17	0,032	-	4			
30/10/17	0,017	6	-	25/10/17	15,2	0,078
30/10/17	0,017	6	-			
09/11/17	0,019	6	-	08/11/17	6,0	0,047
09/11/17	0,019	10	-			
03/01/18	0,048	4	4	01/01/18	10,4	0,148
03/01/18	0,048	8	8			
11/01/18	2,617	-	78	09/01/18	405,8	10,120

(\*) Valor da descida do hidrograma do evento. Sem registro da subida e pico do hidrograma.

Fonte: Da Autora (2018).

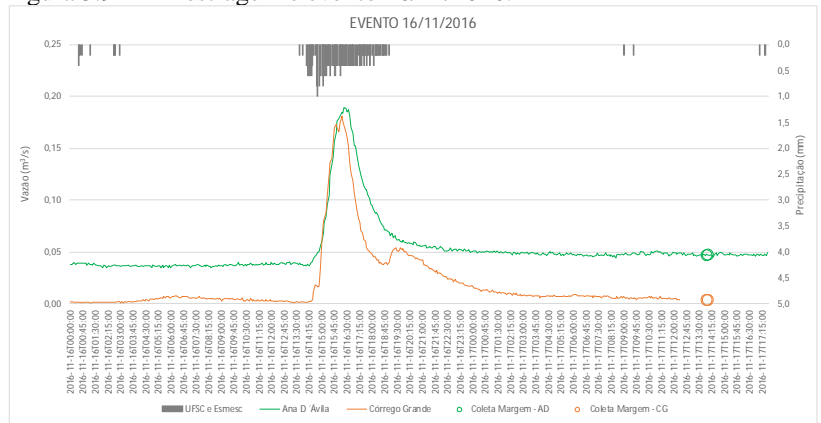


Figura 5.8 - Amostragem e evento 25/10/2016.



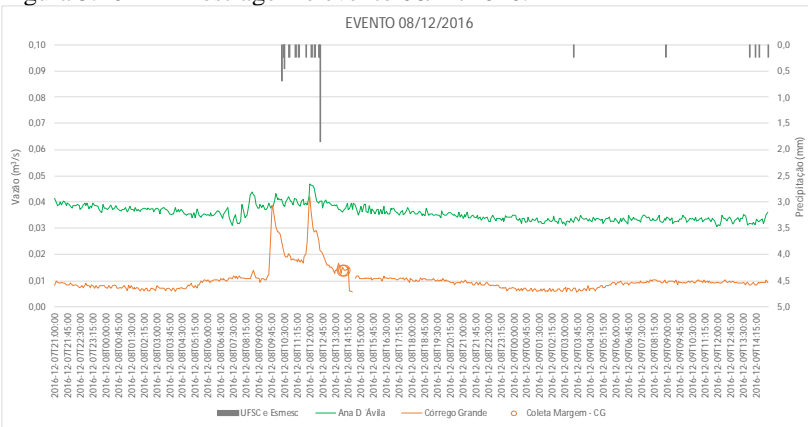
Fonte: Da Autora (2018).

Figura 5.9 - Amostragem e evento 16/11/2016.



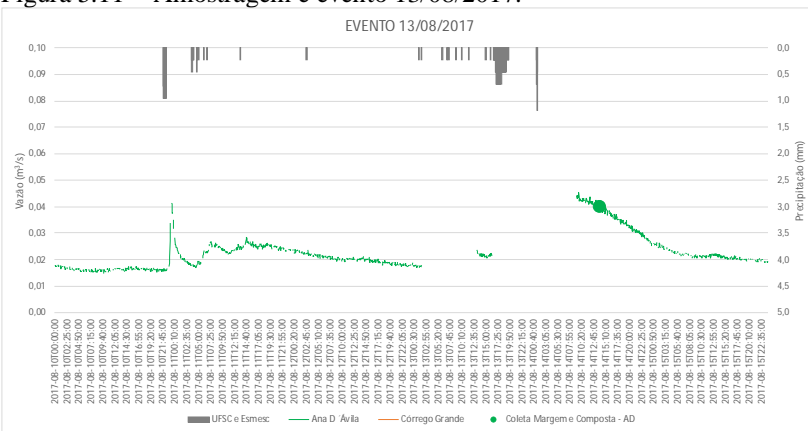
Fonte: Da Autora (2018).

Figura 5.10 - Amostragem e evento 08/12/2016.



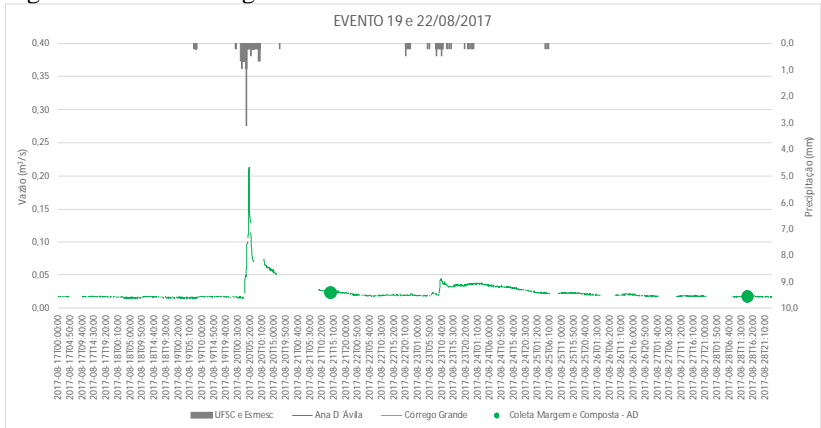
Fonte: Da Autora (2018).

Figura 5.11 - Amostragem e evento 13/08/2017.



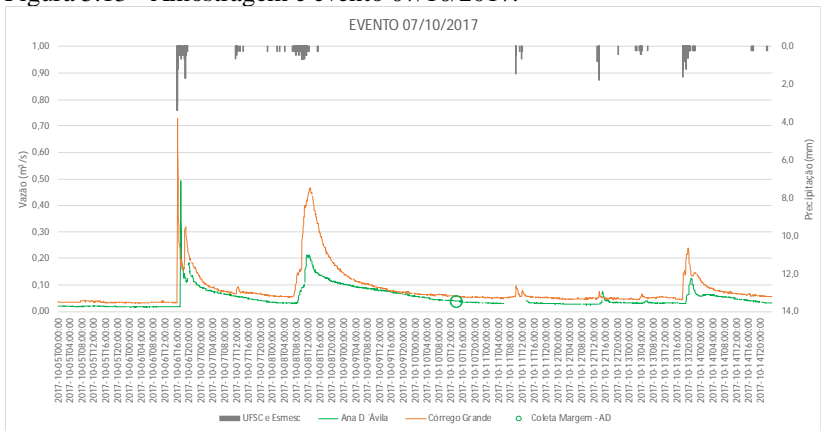
Fonte: Da Autora (2018).

Figura 5.12 - Amostragem e eventos 19 e 22/08/2017.



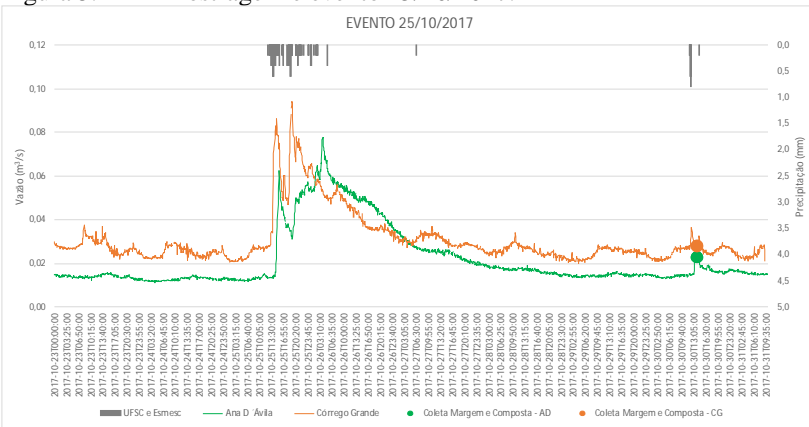
Fonte: Da Autora (2018).

Figura 5.13 - Amostragem e evento 07/10/2017.



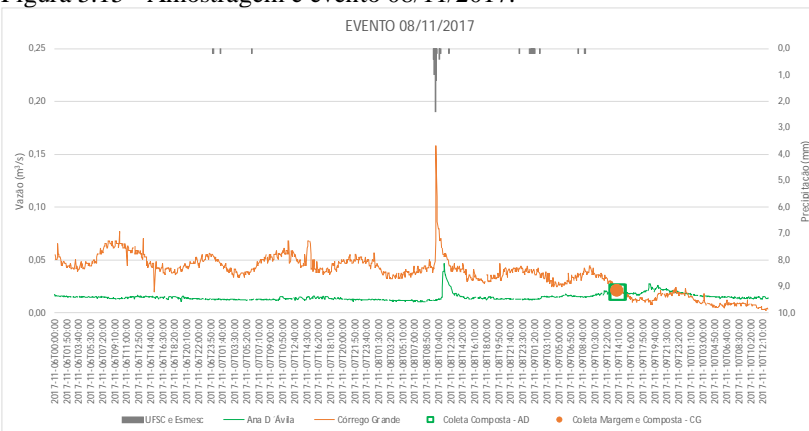
Fonte: Da Autora (2018).

Figura 5.14 - Amostragem e evento 25/10/2017.



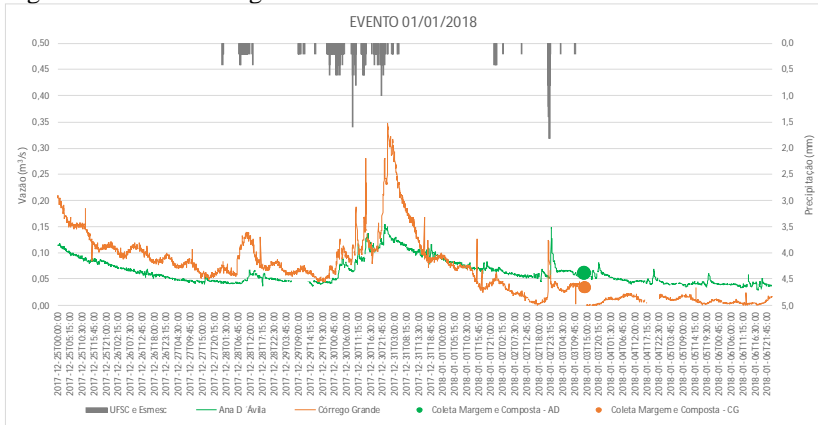
Fonte: Da Autora (2018).

Figura 5.15 - Amostragem e evento 08/11/2017.



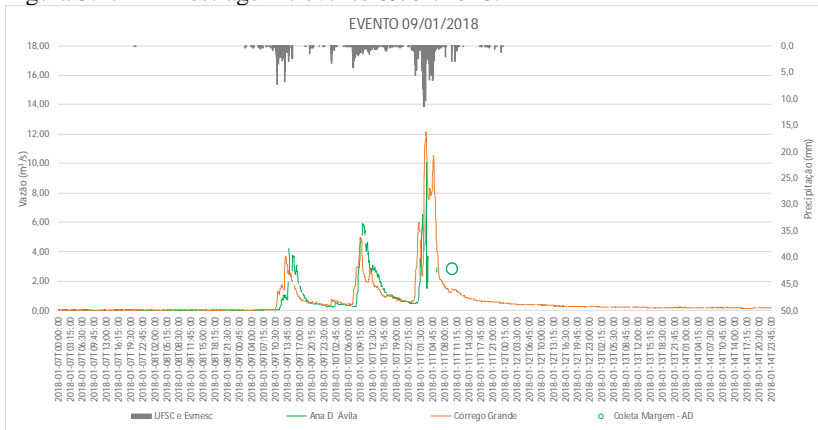
Fonte: Da Autora (2018).

Figura 5.16 - Amostragem e evento 01/01/2018.



Fonte: Da Autora (2018).

Figura 5.17 - Amostragem e evento 09/01/2018.



Fonte: Da Autora (2018).

## 5.4.AVALIAÇÃO DA ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS DOS RIOS CÓRREGO GRANDE E ANA D'ÁVILA

### 4.4.1. Avaliação de uma metodologia de amostragem de sedimentos simplificada comparada com o método composta

Foram avaliadas 13 amostras de concentração de sólidos suspensos realizadas com os métodos de amostragem Composta e Margem na estação Córrego Grande. Estas amostragens ocorreram nas campanhas de 07/08/2017 a 03/01/2018, entre os níveis de água de 21 a 30 cm. Na Tabela 5.4 é possível observar que a maioria dos valores das concentrações de sólidos suspensos amostrados na margem são inferiores aos valores do método Composta. O erro médio entre os valores de concentração de sólidos suspensos da Margem e Composta é de -15%, ou seja, os valores de concentração da Margem subestimam em média 15% os valores amostrados pelo método Composta. O erro variou de -59% a 50% entre os valores de concentração de sólidos suspensos amostrados na Margem e pelo método Composta.

Foram realizadas medição da velocidade média da seção do rio Córrego Grande em seis amostragens de concentração de sólidos suspensos. É possível observar na Tabela 5.5 que no intervalo de velocidade de 0,049 a 0,115 m/s os valores da concentração de sedimentos suspensos das amostras composta praticamente não se alteram. E no mesmo intervalo de velocidade os valores da concentração de sedimentos suspensos das amostras margem variam de 8 a 20 mg/l. Nas amostragens, composta e margem, no intervalo de 0,049 a 0,115 m/s, a velocidade média não apresenta uma correlação com os valores da concentração de sólidos suspensos.

As amostragens relacionadas na Figura 5.17, foram realizadas nas profundidades das verticais com valores inferiores a 0,31 m e com largura da seção do rio até 2,40 m. É apresentado na Figura 5.18 o perfil transversal da seção do curso d'água Córrego Grande.

Tabela 5.4- Erro da amostragem Composta e Margem da estação Córrego Grande.

DATA	Concentração de Sólidos Suspensos (mg/l)		ERRO (%)
	Composta	Margem	
07/08/17	14	12	-14
14/08/17	14	12	-14
21/08/17	14	16	14
21/08/17	14	8	-43
28/08/17	12	18	50
28/08/17	14	20	43
30/10/17	32	20	-38
30/10/17	24	22	-8
30/10/17	14	16	14
09/11/17	44	18	-59
09/11/17	34	16	-53
03/01/18	4	2	-50
03/01/18	6	4	-33

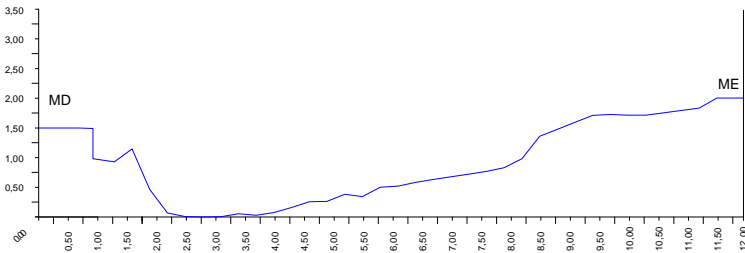
Fonte: Da Autora (2018).

Tabela 5.5- Análise das velocidades das amostragens da estação Córrego Grande

Data	Leitura da régua (cm)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Velocidade média (m/s)	CSS Composta (mg/l)	CSS Margem (mg/l)	Erro CSS Composta e Margem (%)
07/08/17	21	0,015	0,049	14	12	-14
28/08/17	21	0,017	0,057	12	18	50
28/08/17	21	0,017	0,057	14	20	43
21/08/17	24	0,031	0,080	14	16	14
21/08/17	24	0,031	0,080	14	8	-43
14/08/17	30	0,056	0,115	14	12	-14

Fonte: Da Autora (2018).

Figura 5.18- Perfil transversal da seção do rio Córrego Grande: profundidade (m) x distância (m)



Fonte: Gallina (2017).

