



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE  
CURSO DE ENGENHARIA DE INFRAESTRUTURA

ALLAN THIESEN

ESTIMATIVA DA DESCARGA SÓLIDA EM SUSPENSÃO NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO CAMPUS DA UFSC EM JOINVILLE

Joinville

2017

Allan Thiesen

ESTIMATIVA DA DESCARGA SÓLIDA EM SUSPENSÃO NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO CAMPUS DA UFSC EM JOINVILLE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
como requisito parcial para obtenção da  
Graduação em Engenharia de Infraestrutura,  
do Centro Tecnológico de Joinville da  
Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientadora: Prof. Me. Simone Malutta

Joinville

2017

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Deus primeiramente pelo dom da vida, e por estar presente na minha estrada da vida.

Agradeço a minha família, aqueles que sempre estiverem ao meu lado, em todos os momentos, especialmente aos meus pais José Luiz Barbato Thiesen e Dagmar Schlemm Lucas Thiesen, que não mediram esforços para eu chegar onde cheguei e realizar meus sonhos, sendo eles minhas referências de vida. As minhas queridas irmãs Natália Thiesen e Stephanie Thiesen que sempre me apoiaram nas minhas decisões, torcendo pelo meu sucesso e motivando para buscar o melhor.

Agradeço a minha namorada Gabriella Franzoni, pelo companheirismo e suporte, durante todo esse tempo, pelos sorrisos e brincadeiras, fazendo com que os dias ruins se tornem melhores e por me tornar uma pessoa melhor.

Agradeço a minha orientadora Simone Malutta por toda a paciência e dedicação, durante as coletas, elaboração e melhora deste trabalho. Pelo empenho na busca dos equipamentos e materiais necessários para pesquisa, e pelos conhecimentos transmitidos a mim, não somente sobre o trabalho, mas também aos demais assuntos relacionados a hidrologia.

Agradeço ao coordenador do projeto, Cesar Augusto Pompêo, aos professores Anderson Wedderhoff Spengler e Giovani Gracioli, e ao aluno Cauê Val Arruda envolvidos no desenvolvimento e assistência em relação a Plataforma EPOSMote III.

Agradeço aos colegas de projeto Tiago Guizoni e Jhonatan Cristian Pscheidt pela ajuda durante as medições realizadas em campo.

Agradeço, também, aos meus colegas de curso Raissa Munhoz Cantera e Luciano Feder e professores Luciano Senff e Marcelo Heidemann pelas ajudas nos laboratórios de matérias e solos, permitindo a utilização de seus equipamentos, tornando assim esse estudo viável.

Agradeço, finalmente, a todos meus amigos que de certa forma ajudaram a chegar até aqui.

*“Science is much more than a body of  
knowledge. It is a way of thinking.”  
(Carl Sagan, 1990)*

## RESUMO

Com a futura implantação do Campus UFSC na região sul de Joinville e assim crescimento da urbanização na região, o presente trabalho tem como objetivo analisar a produção de sedimentos na Bacia Hidrográfica do Campus da Universidade Federal de Santa Catarina em Joinville/SC (BHCUIJ). Para isto foi coletada e analisada a concentração de sedimentos em suspensão (CSS) para diferentes cotas de nível d'água e valores de mV obtidos pelo sensor de turbidez em três pontos de monitoramento localizados em sub-bacias da BHCUIJ. Como protocolo de coleta, foi adotado o método de amostragem por igual incremento de largura (IIL) com utilização do aparelho USDH – 48. A determinação da CSS foi realizada a partir do método de filtração, com um total de 22 amostras. Por meio do método de regressão, foram obtidas equações de CSS em função do nível de água e valores de mV. A avaliação entre os parâmetros vazão máxima e média, índice de precipitação máxima, precipitação total, índice de precipitação antecedente, CSS máximo e médio foi realizada pelos coeficientes de correlação de Pearson. A partir desses dados, em função de seis eventos de chuva para cada ponto monitorado, analisou-se a produção de sedimentos em suspensão, determinando-se, assim, os fatores de maior influência na produção de sedimento. Como resultado do estudo, foi confirmada a influência das chuvas e da vazão na variação da CSS. Verificou-se que os fatores de maior influência na produção de sedimento na BHCUIJ foram: vazão, índice de precipitação máxima, precipitação total e fatores externos. Quantitativamente, o transporte de sedimento variou entre os pontos de monitoramento, com o maior transporte equivalendo a  $0,6876 \text{ kg/m}^3$  e a menor  $0,0291 \text{ kg/m}^3$ .

**Palavras-chave:** Concentração de Sedimento em Suspensão; Bacia do Campus da Universidade Federal de Santa Catarina em Joinville; Transporte de sedimentos;

## ABSTRACT

With the future implementation of the UFSC Campus at the South region of Joinville and consequently the urbanization growth. The present study aims to analyze the sediment production in the watershed of Universidade Federal de Santa Catarina Campus in Joinville/SC (BHCUIJ). For this purpose, the Suspended Sediment Concentration (CSS) for different water levels and turbidity values were collected and analyzed in three monitoring points located in BHCUIJ sub-basins. As a sampling protocol, the method adopted was Equal-Width-Increment Sampling (IIL) using the USDH - 48 equipment. The CSS determination was performed using the filtration method, through the total of 22 samples. The CSS equations were obtained as a function of water level and turbidity values, using regression methods. The maximum and mean flow rate, maximum precipitation index, total precipitation, antecedent precipitation index, maximum and mean CSS were determined by Pearson correlation coefficients. Based on these data, as a function of six rain events for each monitored point, the production of suspended sediments was analyzed, determining, therefore, the factors of greater influence on the sediment production. As a result of the study, the influence of rainfall and flow on the variation of CSS was confirmed. It was verified that the factors of greater influence in the production of sediment in the BHCUIJ were: flow rate, maximum precipitation index, total precipitation and external factors. Quantitatively, the sediment transport varied among the three monitoring points, with the highest value equivalent to  $0.6876 \text{ kg/m}^3$  and the lowest  $0.0291 \text{ kg/m}^3$ .

**Keywords:** Suspended Sediment Concentration; Watershed of UFSC in Joinville/SC; Sediment transport.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Movimentação das águas.....	15
Figura 2 - Duas Bacias hidrográficas com divisor de águas entre bacias.....	16
Figura 3 - Escoamento da água.....	18
Figura 4 - Ação erosiva da água.....	19
Figura 5 - Métodos de medição de sólidos em suspensão.....	21
Figura 6 - Coleta de amostras pelo método de igual incremento de descarga. ....	22
Figura 7 - USDH – 48. ....	23
Figura 8 - Distribuição da velocidade da corrente, da concentração de sedimentos e da descarga sólida em suspensão na seção transversal. ....	24
Figura 9 - Localização regional da Bacia Hidrográfica do Campus UFSC, Joinville. 25	
Figura 10 - Limite da Bacia Hidrográfica do Campus da UFSC, Joinville. ....	26
Figura 11 - Exemplo de amostragem.....	28
Figura 12 - Amostra com presença de argila.....	29
Figura 13 - Sistema de filtragem.....	30
Figura 14 - Exemplo de membranas secas após filtração. ....	30
Figura 15 - Dessecadora com membranas.....	31
Figura 16 - Ponto de monitoramento P2.....	32
Figura 17 - Modelo de Linímetro.....	33
Figura 18 - Sensor de nível.....	33
Figura 19 - Sensor de turbidez.....	34
Figura 20 - Relação entre CSS e mV para P2.....	37
Figura 21 - Relação entre CSS e mV para P3.....	38
Figura 22 - Tendência Exponencial para valores menores que 4 mV. ....	39
Figura 23 - Tendência Linear para valores maiores que 4 mV. ....	39
Figura 24 - Relação entre CSS e Nível para P1. ....	41
Figura 25 - Relação entre CSS e Nível para P2. ....	41
Figura 26 - Relação entre CSS e Nível para P3. ....	42
Figura 27 - Relação entre Evento (31/01/2017), Vazão e CSS (P1).....	44
Figura 28 - Relação entre Evento (17/03/2017), Vazão e CSS (P1).....	45
Figura 29 - Erosão P1.....	47
Figura 30 - Relação entre Evento (23 a 25/02/2017), Vazão e CSS (P2).....	48
Figura 31 - Relação entre Evento (08 a 11/04/2017), Vazão e CSS (P2).....	49

Figura 32 - Relação entre Evento (30 a 31/01/2017), Vazão e CSS (P3).....	51
Figura 33 - Relação entre Evento (31 a 01/02/2017), Vazão e CSS (P3).....	52
Figura 34 - Equação fornecido pelo fabricante. ....	63



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de Erosão.....	17
Tabela 2 - Características das Sub-bacias .....	26
Tabela 3 - Informações de Monitoramento .....	34
Tabela 4 - Dados de Coleta, P1.....	35
Tabela 5- Dados de Coleta, P2.....	36
Tabela 6 - Dados de Coleta, P3.....	36
Tabela 7 - Resumo de informações dos eventos analisados em P1. ....	46
Tabela 8 - Quantidade de Sedimentos Transportados por Evento (P1). ....	46
Tabela 9 - Resumo de informações dos eventos analisados em P2. ....	50
Tabela 10 - Quantidade de Sedimentos Transportados por Evento (P2). ....	50
Tabela 11 - Resumo de informações dos eventos analisados em P3. ....	53
Tabela 12 - Quantidade de Sedimentos Transportados por Evento (P3). ....	53
Tabela 13 - Interpretação dos Coeficientes de Pearson .....	54
Tabela 14 - Coeficientes de Pearson para P1. ....	55
Tabela 15 - Coeficientes de Pearson para P2. ....	55
Tabela 16 - Coeficientes de Pearson para P3. ....	56
Tabela 17 - Resumo de Parâmetros P1.....	64
Tabela 18 - Resumo de Parâmetros P2.....	64
Tabela 19 - Resumo de Parâmetros P3.....	65
Tabela 20 - Tabela de Pearson para P1 .....	66
Tabela 21 - Tabela de Pearson para P2.....	67
Tabela 22 - Tabela de Pearson para P3.....	68

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

API	Índice Pluviométrico Antecedente (acrônimo de <i>Antecedent Precipitation Index</i> )
BHCUJ	Bacia Hidrográfica Campus Universidade Federal de Santa Catarina em Joinville
cm	Centímetros
CSS ou SS	Concentração de Sedimentos Suspensos
ha	Hectare
IID	Incremento por Igual Descarga
IIL	Incremento por Igual Largura
kg	Quilograma
L	Litro
LISHA	<i>Software/Hardware Integration Lab</i>
m	Metro
m <sup>3</sup>	Metro cúbico (1.000 litros)
mV	Milivolt
Máx.	Máximo
Méd.	Médio
µm	Micrometro
mg	Miligramas
Mín.	Mínimo
Min.	Minuto
ml	Mililitro
<i>p</i>	Profundidade amostrada
Q	Vazão
s	Segundos
<i>t</i> <sub>mín</sub>	Tempo de amostragem mínimo
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
<i>V</i> <sub>m</sub>	Velocidade média de escoamento
P1, P2, P3	Ponto de amostragem 1, 2 e 3, respectivamente

# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	13
1.1 OBJETIVOS .....	14
1.1.1 Objetivo Geral .....	14
1.1.2 Objetivos Específicos.....	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	15
2.1 BACIA HIDROGRÁFICA.....	15
2.2 SEDIMENTOLOGIA.....	16
2.2.1 Processos Erosivos .....	18
2.2.2 Transporte de Sedimentos.....	19
2.2.3 Sedimentação .....	20
2.3 SEDIMENTOMETRIA .....	20
2.3.1 Métodos de Medição dos Sólidos em Suspensão .....	21
3. METODOLOGIA.....	25
3.1 COLETA DAS AMOSTRAS .....	27
3.1.1 Amostragem por Integração Vertical.....	27
3.2 ANÁLISE DAS AMOSTRAS .....	28
3.2.3 Método de Filtração .....	29
3.3 MONITORAMENTO DE PRECIPITAÇÃO, NÍVEL, VAZÃO E TURBIDEZ .....	32
4. RESULTADOS .....	35
4.1 COLETA E ANÁLISE DA CSS NA BHCUJ .....	35
4.2 RELAÇÃO ENTRE mV E CSS.....	36
4.3 RELAÇÃO ENTRE NÍVEL E CSS.....	40
4.4 ANÁLISE DOS EVENTOS .....	43
4.4.1 Eventos para P1 .....	43
4.4.2 Eventos para P2 .....	47
4.4.3 Eventos para P3 .....	51
4.5 COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO LINEAR DE PEARSON. ....	54

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES .....	58
REFERÊNCIAS .....	60
ANEXO A – Relação mV e NTU (Campbell).....	63
APÊNDICE A : Tabelas de parâmetros P1, P2 e P3. ....	64
APÊNDICE B: Matrizes dos Coeficientes de Pearson.....	66

## 1. INTRODUÇÃO

Elementos da natureza como vento, chuva, clima e rios são os principais agentes modificadores das paisagens por intermédio da erosão e sedimentação dos solos. O processo de erosão e deposição do solo é responsável pelas alterações no regime de cheias e processos de sedimentação, gerando mudanças do percurso dos rios, nas áreas de alagamento e no formato das margens (TUCCI, 2001).

O transporte e a deposição das partículas sólidas ocorrem ao longo do tempo geológico, propiciando a modelagem do relevo que se tem hoje, e assim, sucedendo problemas de engenharia, tal como, ambientais. Porém, a atividade humana possui grande influência na erosão, chegando a ser 100 vezes maiores que em um ambiente natural (CARVALHO *et al.*, 2000).

Tucci *et al.* (1995), afirmam que o crescimento progressivo da urbanização induz a um aumento na utilização significativa de áreas próximas aos rios, gerando consequências importantes. São vistas quase que cotidianamente, nas épocas de chuva, os efeitos das áreas direcionadas para uso agrícola e do crescimento desorganizado da urbanização, tais como, enchentes, alagamentos, entupimentos, extravasamentos e inadequabilidade do consumo da água.

À proporção que uma cidade se urbaniza, maiores são os impactos hidro sedimentares gerados, tais como, aumento da vazão, por intermédio da criação de canais artificiais e impermeabilização do solo, aumento da produção de sedimentos por meio da desproteção de solo e produção de lixo e deterioração da qualidade da água (TUCCI; COLLISCHONN, 1998).

Várias são as atividades humanas causadoras da erosão, como construção de rodovias e pontes, operações de minas e cultivo dos solos, posto que, são realizados a retirada da vegetação protetora e a mudança das declividades. Tais práticas geram severo desgaste do solo, aumentando a ocorrência do movimento das partículas com a presença das águas das chuvas e dos rios (CARVALHO *et al.*, 2000). Complementarmente, Bertoni e Lombardi Neto (2010) defendem que as diferenças de erodibilidade pela água no solo e das propriedades dos solos são suscitadas pelo uso do mesmo.

Uma vez que existem dificuldades ocasionadas pela erosão e conseqüentemente pela sedimentação, se faz necessário o conhecimento hidro sedimentar das regiões urbanizadas, em crescimento ou ainda com uso agrícola,

sendo oportuna a análise dos sedimentos em suspensão, já que o conhecimento desses fatores propicia melhores diagnósticos e soluções de problemas para cenários presentes e futuros (TUCCI; COLLISCHONN, 1998).