Para a estação Ana D'Ávila foram avaliadas 7 amostras de concentração de sólidos suspensos realizadas com os métodos de amostragem Composta e Margem. Estas amostragens ocorreram nas campanhas de 14/08/2017 a 03/01/2018, entre os níveis de água de 25 a 32 cm. Na Tabela 5.6 é possível observar que a maioria dos valores das concentrações de sólidos suspensos amostrados na margem são superiores aos valores do método Composta. E três amostras de duas campanhas apresentam o mesmo valor de concentrações de sólidos suspensos na Margem e Composta. O erro médio entre os valores de concentração de sólidos suspensos da Margem e Composta é de 12%, ou seja, os valores de concentração da Margem superestimam em média 12% os valores do método Composta. O erro variou de -50% a 100% entre os valores de concentração de sólidos suspensos amostrados na Margem e pelo método Composta.

Na Tabela 5.7 é possível observar no intervalo de velocidade de 0,026 a 0,057 m/s que a amostragem composta (8 a 20 mg/l) apresenta maior amplitude dos valores da concentração de sedimentos suspensos, quando comparada com a amostragem margem (10 a 18 mg/l). Em ambas as amostragens, composta e margem, no intervalo de 0,026 a 0,057 m/s, a velocidade média não apresenta uma correlação com os valores da concentração de sólidos suspensos.

As amostragens relacionadas na Tabela 5.7, foram realizadas nas profundidades das verticais com valores inferiores a 0,36 m e com largura da seção do rio até 3,30 m. É apresentado na Figura 5.19 o perfil transversal da seção do curso d'água Ana D'Ávila.



Tabela 5.6- Erro da amostragem Composta e Margem da estação Ana D'Ávila.

DATA	Concentração de Sólidos Suspensos (mg/l)		ERRO (%)
	Composta	Margem	
14/08/17	20	10	-50
14/08/17	16	18	13
21/08/17	8	10	25
21/08/17	8	16	100
28/08/17	14	14	0
03/01/18	4	4	0
03/01/18	8	8	0

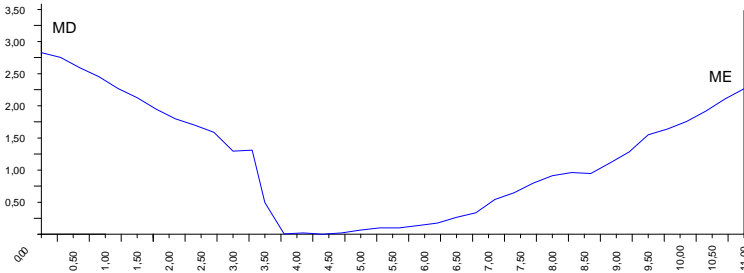
Fonte: Da Autora (2018).

Tabela 5.7– Análise das velocidades das amostragens da estação Ana D'Ávila.

Data	Leitura da régua (cm)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Velocidade média (m/s)	CSS Composta (mg/l)	CSS Margem (mg/l)	Erro CSS Composta e Margem (%)
28/08/17	25	0,015	0,026	14	14	0
21/08/17	27	0,026	0,042	8	10	25
21/08/17	27	0,026	0,042	8	16	100
14/08/17	30	0,039	0,057	20	10	-50
14/08/17	30	0,039	0,057	16	18	13

Fonte: Da Autora (2018).

Figura 5.19- Perfil transversal da seção do rio Ana d'Ávila: profundidade (m) x distância (m)



Fonte: Gallina (2017).

O trabalho de Paiva et al. (2001), realizado na bacia Alto da Colina, com área de drenagem de 1,5 km<sup>2</sup> e localizada em área urbana, executou uma medição de amostragem de água, em três verticais, centro e nos terços médios, da seção transversal, com amostrador manual AMS-1. Os valores de concentração de sedimentos foram 115 mg/l no centro e 14 mg/l e 22 mg/l nos terços médios. O valor médio desta medição é 50 mg/l e foi realizada em período de vazão baixa.

Os valores da concentração de sólidos suspensos amostrados pelo método Composto (integração em três verticais) na seção transversal do rio Córrego Grande variaram de 4 a 44 mg/l. E os valores das amostragens realizadas na seção transversal do rio Ana D'Ávila variaram de 4 a 20 mg/l. Os valores de sólidos suspensos determinados nestes rios foram amostrados em período de vazão baixa e são inferiores ao valor médio da medição amostrada na bacia Alto da Colina. Os maiores valores amostrados (44 e 20 mg/l), nas seções transversais dos rios Córrego Grande e Ana D'Ávila, correspondem a 88% e 44%, respectivamente, do valor da medição realizada na bacia Alto da Colina.

Os valores da concentração de sólidos suspensos amostrados pelo método Margem (superficial) na seção transversal do rio Córrego Grande variaram de 2 a 22 mg/l. E os valores das amostragens realizadas na seção transversal do rio Ana D'Ávila variaram de 4 a 18 mg/l. Os valores de sólidos suspensos determinados nestes rios foram amostrados em período de vazão baixa e a maior parte dos valores são semelhantes ao valor médio da medição amostrada na bacia Alto da Colina. Os valores da concentração de sólidos suspensos, das seções transversais dos rios Córrego Grande e Ana D'Ávila, foram amostrados na superfície do rio, ou seja, local com menos sedimentos. Os valores amostrados na margem

subestimam os valores da concentração de sedimentos, quando comparados com valores de amostragem na integração da vertical. Portanto, os valores da concentração de sólidos suspensos, das verticais das margens das seções transversais, dos rios Córrego Grande e Ana D'Ávila, devem ser superiores aos valores de 2 a 22 mg/l, amostrados na superfície das margens das seções.

#### **4.4.2. Elaboração e análise das curvas-chaves de sedimentos**

Foi realizada avaliação sedimentométrica das bacias dos rios Córrego Grande e Ana D'Ávila, conforme o tipo de amostragem de sedimentos em suspensão utilizada, elaborando uma curva-chave de sedimentos para cada tipo de amostragem.

Na Tabela 5.8 é apresentado resumo das quatro curvas-chaves das estações Córrego Grande e Ana D'Ávila, com informação dos coeficientes a e b das equações potenciais, coeficientes de determinação ( $R^2$ ), coeficientes de Diferença ( $D_i$ ) e o número de amostras utilizadas.

A primeira curva-chave de sedimentos elaborada, para cada estação, foi “Descarga sólida suspensa Composta”, com os pares de valores de vazão medida e descarga sólida medida nas três verticais (composta). A curva-chave de sedimentos da estação Córrego Grande foi realizada com seis amostras e da estação Ana D'Ávila com cinco amostras (Figura 5.20).

A segunda curva-chave de sedimentos elaborada, para cada estação, foi “Descarga sólida suspensa Composta Vazão Estimada”, com os pares de valores de vazão medida e descarga sólida medida nas três verticais (composta) e os pares de valores de vazão estimada pela curva-chave e descarga sólida medida nas três verticais (composta). A curva-chave de sedimentos da estação Córrego Grande foi realizada com treze amostras e da estação Ana D'Ávila com onze amostras (Figura ).

A terceira curva-chave de sedimentos elaborada, para cada estação, foi “Descarga sólida suspensa Margem”, com os pares de valores de vazão medida e descarga sólida medida na margem e os pares de valores de vazão estimada pela curva-chave e descarga sólida medida na margem. A curva-chave de sedimentos da estação Córrego Grande foi realizada com vinte e sete amostras e da estação Ana D'Ávila com dezessete amostras (Figura ).

Tabela 5.8– Resumo das curvas-chaves de sedimentos das estações Córrego Grande e Ana D'Ávila.

Curva-chave	Córrego Grande					Ana D'Ávila				
	a	b	R2	Di (%)	Número de amostras	A	b	R2	Di (%)	Número de amostras
Composta	1,391	1,045	0,99	-0,06	6	4,437	1,396	0,67	-7,43	5
Composta Vazão estimada	0,069	0,171	0,02	-11,80	13	1,068	1,098	0,50	-11,66	11
Margem	0,608	0,826	0,83	-15,50	27	2,918	1,364	0,91	-36,91	17
Composta e Margem (todas)	0,601	0,810	0,77	-13,27	40	2,744	1,350	0,88	-40,75	28

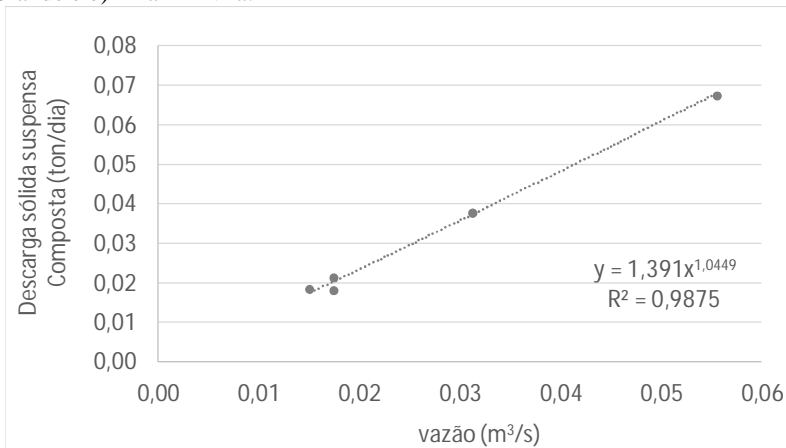
Fonte: Da Autora (2018).

E a quarta curva-chave de sedimentos elaborada, para cada estação, foi “Descarga sólida suspensa Composta e Margem (todos)”, com os pares de valores de vazão medida e descarga sólida medida nas três verticais (composta), os pares de valores de vazão estimada pela curva-chave e descarga sólida medida nas três verticais (composta), os pares de valores de vazão medida e descarga sólida medida na margem e os pares de valores de vazão estimada pela curva-chave e descarga sólida medida na margem. A curva-chave de sedimentos da estação Córrego Grande foi realizada com quarenta amostras e da estação Ana D’Ávila com vinte e oito amostras (Figura 5.20).

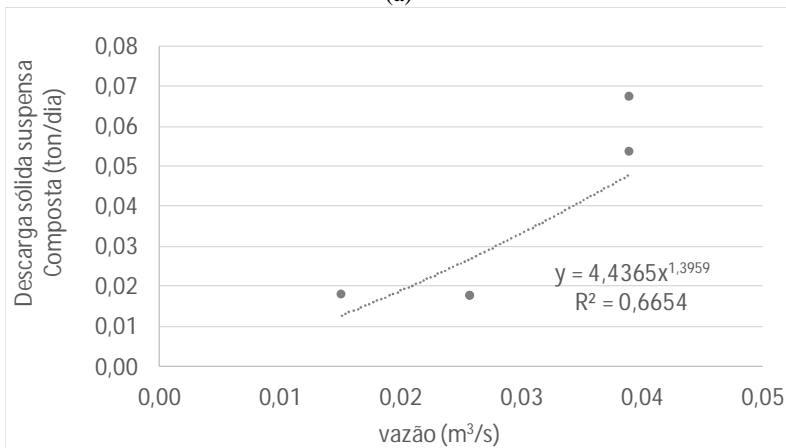
Nos gráficos das Figura 5.20, Figura 5.21, Figura 5.22 e Figura 5.23 é possível observar valores diferentes de descarga sólida suspensa para um mesmo valor de vazão. Pois, para a mesma amostra, a análise laboratorial determinou valores diferentes de concentração de sólidos em suspensão.

As curvas-chaves de sedimentos da estação Ana D’Ávila, apresentadas nos gráficos das Figura 5.22 e Figura 5.23, foram elaboradas com a amostra de sólidos suspensos realizada na margem da seção do rio, no maior evento hidrológico registrado no período de monitoramento da estação. A amostragem foi realizada no dia 11/01/2018, no terceiro dia de chuva consecutivo, na vazão de 2,617 m<sup>3</sup>/s, conforme o valor da leitura de régua. O evento hidrológico foi gerado por uma precipitação total de 405,8 mm, entre 09 a 11/01/2018, atingindo no mínimo vazão de 10,12 m<sup>3</sup>/s.

Figura 5.20- Curva-chave “Descarga sólida suspensa Composta”: a) Córrego Grande e b) Ana D’Ávila.



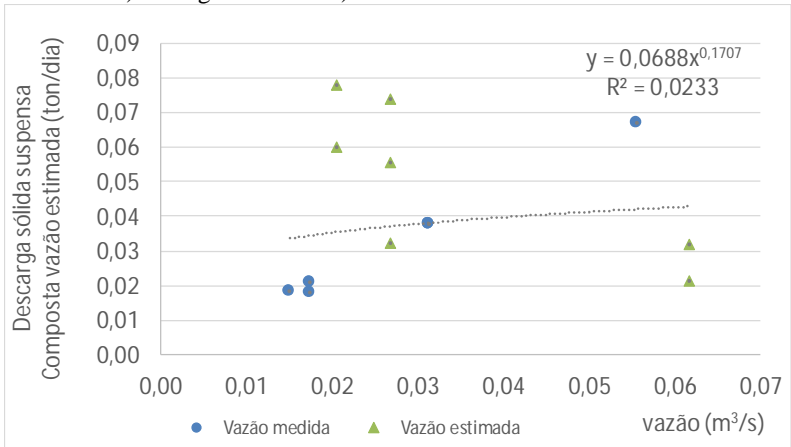
(a)



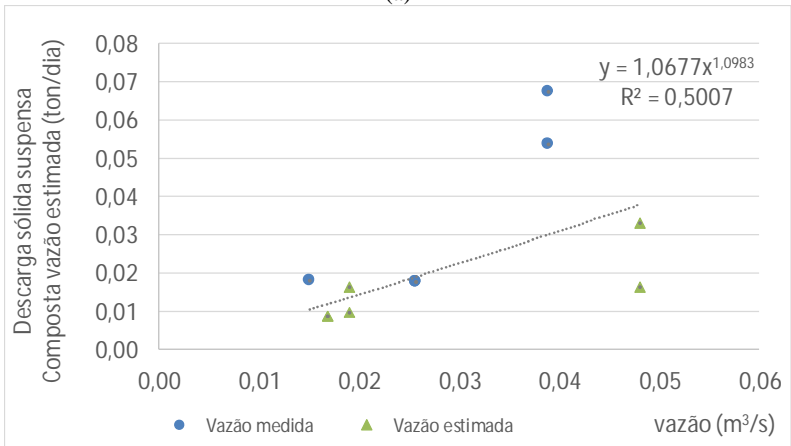
(b)

Fonte: Da Autora (2018).

Figura 5.21- Curva-chave “Descarga sólida suspensa Composta Vazão Estimada”: a) Córrego Grande e b) Ana D’Ávila.



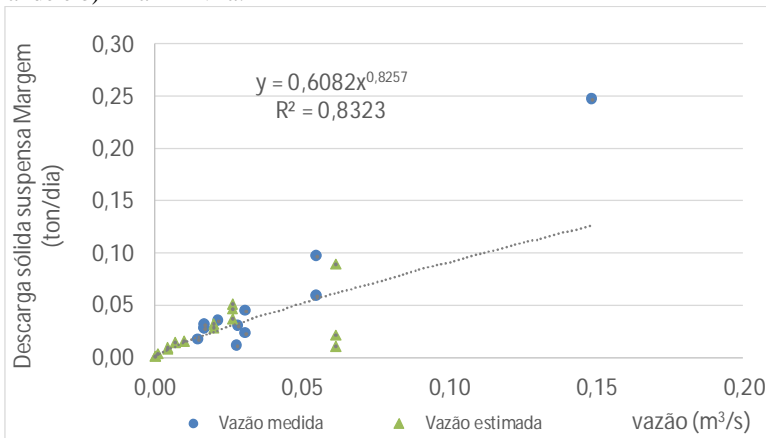
(a)



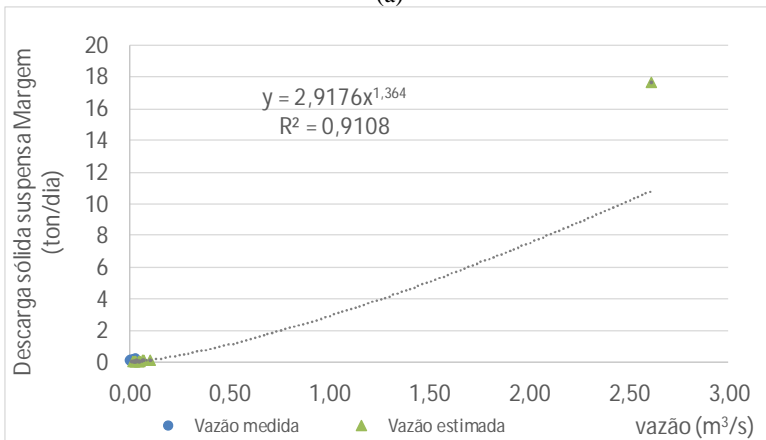
(b)

Fonte: Da Autora (2018).