Visto isto, a necessidade de estudos acerca da hidrossedimentologia da Bacia Hidrográfica Campus Universidade Federal de Santa Catarina em Joinville (BHCUI), tendo em vista a crescente urbanização e pouco conhecimento da região em si, motivou o desenvolvimento do presente estudo.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem por objetivo realizar um estudo da produção de sedimentos na BHCUI, por meio da análise de dados de chuva, vazão e concentração de sedimento em suspensão em três pontos de monitoramento pertencentes à BHCUI.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

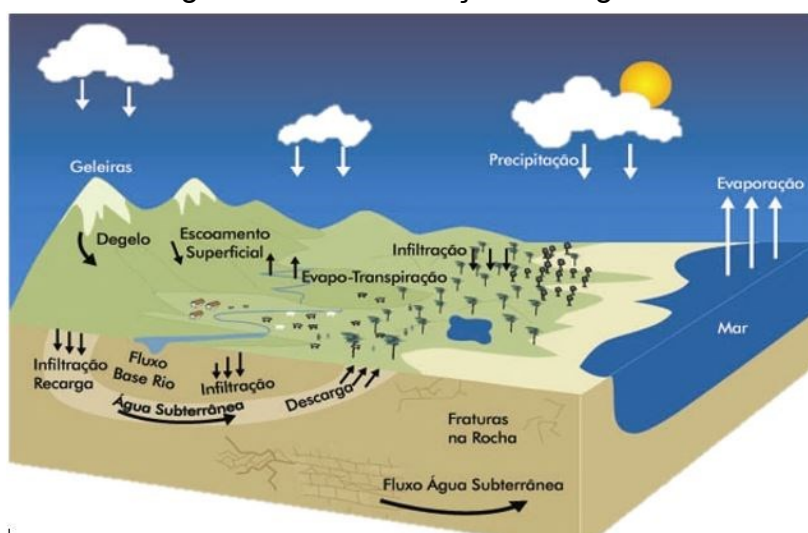
- Coletar amostras de água por meio do método de amostragem por igual incremento de largura com utilização do aparelho USDH – 48;
- Relacionar a concentração de sedimentos em suspensão (CSS) pelo sinal medido (mV) com sensor de turbidez;
- Estabelecer a relação entre o nível de água e a concentração de sedimentos em suspensão;
- Avaliar as correlações entre sedimentos em suspensão, chuva e vazão, para determinação dos fatores de maior influência na produção de sedimentos;
- Mensurar a concentração de sedimento e o transporte dos sedimentos gerados em eventos de precipitação nas sub-bacias de cada ponto de monitoramento.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 BACIA HIDROGRÁFICA

O ciclo hidrológico, mostrado na Figura 1, é representado pelos movimentos das águas presentes no planeta terra (superfície, solo, rocha, oceanos e atmosfera) sendo esse movimento sustentado pela energia do sol e força gravitacional. Uma vez que se faz necessário o estudo hidrológico é fundamental a definição de uma área de drenagem para tal estudo (BRASIL, 2002).

Figura 1 - Movimentação das águas.

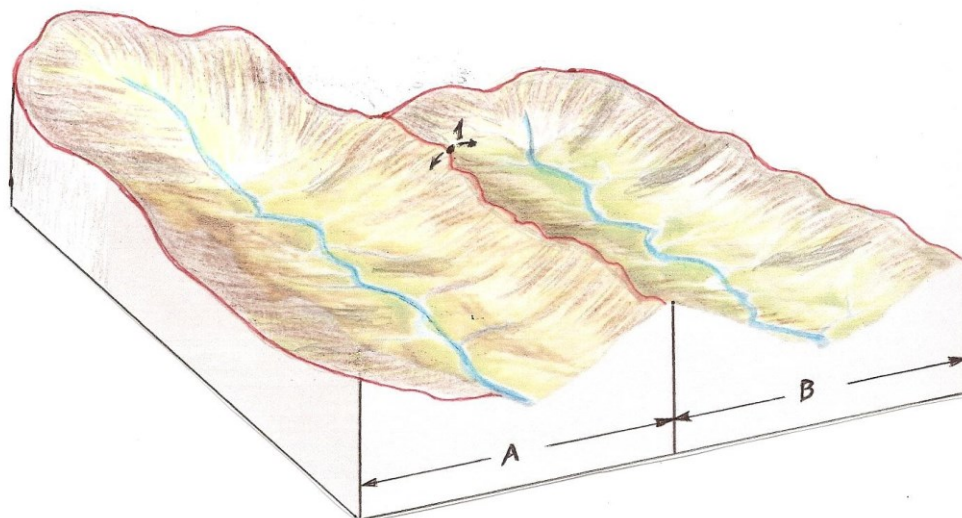


Fonte: Brasil (2002).

De acordo com Tucci (2001), bacia hidrográfica é uma área definida da superfície terrestre que intercepta naturalmente a água precipitada. Criciani (1976) apud Carvalho e Silva (2006), caracteriza microbacia como área natural que é drenada por um curso de água e afluentes, na qual, a área da bacia está a montante do ponto exutório das águas.

Como mostrado na Figura 2, Bacia hidrográfica pode ser definida como a composição de áreas fechadas topograficamente, as quais possuem declividade no sentido do curso d'água, fazendo com que as águas sejam drenadas para um ponto de saída. Assim, com a topografia do terreno é possível a delimitação dos divisores das águas, fator que delimita uma bacia ou sub-bacia (GARCEZ; COSTA ALVAREZ, 1988).

Figura 2 - Duas Bacias hidrográficas com divisor de águas entre bacias.



Fonte: [ecodebate.com.br/2013/06/13/uti-ambiental-diagnostico-da-agua-ii-artigo-de-osvaldo-ferreira-valente/](http://ecodebate.com.br/2013/06/13/uti-ambiental-diagnostico-da-agua-ii-artigo-de-osvaldo-ferreira-valente/).

A área da bacia hidrográfica pode variar em função do objetivo idealizado pelo trabalho, Pereira (1981) apud Carvalho e Silva (2006) sugere as seguintes definições de áreas:

- Para investigação do efeito de diversas práticas agrícolas nas perdas de solo área deve ser menor que 50 ha.
- Para análise hídrica e efeito do uso do solo na vazão, área deve ser menor que 10.000 ha.
- Para medições de volume e distribuição da vazão área entre 10.000 a 50.000 ha.

Com a delimitação da bacia hidrográfica é possível analisar a precipitação média na bacia e analisar a produção de água e sedimento. Neste estudo será enfatizado a estimativa do transporte de sedimento na bacia. Uma vez que a bacia foi separada em sub-bacias torna-se viável a análise da produção de sedimentos em cada ponto de monitoramento, podendo assim, ser verificada qual área da sub-bacia gera a maior CSS e quais as prováveis localizações das deposições dos sedimentos.

## 2.2 SEDIMENTOLOGIA

Sedimentologia é a área de estudo de partículas de sedimentos oriundos da erosão de rochas ou de materiais biológicos, que podem ser transportados pela ação da gravidade, dos ventos e das águas. Segundo Guerra e Guerra (2011), sedimento



é o material oriundo da destruição de rochas já existentes, que estão suscetíveis a serem transportados e depositados.

Carvalho (1994), define sedimentação como termo que compreende processos de intemperismos físicos envolvendo sedimentos, como erosão, transporte propiciado pelos cursos d'água, e deposição. Dentre os agentes dinâmicos que possibilitam a ocorrência da sedimentação encontram-se a água, a gravidade, o vento, o gelo, agentes biológicos e ação antrópica, como mostrado na Tabela 1.

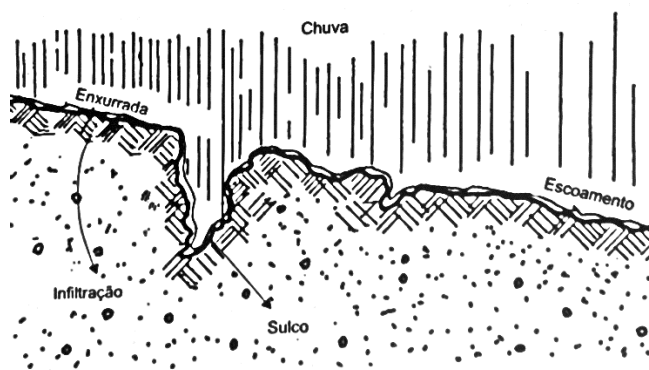
Tabela 1 - Tipos de Erosão.

Eólica	Fluvial	Hídrica superficial	Remoção em massa	Provocada por ações humana ou antrópicas	Eventos extremos
Poeira	Escavação	Erosão pluvial ou por embate	Rastejo, rastejamento ou cripe	Em obras diversas	Por enchentes
De transporte pelo ar	Erosão de margem	Erosão em lençol ou laminar	Solifluxão	Por desmatamento	Por terremotos
De transporte na superfície	Erosão de leito	Erosão por escoamento difuso, por ravina, sulcos ou dedos Erosão por escoamento difuso intenso Erosão por escoamento concentrado (vossoroca)	Desprendimento de terra ou deslizamento Escorregamento superficial ou ruptura de talude Escoamento profundo	Na agricultura por aração de solos Na pecuária como pisoteio de gado	Por vulcanismos Por tornados e outros Pela variabilidade climática

Fonte: Adaptado de Carvalho (2008).

Várias são as ações causadoras da erosão do solo, Bertoni e Lombardi Neto (2010), afirmam que os fatores causadores da erosão são diversos, mas fatores como chuva, infiltração, forma do terreno, cobertura vegetal e natureza do solo, exibido pela Figura 3, são elementos que auxiliam nos mecanismos da erosão.

Figura 3 - Escoamento da água.



Fonte: Carvalho (2008).

Segundo Carvalho (2008), a origem dos problemas advindos dos sedimentos no meio ambiente ocorre devido a erosão e corresponde à separação e remoção das partículas de rochas e solos devido à ação das chuvas, ventos e outros agentes. Assim, torna-se essencial o conhecimento das relações entre o uso do solo e a erosão, pois grande parte dos sedimentos presentes nos rios é causada pela erosão na bacia hidrográfica, das margens e dos leitos dos rios.

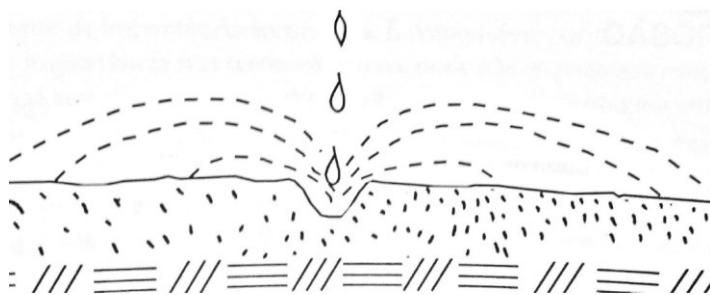
### 2.2.1 Processos Erosivos

Erosão é definida como o desgaste e ou arrastamento da superfície do terreno por meio da água corrente (chuva, córregos, entre outros), do vento, do gelo, do arraste gravitacional e de outros agentes geológicos. Os processos erosivos são os principais fenômenos geológicos modeladores da Terra e que sucedem de diversas maneiras se considerado o ambiente de ocorrência (SILVA *et al.*, 2003).

A erosão é causada por forças ativas, como as características da chuva, a declividade e comprimento do declive do terreno e a capacidade que tem o solo de absorver água, e por forças passivas, como a resistência que exerce o solo à ação erosiva da água e a densidade da cobertura vegetal. (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010, p. 45).

Como exposto na Figura 4, a chuva exerce ação erosiva sobre o solo através do impacto das gotas d'água, que são variáveis dependentes do tamanho das gotas, velocidade, energia do impacto. A declividade, o seu comprimento e a capacidade de absorção do solo alteram o volume e a velocidade do escoamento da água sobre o solo, assim alterando o desgaste do solo. A resistência que o solo possui à ação erosiva da água dependem de razões intrínsecas do solo, como propriedades físicas e químicas, e do seu revestimento vegetal (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010).

Figura 4 - Ação erosiva da água.



Fonte: Carvalho (2008).

### 2.2.2 Transporte de Sedimentos

Sedimentos são partículas de rochas, ou de matérias orgânicas, que são capazes de serem transportadas por um fluido. A partir da fragmentação das rochas pelos processos de intemperismo, são originados os sedimentos, os quais são transportados pela água ou vento do ambiente de origem aos cursos d'água e aos locais de deposição. Sendo o sedimento caracterizado como carga sólida em suspensão na água ou depositado na superfície do solo do rio (CARVALHO, et e al., 2000).

Para o entendimento do processo envolvido no transporte de sedimentos, deve haver a conciliação com identificação, descrição e quantificação dos principais processos envolvidos na movimentação dos sólidos, sendo esses a erosão e movimentação das partículas na lâmina líquida e a deposição. Ainda assim, existem outros processos que interferem no transporte do sedimento em que são de fundamental importância (LOUREIRO, 2008).

A maior quantidade de sedimentos transportada nos cursos d'água ocorre nos períodos de chuva. Aproximadamente de 70% a 90% do sedimento transportado ocorre nessas épocas e nos eventos de grandes chuvas. A ocorrência da erosão possui grande importância nos parâmetros sedimentares, podendo ser processado de várias maneiras dependendo de muitas variáveis, estando a chuva como o principal fator (CARVALHO, 2008).

O transporte dos sedimentos pode ocorrer por meio do arraste, do salto e da suspensão da carga sólida. As cargas sólidas arrastadas são as partículas que rolam e escorregam sobre o leito dos cursos da água, a carga sólida saltante são as partículas que saltam sobre a camada superficial da água e a carga sólida em

suspensão são partículas suficientemente pequenas para que consigam flutuar no escoamento da água (TUCCI, 2001).

As partículas sólidas em um escoamento podem sofrer três processos: erosão, transporte e sedimentação. O transporte do sedimento sempre ocorre no sentido da jusante e nesse processo de movimentação ocorre uma complexa interação do sólido com o líquido, ocasionado pelas diferentes dinâmicas entre os mesmos. Uma vez tratando-se do transporte dentro do rio é sabido que ocorrem principalmente o transporte da carga sólida por suspensão e arraste (MEDEIROS *et al.* 2008).

### 2.2.3 Sedimentação

Uma vez que o curso de água se encontra em um estado com menor energia, o fluido escoar mais lentamente, as partículas que estavam sendo carregadas pelo fluido anteriormente começam a depositar-se no leito do rio, margens e em outros locais específicos. Isso ocorre a medida que a energia fornecida pelo fluido não é suficiente para carregá-las e manterem o sedimento em suspensão.

O depósito de sedimentos em rios é visto como sério problema quando pensa-se em área de abastecimento de água, usinas hidrelétricas, assoreamento de canais navegáveis, regiões de portos e áreas urbanas. Já que esses depósitos prejudicam esses sistemas em sua função principal, como diminuição e inadequabilidade de água, menor produção de energia entre outros. Silva *et al.* (2003), observa que usinas hidrelétricas são dimensionadas com um volume destinado aos sedimentos, como área morta, no entanto, em alguns casos o depósito de sedimentos é muito alto, diminuindo o reservatório útil 5% ao ano.

Outro problema que é agravado pelos sedimentos é o transporte de poluentes como agrotóxicos, partículas fecais e doenças transmitidas por água. De acordo com Silva *et al.* (2003) a movimentação dos poluentes através da água para tanques, rios, lagos e reservatórios que serão utilizados para o consumo humano ocasionam problemas de saúde pública.