Figura 5.22- Curva-chave “Descarga sólida suspensa Margem”: a) Córrego Grande e b) Ana D’Ávila.



(a)

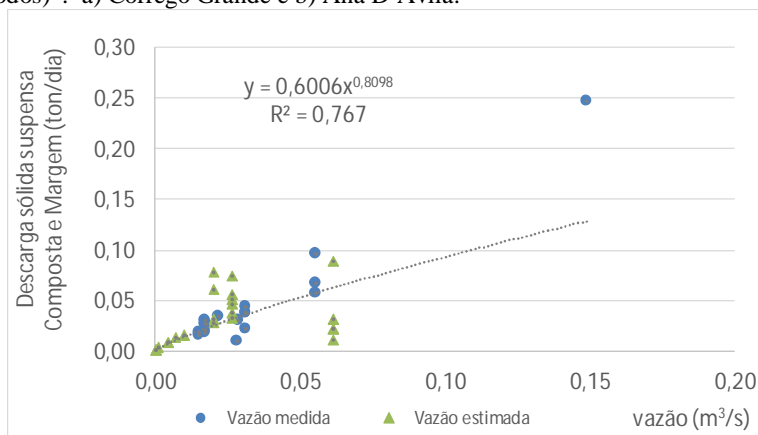


(b)

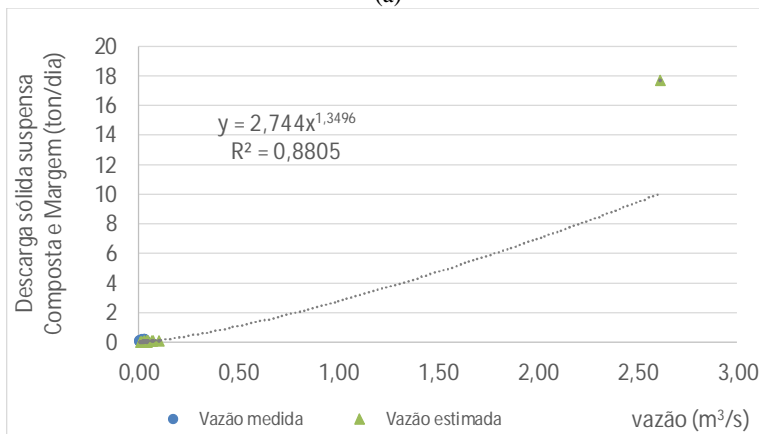
Fonte: Da Autora (2018).



Figura 5.23- Curva-chave “Descarga sólida suspensa Composta e Margem (todos)”: a) Córrego Grande e b) Ana D’Ávila.



(a)



(b)

Fonte: Da Autora (2018).

As curva-chaves “Descarga sólida suspensa Composta” das estações Córrego Grande e Ana D’Ávila apresentam os maiores valores do coeficiente  $a$ , respectivamente, 1,391 e 4,437. Altos valores do coeficiente  $a$  indicam materiais que podem ser facilmente transportados (ASSELMAN, 2000). Portanto, o rio Ana D’Ávila apresenta maior disponibilidade de material suspenso para o transporte.

As curva-chaves “Descarga sólida suspensa Composta” das estações Córrego Grande e Ana D’Ávila apresentam os maiores valores do coeficiente  $b$ , respectivamente, 1,045 e 1,396. Altos valores do

coeficiente  $b$  são indicativos de rios onde um pequeno aumento na descarga líquida resulta em um forte aumento no poder erosivo do rio (ASSELMAN, 2000; PETERS-KÜMMERLY, 1973). Portanto, o rio Ana D'Ávila apresenta maior poder erosivo.

As curvas-chaves de sedimentos “Descarga sólida suspensa Composta” das estações Córrego Grande e Ana D'Ávila foram elaboradas com 6 e 5 amostras, respectivamente. As demais curvas-chaves de sedimentos das estações foram elaboradas com 11 a 40 amostras. Segundo Horowitz (2015) é possível obter estimativas de fluxos suspensos anuais razoavelmente precisos (dentro de  $\pm 20\%$ ) recolhendo apenas 10 a 12 amostras de sedimentos suspensas por ano, para bacias com área superior a 900 km<sup>2</sup>.

Harmel (2006) realizou estudo para bacias pequenas sobre a incerteza acumulativa de quatro etapas do processo: medição de vazão, coleta de amostra, preservação da amostra e análise laboratorial. E a certeza acumulada em cenários típicos para a concentração de sólidos suspensos é de +/- 7% a 53%. Os valores dos coeficientes de Diferença (Di), para as duas estações, encontram-se na nesta faixa, sendo os menores valores das curva-chaves de sedimentos com amostragem Composta.

A curva-chave de sedimentos “Descarga sólida suspensa Composta” elaborada para a estação Córrego Grande apresenta coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,99 e coeficiente de Diferença da curva-chave (Di) de -0,06 %. Os coeficientes demonstram que ocorreu um bom ajuste da curva com os pares de pontos (Figura 5.21).

A curva-chave de sedimentos “Descarga sólida suspensa Composta vazão estimada” elaborada para a estação Córrego Grande apresenta coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,02 e coeficiente de Diferença da curva-chave (Di) de -11,80 %. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) é quase zero indicando que a curva-chave não é adequada. Neste caso tem dispersão dos pares de pontos gerando uma curva quase horizontal (Figura 5.24). Os pontos dispersos são os que a vazão foi estimada pela curva-chave cota x vazão. O coeficiente de Diferença da curva-chave (Di) informa que a curva-chave subestima o fluxo de sedimentos em 11,80 %.

A curva-chave de sedimentos “Descarga sólida suspensa Margem” elaborada para a estação Córrego Grande apresenta coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,83 e coeficiente de Diferença da curva-chave (Di) de -15,50 %. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) demonstra um bom ajuste da curva com os pares de pontos (Figura ). O coeficiente de

Diferença da curva-chave (Di) informa que a curva-chave subestima o fluxo de sedimentos em 15,50 %.

A curva-chave de sedimentos “Descarga sólida suspensa Composta e Margem (todos)” elaborada para a estação Córrego Grande apresenta coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,77 e coeficiente de Diferença da curva-chave (Di) de -13,27 %. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) demonstra um bom ajuste da curva com os pares de pontos (Figura 5.20). O coeficiente de Diferença da curva-chave (Di) informa que a curva-chave subestima o fluxo de sedimentos em 13,27 %.

A curva-chave de sedimentos “Descarga sólida suspensa Composta” elaborada para a estação Ana D’Ávila apresenta coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,67 e coeficiente de Diferença da curva-chave (Di) de -7,43 %. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) demonstra um razoável ajuste da curva com os pares de pontos (Figura 5.20). O coeficiente de Diferença da curva-chave (Di) informa que a curva-chave subestima o fluxo de sedimentos em 7,43 %.

A curva-chave de sedimentos “Descarga sólida suspensa Composta vazão estimada” elaborada para a estação Ana D’Ávila apresenta coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,50 e coeficiente de Diferença da curva-chave (Di) de -11,66 %. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) é baixo (Figura 5.24). Os pares de pontos utilizados com a vazão estimada pela curva-chave cotaxvazão alteram a tendência da curva-chave de sedimentos, subestimando os valores de descarga sólida suspensa em 11,66 %, de acordo com o valor do coeficiente de Diferença (Di).

A curva-chave de sedimentos “Descarga sólida suspensa Margem” elaborada para a estação Ana D’Ávila apresenta coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,91 e coeficiente de Diferença da curva-chave (Di) de -36,91 %. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) demonstra um bom ajuste da curva com os pares de pontos (Figura 5.25). O coeficiente de Diferença da curva-chave (Di) informa que a curva-chave subestima o fluxo de sedimentos em 36,91 %. Esse valor (36,91%) pode ser devido a distribuição dos pares de pontos da curva, pois acontece concentração de 16 pares de pontos no trecho inferior e somente um ponto no trecho superior, fazendo com a tendência da curva seja direcionada pelos pontos do trecho inferior, se afastando do ponto superior.

A curva-chave de sedimentos “Descarga sólida suspensa Composta e Margem (todos)” elaborada para a estação Ana D’Ávila apresenta coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,88 e coeficiente de Diferença da curva-chave (Di) de -40,75 %. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) demonstra um bom ajuste da curva com os pares de

pontos (Figura 5.23). O coeficiente de Diferença da curva-chave (Di) informa que a curva-chave subestima o fluxo de sedimentos em 40,75 %. Esse valor (40,75%) pode ser devido a distribuição dos pares de pontos da curva, pois acontece concentração de 27 pares de pontos no trecho inferior e somente um ponto no trecho superior, fazendo com a tendência da curva seja direcionada pelos pontos do trecho inferior, se afastando do ponto superior.

O programa de amostragem utilizado no trabalho foi baseado em calendário e segundo Horowitz (2015) necessitam de 12 amostras por ano. As curvas-chaves de sedimentos Composta das estações Córrego Grande e Ana D'Ávila foram elaboradas com 6 e 5 amostras, respectivamente. E as curvas-chaves de sedimentos Margem das estações foram elaboradas com 27 e 17 amostras, respectivamente. Os fluxos de sedimentos estimados pelas curvas-chaves de sedimentos Margem das estações subestimam os valores, quando comparados com os valores das curvas-chaves de sedimentos Composta. Considerando o estudo de Horowitz (2015) as curvas-chaves de sedimentos Composta deveriam ser elaboradas com mais amostras, já que foram realizadas com amostragem de calendário. Pois, o programa de amostragem Composta calendário talvez não represente com precisão o fluxo de sedimentos dos rios estudados. E as curvas-chaves de sedimentos Margem das estações foram elaboradas com quantidades de amostras superior ao recomendado para amostragem calendário, indicando confiabilidade na estimativa dos fluxos de sedimentos dos rios estudados. Horowitz (2015) entende que o tamanho da bacia e o volume da vazão influenciam na precisão dos valores amostrados pelos programas aleatório e calendário, indicando ser mais adequado o monitoramento baseado na amostragem em hidrologia (por evento) para bacias pequenas.

#### **4.4.3. Estimativa da produção de sedimentos dos rios Córrego Grande e Ana D'Ávila**

As quatro curvas-chaves de sedimentos foram aplicadas nas séries de descarga sólida suspensa (5 minutos) das estações Córrego Grande e Ana D'Ávila.

A Tabela 5.9 apresenta o resumo estatístico das series de descarga sólida suspensa estimadas pelas quatro curvas-chaves de sedimentos para as estações Córrego Grande e Ana D'Ávila.

Tabela 5.9 – Informações Estatísticas das series de descarga sólida suspensa

<b>Informações Estatísticas</b>	<b>Composta</b>	<b>Composta Vazão estimada</b>	<b>Margem</b>	<b>Composta e Margem (todas)</b>
<b>Córrego Grande</b>				
(2016-09-20T12:30:00 a 2018-02-02T00:20:00: 500 dias)				
Média (ton/dia)	0,092	0,037	0,056	0,056
Média (ton/ano)	33,660	13,394	20,269	20,613
Média (t/km <sup>2</sup> .ano)	7,200	2,865	4,336	4,409
Mediana (ton/dia)	0,031	0,037	0,030	0,032
Desvio padrão	0,454	0,010	0,144	0,140
Coefficiente de variação	4,922	0,269	2,596	2,472
Máximo (ton/dia)	18,905	0,105	4,781	4,538
<b>Ana D'Ávila</b>				
(2016-08-31T13:20:00 a 2018-02-02T00:20:00: 521 dias)				
Média (ton/dia)	0,165	0,051	0,110	0,104
Média (ton/ano)	60,309	18,655	40,011	37,832
Média (t/km <sup>2</sup> .ano)	18,287	5,656	12,132	11,471
Mediana (ton/dia)	0,034	0,023	0,025	0,025
Desvio padrão	2,056	0,292	1,274	1,167
Coefficiente de variação	12,443	5,718	11,626	11,261
Máximo (ton/dia)	115,559	13,880	70,540	64,149

Fonte: Da Autora (2018).

As quatro séries de descarga sólida suspensa (5 minutos) da estação Córrego Grande estão apresentadas no box plot da Figura 5.24. A série que apresenta menor variabilidade nos dados e menor valor máximo é a gerada pela curva-chave “Descarga sólida suspensa Composta vazão estimada”. As séries geradas pelas curvas-chaves “Descarga sólida suspensa Margem” e “Descarga sólida suspensa Composta e Margem (todos)” apresentam variabilidade e valor máximo semelhantes. E a série gerada pela curva-chave “Descarga sólida suspensa Composta” é a que apresenta maior variabilidade nos dados e o maior valor máximo. As medianas das séries geradas pelas curvas-chaves “Descarga sólida suspensa Composta”, “Descarga sólida suspensa Margem” e “Descarga sólida suspensa Composta e Margem (todos)” são semelhantes. A

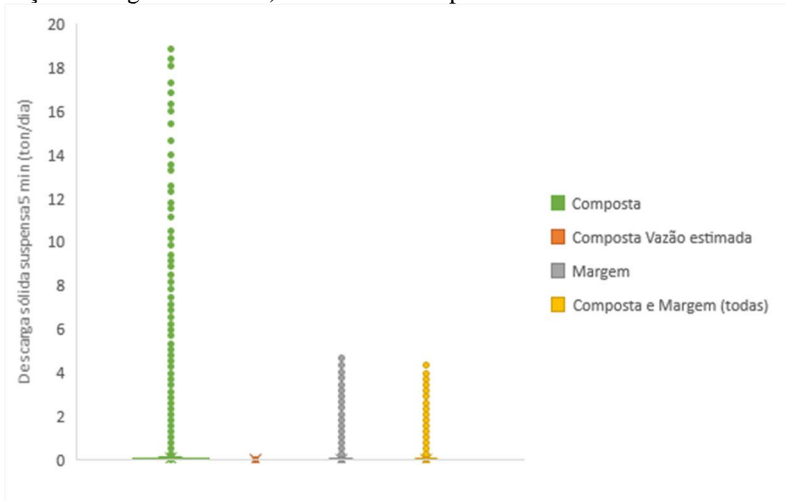
mediana da série da curva-chave “Descarga sólida suspensa Composta vazão estimada” é superior às demais.

As quatro séries de descarga sólida suspensa (5 minutos) da estação Ana D’Ávila estão apresentadas no box plot da Figura 5.25. A série que apresenta menor variabilidade nos dados e menor valor máximo é a gerada pela curva-chave “Descarga sólida suspensa Composta vazão estimada”. As séries geradas pelas curvas-chaves “Descarga sólida suspensa Margem” e “Descarga sólida suspensa Composta e Margem (todos)” apresentam variabilidade e valor máximo semelhantes.

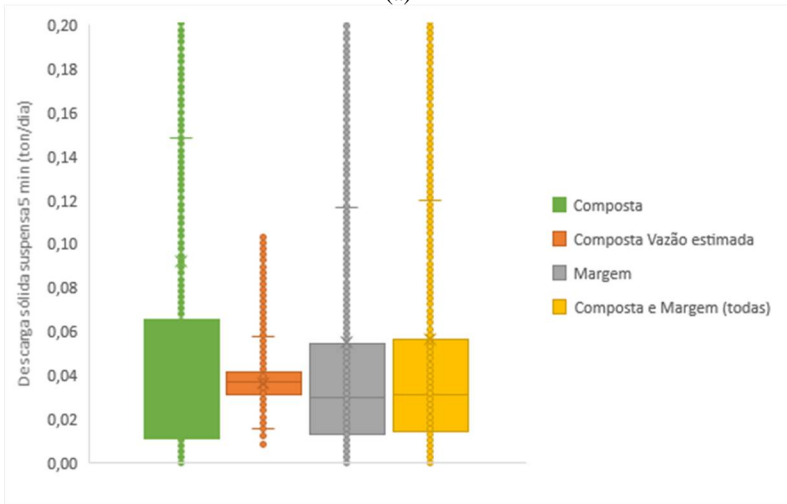
E a série gerada pela curva-chave “Descarga sólida suspensa Composta” é a que apresenta maior variabilidade nos dados e o maior valor máximo. As medianas das séries geradas pelas curvas-chaves “Descarga sólida suspensa Composta vazão estimada”, “Descarga sólida suspensa Margem” e “Descarga sólida suspensa Composta e Margem (todos)” são semelhantes. A mediana da série da curva-chave “Descarga sólida suspensa Composta” é superior às demais.