## 2.3 SEDIMENTOMETRIA

Para gestão eficiente dos recursos hídricos de um país exige-se um conhecimento do regime fluvial, uma vez que se deseja utilizar os mesmos para

geração de energia hidráulica, navegação, irrigação, entre outros. O Brasil se encontra nessa situação, sendo o país com uma das maiores redes fluviais do mundo e de grande importância para seu desenvolvimento. Assim, para que haja esse conhecimento é necessário a obtenção de níveis de água, descarga líquida, descarga sólida e parâmetros de qualidade de água. Uma vez que os estudos foram realizados a obtenção desses dados devem ser realizadas de forma contínua com registradores ou feita periodicamente por observadores locais e pela equipe de hidrometria (CARVALHO *et al.*, 2000).

### 2.3.1 Métodos de Medição dos Sólidos em Suspensão

De acordo com Carvalho *et al.* (2000), diversas são as formas de medição da descarga sólida em suspensão do curso do rio, podendo ser feita por métodos diretos (feitos em campo) ou por métodos indiretos. Loureiro (2008) explica que os sedimentos transportados nos rios são de grande maioria sedimentos de suspensão, outro ponto importante na determinação dos sólidos é o custo envolvendo a operação dos métodos. A partir da Figura 5 é demonstrada a classificação dos métodos com uma descrição e seus respectivos equipamentos.

Figura 5 - Métodos de medição de sólidos em suspensão.

Descarga sólida	Medição	Descrição	Equipamentos ou metodologia de medida
Descarga sólida em suspensão	Direta	Usa equipamentos que medem diretamente no curso d'água a concentração ou outra grandeza como a turbidez ou ultra-som	Medidor nuclear (portátil ou fixo), Ultra-sônico ótico, Ultra-sônico Doppler de dispersão, Turbidímetro, ADCP (Doppler)
		Por acumulação do sedimento num medidor (proveta graduada)	Garrafa Delft (medição pontual e concentração alta)
	Indireta	Coleta de sedimento por amostragem da mistura água-sedimento, análise de concentração e granulometria e cálculos posteriores da descarga sólida	Diversos tipos de equipamentos: – de bombeamento, equipamentos que usam garrafas ou sacas, sendo pontuais instantâneos, pontuais por integração e integradores na vertical (no Brasil usa-se principalmente a série norte-americana – U-59, DH-48, DH-59, D-49, P-61 e amostrador de saca)
		Uso de fotos de satélite e comparação com medidas simultâneas de campo para calibragem, em grandes rios	São estabelecidas equações que correlacionam as grandezas de observação das fotos com as concentrações medidas

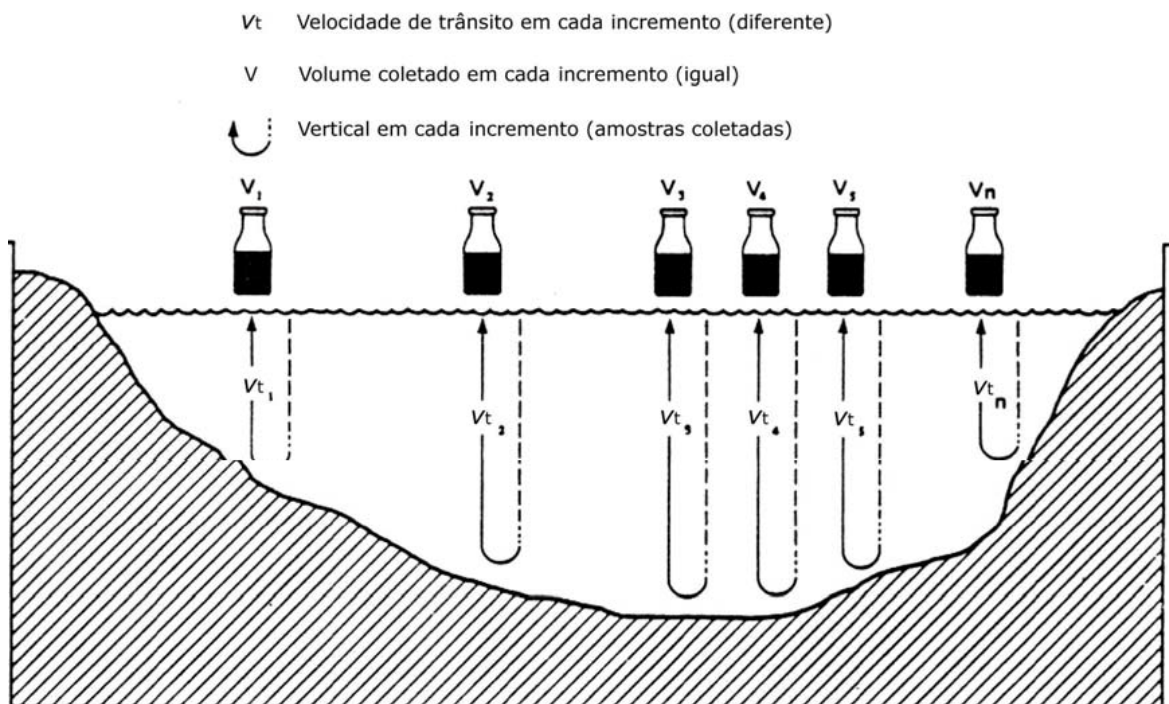
Fonte: Carvalho (1994) apud Carvalho (2000).

No método indireto existem dois modos de medição há serem realizadas, sendo elas, amostragem por igual incremento de largura (IIL) e amostragem por igual incremento de descarga (IID). A amostragem por igual incremento de largura é a mais utilizada, por apresentar uma maior simplicidade em sua operação.

No método de amostragem IIL, a área da seção transversal do curso d'água, em que serão feitas as amostragens, é dividida em verticais igualmente espaçadas, utilizando-se a amostragem por integração na vertical em cada ponto. Para manuseio em campo e obtenção das amostras, é necessária a medição da descarga líquida sendo realizada nos mesmos pontos de coleta, tornando assim, possível o cálculo do tempo de mergulho do aparelho amostrador (CARVALHO *et al.*, 2000).

No entanto, o método de amostragem IID divide a seção transversal do curso d'água em seções de iguais incrementos, que são obtidas através de alguns passos. Primeiramente é determinada a descarga líquida e com isso é obtido gráfico com as porcentagens acumuladas da descarga em função das distâncias ao ponto de início das abscissas. Por último, são obtidas as abscissas e a profundidade desejada para ponto de coleta (CARVALHO *et al.*, 2000). O exemplo da coleta de amostras d'água pelo método IID é demonstrado pela Figura 6.

Figura 6 - Coleta de amostras pelo método de igual incremento de descarga.



Fonte: Edwards e Glysson, p.48 (1988)

No Brasil, para a amostragem por integração vertical são encontrados os seguintes equipamentos USDH - 48, USDH - 59, US-D-43 E US-D-49 que são escolhidos segundo velocidade da corrente e profundidade do leito.

Na utilização do USDH – 48, Figura 7, a amostragem é feita em várias verticais para permitir a obtenção dos valores médios da seção, já que a distribuição é variável, em sua largura e comprimento como demonstrado na Figura 8 (CARVALHO *et al.*, 2000).

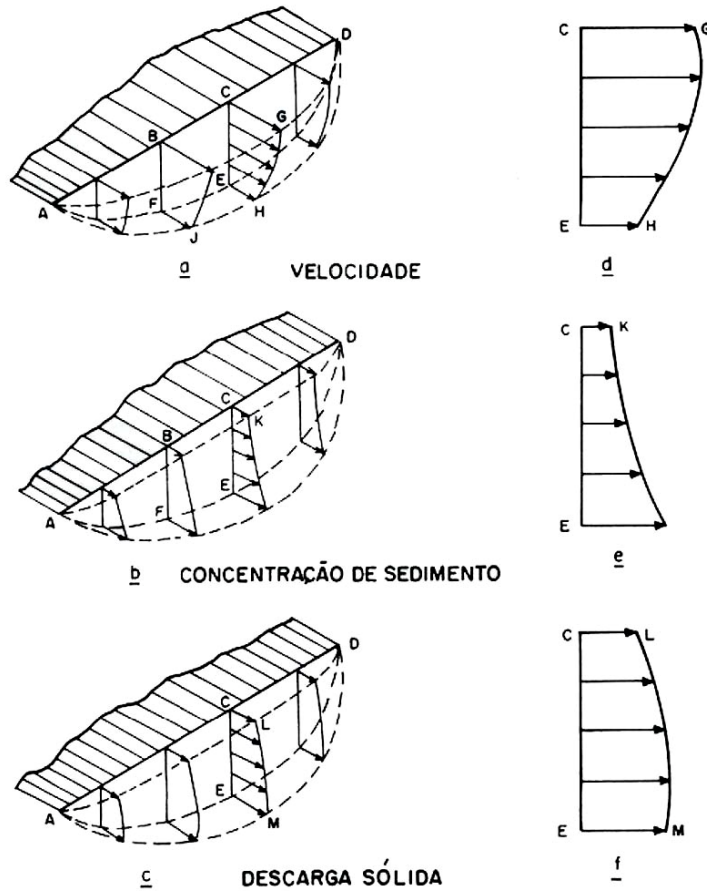
Figura 7 - USDH – 48.



Fonte: Elaborado pelo autor, (2017).



Figura 8- Distribuição da velocidade da corrente, da concentração de sedimentos e da descarga sólida em suspensão na seção transversal.



Fonte: Guy (1972) apud Carvalho (2000).

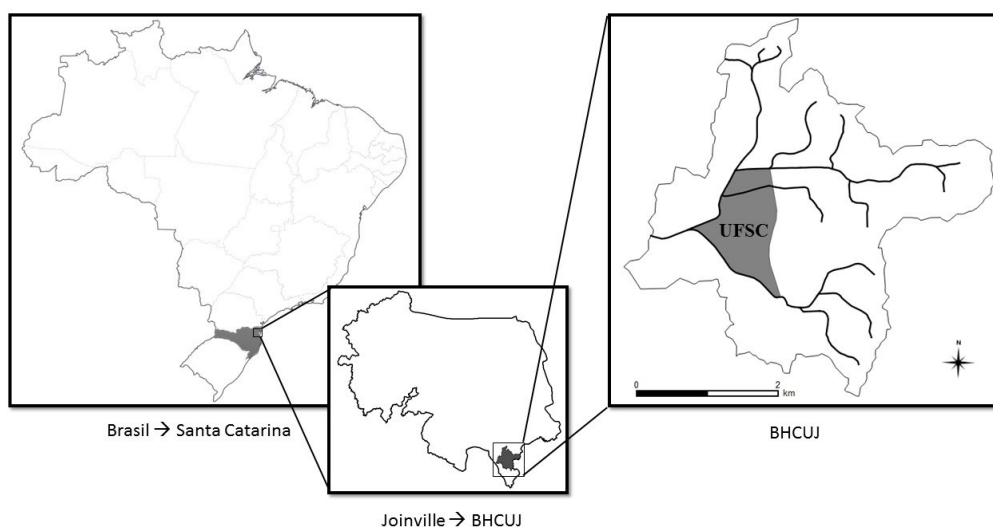
Para a coleta das amostras com o USDH 48 deve-se saber o número de verticais a serem coletadas e as distâncias a partir do leito. Ainda assim para o cálculo do tempo de coleta da amostra deve-se saber a velocidade do fluido. Após o procedimento de coleta, as amostras devem ser processadas para separação dos sedimentos contidos na amostra (CARVALHO *et al.*, 2000).



### 3. METODOLOGIA

O estudo de caso foi na Bacia Hidrográfica do Campus da UFSC em Joinville (BHCUIJ). Esta bacia situa-se na região sul do Brasil, no estado de Santa Catarina, na zona sul da cidade de Joinville, conforme apresentado pela Figura 9. A bacia abrange uma área de drenagem de 12,489 km<sup>2</sup> e seu rio principal possui 5.678 m de comprimento.

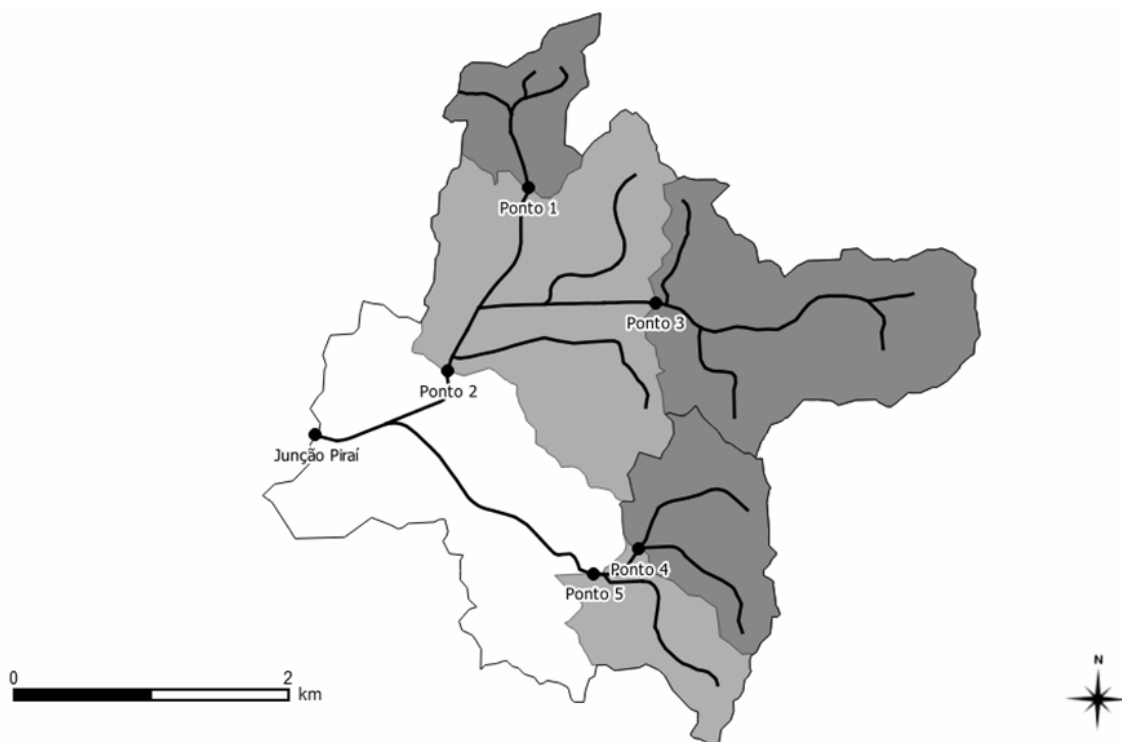
Figura 9 - Localização regional da Bacia Hidrográfica do Campus UFSC, Joinville.



Fonte: Pischetd (2017).

Para realização do estudo foram selecionados três pontos de monitoramento, denominados P1, P2 e P3. Esses pontos foram estrategicamente localizados de forma que abrangesse três diferentes sub-bacias da BHCUIJ. As localizações dos pontos de monitoramento utilizados no estudo podem ser acompanhadas por meio da Figura 10 e suas respectivas características na Tabela 2.

Figura 10 - Limite da Bacia Hidrográfica do Campus da UFSC, Joinville.



Fonte: Pischetd (2017).

Tabela 2 – Características das Sub-bacias

Parâmetros	Unidade	Sub-bacias			
		BHCUJ	P1	P2	P3
Área	Km <sup>2</sup>	12,49	0,83	6,92	2,89
Comp. do Rio Principal	Km	5,68	2,22	5,06	2,85
Comp. da Bacia em linha reta Enx-Divisor Princ.	Km	4,86	1,29	3,81	2,37
Altitude Enxutória	m	5,00	10,80	10,00	14,30
Elevação Média	m	13,97	18,48	15,20	18,91
Declividade do Talvegue Principal	m/m	0,025	0,036	0,025	0,038
Declividade do Canal Principal	-	0,004	0,004	0,004	0,006

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Os locais de monitoramento de dados já foram escolhidos anteriormente (RIGOTTI, 2010; RIGOTTI e POMPÊO, 2011; UFSC, 2010) de acordo com as necessidades de segurança dos equipamentos, qualidade da obtenção de dados e influência nas sub-bacias.

A BHCUJ está localizada em uma área predominantemente rural, apresentando pequena região de maior urbanização, localizada próxima aos pontos de monitoramento P1 e P3. Esta região apresenta pequenos pastos e plantações,

possuindo, em sua grande maioria, estradas de chão batido que permitem a locomoção dentro da região.

### 3.1 COLETA DAS AMOSTRAS

Para melhor coleta das amostras por integração na vertical, os aparelhos que exercem essa função possuem forma hidrodinâmica, são fabricados em alumínio, bronze ou aço e apresentam limitação na quantidade coletada devido as suas dimensões físicas.

“Os equipamentos para amostragem de sedimento em suspensão são do tipo integradores na vertical, acumulando uma mistura água-sedimento obtida com um movimento constante ascendente e ou/descendente, desde a superfície até o leito ou bem próximo deste.” (CARVALHO *et al.*, 2000).

#### 3.1.1 Amostragem por Integração Vertical.

A amostragem por integração vertical pode ser feita em um sentido ou em dois, descida e subida, uma vez que, a escolha desse fator depende do aparelho utilizado, no caso USDH – 48, permitem a amostragem nos dois sentidos. Nesse tipo de amostragem o recipiente do aparelho acumula continuamente ao longo da descida e da subida a mistura água-sedimento, não devendo tocar o fundo do curso d'água. Para que a velocidade de entrada da amostra seja parecida a velocidade instantânea da corrente é necessário que o bico fique na horizontal (paralela ao fundo) (CARVALHO, *et al.*, 2000).

Para a pratica em campo deve-se calcular o tempo de amostragem a partir do trecho de descida e subida (duas vezes a profundidade do ponto coletado), dividido pela velocidade da corrente multiplicada por um coeficiente que depende da bitola do bico do aparelho. Através da Figura 11 é possível visualizar como a amostragem deve ser realizada, quando adotados os fatores citados acima CARVALHO *et al.* (2000), indica as seguintes formulas para cálculo do tempo de amostragem com Equação 1 para bico de  $\frac{1}{8}$ " e Equação 2 para bico de  $\frac{3}{16}$ " e  $\frac{1}{4}$ ".

$$t_{min} = \frac{2 \times p}{0.2 \times V_m} \quad (1)$$

$$t_{min} = \frac{2 \times p}{0.4 \times V_m} \quad (2)$$

Em que:

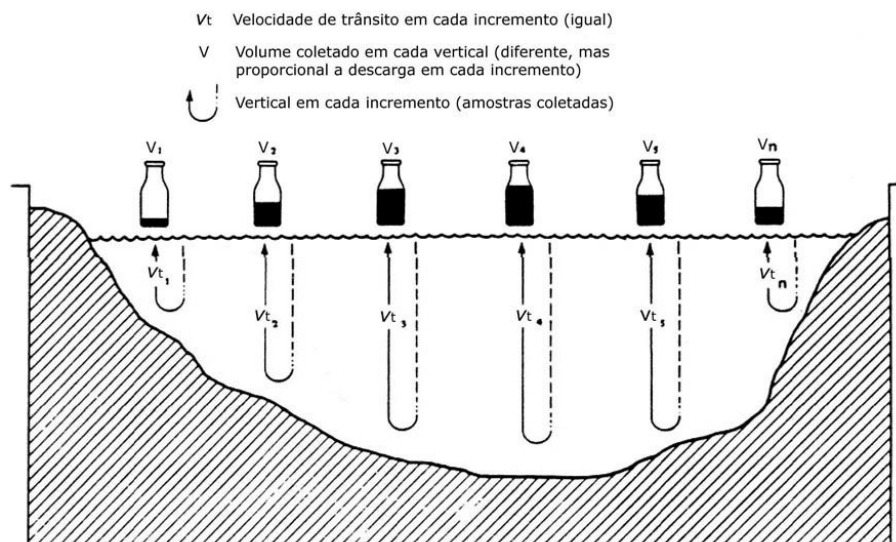
$t_{min}$ : Tempo de amostragem mínimo

$p$ : Profundidade amostrada

$V_m$ : Velocidade média

O bico a ser escolhido depende da velocidade de escoamento do fluido. “O bico é escolhido conforme a velocidade: em baixas velocidades, usa-se o bico de 1/4”; em velocidades moderadas, o bico de 3/16” e em maiores velocidades, o de 1/8”. (CARVALHO *et al.*, 2000). E cada amostra coletada deve possuir as informações como, local, data, hora, vertical, número da garrafa, nível d’água e amostrador.

Figura 11 - Exemplo de amostragem.



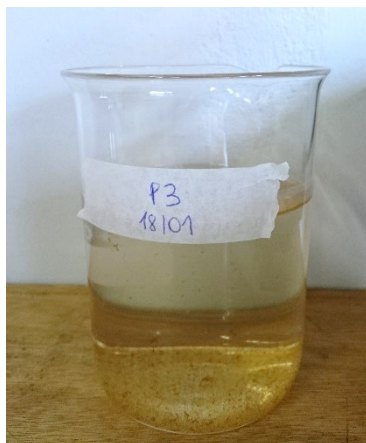
Fonte: Edwards e Glysson (1988) apud Carvalho et al. (2000)

### 3.2 ANÁLISE DAS AMOSTRAS

Para determinação da concentração de sedimentos em suspensão CARVALHO *et al.* (2000), descreve os métodos da Filtração e da Evaporação, em que, quando a amostra continua com cor amarelada após o seu repouso, o método

de Filtração deve ser realizado para as amostras. Dessa forma, inicialmente foi preparada as amostras para as duas metodologias, e ao deixar a amostra em repouso, foi possível perceber que a amostra continuava com a cor amarelada, conforme mostra Figura 12. Diante disso, se optou, somente, pelo emprego do método de Filtração.

Figura 12 - Amostra com presença de argila.

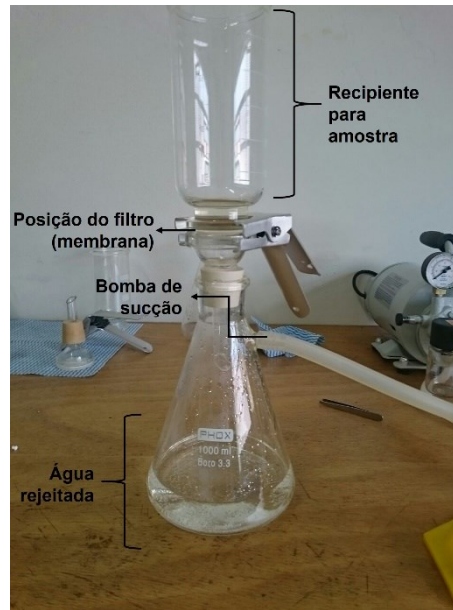


Fonte: Acervo do autor (2017).

### 3.2.3 Método de Filtração

As análises das amostras de água foram realizadas através da filtração das amostragens coletadas, feitas com um sistema, Figura 13, composto por recipiente específico para colocação da água amostrada, bomba à vácuo, membrana de filtração de 0,45  $\mu\text{m}$  de poro e 47 mm de diâmetro, que coletará os sedimentos da água, tubulação de silicone e recipiente para água rejeitada filtrada.

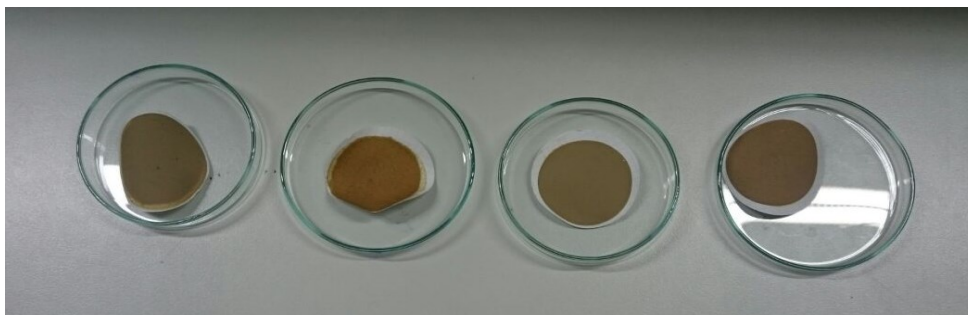
Figura 13 - Sistema de filtragem.



Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Após a filtragem, as membranas serão colocadas em placas petris, para que sejam colocadas na estufa por um período de uma meia hora à temperatura de 100°C, eliminando assim toda água e humidade presente na amostra, como mostrado na Figura 14. Durante o resfriamento das membranas, após saída da estufa, membranas permanecem durante um curto período de tempo no Dessecador, onde não ganham umidade pelo ar devido a sílica presente dentro do mesmo, Figura 15.

Figura 14 - Exemplo de membranas secas após filtração.



Fonte: Acervo do autor (2017).

Figura 15 - Dessecadora com membranas.



Fonte: Acervo do autor (2017).

O peso dos sedimentos é determinado pela subtração entre o peso da membrana após filtragem, seca em estufa por meia hora, e peso da membrana anterior a filtragem. E o cálculo da quantidade de sedimentos em um volume de água é obtido através da divisão entre peso de sedimentos pelo volume de água filtrada, tendo os resultados em miligramas por litro.

### 3.3 MONITORAMENTO DE PRECIPITAÇÃO, NÍVEL, VAZÃO E TURBIDEZ

Para a realização do monitoramento contínuo hidrosedimentométrico na BHCUIJ foram instalados os seguintes equipamentos: pluviógrafo, sensor de nível, régua linimétrica e sensor de turbidez. A Figura 16 mostra o ponto de monitoramento P2.

Figura 16 - Ponto de monitoramento P2.



Fonte: Acervo do autor (2017).

Com isto, para a efetuação do monitoramento das precipitações ocorridas nos três pontos P1, P2 e P3, foram instalados pluviógrafos, os quais transmitem os dados lidos para plataforma, desenvolvida pelo Software/Hardware Integration Lab (LISHA) da UFSC, denominada EPOSMote III. Já para a determinação dos valores de vazão, o nível deve ser medido simultaneamente com a velocidade do fluxo d'água, uma vez que assim se obtém os pares de pontos na operação de determinação da curva-chave da seção.

Existem duas formas de monitoramento de nível d'água, o primeiro pela régua linimétrica (Figura 17), em que existe a necessidade de operador para leitura e o segundo pelo sensor de nível (Figura 18), que armazena os dados na plataforma EPOSMote III automaticamente, permitindo somente a necessidade da coleta dos dados.



Figura 17 - Modelo de Linímetro



Fonte: Acervo do autor (2017).

Figura 18 - Sensor de nível



Fonte: Acervo do autor (2017).

A obtenção dos dados de vazão para os pontos de monitoramento foi realizada pela equipe de projeto, todavia, as elaborações do traçado da curva-chave das seções de interesse, bem como suas devidas extrapolações, estão descritas em Guizoni (2017).

Uma vez que foram necessários os valores emitidos pelos sensores de turbidez para realização da equação entre CSS e mV, foi implantado nos pontos P2 e P3 esses sensores. Os sensores de turbidez instalados são do modelo OBS 3+ (Figura 19) fabricados pela Campbell tendo uma precisão de até 4000 NTU, os mesmos, quando instalados transmitiam os dados em uma frequência de 5 minutos

para a plataforma EPOSMote III, que armazena os dados transmitidos até o momento da coleta.

Figura 19 - Sensor de turbidez



Fonte: Acervo do autor (2017).

O princípio de funcionamento desse turbidímetro se baseia na iluminação da amostra de água, através da emissão de infravermelho existente no equipamento, fazendo com que o fotodetector convirja a luz irradiada para fotocorrente, assim, a radiação dispersa que retorna para o detector provoca uma correlação entre o nível de turbidez (NTU) e a voltagem medida (CAMPBELL SCIENTIFIC, 2017).

A Tabela 3 apresenta o resumo das informações monitoradas em cada ponto, sendo “X” para monitoramento realizado e “-“ para monitoramento não realizado.

Tabela 3 – Informações de Monitoramento

	P1	P2	P3
Chuva	X	X	X
Nível	X	X	X
Vazão	X	X	X
CSS	X	X	X
Turbidez	-	X	X

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

## 4. RESULTADOS

Neste tópico, serão apresentados os seguintes resultados: análise das amostras de água, equações que correlacionam os dados monitorados pelos dados dos sensores, análise dos eventos selecionados, cálculo da produção de sedimentos por evento e análise da correlação dos Coeficientes de Pearson em função das variáveis de precipitação, vazão e CSS nos eventos.

### 4.1 COLETA E ANÁLISE DA CSS NA BHCUIJ

O monitoramento hidrossedimentológico foi realizado nos 3 pontos (P1, P2 e P3) na BHCUIJ, por meio de sensores de turbidez e de nível, em que os sinais transferidos eram registrados pelo EPOSMote III a uma frequência de 5 minutos. Assim, ocorreram coletas nos pontos de monitoramento P1, P2 e P3, em que foram coletadas as amostras de água pelo método IIL e os dados dos sensores.

Foram realizadas 7 coletas para ponto P1, 5 coletas para P2 e 10 coletas para P3, sendo que, após as coletas, as amostras foram direcionadas ao laboratório, onde foram filtradas e determinadas as concentrações de sedimento suspenso em água em função da data, da hora e do nível no momento da amostragem, gerando Tabela 4, Tabela 5 e Tabela 6.

Tabela 4 - Dados de Coleta, P1.

P1			
Data	Hora	CSS (mg/L)	Régua (cm)
18-jan-17	19:45	24	39
22-jan-17	14:30	2	34
25-jan-17	09:50	6	34
26-jan-17	18:50	165	44
28-jan-17	15:22	17	37
15-fev-17	10:00	4	37
17-fev-17	10:26	4	35

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Tabela 5- Dados de Coleta, P2.

P2				
Data	Hora	Turbidez (mV)	CSS (mg/L)	Régua (cm)
15-fev-17	08:20	3	8	76
17-fev-17	08:25	5	18	55
18-fev-17	09:30	4	14	93
15-mar-17	17:00	4	13	54
24-mar-17	16:30	10	27	130

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Tabela 6 - Dados de Coleta, P3.

P3				
Data	Hora	Turbidez (mV)	CSS (mg/L)	Régua (cm)
17-jan-17	11:50	1	9	14
18-jan-17	19:30	3	15	16
22-jan-17	14:02	3	14	6
25-jan-17	08:56	3	24	4
26-jan-17	18:30	10	885	88
26-jan-17	19:25	7	438	70
28-jan-17	14:50	5	99	24
28-jan-17	15:45	4	69	19
15-fev-17	09:15	1	2	7
17-fev-17	09:40	2	6	4

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Na Tabela 4, para o ponto P1, CSS máxima é igual a 165 mg/L para nível máximo de 44 cm e CSS mínima igual a 2 mg/L para nível mínimo de 34 cm. Para o ponto P2, Tabela 5, CSS máxima igual a 27 mg/L correspondendo ao nível máximo de 130 cm, já para, CSS mínima igual a 8 mg/L, nível foi de 76 cm e para CSS igual a 18 mg/L nível correspondente foi de 55 cm (nível mínimo). Para o ponto P3, Tabela 6, CSS máxima e nível máximo são correspondentes a 885 mg/L e 88 cm, respectivamente, para CSS mínima de 2 mg/L, nível foi igual a 7 cm, enquanto para nível mínimo de 4 cm, CSS apresentou valores de 6 e 14 mg/L.