Nas Figura 5.24 e Figura 5.25 é possível observar que as curvas-chaves “Descarga sólida suspensa Composta vazão estimada”, “Descarga sólida suspensa Margem” e “Descarga sólida suspensa Composta e Margem (todos)” subestimam os valores de descarga sólida suspensa das estações, quando comparados com os valores da curva-chave “Descarga sólida suspensa Composta”. Segundo Asselman (2000) o uso da curva-chave de sedimentos subestima o fluxo de sedimentos entre 10 e 50%. Portanto, foram escolhidas as curvas-chaves “Descarga sólida suspensa Composta” das estações para comparação da produção de sedimentos das bacias, por apresentarem maior variabilidade dos dados e maior valor máximo.

Figura 5.24 - a) Box plot da série de 5 minutos da Descarga sólida suspensa da estação Córrego Grande e b) Detalhe do Box plot.



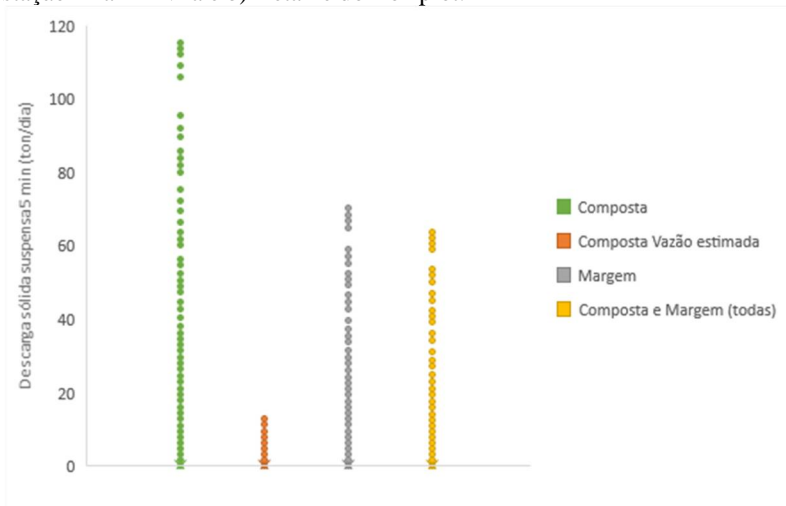
(a)



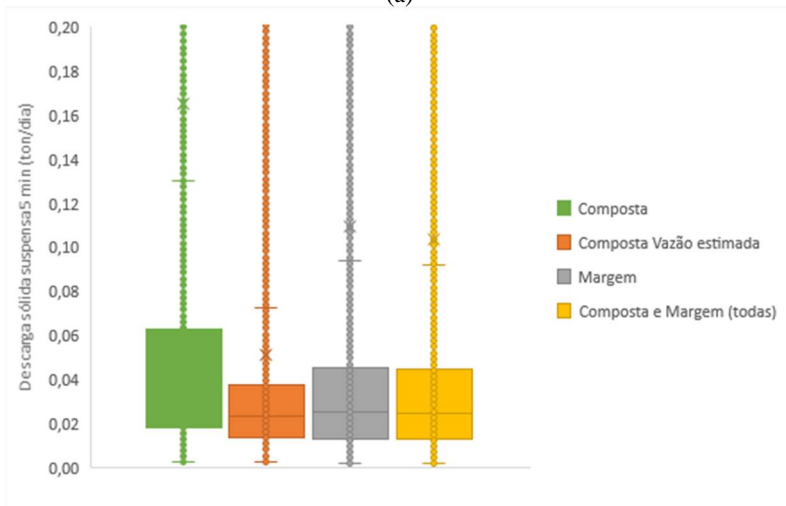
(b)

Fonte: Da Autora (2018).

Figura 5.25 - a) Box plot da série de 5 minutos da Descarga sólida suspensa da estação Ana D'Ávila e b) Detalhe do Box plot.



(a)



(b)

Fonte: Da Autora (2018).



## 5.5. COMPARAÇÃO DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS CÓRREGO GRANDE E ANA D'ÁVILA

Para a análise do fluxo médio de sólidos suspensos, de cada estação, foi calculada a descarga de sólidos suspensos média para as quatro séries e, depois foram convertidos em descarga de sedimento em suspensão específica. Foi utilizada para análise do fluxo de sedimento em suspensão de cada estação a classificação adaptada de Carvalho et.al. (2000). A estação Córrego Grande apresentou valores de fluxo de sedimento em suspensão específico variando de 2,9 a 7,2  $\text{ton.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ , valores estes classificados como baixo potencial de produção de sedimentos (inferior a 70  $\text{ton.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ ). A estação Ana D'Ávila apresentou valores de fluxo de sedimento em suspensão específico variando de 5,7 a 18,3  $\text{ton.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ , valores estes classificados como baixo potencial de produção de sedimentos. Ao comparar os valores de descarga sólida suspensa específico das duas estações verifica-se que a estação Ana D'Ávila apresenta maior potencial de produção de sedimentos em suspensão (Tabela 5.10).

Para comparação da descarga sólida suspensa média das estações com outros estudos foram selecionadas as séries geradas pelas curvas-chaves de sedimentos “Descarga sólida suspensa Composta”, pois é baseada na metodologia tradicional de amostragem e por apresentaram os maiores valores. Essa escolha se baseou na hipótese que a curva-chave de sedimentos subestima os valores de descarga sólida (WALLING, 1988; ASSELMAN, 2000). A descarga sólida suspensa média específica para o período de 500 dias resultou em 7,20  $\text{ton.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$  para a estação Córrego Grande. E para a estação Ana D'Ávila a descarga sólida suspensa média específica para o período de 521 dias resultou em 18,29  $\text{ton.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ . Valores inferiores aos valores encontrados por Poletto (2012) na bacia Mãe d'Água, com área de 0,83  $\text{km}^2$  e predominantemente residencial. Obteve valores de 47,72  $\text{ton.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$  e 51,06  $\text{ton.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ , no período de dois anos. Segundo Ellis (1996) áreas com uso do solo urbano apresentam valores medianos de 20  $\text{ton.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$  a 86,5  $\text{ton.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ . Silva Jr (2011) obteve valores de 910  $\text{ton.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$  e 1091  $\text{ton.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ , em dois anos, no riacho Mimoso, entretanto localizado no semiárido. E obteve, na análise bianual, valores de descargas de sedimentos suspensos máximos de 908,2  $\text{ton.dia}^{-1}$  e 954,4  $\text{ton.dia}^{-1}$ . Valores superiores aos encontrados nos rios Córrego Grande (18,9  $\text{ton.dia}^{-1}$ ) e Ana D'Ávila (115,6  $\text{ton.dia}^{-1}$ ), segundo a amostragem Composta.

Na Tabela 5.10 é apresentado o tipo do uso do solo das duas sub-bacias. A sub-bacia do rio Ana D´ávila apresenta cerca de 9% de sua área urbanizada, enquanto que a sub-bacia do rio Córrego Grande apresenta cerca de 14% de urbanização em sua área.

A produção de sedimentos é maior na bacia do rio Ana D´ávila quando comparada com a bacia do rio Córrego Grande. O valor da descarga sólida suspensa média específica do rio Ana D´ávila é 2,54 vezes superior ao valor do rio Córrego Grande, apesar desta possuir maior área urbanizada. Entretanto, vale destacar que o valor da declividade média da bacia do Ana D´ávila é superior ao da bacia do Córrego Grande. E quanto maior a declividade mais susceptibilidade para a erosão dos solos e menor a chance de infiltração do escoamento na bacia. Além disso a bacia do Ana D´ávila apresentou, no período do monitoramento, vazão média mensal superior ao da bacia do Córrego Grande. Desta forma, uma justificativa é que a declividade média e a vazão teriam influência maior na produção de sedimentos na bacia do rio Ana D´ávila do que o uso do solo.

Tabela 5.10 – Características para comparação das bacias.

Características		Córrego Grande	Ana D´Ávila
Uso do solo (%)	Urbano	13,7	8,7
	Vegetação arbórea/rasteira/gramado	86,3	91,3
Área de Drenagem (km <sup>2</sup> )		4,675	3,298
Declividade Média (m/m)		0,135	0,168
Vazão média mensal (m <sup>3</sup> /s)		0,06	0,08
Descarga sólida suspensa específica média (t/km <sup>2</sup> .ano)		7,20	18,29

Fonte: Da Autora (2018).

O trabalho de Prochmann (2014) constata que embora a bacia hidrográfica do rio Córrego Grande possua uma urbanização acentuada, existe uma área expressiva de floresta preservada, o que se deve ao fato de que grande parte da bacia hidrográfica se encontra em área de preservação permanente conforme as legislações vigentes. A região mais suscetível às inundações encontra-se na região norte da bacia, próximo do exutório. Em sua pesquisa realizou a análise espacial de susceptibilidade às inundações da bacia hidrográfica do Córrego Grande e calculou os

pesos para as variáveis declividade, uso e ocupação do solo, altitude e tipo de solos. E a variável que apresentou maior peso foi a declividade com importância de 56%, em relação as demais variáveis.

A declividade, segundo Linsley Jr. et al. (1975), é um dos principais fatores que influenciam o escoamento superficial em bacias pequenas. A declividade acentuada afeta o tempo em que a água da chuva leva para concentrar-se nos leitos fluviais que constituem a rede de drenagem da bacia, o que resulta em um aumento dos picos de enchente devido à alta velocidade do escoamento.

De acordo com os valores de uso do solo (área urbanizada e com vegetação) e área de drenagem das bacias apresentados na Tabela 5.10 se observa que estes não são fatores representativos para estimar a produção de sedimentos. E o que indica para justificar a maior produção de sedimentos na bacia do rio Ana D'ávila são a declividade e a vazão, pois são superiores aos valores da bacia do rio Córrego Grande.

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Conclusões do objetivo avaliação do erro de uma metodologia de amostragem de sedimentos simplificada comparada com o método da medição composta:

- Os valores de concentração de sedimentos suspensos da Margem subestimam em média 15% os valores amostrados pelo método Composta para a estação Córrego Grande. Comparação realizada com 13 amostras e com variação do erro de -59% a 50%.

- Os valores de concentração de sedimentos suspensos da Margem superestimam em média 12% os valores amostrados pelo método Composta para a estação Ana D'Ávila. Comparação realizada com 7 amostras e com variação do erro de -50% a 100%.

- Os valores de sólidos suspensos amostrados pelo método Composto, nos rios Córrego Grande e Ana D'Ávila, foram realizados em período de vazão baixa e são inferiores ao valor médio da medição amostrada na bacia Alto da Colina.

- Os valores de sólidos suspensos amostrados pelo método Margem, nos rios Córrego Grande e Ana D'Ávila, foram realizados em período de vazão baixa e a maior parte dos valores são semelhantes ao valor médio da medição amostrada na bacia Alto da Colina.

Conclusão do objetivo estimativa e comparação da produção de sedimentos com o uso de vazão medida e vazão estimada:

- As curvas-chaves elaboradas (“Descarga sólida suspensa Composta vazão estimada”, “Descarga sólida suspensa Margem” e “Descarga sólida suspensa Composta e Margem (todos)”) com a vazão estimada pela curva-chave cotaxvazão subestimam os valores de descarga sólida suspensa das estações, quando comparados com os valores da curva-chave “Descarga sólida suspensa Composta”.

Conclusões do objetivo comparação da produção de sedimentos estimada por curva-chave das duas bacias hidrográficas:

- As curvas-chaves mais indicadas para as estações do Córrego Grande e Ana D'Ávila são as curvas “Descarga sólida suspensa Composta”, ou seja, com a amostragem Composta.

- As estações Córrego Grande e Ana D'Ávila apresentam valores de fluxo de sedimento em suspensão específico médio de 7,2 e 18,3  $\text{ton.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$  (curva-chave “Descarga sólida suspensa Composta”), respectivamente, valores estes classificados como baixo potencial de produção de sedimentos (inferior a  $70 \text{ ton.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ ).

- A sub-bacia do rio Ana D'Ávila apresenta cerca de 9% de sua área urbanizada, enquanto que a sub-bacia do rio Córrego Grande apresenta cerca de 14% de urbanização em sua área. Ao comparar os valores de descarga sólida suspensa específico das duas estações verifica-se que a estação Ana D'Ávila apresenta maior potencial de produção de sedimentos em suspensão. Desta forma, uma justificativa é que a declividade média e a vazão teriam influência maior na produção de sedimentos na bacia do rio Ana D'Ávila do que o uso do solo.

- Se observa preliminarmente que o uso do solo e o tamanho da área de drenagem não são fatores representativos para estimar a produção de sedimentos.

## 6.1. RECOMENDAÇÕES GERAIS

- A sugestão para as curvas-chaves de sedimentos “Descarga sólida suspensa Composta”, considerando que o programa de amostragem foi de calendário, é realizar mais amostragens (até 12) em cada estação, em níveis de água mais elevados, para que a curva apresente resultados mais representativos e confiáveis.

- A sugestão é avaliar o uso da vazão estimada pela curva-chave cota x vazão e amostragens de sólidos suspensos Composta na elaboração de curva-chave de sedimentos, desde que a quantidade de amostra Composta e vazão medida seja superior a quantidade de amostra Composta e vazão estimada. Ou seja, que a proporção “amostra Composta e vazão medida com a amostra Composta e vazão estimada” seja superior a 50% e com um total de amostras de no mínimo 12, se o programa de amostragem for calendário.

- Verificar os resultados da produção de sedimentos com a série de vazão gerada pela curva-chave cota x vazão com extrapolação de Manning.

- Verificar os resultados da produção de sedimentos com as curvas chaves de sedimentos elaboradas por equação do tipo polinomial.

- Verificar os resultados da produção de sedimentos para a estação Ana D'Ávila desconsiderando a medição realizada em janeiro de 2018.

- Realizar mais amostragens com variação do nível d'água, ou seja, no período do evento hidrológico.
- Realizar granulometria dos sedimentos dos rios.

## 7. REFERÊNCIAS

ALMEIDA FILHO, G.S. Processos erosivos urbanos (p. 40-63). *In: Ambiente e Sedimentos*. POLETO, C. (Org.). Porto Alegre: ABRH, 2008, 404p.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Orientações para Operação de Estações Hidrométricas**. Brasília, DF. Versão junho de 2012. Disponível em <http://arquivos.ana.gov.br>. Acesso em 05/07/2018.

APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater, 21sted. Washington, DC, New York: **American Public Health Association**; 2005.

ASSELMAN, N.E.M. Fitting and interpretation of sediment rating curves. **Journal of Hydrology**, v. 234, n. 3, p. 228-248, 2000.

BARBOUR, M.T.; GERRTSEN, J.; SNYDER, B.D.; STRIBLING, J. B. 1999. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Stream and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish. Second edition. EPA 841-B-99-002. U.S. **Environmental Protection Agency**; Office of Water; Washington, D.C.

BARTEL, G.K.; TERRA, V.S.S.; COLARES, G.L. Estimativa da concentração de sedimentos em suspensão com o uso de sensor ótico de turbidez na bacia do Arroio do Ouro no rio grande do sul. **Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos**, v. 11, 2014.

BARTELLI, G. Estudo do transporte de sedimentos em suspensão na bacia hidrográfica do Arroio Garapiá–Maquiné–RS. **Trabalho de Conclusão de Curso**, 2013.

BELLINASSO, T.B.; PAIVA, J.B.D. Avaliação da produção de sedimentos em eventos chuvosos em uma pequena bacia hidrográfica semi-urbana de encosta. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 12, n. 4, p. 169-181, 2007.

BELLÓ, S.L.; PAIVA, J.B.D. Características hidrosedimentométricas de duas pequenas áreas em fases distintas de urbanização em uma pequena

bacia de encosta. In: **Congreso latinoamericano de hidráulica**, São Pedro, 21, 2004.

BOARDMAN, J. Soil erosion science: Reflections on the limitations of current approaches. **Catena**, v. 68, n. 2-3, p. 73-86, 2006.

BRANCO, N.; PAIVA, J.B.D.; PAIVA, E.M.C.D. Produção de sedimentos da bacia hidrográfica do Arroio Vacacaí Mirim – Avaliação Preliminar. In: **Congreso Nacional del Agua**, 17, Simposio de Recursos Hidricos del Conosur, 2, 1998, Santa Fé, Argentina. Anais. Santa Fé, 1998, v.3, p.444-451.

BRASIL, J.; SANTOS, J. D.; PALÁCIO, H. D. Q.; RIBEIRO FILHO, J. C.; PINHEIRO, A. Calibração de turbidímetro para estimativa da concentração de sedimento em suspensão na bacia experimental de Iguatu-CE. **Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos**, v. 11, 2014.

BUENO, L.S.; LAPOLLI, E.M.; LAPOLLI, F.R. Estudo em áreas de ocupação urbana com fatores de risco: o caso do bairro Córrego Grande - Florianópolis - SC. **Anais do XXVIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental**, México, 2002.

CABRAL, S.L.; REIS, R.S.; JÚNIOR, C.R.F. Avaliação do efeito da urbanização na produção de sedimentos da bacia do rio Jacarecica/AL mediante uso de modelo hidrossedimentológico distribuído. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 4, p. 1073-1080, 2013.

CARDOSO, A. T. Estudo hidrossedimentológico em três bacias embutidas no município de Rio Negrinho-SC. **Dissertação** (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2013.

CARVALHO, K.S.; PARANHOS, R. M.; PAIVA, JBD. Limitações ao uso da relação entre turbidez e concentração de sedimento em suspensão em duas pequenas bacias em Santa Maria, RS. In: **XXI Congresso Latinoamericano de Hidráulica**. Anais. São Pedro, SP. 2004.



CARVALHO, N.O.; FILIZOLA JÚNIOR, N.P.; SANTOS, P.M.C.; LIMA, J.E.F.W. **Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios**. Brasília: ANEEL. 2000. 140p.

CARVALHO, N.O. **Hidrossedimentologia prática**. 2ª ed., rev., atual e ampliada. Rio de Janeiro: Interciência, 2008, 599p.

CORSEUIL, C.W.; LAZAROTE, L.M.; SILVA, R.V.; KOBİYAMA, M. Estimativa espacial de evapotranspiração potencial da bacia do itacorubi, por meio de correlação com NDVI. **Anais do VIII Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal**, p.172-180, Curitiba 2008.

DE ALMEIDA MOTA, A.; KOBİYAMA, M. Reconsiderações sobre a Fórmula de Kirpich para o cálculo de tempo de concentração. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**: volume. 20 - nº. 1 - jan/mar/2015.

DE LUCA, S.J.; MILANO, L.B.; IDE, C.N. Rain and urban stormwater quality. **Wat. Sci. Tech.** Kyoto, v.23, pp.133-140, 1991.

DE MELO, R.O.; CANTALICE, J.R.B.; ARAÚJO, A.M.; CUNHA, M. Produção de sedimento suspenso de uma típica bacia hidrográfica semi-árida. 2008.

DE MIRANDA BENINI, R.; MENDIONDO, E.M. Urbanização e impactos no ciclo hidrológico na bacia do Mineirinho. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 2, p. 211-222, 2015.

DE VENTE, J.; POESEN, J. Predicting soil erosion and sediment yield at the basin scale: scale issues and semi-quantitative models. **Earth-science reviews**, v. 71, n. 1-2, p. 95-125, 2005.

DE VENTE, J.; POESEN, J.; ARABKHEDRI, M.; VERSTRAETEN, G. The sediment delivery problem revisited. **Progress in Physical Geography**, v. 31, n. 2, p. 155-178, 2007.

DEPINÉ, H.; PINHEIRO, A.; KAUFMANN, V.; SILVA, M. Transporte de sedimentos em suspensão em áreas agrícolas em diferentes escalas

espaciais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16, n. 1, p. 97-104, 2011.

DIDONÉ, E.J.; MINELLA, J.P.G.; MERTEN, G.H. Quantifying soil erosion and sediment yield in a catchment in southern Brazil and implications for land conservation. **Journal of soils and sediments**, v. 15, n. 11, p. 2334-2346, 2015.

DUVERT, C. et al. Towards prediction of suspended sediment yield from peak discharge in small erodible mountainous catchments (0.45–22km<sup>2</sup>) of France, Mexico and Spain. **Journal of hydrology**, v. 454, p. 42-55, 2012.

ELLIS, J.B. Sediment yield and BMP control strategies in urban catchments. **IAHS Publications-Series of Proceedings and Reports-Intern Assoc Hydrological Sciences**, v. 236, p. 555-564, 1996.

EPAGRI/CIRAM. **Estação meteorológica de Florianópolis - Série histórica de dados de precipitação pluviométrica.**

FLETCHER, T.D.; VIETZ, G.; WALSH, C.J. Protection of stream ecosystems from urban stormwater runoff: the multiple benefits of an ecohydrological approach. **Progress in Physical Geography**, v. 38, n. 5, p. 543-555, 2014.

GALLINA, E.B. Elaboração e Extrapolação das Curvas Cota Vazão nas Estações Fluviométricas do Córrego Grande e Ana D'ávila. **Trabalho de conclusão de curso.** Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, 2017.

GIL, G.S.R.; PEREIRA, M.F.R.; ALCÂNTARA, V.C.; GALVANE, J.V.; BARRETO, A.V.; GRACIOLI, G.; KAZUE, P.U.; POMPÊO, C.A. Sistema de Monitoramento Hidrológico com Telemetria em uma Pequena Bacia Urbana. In: **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 22., 2017, Florianópolis. Anais: ABRH, 2017.

GOMES, L.A.; CHAUDHRY, F.H. Aspectos qualitativos das águas pluviais urbanas. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 11, 1979, Fortaleza.

HAAN, C.T., BARFIELD, B.J.; HAYES, J.C. Design Hydrology and Sedimentology for Small Catchments. **Elsevier**, 1994.

HAMEL, P.; FLETCHER, T.D. Modelling the impact of stormwater source control infiltration techniques on catchment baseflow. **Hydrological processes**, v. 28, n. 24, p. 5817-5831, 2014.

HARMEL, R. D. et al. Cumulative uncertainty in measured streamflow and water quality data for small watersheds. **Transactions of the ASABE**, v. 49, n. 3, p. 689-701, 2006.

HARMEL, R.D.; SMITH, P.K. Consideration of measurement uncertainty in the evaluation of goodness-of-fit in hydrologic and water quality modeling. **Journal of Hydrology**, v. 337, n. 3-4, p. 326-336, 2007.

HARMEL, R. D.; SLADE, R. M.; HANEY, R. L. Impact of Sampling Techniques on Measured Stormwater Quality Data for Small Streams All rights reserved. No part of this periodical may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording, or any information storage and retrieval system, without permission in writing from the publisher. **Journal of environmental quality**, v. 39, n. 5, p. 1734-1742, 2010.

HORN, J.F.C.; DA SILVEIRA, G.L. Monitoramento fluviométrico de duas bacias hidrográficas vizinhas: comparação de vazões em períodos concomitantes. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**: volume. 20 - nº. 3 - jul/set/2015.

HOROWITZ, A.J.; CLARKE, R.T.; MERTEN, G.H. The effects of sample scheduling and sample numbers on estimates of the annual fluxes of suspended sediment in fluvial systems. **Hydrological processes**, v. 29, n. 4, p. 531-543, 2015.

ILHA, R. Diagnostico Hidrossedimentológico da bacia do arroio Cadena - Santa Maria/RS. **Dissertação** (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, 2014.

KINNELL, P. I. A. Event soil loss, runoff and the Universal Soil Loss

Equation family of models: A review. **Journal of Hydrology**, v. 385, n. 1, p. 384-397, 2010.

LEE, H.; SWAMIKANNU, X.; RADULESCU, D.; KIM, S. J.; STENSTROM, M. K. Design of stormwater monitoring programs. **Water research**, v. 41, n. 18, p. 4186-4196, 2007.

LEECASTER, M.K.; SCHIFF, K.; TIEFENTHALER, L.L. Assessment of efficient sampling designs for urban stormwater monitoring. **Water research**, v. 36, n. 6, p. 1556-1564, 2002.

LEITE CHAVES, H.M. Relações de aporte de sedimento e implicações de sua utilização no pagamento por serviço ambiental em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, 2010.

LEPOT, M.; AUBIN, J.-B.; BERTRAND-KRAJEWSKI, Jean-Luc. Accuracy of different sensors for the estimation of pollutant concentrations (total suspended solids, total and dissolved chemical oxygen demand) in wastewater and stormwater. **Water Science and Technology**, v. 68, n. 2, p. 462-471, 2013.

LINSLEY JR, R.K.; KOHLER, M.A.; PAULHUS, J. LH. Hydrology for Engineers. 2 ed. New 124d124P: **McGraw-Hill**, 1975. (McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering).

MACHADO, A.T.G.M; LISBOA, A.H.; ALVES, C.B.M.; LOPES, D.A.; GOULART, E.M.A.; LEITE, F.A.; POLIGNANO, M.V. (orgs.) Revitalização de Rios no Mundo: América, Europa e Ásia. Belo Horizonte: **Instituto Guaicuy**, Projeto Manuelzão, 2010. 344p.

MACHADO, R.E.; VETTORAZZI, C.A. Simulação da produção de sedimentos para a microbacia hidrográfica do Ribeirão dos Marins (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, 2003.

MATOS, J.S.; DAVID, L.M.; PAVÃO, L. Qualidade de escorrências pluviais em zonas urbanas e impacte em meios receptores. **VIII Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. João Pessoa: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 2, p. 334-348, 1998

MCCARTHY, D.T. et al. Assessment of sampling strategies for estimation of site mean concentrations of stormwater pollutants. **Water research**, v. 129, p. 297-304, 2018.

MERRITT, W.S.; LETCHER, R.A.; JAKEMAN, A.J. A review of erosion and sediment transport models. **Environmental Modelling & Software**, v. 18, n. 8, p. 761-799, 2003.

MERTEN, G. H et al. **Determinação da concentração de sedimentos em suspensão em rios com o uso de turbidímetro**. CPRM e IPH-UFRGS, Porto Alegre, 2014.

MÉTADIER, M.; BERTRAND-KRAJEWSKI, J.-L. The use of long-term on-line turbidity measurements for the calculation of urban stormwater pollutant concentrations, loads, pollutographs and intra-event fluxes. **Water research**, v. 46, n. 20, p. 6836-6856, 2012.

MINATTI-FERREIRA, D. D.; BEAUMORD, A.C. Avaliação rápida de integridade ambiental das subbacias do rio Itajaí-Mirim no município de Brusque, SC. **Revista Saúde e Ambiente** 5(2):21-27. 2004.

MINELLA, J.P.G. Utilização de Técnicas Hidrossedimentométricas combinadas com a identificação de fontes de sedimentos para avaliar o efeito do uso e do manejo do solo nos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica rural no Rio Grande do Sul. **Tese de Doutorado**. Porto Alegre: IPH/UFRGS, PPG em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, 2007.

MINELLA, J.P.G.; MERTEN, G.H.; MAGNAGO, P.F. Análise qualitativa e quantitativa da histerese entre vazão e concentração de sedimentos durante eventos hidrológicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 15, n. 12, 2011.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H. Aplicação das características químicas e físicas dos sedimentos na modelagem dos processos de emissão de sedimentos em bacias hidrográficas (p. 343-83). In: **Qualidade dos sedimentos**. POLETO, C. e MERTEN, G. H. (org.). Porto Alegre: ABRH, 2006, 397p.

MONO, H. A. B. O Bairro Córrego Grande: Uma a análise espacial e o processo do Plano Diretor Participativo de Florianópolis. **Trabalho de conclusão de curso de geografia**, Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

MOSIMANN, R. Diatomáceas da Represa do Córrego Grande (Poção) Florianópolis, Santa Catarina, Brasil (ChrysophytaBacillariophyceae). **INSULA Revista de Botânica**, 12, mai. 2010.

NEARING, M.A. et al. Modeling response of soil erosion and runoff to changes in precipitation and cover. **Catena** 61, p. 131–154, 2005.

NEWSON, M. O., PITLICK J., SEAR O.A., Running water: fluvial geomorphology and river restoration.

OLD, G.H. et al. The impact of a convectional summer rainfall event on river flow and fine sediment transport in a highly urbanized catchment: Bradford, West Yorkshire. **Science of the Total Environment**, p. 495–512, 2003.

OLIVEIRA, C.R, Avaliação da biodegradação de pireno pela microbiota nativa em sedimento do manguezal do Itacorubi, Florianópolis, SC. **Dissertação** de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Química, UFSC, 56p., Florianópolis, 2006.

OLIVEIRA, F.H.; PINTO, J.F.; WOSNY, G.C; SANTO, M. A Utilização de geotecnologias para avaliação do risco ambiental da bacia hidrográfica do rio Itacorubi, Florianópolis/SC. **Anais do I Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais**, p. 212-223, Curitiba, 2004.

PAIVA, E.M.C.D.; PAIVA, J.B.D.; COSTAS, M.F.T.; SANTOS, F.A.D. Concentração de sedimentos em suspensão em uma pequena bacia hidrográfica em urbanização. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 21Feira Internacional de Tecnologias de Saneamento Ambiental, 4. ABES, 2001. p. 1-11.

PAIVA, E.M.C.D.; PAIVA, J.B.D.; PARANHOS, R.M. Produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas rurais. **IV Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos**, Caracterização quali-

quantitativa da produção de sedimentos. Santa Maria: ABRH/UFSM, 2001, v.1, p.35-51.

PAIVA, E.M.C.D.; COSTAS, M.F.T. Produção de Sedimento em Bacia Urbana. **V Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos**. São Paulo: ABRH, 2002. v. 1, p. 423-432.

PALMER, M.; BERNHAROT, E.; ALLAN, J. O.; LAKE, P.; ALEXANDER, G.; BROOKS, S.; CARR, J.; CLAYTON, S.; OAHM, C. N.; FOLLSTAD SHAH, J.; GALAT, O. L.; LOSS, S. G.; GOOWIN, P., HART, O.; HASSETT, B.; JENKINSON, R.; KONOOLF, G.; LAVE, R.; MEYER, J.; O'CONNELL, T.; PAGANO, L.; SUOOUTH, E. (2005), Standards for ecologically successful river restoration. **Journal of Applied Ecology**, 42: 208-217. doi: 10.1111/j.1365-2664.2005.01004.x.

PANDOLFO, C.; BRAGA, H. J.; SILVA JÚNIOR, V. P.; MASSIGNAM, A. M.; PEREIRA, E. S.; THOMÉ, V. M. R.; VIEIRA, V. **Atlas Climatológico do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2002, v.1000.

PELLEGRINI, A. et al. Calibração de turbidímetro para estimativa da concentração de sedimento em suspensão em uma pequena bacia hidrográfica. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. 2011.

PEREIRA, A.; ZANIN, V.C. Sistemas de Abastecimento de Água da Ilha de Santa Catarina - Mananciais da Ilha. **Pesquisa**: <https://www.casan.com.br/menu-conteudo/index/url/manancias-da-ilha#0>, 16/06/2018.

PEREIRA, E.P.P. Determinação da interferência da ocupação urbana na qualidade da água da bacia hidrográfica do Córrego Grande. **Projeto de Qualificação para Mestrado**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2016, 68p.