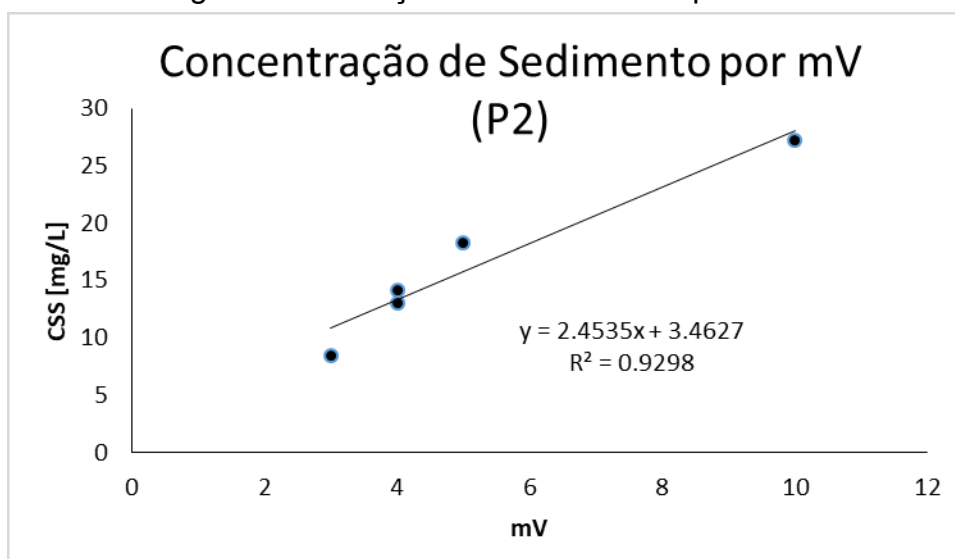
#### 4.2 RELAÇÃO ENTRE mV E CSS.

Normalmente, utiliza-se os dados de NTU e CSS para realização da regressão linear, contudo Orwin e Smart (2004) realizaram a calibração de um turbidímetro por meio dos sinais brutos (mV) do aparelho OBS-3. Assim, como a equação fornecida pelo fabricante do sensor, Anexo A, para transformação dos dados brutos em NTU, apresenta somente 3 pontos. Dos quais, somente 1 ponto se encontra na região de

análise das amostras coletadas. Foi optando pela utilização dos dados brutos do sensor (mV). Com isso, a partir dos valores obtidos na Tabela 5 e Tabela 6 foram criados os gráficos que relacionam os valores de mV e CSS para os pontos de monitoramento P2 e P3, mostrados na Figura 20 e Figura 21.

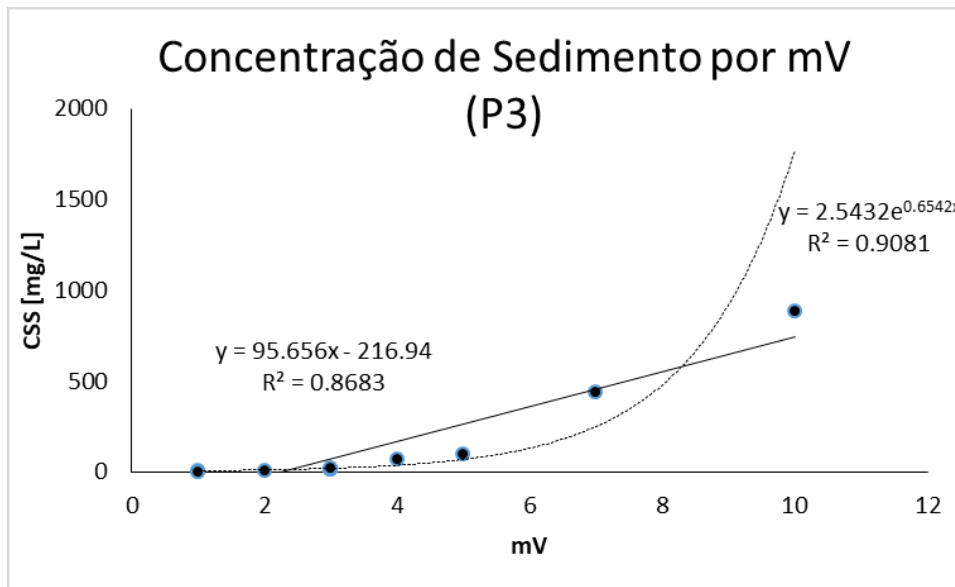
Um dos fatores de análise das equações geradas foram as correlações ( $R^2$ ), em que, de acordo com Barbetta, Reis e Bornia (2010), valores de  $R^2$  variam entre 0 e 1, sendo que, quanto mais próximo de 1, melhor é a correlação entre variáveis.

Figura 20 - Relação entre CSS e mV para P2.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Figura 21 - Relação entre CSS e mV para P3.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

As equações e  $R^2$  gerados para os pontos de monitoramento P2 e P3 foram:

$$y = 2,4535x + 3,4627 \quad (3)$$

$$R^2 = 0,9298$$

$$y = 95,656x - 216,94 \quad (4)$$

$$R^2 = 0,8683$$

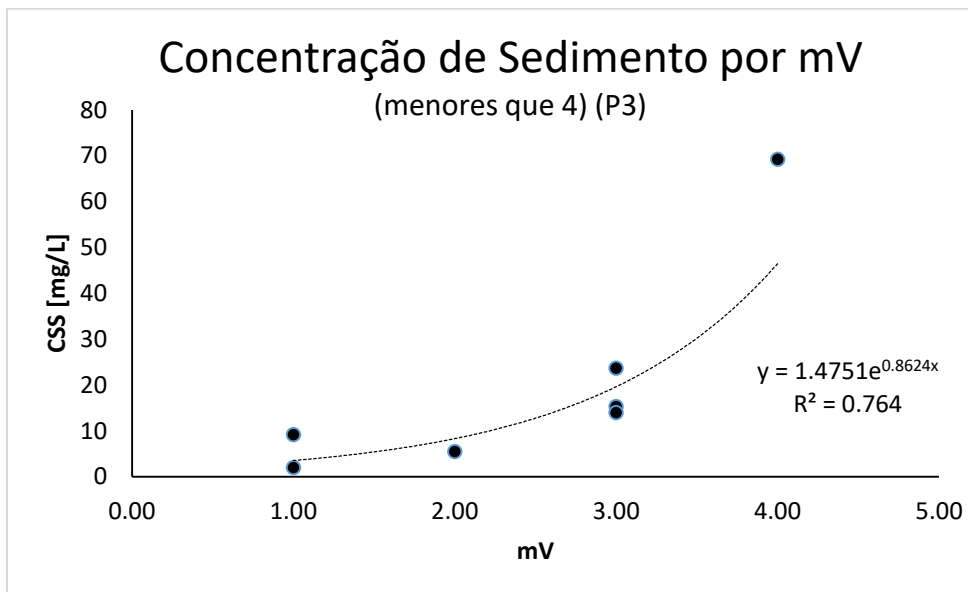
$$y = 2,5432e^{0,6542x} \quad (5)$$

$$R^2 = 0,9081$$

Observa-se para o ponto de monitoramento P2, que  $R^2$  é igual a 0,9298. Assim, analisando os limites estabelecidos pela regressão de 0 a 1 é possível afirmar que equação 3 pode ser utilizada para os cálculos de CSS por meio do sinal bruto do sensor. De acordo com Sun, Cornish e Daniell (2001) a relação entre turbidez e concentração de sedimentos na maioria das vezes é expressa por regressão linear podendo ser também realizada regressão exponencial ou polinomial. Para o ponto P3, primeiramente foi feita a relação linear gerando equação 4 e  $R^2$  de 0,8683 e apesar de possuir valor próximo a 1 equação 4 retorna CSS negativos para valores menores que 4 mV. Neste caso, apesar de poucas amostras terem sido analisadas, foi

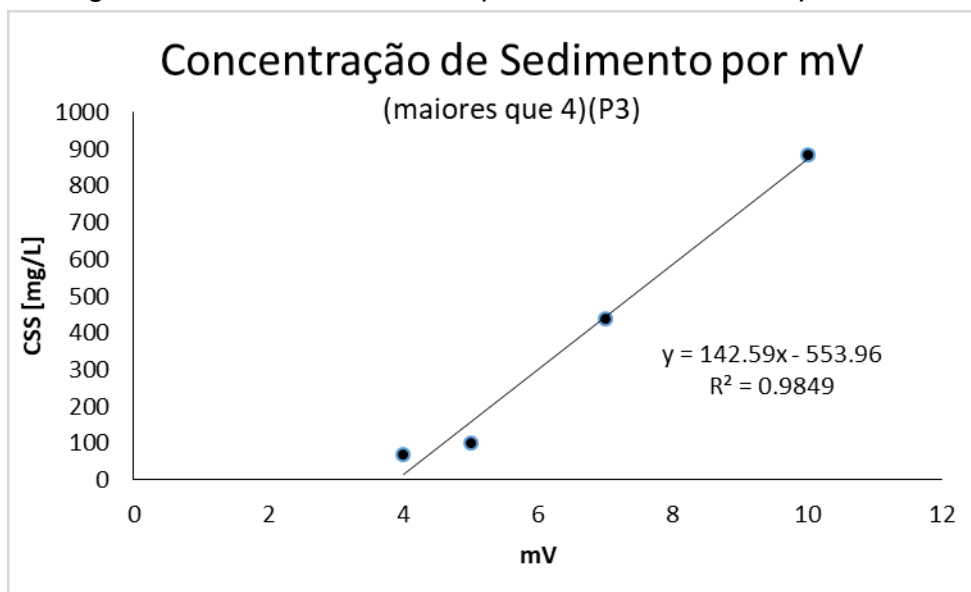
assumido, por meio de regressão, há existência de duas tendências, uma linear e outra exponencial. A equação 5, com regressão exponencial de 0,9081 também é representativa, contudo gera valores de alta CSS para valores de mV acima de 4. Assim foram criadas duas tendências, uma exponencial para valores menores e 4 mV e outra linear para valores maiores que 4 mV, sendo mostradas pela Figura 22 e Figura 23.

Figura 22 - Tendência Exponencial para valores menores que 4 mV.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Figura 23 - Tendência Linear para valores maiores que 4 mV.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

As equações e  $R^2$  gerados para o ponto de monitoramento P3 foram:

$$y = 1,4751e^{0,8624x} \quad (6)$$
$$R^2 = 0,764$$

$$y = 142,59x - 553,96 \quad (7)$$
$$R^2 = 0,9849$$

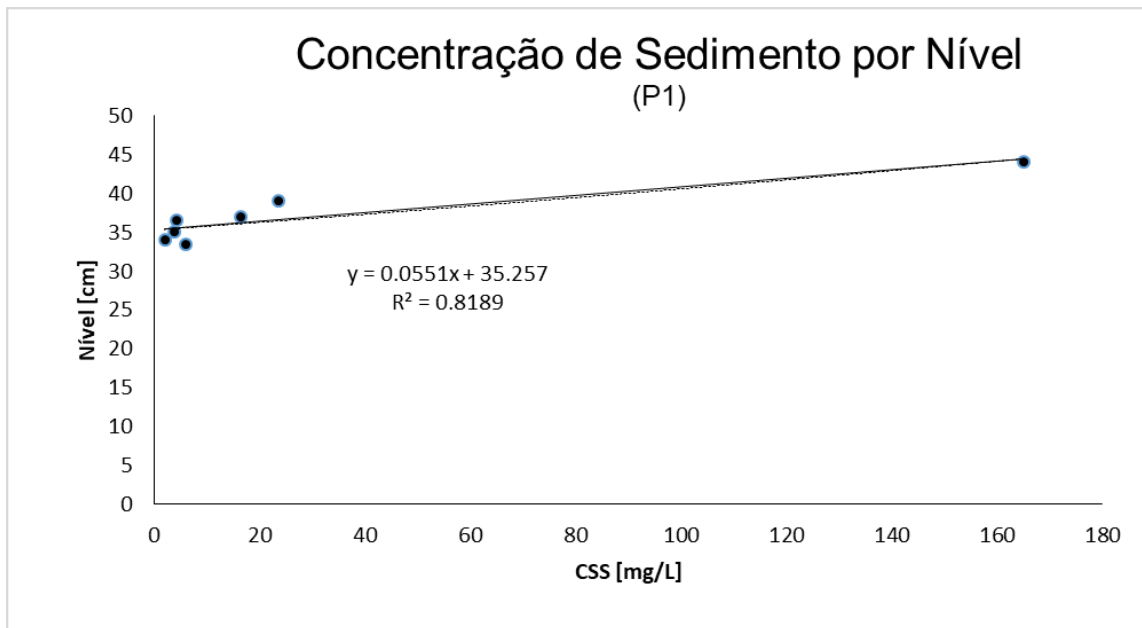
Os resultados obtidos pela separação em duas tendências, retornou valores de  $R^2$  consideráveis para as duas equações. Para equação 7, Figura 23, referente aos valores de mV maiores que 4,  $R^2$  foi de 0,9849 tendo o melhor ajuste entre os as duas tendências. Já a equação 6, Figura 22, referente a outra parcela de mV, retornou um  $R^2$  de 0,764. E por mais que equação exponencial não possua a mesma representatividade que equação linear, essa representação torna-se viável, já que a utilização das duas equações não retorna CSS negativa e o acréscimo de pontos de mV menores que 4 podem melhorar o  $R^2$ , tornando análise mais precisa.

#### 4.3 RELAÇÃO ENTRE NÍVEL E CSS.

Uma vez que não foi possível a implantação de sensor de turbidez em todos os pontos de monitoramento, somente em P2 e P3, foram realizadas as relações entre nível e CSS, preferencialmente para P1, dado que, P1 apresenta pequena coluna d'água, podendo gerar problemas de refração. As relações entre nível e CSS para P2 e P3, também foram calculadas com o intuito de saber quais as suas respectivas representatividades. Assim, por meio da Tabela 4, Tabela 5 e Tabela 6 foram criadas as relações entre CSS e nível, gerando Figura 24, Figura 25 e Figura 26.

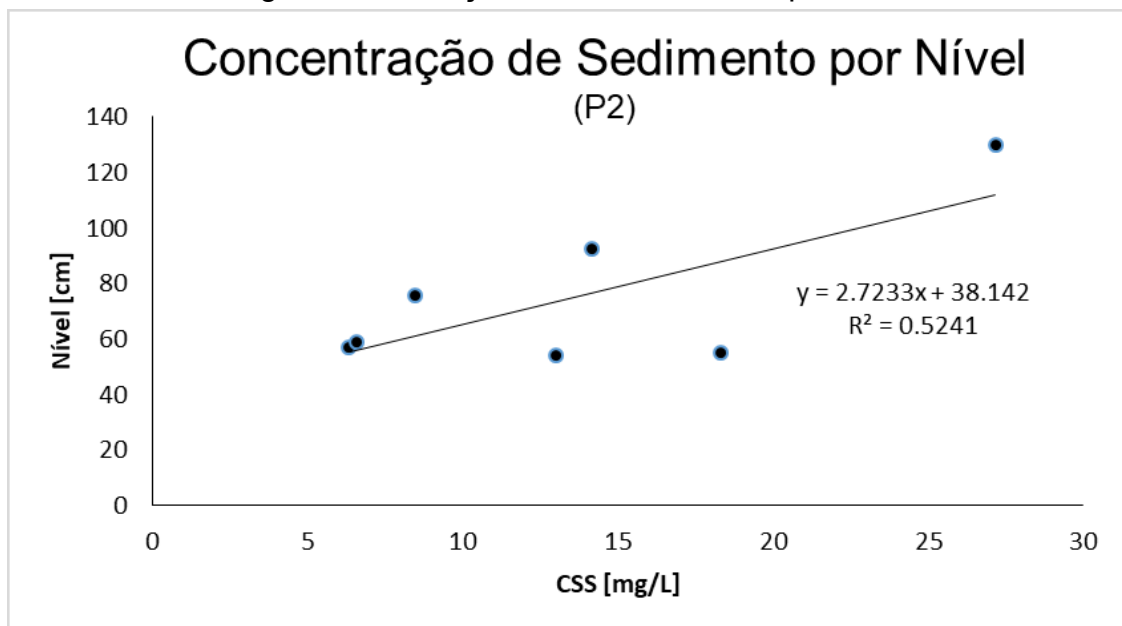


Figura 24 - Relação entre CSS e Nível para P1.