PEREIRA, M.A.; PAIVA, E.M.C. D.; PAIVA, J.B.D. Produção de Sedimentos em Diferentes Escalas Espaço-Temporais de Duas Pequenas

Bacias e um Lisímetro no Bioma Mata Atlântica. **RBRH: revista brasileira de recursos hídricos**, v. 17, n. 4, p. 49-64, out./dez. 2012.

PERROW, M.R.; Davy, A.J. (eds.). Handbook of Ecological Restoration: Principles of Restoration. **Cambridge University Press**, 2002, p.133 - 152.

PETERS-KÜMMERLY, B.E. Untersuchungen über Zusammensetzung und Transport von Schwebstoffen in einigen Schweizer Flüssen. **Geographica Helvetica**, v. 28, n. 3, p. 137-151, 1973.

PHILLIPS, B.M. Integrating Urban Design for Creek Restoration Projects. **Proceedings of the 26th Annual Water Resources Planning and Management Conference** (WRPMO'99 - Preparing for the 21st Century), Tempe, Arizona, JUL1e 6-9, 1999.

POLETO, C.; MARTINEZ, L.L. Garcia. Sedimentos urbanos: ambiente e água. **Holos Environment**, v. 11, n. 1, p. 01-15, 2011.

POLETO, C. Fluxos de Sedimentos em suspensão e metais em uma bacia urbana de cabeceira. **REGA-Revista de Gestão de Águas da América Latina**, v. 9, p. 1-14, 2012.

POLETO, C.; CASTILHOS, Z.C. Impacto por poluição difusa de sedimentos em bacias urbanas (p. 193-227). In : **Ambiente e Sedimentos**. POLETO, C. (Org.). Porto Alegre: ABRH, 2008, 404p.

POLETO, C.; MERTEN, G.H. Rede de monitoramento e coleta de amostras (p. 1-38). In: **Qualidade dos sedimentos**. POLETO, C. e MERTEN, G. H. (org.). Porto Alegre: ABRH, 2006, 397p.

POLETO, K. et al. Turbidimetry as an alternative method to determine the rating curve of suspended sediments. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 3, p. 598-606, 2011.

POMPÊO, C.A.; FINOTTI, A.R.; BONUMÁ, N.B.; CHAFFE, P.L.B. Hidrologia ambiental em cursos d'água urbanos – Bacia do Córrego Grande. **MCTI/CNPq N°14/2013**.

PROCHMANN, J.R. Análise espacial da susceptibilidade à inundações



na Bacia hidrográfica do Córrego Grande, Florianópolis-SC. **Trabalho de conclusão de curso**. Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

REICHERT, J.M.; BONUMÁ, N.B.; MERTEN, G.E.; MINELLA, J.P.G. Erosion by Water: Assessment and Control. In **Encyclopedia of Environmental Management**. Taylor and Francis: New York, Published online: 29 May 2013;963-973.

RESTREPO, J.D. et al. Factors controlling sediment yield in a major South American drainage basin: the Magdalena River, Colombia. **Journal of Hydrology**, v. 316, n. 1, p. 213-232, 2006.

RICHTER, B.O.; THOMAS, G.A. Restoring environmental flows by modifying dam operations. 2007.

RIGOTTI, J.A. Estudo da degradação em cursos d'água: Bacia hidrográfica do futuro campos da UFSC, Joinville. 2010. 264p. **Monografia** (conclusão de curso Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina.

SANTOS, C.C.O processo de urbanização da Bacia do Itacorubi: a influência da UFSC. **Dissertação** de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC, 56p., Florianópolis, 2006.

SARI, V.; PEREIRA, M.A.F.; CASTRO, N.M.D.R.; KOBİYAMA, M. Efeitos do tamanho da partícula e da concentração de sedimentos suspensos sobre a turbidez. **Engenharia Sanitária e ambiental**. Rio de Janeiro, RJ. Vol. 22, n. 2 (mar./abr. 2017), p. 213-219, 2017.

SARI, V.; CASTRO, N.M.R.; KOBİYAMA, M. Estimativa da concentração de sedimentos suspensos com sensores ópticos: Revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 4, p. 816-836, 2015.

SARI, V.; POLETO, C.; CASTRO, N.M.R. Caracterização dos processos hidrossedimentológicos em bacias rurais e urbanas. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, p. 596-624, 2013.

SCAPIN, J.; PAIVA, J.B.D.; BELING, F.A. Avaliação de métodos de cálculo do transporte de sedimentos em um pequeno rio urbano. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 12, n. 4, p. 05-21, 2007.

SCHWARZBOLO, A. O que é um rio? **Ciência & Ambiente**. Santa Maria - RS, 21, 57-68, Julho-Dezembro, 2000.

SEEGER, M. et al. Catchment soil moisture and rainfall characteristics as determinant factors for discharge/suspended sediment hysteretic loops in a small headwater catchment in the Spanish Pyrenees. **Journal of Hydrology**, v. 288, n. 3, p. 299-311, 2004.

SILVA, A.M.D.; SANTOS, A.R.D.; FERNANDES, R.A.; URBAN, R.C.; CARVALHO, R.M.; MANFRÉ, L.A.; DURRANT, S.F. Hydrosedimentological disequilibrium in a small, urbanized watershed. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 25, n. 2, p. 140-149, 2013.

SILVA JR, V.P.; MONTENEGRO, A. A.; SILVA, T. P.; GUERRA, S.; SANTOS, E. S. Produção de água e sedimentos em bacia representativa do semiárido pernambucano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 15, n. 10, 2011.

SIMÕES, S.J.C.; COIADO, E.M. Processos Erosivos (p. 283-294). In : **Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas**. PAIVA, J.B.D.; PAIVA E.M.C.D. (Orgs.). Porto Alegre: ABRH, 2003, 628p.

SOUZA, P.S.; POMPÊO, C.A Reabilitação fluvial em áreas urbanas a partir da perspectiva geomorfológica. **Anais do X Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos**, 17p., Foz do Iguaçu, 2012.

SUN, S.; BERTRAND-KRAJEWSKI, J. On calibration data selection: The case of stormwater quality regression models. **Environmental modelling & software**, v. 35, p. 61-73, 2012.

SUN, S.; BARRAUD, S.; CASTEBRUNET, H.; AUBIN, J. B.; MARMONIER, P. Long-term stormwater quantity and quality analysis using continuous measurements in a French urban catchment. **Water research**, v. 85, p. 432-442, 2015.

TAYLOR, M.P.; FINDLAY, S.; FLETCHER, A.; DAVIES, P. A Rapid Riparian Assessment tool for local council urban creek assessment: Kuring-gai Council, Sydney, NSW. In **Proceedings of the 4th Australian Stream Management Conference**; Linking rivers to landscapes, CD-ROM, Department of Primary Industries, Water and Environment, Hobart. (2005).

TEIXEIRA, L.C.; PAIVA, J.B.D.; LISBÔA, R.M. Relação da Concentração de Sedimentos em Suspensão com a Turbidez em uma Pequena Bacia Hidrográfica de Santa Maria – RS. **Congresso Internacional de Hidrosedimentologia**, Porto Alegre (RS), 2015.

TETZLAFF, D.; GROTTKER, M.; LEIBUNDGUT, C. Hydrological criteria to assess changes of flow dynamic in urban impacted catchments. **Physics and Chemistry of the Earth**, Parts A/B/C, v. 30, n. 6-7, p. 426-431, 2005.

TRUDEAU, M.P.; RICHARDSON, M. Change in event-scale hydrologic response in two urbanizing watersheds of the Great Lakes St Lawrence Basin 1969–2010. **Journal of Hydrology**, v. 527, p. 1174-1188, 2015.

TRUDEAU, M.P.; RICHARDSON, M. Empirical assessment of effects of urbanization on event flow hydrology in watersheds of Canada's Great Lakes-St Lawrence basin. **Journal of hydrology**, v. 541, p. 1456-1474, 2016.

TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas**. Porto Alegre: ABRH/RHAMA, 2007, 393p.

VIEIRA, S.J.M. Transdisciplinaridade aplicada à Gestão Ambiental de Unidade de Conservação. Estudo de Caso: Manguezal do Itacorubi. Florianópolis/SC. Sul do Brasil.". **Tese de doutorado**, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC, 317p., Florianópolis, 2007

VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3. ed. VoU. Belo Horizonte: **Imprensa universitária da UFMG**, 2005. 452p.

WALLING, D.E. Linking land use, erosion and sediment yields in river basins. In: **Man and River Systems**. Springer Netherlands, 1999. p. 223-240.

WARRICK, J.A. Trend analyses with river sediment rating curves. **Hydrological processes**, v. 29, n. 6, p. 936-949, 2015.

WEBB, B.W., WALLING, D.E. Long-term variability in the thermal impact of river impoundment and regulation. **Appl. Geogr.**, p. 211-223, 1996.

WHITE, S.M.; APITZ, S.E. Conceptual and Strategic Frameworks for Sediment Management at the River Basin Scale (p. 31-53). In: **Sustainable Management of Sediment Resources: Sediment Management at the River Basin Scale**. OWENS, P. N. (editor). Elsevier B.V.: Volume 4, 2008, 265p.

YANG, G.; BOWLING, L.C.; CHERKAUER, K.A.; PIJANOWSKI, B. C.; NIYOGI, D. Hydroclimatic response of watersheds to urban intensity: an observational and modeling-based analysis for the White River Basin, Indiana. **Journal of Hydrometeorology**, v. 11, n. 1, p. 122-138, 2010.

ZABALETA, A. et al. Factors controlling suspended sediment yield during runoff events in small headwater catchments of the Basque Country. **Catena**, v. 71, n. 1, p. 179-190, 2007.

## 8. APENDICE A – INFORMAÇÕES E HISTÓRICO DAS ATIVIDADES DE CAMPO

### 8.1. ATIVIDADES REALIZADAS

Segue em ordem cronológica a relação das principais atividades realizadas durante o período do mestrado. Importante salientar que na maioria das saídas de campo foram realizadas manutenção das réguas, sensores de nível e turbidez e das seções de medição.

15/07/2016: saída a campo para conhecer as atividades práticas que estavam sendo realizadas na estação Córrego Grande, com o mestrando Eduardo Pereira e seus bolsistas.

24/10/2016: implantação das referências de nível (RN) nas estações Córrego Grande e Ana D'Ávila com os bolsistas do PRAD.

22/02/2017: Levantamento das seções transversais nas estações Córrego Grande e Ana D'Ávila com os bolsistas do PRAD.

18/04/2017: medição de vazão nas estações Córrego Grande e Ana D'Ávila.

19/04/2017: saída de campo para mostrar a seção Ana D'Ávila e receber orientações técnicas sobre a reinstalação da seção de réguas.

25/04/2017: medição de vazão nas estações Córrego Grande e Ana D'Ávila.

01/05/2017: saída de campo com o bolsista do Lisha.

02/05/2017: medição de vazão nas estações Córrego Grande e Ana D'Ávila.

16/05/2017: medição de vazão nas estações Córrego Grande e Ana D'Ávila.

20/05/2017: medição de vazão nas estações Córrego Grande e Ana D'Ávila.

21/05/2017: medição de vazão nas estações Córrego Grande e Ana D'Ávila.

22/05/2017: saída de campo para mostrar as estações Córrego Grande e Ana D'Ávila e receber orientações técnicas sobre os sensores de turbidez.

23/05/2017: medição de vazão na estação Ana D´Ávila e retirada do sensor de turbidez da estação Córrego Grande pela manhã. No período tarde retornei na estação Córrego Grande com o bolsista do Lisha para reinstalar a placa de transmissão dos dados.

25/05/2017: realizada a instalação da seção de réguas da estação Ana D´Ávila.

29/05/2017: medição de vazão nas estações Córrego Grande e Ana D´Ávila.

31/05/2017: medição de vazão na estação Ana D´Ávila.

13/06/2017: levei os sensores de turbidez na empresa Solar para verificar se os sensores estão funcionando.

20/06/2017: levantamento dos perfis topográficos das seções das estações Córrego Grande e Ana D´Ávila.

03/07/2017: saída de campo com o técnico do Lisha na estação Ana D´Ávila (troca de bateria e chip) e na estação Córrego Grande (revisão da conexão e troca do SIMcard da Claro). E outra saída com a bolsista do projeto para realizar testes de amostragem de água composta na estação Córrego Grande.

21/07/2017: saída de campo com o bolsista do Lisha para retirada do sensor de nível da estação Córrego Grande.

27/07/2017: viagem para o Campus de Joinville com a professora Patrícia e bolsista para acompanhar calibração de sensores de turbidez. Nesse dia foi calibrado o sensor de turbidez da estação Ana D´Ávila.

07/08/2017: medição de vazão e amostragem de água composta e margem nas estações Córrego Grande e Ana D´Ávila.

14/08/2017: medição de vazão e amostragem de água composta e margem nas estações Córrego Grande e Ana D´Ávila.

21/08/2017: medição de vazão e amostragem de água composta e margem nas estações Córrego Grande e Ana D´Ávila.

22/08/2017: levei o sensor de nível na empresa Solar para verificar se queimou.

28/08/2017: medição de vazão e amostragem de água composta e margem nas estações Córrego Grande e Ana D´Ávila.

30/08/2017: saída de campo com o técnico do Lisha na estação Ana D´Ávila (bateria maior) e na estação Esmesc.

13/09/2017: saída de campo com o técnico do Lisha na estação Córrego Grande para instalação do sensor de nível (novo da Dualbase), bateria “grande” e novo sistema EPOSMote.

03/10/2017: tentativa de calibração dos sensores de turbidez das estações Córrego Grande e Ana D´Ávila e do PRAD com bolsistas.

10/10/2017: amostragem de água composta e margem nas estações Córrego Grande e Ana D´Ávila.

23/10/2017: realizada calibração dos sensores de nível (ambos Keller) das estações Córrego Grande e Ana D´Ávila com bolsistas.

30/10/2017: medição de vazão e amostragem de água composta e margem na estação Ana D´Ávila. E amostragem de água composta e margem na estação Córrego Grande.

31/10/2017: saída de campo com o técnico do Lisha na estação Córrego Grande para substituir o sensor de nível da Dualbase pelo sensor Keller. E não conseguimos realizar a substituição do sensor de nível na estação Ana D´Ávila.

09/11/2017: amostragem de água composta e margem nas estações Córrego Grande e Ana D´Ávila.

10/11/2017: realizada a calibração dos sensores de turbidez das estações Córrego Grande e Ana D´Ávila e do PRAD com bolsistas.

23/11/2017: reinstalação dos sensores de turbidez nas estações Córrego Grande e Ana D´Ávila.

03/01/2018: amostragem de água composta e margem nas estações Córrego Grande e Ana D´Ávila.

11/01/2018: saída de campo com a bolsista do projeto para verificação da situação das estações Córrego Grande e Ana D´Ávila após as chuvas ocorridas, as quais danificaram as estações. Realizada amostragem de água margem na estação Ana D´Ávila.

## 8.2. DADOS MEDIDOS E REGISTRADOS

### **8.2.1. Medições de Vazão e Sólidos Suspensos**

No período de 18/04/2017 a 11/01/2018 foram realizadas medições de vazão e amostragem de água (composta e margem) para a determinação da concentração de sólidos suspensos, nas estações Córrego Grande e Ana D Ávila. Estas atividades foram realizadas até maio de 2017 com o aluno de TCC e a partir de agosto de 2017 com a nova bolsista do Projeto Córrego Grande.

Na Tabela 8.1 estão relacionadas as medições de vazão e sólidos suspensos realizadas nas estações, com informações da data, leitura da régua (cota), vazão medida e a concentração de sólidos suspensos coletados na margem e na composta das seções.

As Figura 8.1 e Figura 8.2 apresentam a plotagem em qual cota foram realizadas as medições de vazão nas estações Córrego Grande e Ana D Ávila. E as Figura 8.3 e Figura 8.4 apresentam as plotagens dos sólidos suspensos margem e composta e suas respectivas cotas de amostragem, nas estações Córrego Grande e Ana D Ávila.

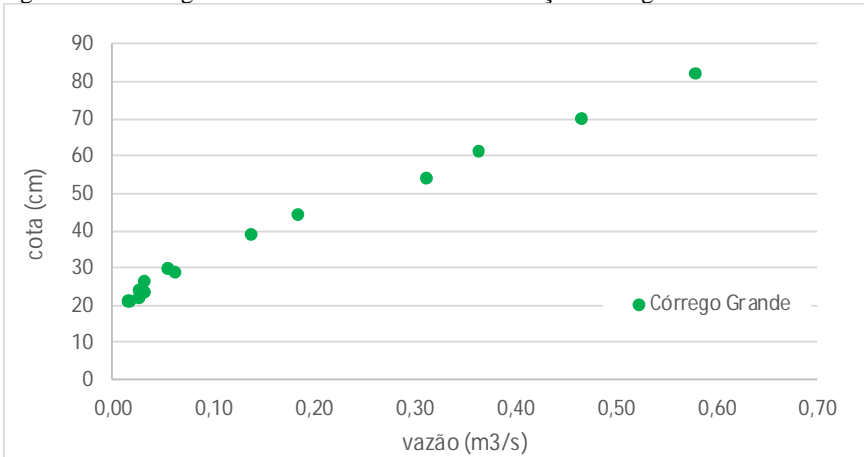


Tabela 8.11– Resumo de medições das estações Córrego Grande e Ana D Ávila.

DATA	Córrego Grande				Ana D Ávila			
	COTA Régua (cm)	VAZÃO (m3/s)	SÓLIDOS SUSPENSOS MARGEM (mg/l)	SÓLIDOS SUSPENSOS VERTICAL (mg/l)	COTA Régua (cm)	VAZÃO (m3/s)	SÓLIDOS SUSPENSOS MARGEM (mg/l)	SÓLIDOS SUSPENSOS VERTICAL (mg/l)
18/04/17	29	0,063	-	-		-	-	-
25/04/17	26	0,032	-	-	29	0,034	-	-
02/05/17	24	0,027	-	-	28	0,024	-	-
16/05/17	22	0,026	-	-	26	0,018	-	-
20/05/17	44	0,185	-	-	40	0,103	-	-
20/05/17	39	0,138	-	-	37	0,090	-	-
21/05/17	82	0,580	-	-	67	0,619	-	-
21/05/17	70	0,467	-	-		-	-	-
21/05/17	61	0,364	-	-		-	-	-
23/05/17	-	-	-	-	34	0,069	-	-
29/05/17	54	0,313	-	-	45	0,180	-	-
31/05/17	-	-	-	-	85	1,319	-	-
07/08/17	21	0,015	12	14	25	0,019	-	-
07/08/17	21	0,015	12	14	25	0,019	-	-
14/08/17	30	0,056	12	14	30	0,039	10	20
14/08/17	30	0,056	-	-	30	0,039	18	16
21/08/17	24	0,031	16	14	27	0,026	10	8
21/08/17	24	0,031	8	14	27	0,026	16	8
28/08/17	21	0,017	18	12	25	0,015	14	14
28/08/17	21	0,017	20	14	25	0,015	-	-
10/10/17	28	0,050	-	-	29	0,032	-	-
10/10/17	28	0,050	-	-	29	0,032	8	-
30/10/17	24	0,027	20	32	-	-	-	-
30/10/17	24	0,027	22	-	-	-	-	-
30/10/17	24	0,027	16	24	26	0,017	4	6
30/10/17	24	0,027	-	14	26	0,017	-	6
09/11/17	22	0,020	18	44	26	0,019	-	6
09/11/17	22	0,020	16	34	26	0,019	-	10
03/01/18	30	0,062	2	4	32	0,048	4	4
03/01/18	30	0,062	4	6	32	0,048	8	8
11/01/18	120	1,417	-	-	106	2,617	78	-

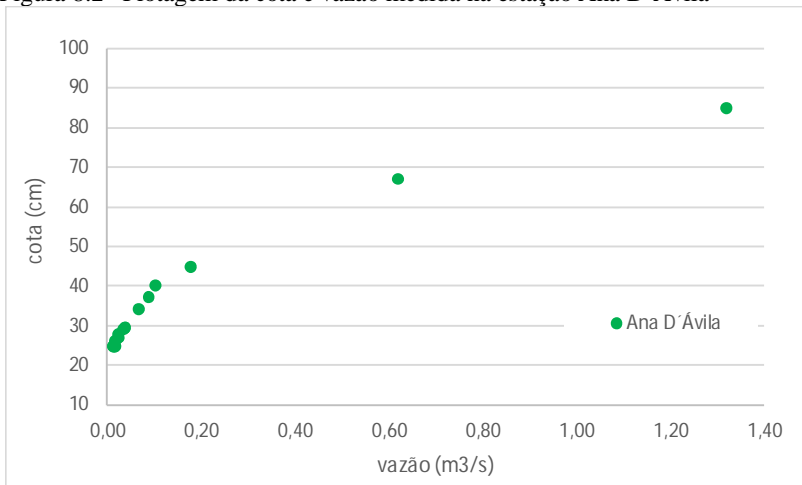
Fonte: Da Autora (2018).

Figura 8.1 – Plotagem da cota e vazão medida na estação Córrego Grande.



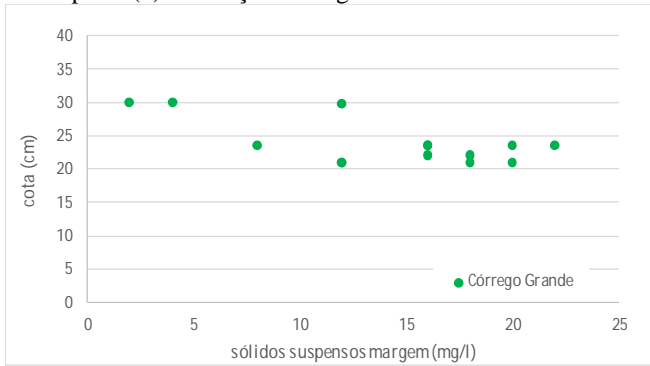
Fonte: Da Autora (2018).

Figura 8.2– Plotagem da cota e vazão medida na estação Ana D'Ávila

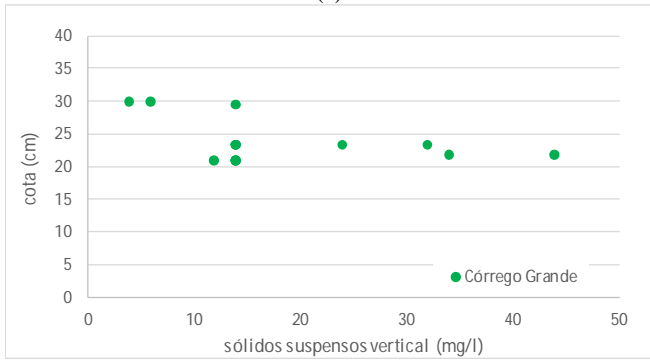


Fonte: Da Autora (2018).

Figura 8.3 – Plotagem da cota e sólidos suspensos margem (a) e cota e sólidos suspensos composta (b) na estação Córrego Grande.



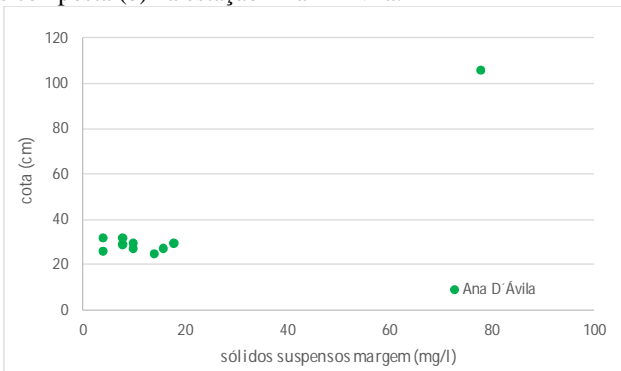
(a)



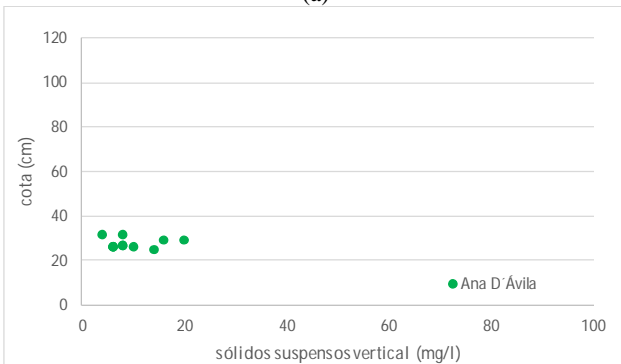
(b)

Fonte: Da Autora (2018).

Figura 8.4 – Plotagem da cota e sólidos suspensos margem (a) e cota e sólidos suspensos composta (b) na estação Ana D'Ávila.



(a)



(b)

Fonte: Da Autora (2018).

### 8.2.2. Dados Registrados

A estação do Córrego Grande possui dois sensores instalados, um de nível e um de turbidez, que registram dados a cada 5 minutos e os transmitem a cada 6 horas para o sistema elaborado pelo Lisha (Grafana: <https://iot.lisha.ufsc.br:3000/?orgId=1>).

No banco de dados do sistema existem dois formatos dos arquivos, referentes ao período antigo (até abril de 2017) e período atual (a partir de abril de 2017). Na Figura 8.5 é possível observar que os dados registrados de sinal de nível e turbidez da estação Córrego Grande possuem períodos de falha e

inconsistências.

Figura 8.5 – Registros do sinal de nível (Level) e sinal de turbidez (Turbidity) da estação Córrego Grande.



Fonte: Adaptado Lisha – Grafana (2018).

A estação Ana D´Avila possui dois sensores instalados, um de nível e um de turbidez, que registram dados a cada 5 minutos e os transmitem a cada 6 horas para o sistema elaborado pelo Lisha (Grafana: <https://iot.lisha.ufsc.br:3000/?orgId=1>). No banco de dados do sistema existem dois formatos dos arquivos, referentes ao período antigo (até abril de 2017) e período atual (a partir de abril de 2017). Na Figura 8.6 é possível observar que os dados registrados de sinal de nível e turbidez da estação Ana D´Avila possuem períodos de falha e inconsistências.

Figura 8.6 – Registros do sinal de nível (Level) e sinal de turbidez (Turbidity) da estação Ana D´Avila.



Fonte: Adaptado Lisha – Grafana (2018).

A estação Esmesc possui um pluviógrafo instalado, que registra dados a cada 5 minutos e o transmite a cada 6 horas para o sistema elaborado pelo Lisha(Grafana:<https://iot.lisha.ufsc.br:3000/?orgId=1>). No banco de dados do sistema existem dois formatos dos arquivos, referentes ao período antigo (até abril de 2017) e período atual (a partir de abril de 2017). Na Figura 8.7 é possível observar os registros do número de batidas da estação Esmesc.

Figura 8.7 – Registros do número de batidas (Precipitation) da estação Esmesc



Fonte: Adaptado Lisha – Grafana (2018).

Os dados (registros automáticos) das três estações apresentados nas Figura 8.5, Figura 8.6 e Figura 8.7 estão resumidos na Tabela 8.2. No período de 01/12/2016 a 06/12/2017 as estações Córrego Grande e Ana D'Ávila deveriam apresentar 106560 registros cada uma, porém apresentam 32% e 65%, respectivamente. E a estação Esmesc apresenta 78% de registros no período de 02/03/2017 a 17/11/2017.

Nas Figura 8.8 e Figura 8.9 estão apresentados os 33628 registros de nível (sinal e cm) do período de 01/12/2016 a 06/12/2017 da estação Córrego Grande. A Figura 8.9 demonstra a análise dos dados de nível em centímetros, gerando uma série de nível com dados de 5 minutos, coerente com as leituras de réguas realizadas nas campanhas de campo.

A Figura 8.10 apresenta os 69358 registros de nível (cm) do período de 01/12/2016 a 06/12/2017 da estação Ana D'Ávila. E também a análise dos dados de nível em centímetros, gerando uma série de nível com dados de 5 minutos, coerente com as leituras de réguas realizadas nas campanhas de campo.

Tabela 8.2 – Resumo da quantidade de dados registrado nas estações Córrego Grande, Ana D'Ávila e Esmesc.

<b>Informações</b>	<b>Córrego Grande (Nível)</b>	<b>Ana D Ávila (Nível)</b>	<b>Esmesc (Chuva)</b>
Período analisado	01/12/2016 a 06/12/2017	01/12/2016 a 06/12/2017	02/03/2017 a 17/11/2017
Quantidade de dados registrados (5 min)	33628	69358	56984
Quantidade de dados que deveriam ser registrados (5 min) no período	106560	106560	73440
Porcentagem de dados registrados (5 min) no período (%)	32	65	78

Fonte: Da Autora (2018).

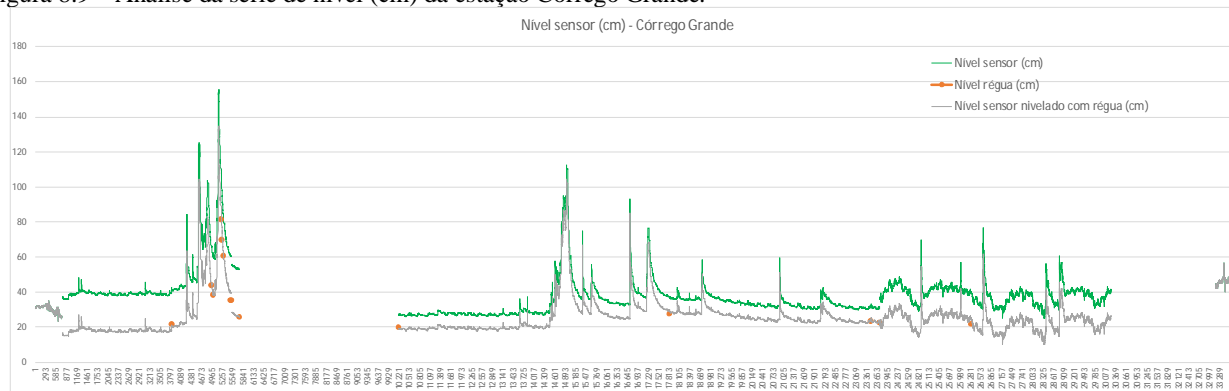
A Figura 8.11 apresenta os 56984 registros de chuva (mm) com dados de 5 minutos do período de 02/03/2017 a 17/11/2017 da estação Esmesc.

Figura 8.8 – Registros do sinal de nível da estação Córrego Grande.



Fonte: Da Autora (2018).

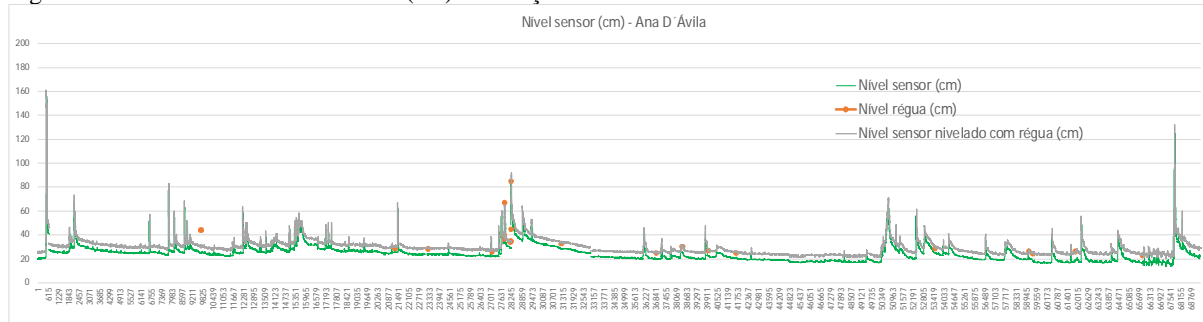
Figura 8.9 – Análise da série de nível (cm) da estação Córrego Grande.



Fonte: Da Autora (2018).