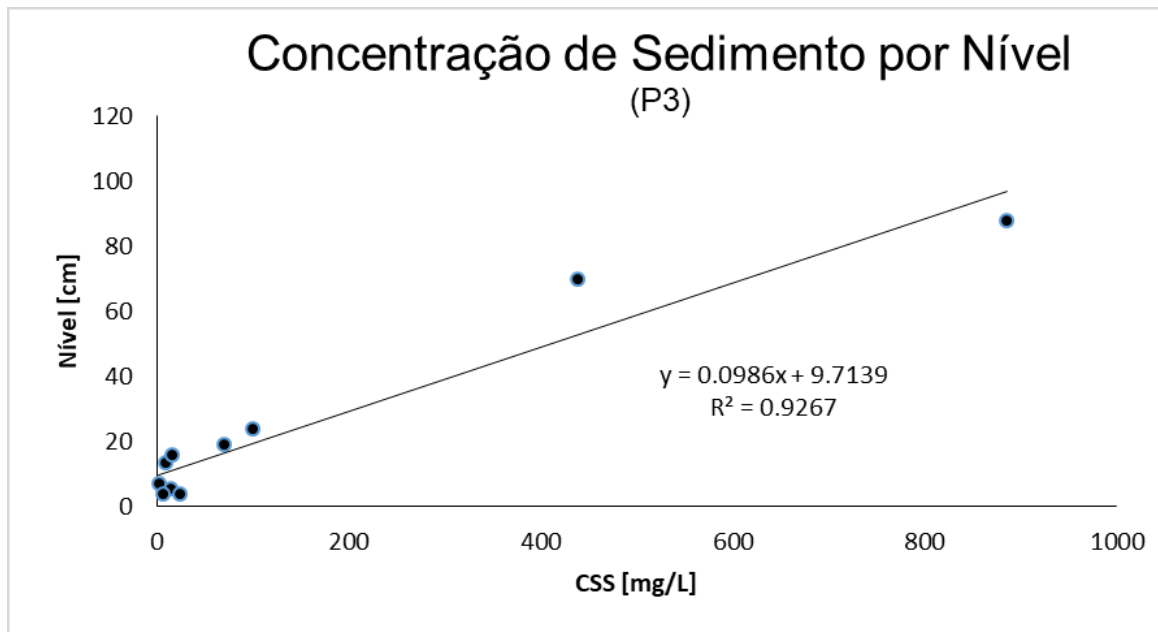
Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Figura 25 - Relação entre CSS e Nível para P2.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Figura 26 - Relação entre CSS e Nível para P3.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

As equações e  $R^2$  gerados para os pontos de monitoramento P1, P2 e P3 foram:

$$y = 0,0551x + 35,257 \quad (8)$$

$$R^2 = 0,8189$$

$$y = 2,7233x + 38,142 \quad (9)$$

$$R^2 = 0,5241$$

$$y = 0,0986x + 9,7139 \quad (10)$$

$$R^2 = 0,9267$$

Para o ponto P1, Figura 24, é possível afirmar que a equação 8 apresenta satisfatoriedade e representatividade para a correlação de CSS e nível, uma vez que,  $R^2$  é igual a 0,8189, podendo assim, ser utilizada para determinação das concentrações de sedimento suspenso. O ponto de monitoramento P3 também apresentou regressão linear adequada, próximo a 1, no entanto, como visto de maneira geral na literatura, a previsão de CSS feita pelo nível apresenta erros, sendo assim, foram utilizadas as equações 6 e 7. Para o ponto P2 é possível observar o baixo valor da regressão, igual a 0,5241. Neste caso, analisando  $R^2$  da equação 10 e

os valores expostos pela Tabela 5, é possível visualizar o erro gerado pelo nível, em que, o maior nível não gera o maior CSS e da mesma forma ao contrário.

#### 4.4 ANÁLISE DOS EVENTOS

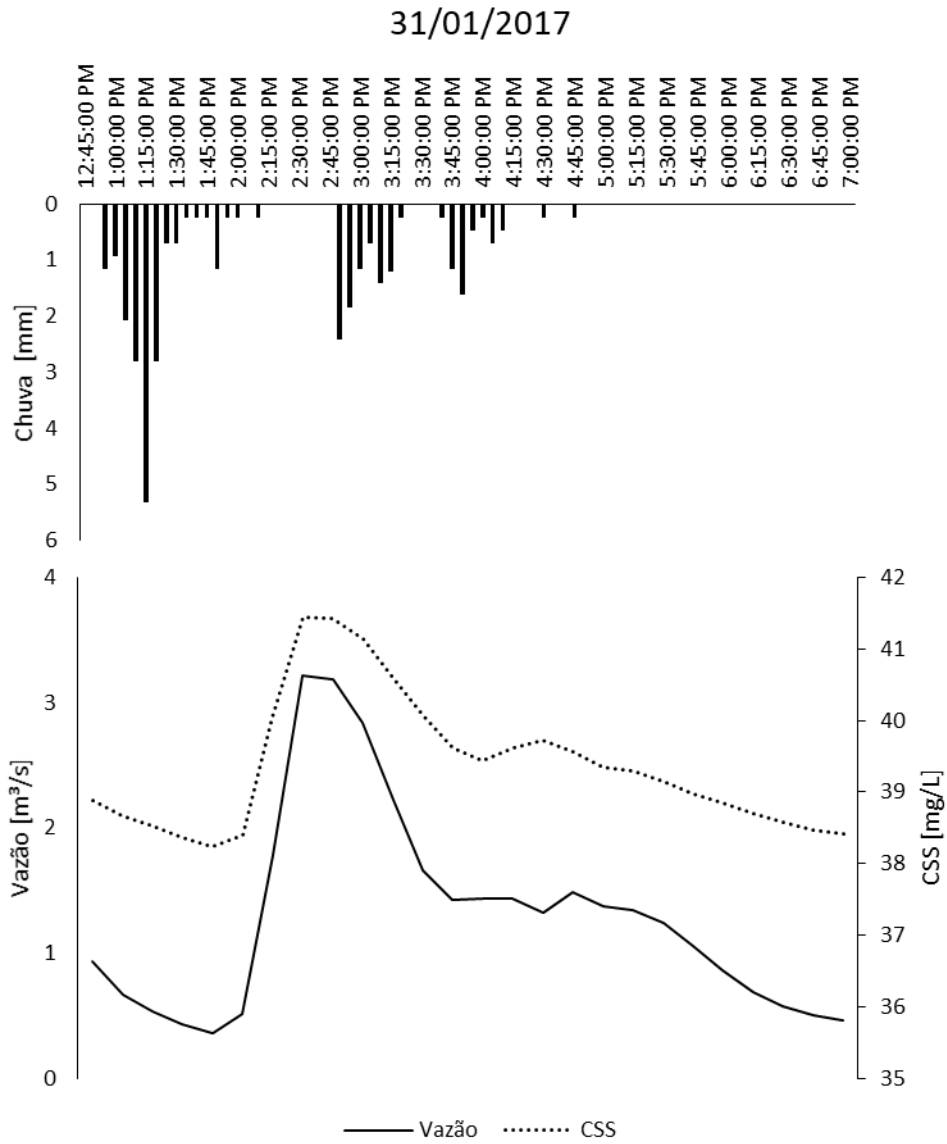
O monitoramento da precipitação, nível e turbidez está sendo realizado no intervalo de 5 minutos. Porém durante as análises dos eventos, foi necessário a adequação dos dados obtidos pelos sensores, no qual, foram observados erros em alguns dos dados, devido a refração causada pela pequena coluna d'água e incidência do sol. Normalmente o erro ocorria durante intervalos de 10 minutos, gerando assim, a necessidade da retirada desses valores e utilização dos dados a cada 15 minutos. Uma vez realizado esse processo, os dados foram transformados em CSS e assim, para cada estação, foram selecionados eventos.

Existiu também, problemas relacionados a perda de dados no ponto de monitoramento P3. Essas perdas foram ocasionadas por três motivos, o primeiro problema aconteceu no sistema elétrico, devido a voltagem transmitida pela bateria aos sensores. O segundo fator que ocasionou a perda, foi no momento da coleta de dados no EPESMode III, em que os dados não foram transmitidos ao aparelho coletor, e sendo o último problema gerado devido a um evento de grande escala que ocasionou o mal funcionamento do sensor de turbidez.

##### 4.4.1 Eventos para P1

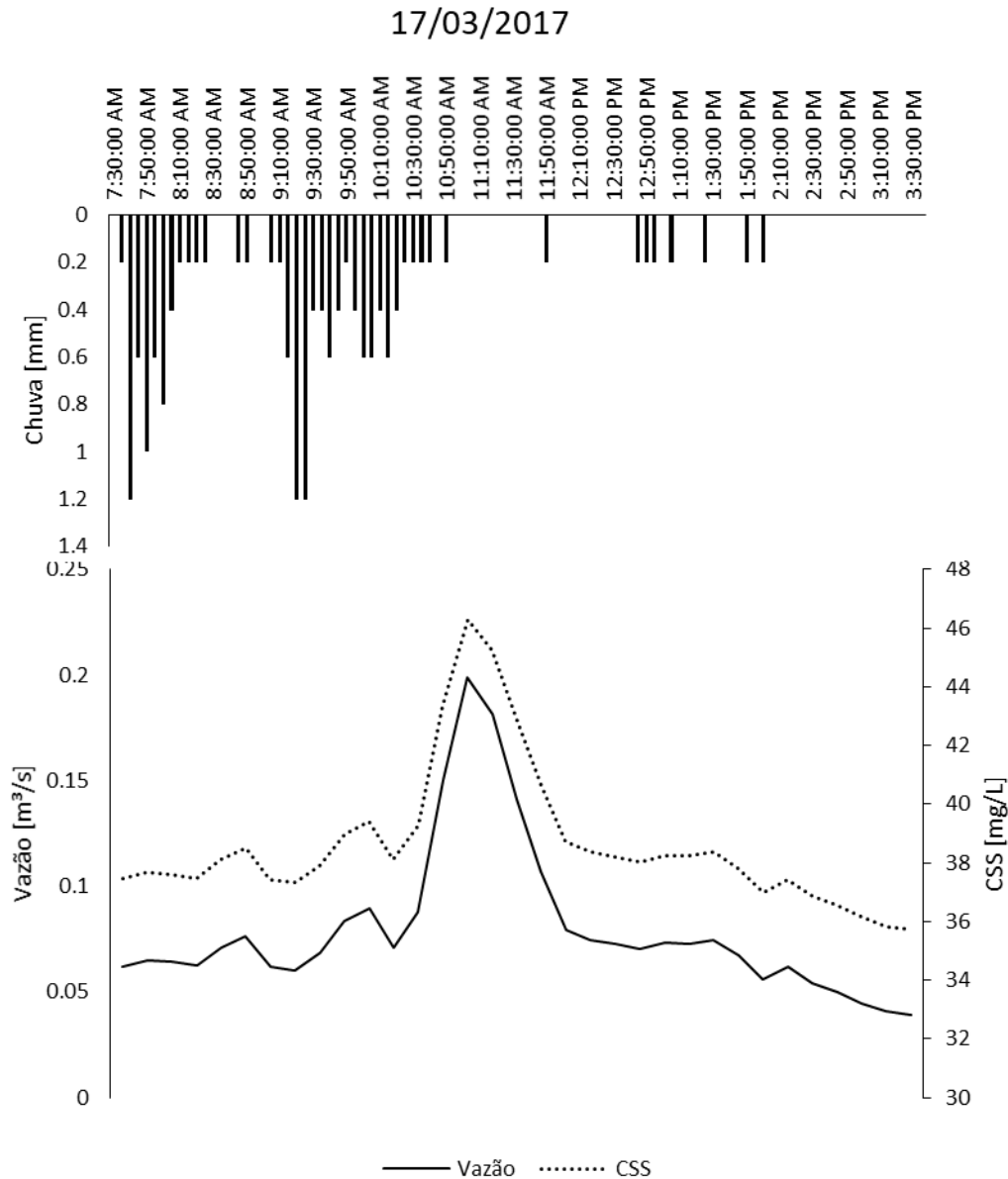
Para o ponto de monitoramento P1, foram correlacionados os dados das vazões, das precipitações e das CSS. Em que os valores dos níveis obtidos pelos sensores, já adequados para 15 minutos, foram transformados em CSS por meio da Equação 8, obtendo-se as relações entre eventos apresentadas na Figura 27 e na Figura 28.

Figura 27 - Relação entre Evento (31/01/2017), Vazão e CSS (P1).



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Figura 28 - Relação entre Evento (17/03/2017), Vazão e CSS (P1).



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

É mostrado pela Figura 27 e Figura 28 a existência da forte correlação entre vazão e a produção de sedimentos suspensos, quando observado, que a medida que a vazão aumenta a CSS também aumenta. No entanto, sabe-se que a produção de sedimentos não ocorre simultaneamente com o aumento da vazão, sendo assim, os picos de vazão não ocorrem simultaneamente com os picos de CSS. Sabe-se também, que as precipitações geram erosão do solo, aumentando a concentração de sedimentos em suspensão à medida que as águas carregam os sedimentos para o curso d'água. Nestas figuras não é possível observar a influência direta das

precipitações no aumento da CSS, mesmo assim, pode ser visto a influência indireta, das precipitações por meio do aumento da vazão e conseqüentemente da CSS. A seguir, na Tabela 7, foram apresentados os valores resumidos do índice de precipitação máxima, precipitação total, vazão máxima e média, CSS máxima e média.

Tabela 7 - Resumo de informações dos eventos analisados em P1.

P1						
Data	I <sub>máx</sub> (mm/h)	Q <sub>méd.</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>máx.</sub> (m <sup>3</sup> /s)	CSS <sub>máx.</sub> (mg/L)	CSS <sub>méd.</sub> (mg/L)	Precipitação (mm)
26-jan-17	61,0	3,7	9,3	44,93	39,38	25,7
31-jan-17	63,7	2,1	3,5	41,45	39,37	18,9
1-fev-17	8,3	1,8	2,9	41,14	38,69	4,1
17-fev-17	168,0	0,2	0,4	54,83	37,48	25,0
17-mar-17	14,4	0,1	0,2	46,27	38,64	15,4
11-abr-17	50,4	1,2	2,2	40,59	38,43	16,6

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Da Tabela 7 retira-se que o índice de precipitação máxima ocorrido foi de 168 mm/h, gerando maior valor de CSS máximo entre os eventos, mas mesmo assim, apresentou menor CSS médio. Para a maior vazão média foi obtida a maior vazão máxima, maior CSS média e maior precipitação, mostrando que, a maior parte da CSS é ocasionada devido a vazão. Por meio das CSS média e do volume total de água passante no evento (m<sup>3</sup>) foi possível estimar quantidade de sedimento transportada para cada evento, mostradas na Tabela 8.

Tabela 8 - Quantidade de Sedimentos Transportados por Evento (P1).

P1			
Data	Volume de água (m <sup>3</sup> )	Sedimento transportado (kg)	Sedimento transportado por sub-bacia (kg/ha)
26-jan-17	37826	1489,47	18,03
31-jan-17	18648	734,15	8,89
1-fev-17	12580	486,71	5,89
17-fev-17	667	25,00	0,30
17-mar-17	1447	55,91	0,68
11-abr-17	12578	483,32	5,85
Total	83746	3274,57	39,64

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Analisando conjuntamente Tabela 7 e Tabela 8, houve, novamente, a confirmação que a produção de CSS aumentou com a vazão, podendo ainda, verificar correlação aparentemente linear nestes casos.

Outra consideração que deve ser feita, em relação a produção de sedimentos são quais locais o curso d'água atravessa, já que, os tipos de uso do solo, próximos aos rios, alteram a concentração dos sedimentos. Por exemplo, no ponto P1, existe fábrica de tubulação e o encontro de duas ruas de chão batido, quando observado em campo, pode ser evidenciado um aumento da CSS devido erosão do solo aparente da estrada e pela movimentação de caminhões e carros. A Figura 29, apresentada a seguir, mostra a erosão gerada pela precipitação no ponto de monitoramento P1, podendo assim, ser confirmada como um dos fatores potenciais na produção de sedimentos suspensos.

Figura 29 - Erosão P1.



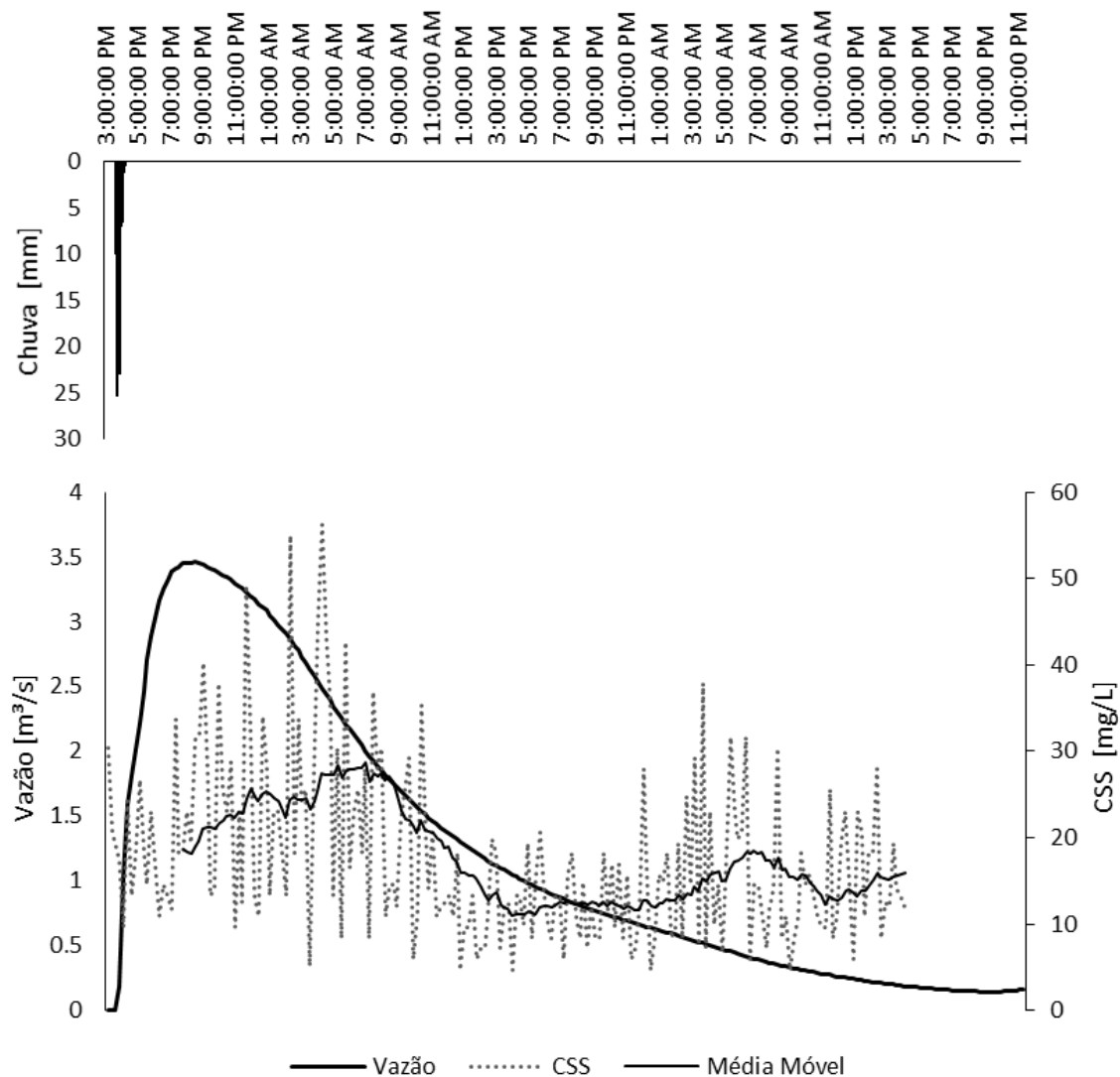
Fonte: Acervo do autor (2017).

#### 4.4.2 Eventos para P2

No ponto P2, os eventos foram analisados em função da vazão e da chuva, os quais foram obtidos através da adequação dos dados gerados pelos sensores, e em função da CSS retornada pela equação 3. Elaborando assim, Figura 30 e Figura 31.

Figura 30 - Relação entre Evento (23 a 25/02/2017), Vazão e CSS (P2).

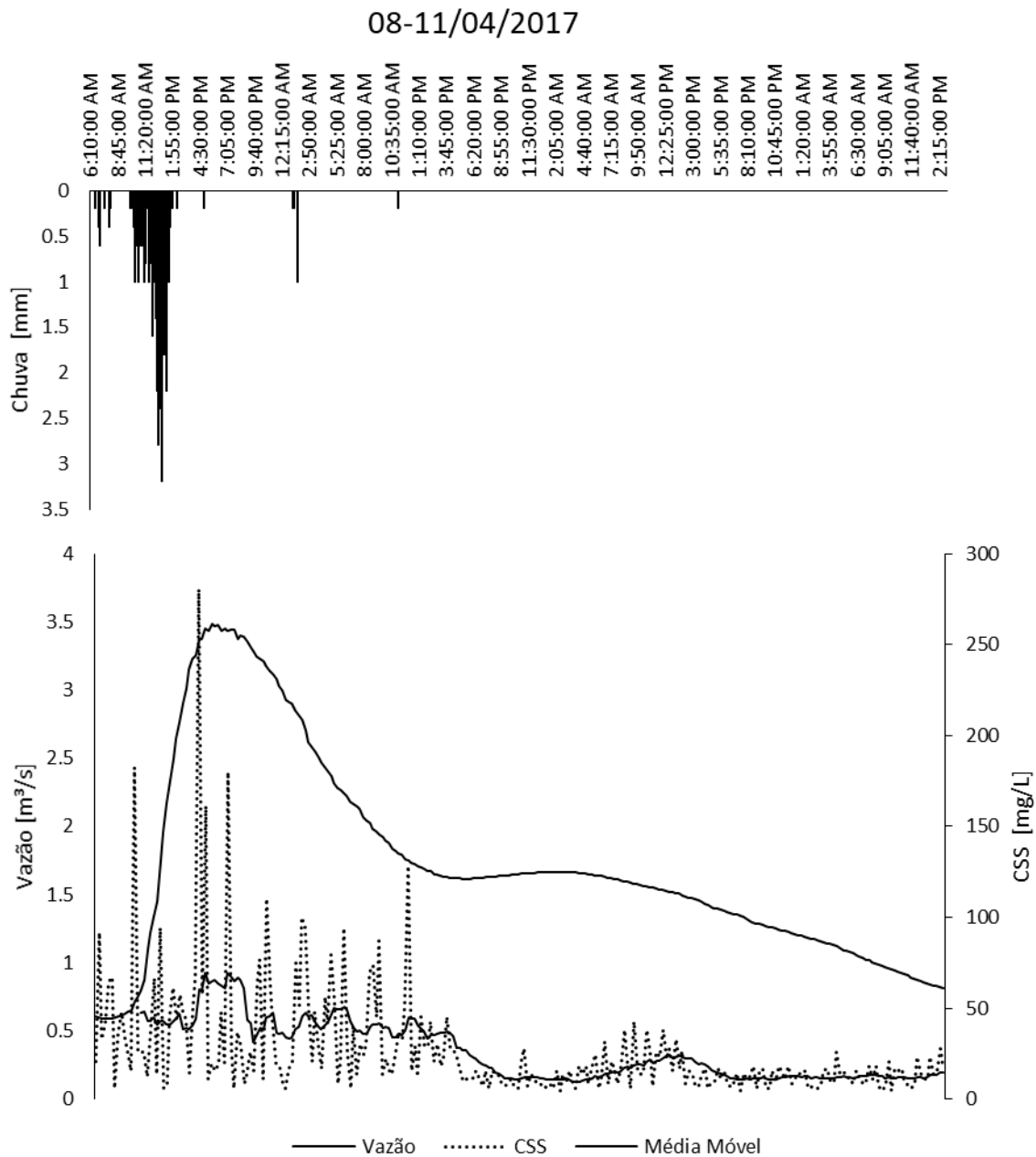
23 - 25/02/2017



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).



Figura 31 - Relação entre Evento (08 a 11/04/2017), Vazão e CSS (P2).



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Nas figuras apresentadas acima é possível observar a relação entre o aumento da vazão, juntamente com o aumento da concentração de sedimentos suspensos. Diferente do ponto de monitoramento P1, CSS estimada por nível, é possível observar um atraso entre o aumento da vazão e o aumento da CSS, podendo ser visto nitidamente na Figura 30. Uma vez que o sensor de turbidez possui maior precisão para a estimativa de CSS, se consegue observar a influência da precipitação no acréscimo da concentração de sedimentos, podendo ser visto na Figura 31, que

há um acréscimo da CSS sem o aumento da vazão. Assim para melhor visualização, foi criado a Tabela 9, como resumo dos valores encontrados nas análises dos eventos.

Tabela 9 - Resumo de informações dos eventos analisados em P2.

P2						
Data	I <sub>máx</sub> (mm/h)	Q <sub>méd.</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>máx.</sub> (m <sup>3</sup> /s)	CSS <sub>máx.</sub> (mg/L)	CSS <sub>méd.</sub> (mg/L)	Precipitação (mm)
11 a 12-fev-17	36,6	0,7	1,2	604,57	121,27	98,0
12 a 14-fev-17	98,2	1,3	2,2	373,94	64,57	26,7
23 a 25-fev-17	304,8	2,7	3,5	56,21	17,60	91,8
1 a 3-mar-17	81,6	0,6	0,7	28,82	9,37	12,4
3 a 4-mar-17	69,6	0,9	1,4	23,09	11,52	11,6
8 a 11-abr-17	38,4	2,1	3,5	280,72	24,94	47,4

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Da Tabela 9, são retirados, que o maior valor de índice pluviométrico máximo é igual a 304,8 mm/h, gerando maior vazão média e máxima, segunda maior precipitação total, mas uma das menores CSS média e máxima. Maior CSS máxima e média foram obtidos para a maior precipitação total. Para melhor análise das quantidades de sedimento transportados foi feito Tabela 10, apresentando valores de volume e peso de sedimento transportado por evento.

Tabela 10 - Quantidade de Sedimentos Transportados por Evento (P2).

P2			
Data	Volume de água (m <sup>3</sup> )	Sedimento transportado (kg)	Sedimento transportado por sub-bacia (kg/ha)
12 a 14-fev-17	141543	9139,75	13,20
23 a 25-fev-17	174531	3071,92	4,44
1 a 3-mar-17	45058	422,13	0,61
3 a 4-mar-17	49351	568,52	0,82
8 a 11-abr-17	295115	7360,26	10,63
Total	705598	20562,57	29,70

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

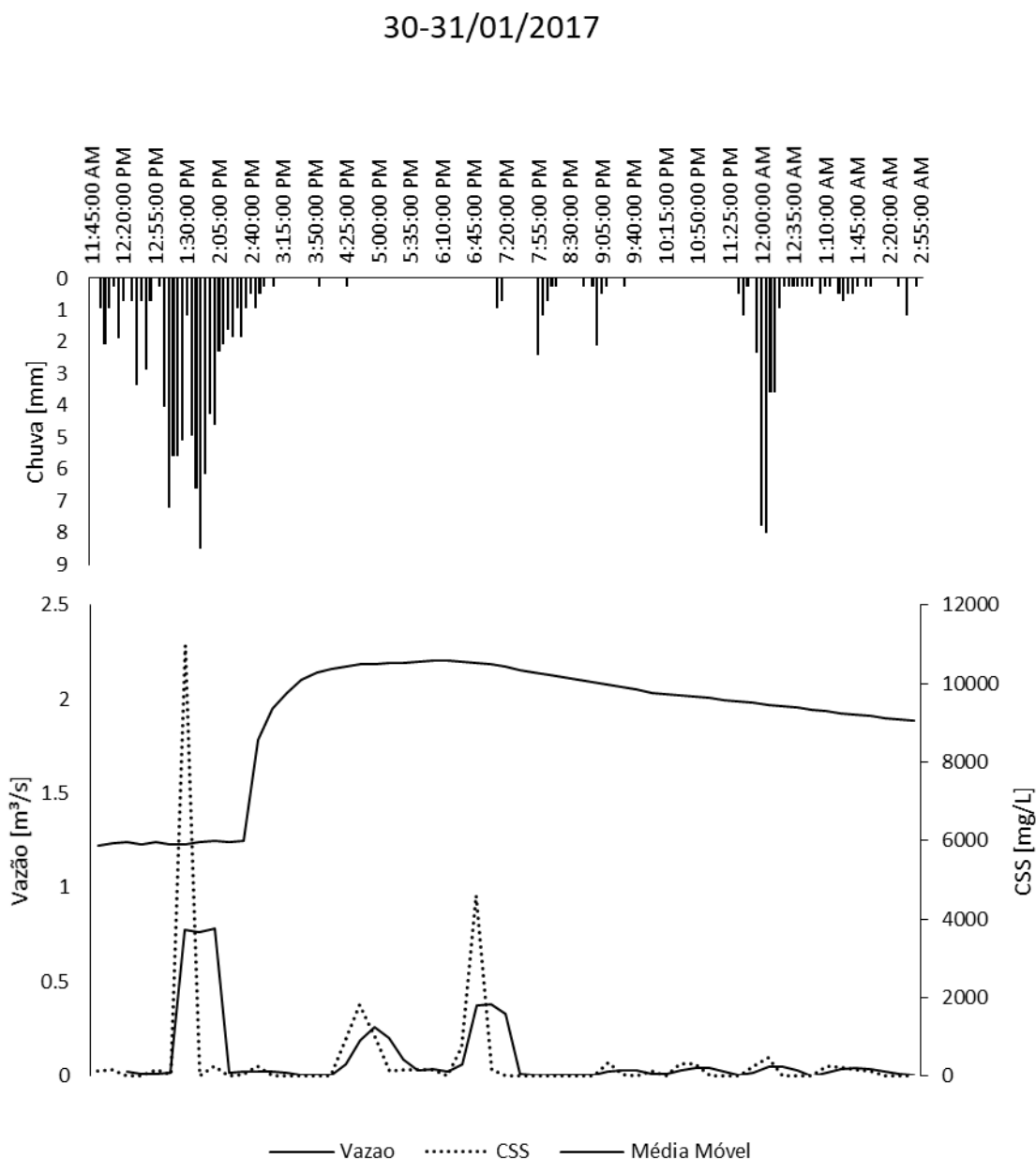
Quando comparados os valores do volume de água e peso de sedimento transportado juntamente com as informações da Tabela 9, fica implícito que outros fatores possuem influência na produção de CSS.