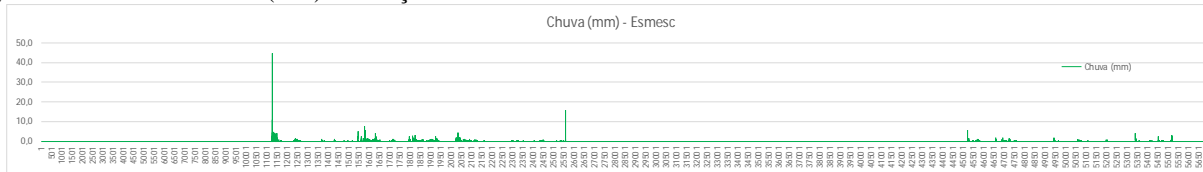


Figura 8.10 – Análise da série de nível (cm) da estação Ana D'Ávila.



Fonte: Da Autora (2018).

Figura 8.11 – Série de chuva (mm) da estação Esmesc.



Fonte: Da Autora (2018).

### 8.3. SENSORES DE TURBIDEZ

No mês de setembro de 2016 todos os sensores foram novamente recalibrados e reinstalados nas duas estações (Ana D'Ávila e Córrego Grande). Contudo, os dados de turbidez apresentaram valores negativos e valores compostos com 10 números (Figura 8.12). Na figura os valores negativos estão sombreados em cor vermelho e os valores da ordem de dez números estão sombreados em verde.

Equações de Calibração dos Sensores Nível e Turbidez - 27/09/2016 (\*):

Córrego Grande:

- Turbidez convertido =  $(\text{bruto} - 344.093708166) / 0.8017833238$
- Nível convertido =  $(\text{bruto} - 882.2282608696) / 6.2826086957$

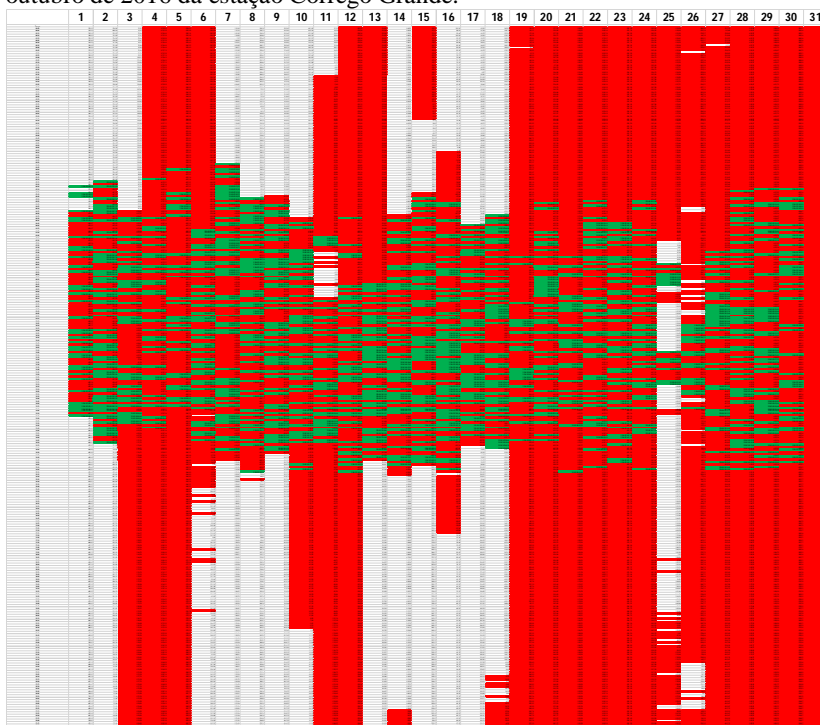
Ana D'Ávila:

- Turbidez convertido =  $(\text{bruto} - 116.3126959248) / 0.7435995298$
- Nível convertido =  $(\text{bruto} - 1030.947204969) / 24.3357142857$

(\*) mestrando Eduardo Pereira recebeu por email do Lisha nesta data.

Entre novembro e dezembro de 2016 mantivemos contato com o consultor compartilhando os problemas dos da conversão dos dados dos sensores de turbidez. E conclui-se que os sensores sofrem interferência da luz solar por se encontrarem em cursos d'água urbanos com vazões muito baixas em períodos sem chuvas e, portanto, pouco profundos.

Figura 8.12 – Registros de 5 em 5 minutos convertidos em NTU do mês de outubro de 2016 da estação Córrego Grande.



Fonte: Pereira (2016).

Em 27/07/2017 realizamos no laboratório da UFSC em Joinville calibração do sensor de turbidez da estação Ana D'Ávila. A calibração foi realizada com a medida do parâmetro desejado a partir da diluição de uma solução padrão de turbidez que represente uma quantidade de turbidez pré-definida. Foi utilizada como solução padrão de turbidez a Formazina de 400, 2000, e 4000 NTU da SpeeSol, sendo diluída até que sua concentração representasse a turbidez estabelecida. Após a determinação do branco, fez-se as medições com os sensores na solução com a Formazina diluída representando a turbidez conhecida. Na calibração realizada foram determinados valores de turbidez abrangendo um intervalo que variou entre 1NTU à 2000 NTU (Figura 8.13).

Figura 8.13 – Registro fotográfico dos sensores de turbidez sendo calibrados em 27/07/2017.

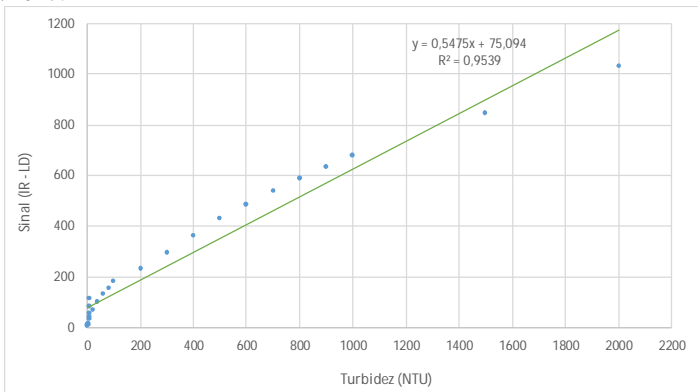


Fonte: Da Autora (2018).

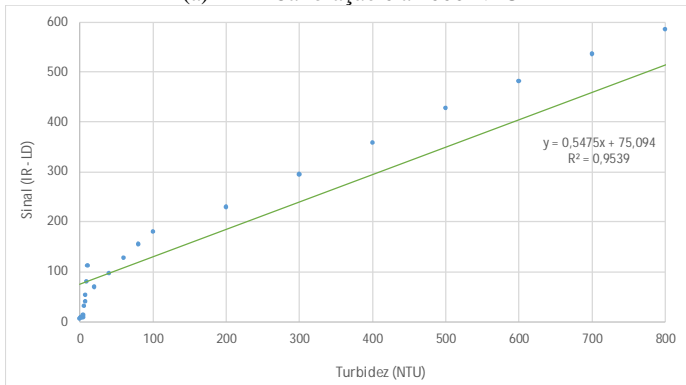
Na Figura 8.14 é possível observar que os pontos medidos na calibração do sensor de turbidez da estação Ana D'Ávila em 27/07/2017 não apresentam boa tendência com todos os pontos, indicando aparentemente quatro tendências. Portanto, está calibração foi desconsiderada.

Em 03/10/2017 foi realizamos no laboratório LabHidra da UFSC em Florianópolis calibrações dos sensores de turbidez dos Projetos de Pesquisa. Foram utilizadas solução padrão de turbidez de Formazina de 400, 1000, 2000, e 4000 NTU da SpeeSol, sendo diluídas de acordo com a com a turbidez estabelecida, de 10 a 4000 NTU, conforme valores da Tabela 8.3. E cada diluição estabelecida foi colocada em garrafa de vidro, protegida de entrada de luz (Figura 8.15). Porém, as leituras apresentaram valores negativos e incoerentes ao esperado. Concluiu-se que era algum problema com o sistema eletrônico de leitura. O bolsista do Lisha ficou encarregado de solucionar o problema e fazer contato para agendar nova calibração.

Figura 8.14 – Calibração do sensor de turbidez da estação Ana D'Ávila de 27/07/2017.



(a) Calibração 0 a 2000 NTU



(b) Trecho da calibração 0 a 800 NTU

Fonte: Da Autora (2018).

Tabela 8.3 – Tabela com o resumo da calibração do sensor de turbidez da estação Córrego Grande – 03/10/2017.

Garrafa	Turbidez (NTU)	Formazina (NTU)	Volume de água na garrafa (ml)	Volume de Formazina na garrafa (ml)	Sinal (IR - DL)
1	0	Água filtrada	1000	não	1
2	10	400	1000	25	-1
3	10 vencido	400 vencido	1000	25	0
4	50	1000	1000	50	-
5	100	1000	1000	100	-
6	250	1000	1000	250	-1
7	500	2000	1000	250	2
8	1000	2000	800	400	-3
9	2000	4000	800	400	-
10	4000	4000	600	600	-

Fonte: Da Autora (2018).

Figura 8.15 – Registros fotográficos do material utilizado na calibração dos sensores de turbidez.



Fonte: Da Autora (2018).

Em 10/11/2017 realizamos nova calibração dos sensores de turbidez das estações Córrego Grande e Ana D'Ávila. As curvas dos

sensores de turbidez apresentam tendência polinomial. Em pesquisa de curva de calibração encontrei alguns estudos com equação linear e somente um arquivo com equação polinomial. A melhor equação foi polinomial de segundo grau, com exclusão das duas leituras de 10NTU e exclusão da leitura de 4000NTU.

Equações válidas a partir da data de instalação (23/11/2017):

- Estação Córrego Grande (Figura 8.16):

$$\text{Turbidez (NTU)} = 0,0004 * (\text{sinal mV})^2 + 0,7231 * (\text{sinal mV}) - 9,7862$$

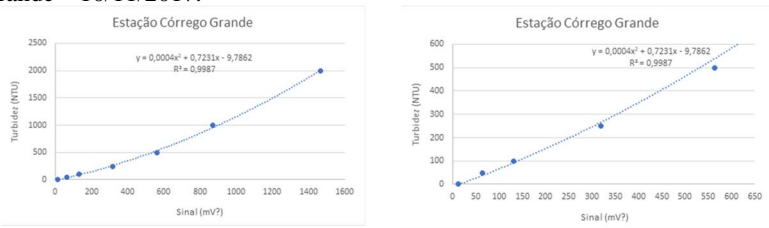
Para faixa de sinal de mV de 14 a 1500.

- Estação Ana D'Ávila (Figura 7.17):

$$\text{Turbidez (NTU)} = 0,0006 * (\text{sinal mV})^2 + 1,0574 * (\text{sinal mV}) - 15,392$$

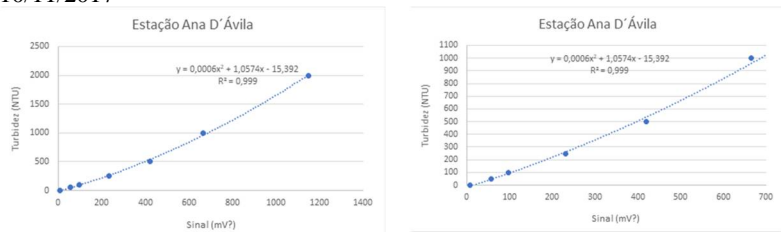
Para faixa de sinal de mV de 14 a 1200.

Figura 8.16 – Curva de calibração do sensor de turbidez da estação Córrego Grande – 10/11/2017.



Fonte: Da Autora (2018).

Figura 8.17 – Curva de calibração do sensor de turbidez da estação Ana D'Ávila – 10/11/2017



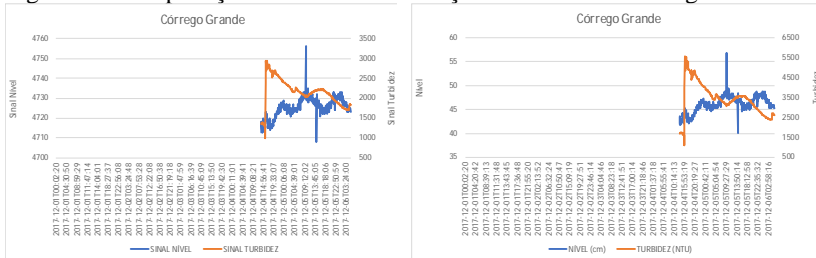
Fonte: Da Autora (2018).

### Observações:

- Em 14/11/2017 decidimos utilizar esta curva: polinomial e exclusão de 10 e 4000 NTU (são extremos, portanto menos precisão da faixa de leitura do sensor).
- Os sensores OBS do Projeto PRAD apresentam curva polinomial segundo fabricante (informado por email pelos bolsistas).

A calibração do sensor de turbidez da estação Córrego Grande foi realizada com turbidez de 0 a 4000 NTU e resultou em leitura de sinal de turbidez de 12 a 2000 mV. A curva de calibração foi ajustada para a faixa de 0 a 2000 NTU e leitura de sinal de turbidez inferior a 1500 mV. Ao aplicar a curva de calibração no evento de dezembro de 2017 (Figura 8.18) verificou-se valores de sinal de turbidez superiores (3000mV) aos valores calibrados (2000mV) e adotados na curva (1500mV). Indicando a necessidade de investigar os valores da série de registros de turbidez e refazer a calibração do sensor. Outra hipótese sobre a inconsistência descrita seja referente ao tempo de vida útil do sensor.

Figura 8.18 – Aplicação da curva de calibração de turbidez – Córrego Grande

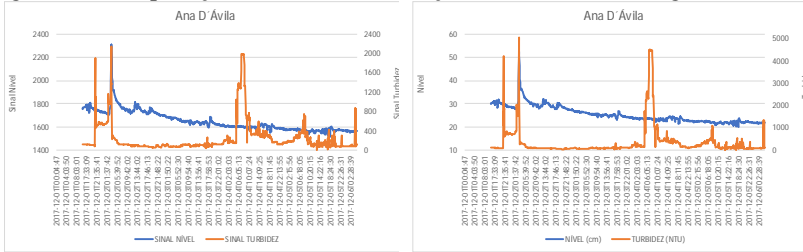


Fonte: Próprio Autor (2018).

A calibração do sensor de turbidez da estação Ana D'Ávila foi realizada com turbidez de 0 a 4000 NTU e resultou em leitura de sinal de turbidez de 8 a 1600 mV. A curva de calibração foi ajustada para a faixa de 0 a 2000 NTU e leitura de sinal de turbidez inferior a 1150 mV. Ao aplicar a curva de calibração no evento de dezembro de 2017 (Figura 8.19) verificou-se valores de sinal de turbidez superiores (2200mV) aos valores calibrados (1600mV) e adotados na curva (1150mV). Indicando a necessidade de investigar os valores da série de registros de turbidez e refazer a calibração do sensor. Outra hipótese sobre a inconsistência descrita seja referente ao tempo de vida útil do sensor.



Figura 8.19 – Aplicação da curva de calibração de turbidez – Córrego Grande.



Fonte: Da Autora (2018).

## 8.2 Sensores de Nível

### 8.4. CÓRREGO GRANDE

Em 21/07/2017 retiramos o sensor de nível da estação Córrego Grande para avaliação em laboratório, pois desde 23/05/2017 os registros apresentavam valores inconsistentes. No dia 28/08/2017 foi avaliado pela empresa Solar e verificou-se que o sensor estava “queimado”. Em 13/09/2017 foi instalado novo sensor (Dualbase) na estação. E no dia 31/10/2017 o sensor da Dualbase foi substituído por novo sensor (Keller).

- Setembro de 2016:

Nível convertido =  $(\text{bruto} - 882.2282608696) / 6.2826086957$

- 13/09/2017:

Neste dia (10:20) foi instalado na estação o sensor Dual Base 36087, pois o sensor anterior (Solar) queimou. A calibração foi realizada pela equipe do PRAD.

Nível CG =  $0,0876 \times \text{pulso} - 131,98$  [R2 = 0,9987]

- 31/10/2017:

Foi realizada neste dia, entre 09:10-10:02, substituição do sensor de nível Dual Base 36087 pelo sensor Keller 34008 (pedido do professor

responsável pelo Projeto). A calibração foi realizada por com os bolsistas do PRAD e Lisha.

$$\text{Nível CG} = 0,3482 \times \text{pulso} - 1599,3$$

#### **8.4.1. Ana D'Ávila**

$$\text{Nível convertido} = (\text{bruto} - 1030.947204969) / 24.3357142857.$$