Assim como na estação P1, uso do solo e empresas aos arredores dos cursos d'água geram aumento da CSS. Com visitas ao campo, foi observado a influência de uma lavadora de caminhões ao lado do corpo do rio, onde foi notado, influência ocasionada por produtos como óleo e ou sabão na água.

### 4.4.3 Eventos para P3

Para análise dos eventos em P3, foram utilizados os dados de CSS obtidos pelas equações 6 e 7, juntos dos dados gerados pelos sensores. Sendo criada Figura 32 e Figura 33 que correlacionam vazão, CSS e precipitação da chuva.

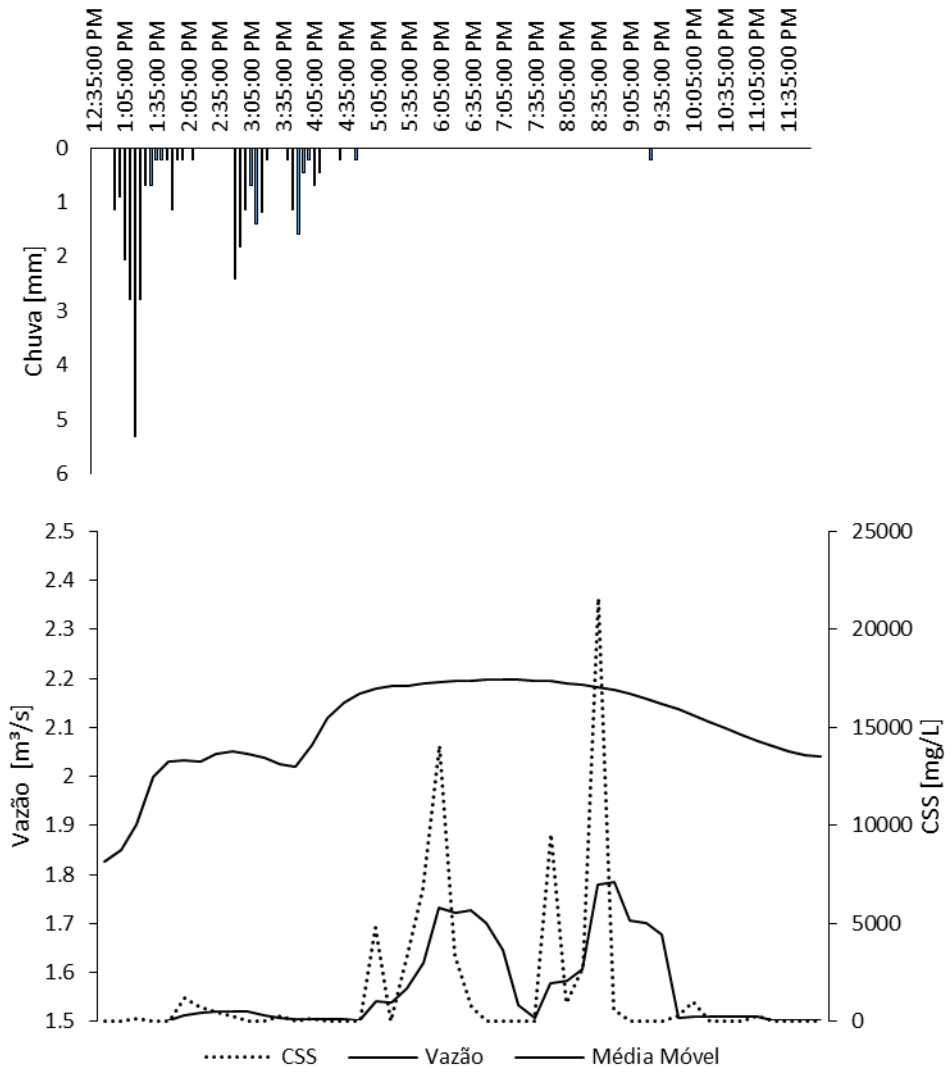
Figura 32 - Relação entre Evento (30 a 31/01/2017), Vazão e CSS (P3).



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Figura 33 - Relação entre Evento (31 a 01/02/2017), Vazão e CSS (P3).

31-01/02/2017



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Observando Figura 32, fica evidenciado forte influência da precipitação na produção de CSS, assim como, influência da vazão no aumento da CSS. Podendo ser visualizado que a precipitação gera um aumento maior da concentração de sedimentos do que a vazão. Na Figura 33 é visto dois picos na CSS durante o aumento da vazão, esses aumentos podem ter sido infligidos, por fatores, como, erosões, indústrias, leves escorregamentos das margens, entre outros. Para melhor visualização dos eventos, foi criado a Tabela 11.

Tabela 11 - Resumo de informações dos eventos analisados em P3.

P3						
Data	I <sub>máx</sub> (mm/h)	Q <sub>méd.</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>máx.</sub> (m <sup>3</sup> /s)	CSS <sub>máx.</sub> (mg/L)	CSS <sub>méd.</sub> (mg/L)	Precipitação (mm)
19-jan-17	16,8	0,4	0,5	19,61	5,21	8,0
30-jan-17	101,8	0,8	0,9	10974,80	404,84	92,5
31-jan-17	13,7	0,5	0,6	357,00	75,69	3,0
31 a 1-fev-2017	63,7	0,7	0,9	21592,63	1601,03	33,1
1 a 2-fev-2017	33,8	0,6	0,7	10018,25	635,92	11,2
3 a 4-fev-2017	5,5	0,2	0,2	643,96	109,66	2,8

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Nos eventos ocorridos em P3, o dia 30 de janeiro, apresentou maior valor de índice pluviométrico máximo (101,8mm/h), exibindo também para o mesmo dia, maiores valores de precipitação total e de vazão média e máxima. A maior CSS (máxima e média) ocorreu quando índice de precipitação máxima foi igual a 63,7 mm/h, em que obteve vazão máxima de 0,9 m<sup>3</sup>/s e segunda maior precipitação igual a 33,1 mm. Com objetivo de melhor visualização dos sedimentos transportados por cada evento, foi criado Tabela 12.

Tabela 12 - Quantidade de Sedimentos Transportados por Evento (P3).

P3			
Data	Volume de água (m <sup>3</sup> )	Sedimento transportado (kg)	Sedimento transportado por sub-bacia (kg/ha)
19-jan-17	8827	46,01	0,16
30-jan-17	29751	12044,51	41,68
31-jan-17	18808	1423,58	4,93
31 a 1-fev-2017	31659	50687,07	175,39
1 a 2-fev-2017	26829	17061,03	59,03
3 a 4-fev-2017	2744	300,91	1,04
Total	118618	81563,11	282,23

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Mediante comparação entre Tabela 12 e Tabela 14, pode ser visto que as maiores quantidades de sedimento transportado ocorrem nas maiores vazões e precipitações. Ainda assim, é percebido a influência de outros fatores na produção de CSS, já que, quando comparado os eventos dos dias 30 de janeiro com evento ocorrido entre 31 de janeiro a 01 de fevereiro, a CSS não ocorreu somente em função da precipitação e vazão (máxima e total). Sendo esse acréscimo de CSS em virtude de fatores como, escorregamentos, erosões e ou por meio antrópico. Assim, como nos demais pontos de monitoramento, existe indústria próximo ao ponto P3, podendo

a mesma ser um desses fatores, já que, foi percebido durante análise da granulometria a existência de detergente nas amostras.

#### 4.5 COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO LINEAR DE PEARSON.

Uma vez analisados os eventos dos pontos de monitoramento P1, P2 e P3 e percebido a influência de outros fatores no aumento da concentração de CSS, foram adicionados às Tabelas 7, 9 e 11, valores dos índices de precipitação antecedente relativos a 1, 3, 6, 12 e 24 horas e relativos a 3, 5, 10 e 30 dias. As relações entre os parâmetros de CSS, vazão, precipitação e API foram analisadas pela matriz de correlação de Pearson. O qual, de acordo com Lopes *et al.* (2014) mede a correlação linear entre variáveis, tendo como resultado, valores entre -1 e 1, em que, valores negativos, significam que variáveis estão caminhando em sentidos opostos, enquanto valores positivos variáveis caminham em um mesmo sentido.

- “-1” significa correlação perfeita negativa entre variáveis;
- “1” significa correlação perfeita positiva entre variáveis;
- “0” significa correlação não linear entre variáveis, significando que deve ser investigada por outros métodos.

Tabela 13 – Interpretação dos Coeficientes de Pearson

Escala de Person		
Fraca	Moderada	Forte
$0 \leq r^2 \leq 0,25$	$0,25 \leq r^2 \leq 0,80$	$0,81 \leq r^2 \leq 1,00$

Fonte: Adaptado de Lopes *et al.* (2014).

A matriz de correlação de Pearson foi feita pelo software Excel, o qual, analisou par de colunas retornando seus respectivos coeficientes. A Tabela 14, Tabela 15 e Tabela 16 mostra a síntese desta matriz para os três pontos de monitoramento.

Tabela 14 - Coeficientes de Pearson para P1.

P1	I <sub>MAX</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>MAX</sub>	CSS <sub>MAX</sub>	CSS <sub>MÉD</sub>	Precipitação
I <sub>MAX</sub>	1,00					
Q <sub>MÉD</sub>	-0,21	1,00				
Q <sub>MAX</sub>	-0,13	0,97	1,00			
CSS <sub>MAX</sub>	0,80	-0,44	-0,30	1,00		
CSS <sub>MÉD</sub>	-0,61	0,77	0,70	-0,70	1,00	
Precipitação	0,72	0,17	0,32	0,57	-0,08	1,00
API-3d	-0,46	0,30	0,07	-0,70	0,47	-0,67
API-5d	-0,43	0,28	0,04	-0,70	0,43	-0,66
API-10d	-0,44	0,34	0,11	-0,71	0,47	-0,65
API-30d	-0,43	0,25	0,03	-0,63	0,33	-0,74
API-1h	0,00	0,80	0,92	0,01	0,50	0,50
API-3h	0,00	0,84	0,94	-0,03	0,56	0,52
API-6h	0,00	0,84	0,94	-0,03	0,57	0,52
API-12h	0,01	0,89	0,93	-0,14	0,72	0,53
API-24h	-0,09	0,74	0,66	-0,33	0,83	0,29

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Tabela 15 - Coeficientes de Pearson para P2.

P2	I <sub>MAX</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>MAX</sub>	CSS <sub>MAX</sub>	CSS <sub>MÉD</sub>	Precipitação
I <sub>MAX</sub>	1,00					
Q <sub>MÉD</sub>	0,68	1,00				
Q <sub>MAX</sub>	0,49	0,97	1,00			
CSS <sub>MAX</sub>	-0,44	-0,18	-0,04	1,00		
CSS <sub>MÉD</sub>	-0,34	-0,31	-0,22	0,95	1,00	
Precipitação	0,39	0,43	0,38	0,50	0,55	1,00
API-3d	-0,38	-0,18	-0,05	-0,08	-0,20	-0,78
API-5d	-0,47	0,06	0,25	-0,01	-0,25	-0,64
API-10d	-0,60	-0,24	-0,10	-0,26	-0,44	-0,87
API-30d	-0,72	-0,35	-0,14	0,33	0,17	-0,59
API-1h	-	-	-	-	-	-
API-3h	-0,32	0,43	0,59	0,11	-0,18	-0,01
API-6h	-0,32	0,43	0,59	0,11	-0,18	-0,01
API-12h	-0,52	0,10	0,32	0,81	0,59	0,23
API-24h	-0,44	-0,34	-0,21	0,91	0,88	0,23

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Tabela 16 - Coeficientes de Pearson para P3.

P3	I <sub>MAX</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>MAX</sub>	CSS <sub>MAX</sub>	CSS <sub>MÉD</sub>	Precipitação
I <sub>MAX</sub>	1,00					
Q <sub>MÉD</sub>	0,84	1,00				
Q <sub>MAX</sub>	0,81	0,98	1,00			
CSS <sub>MAX</sub>	0,71	0,76	0,77	1,00		
CSS <sub>MÉD</sub>	0,50	0,61	0,64	0,96	1,00	
Precipitação	0,96	0,71	0,65	0,50	0,26	1,00
API-3d	-0,29	0,23	0,31	0,23	0,38	-0,52
API-5d	-0,36	0,15	0,21	0,22	0,40	-0,59
API-10d	-0,40	0,11	0,16	0,21	0,39	-0,62
API-30d	-0,38	0,06	0,11	0,20	0,35	-0,59
API-1h	-0,30	-0,35	-0,20	-0,41	-0,38	-0,24
API-3h	-0,26	0,14	0,06	-0,14	-0,02	-0,31
API-6h	-0,28	0,11	0,02	-0,21	-0,11	-0,31
API-12h	-0,45	-0,15	-0,13	-0,49	-0,38	-0,43
API-24h	-0,33	0,04	0,07	-0,15	0,00	-0,40

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

No ponto P1, através dos resultados mostrados e destacados na Tabela 14, confirma-se que CSS máxima e precipitação máxima possuem correlação forte entre si. Percebe-se também, que precipitação total e API de 3, 5, 10 e 30 dias possuem relação moderada com CSS máximo. E API de 1, 3, 6, 12 e 24 horas, possui relação com vazão média e máxima entre forte e muito forte e relação moderada a forte com CSS média. Outra análise, feita a partir dos coeficientes, é que, a medida que as precipitações de até 30 dias anteriores ao evento aumentam, a CSS máxima diminui, mas em contrapartida, a CSS média aumenta. No entanto, o aumento das chuvas de até 24 horas antecedentes ao evento, promovem o aumento da vazão e da CSS média com relações moderadas a fortes.

O ponto de monitoramento P2, foi o que apresentou menores quantidades de relações lineares entre os parâmetros, sendo visualizadas na Tabela 15. Apresentando, relação moderada para precipitação total e CSS máxima e média, relação moderada entre API de 3 e 6 horas e vazão máxima, e relação moderada a forte na produção de sedimentos através de chuvas de 12 a 24 horas antecedentes. A relação entre precipitação antecedente de 12 a 24 horas e CSS, prova que as chuvas causam erosão do solo, mas que não necessariamente, são transportados ao curso d'água no momento da erosão.



Da Tabela 16, nota-se que, o índice de precipitação máxima e a vazão possuem correlação moderada a forte com as concentrações de sedimento. Sendo, possível a confirmação das relações já vistas na Figura 32 e Figura 33. Por mais que, API de 3, 5, 10 e 30 dias apresentem relações fracas, as chuvas antecedentes também são fatores que propiciam o aumento da CSS, como já visto anteriormente, assim, essas relações podem ser não lineares, dessa forma, os Coeficientes de Pearson não representam adequada para análise para esses fatores.

Os parâmetros utilizados para o cálculo das matrizes *Pearson* e as matrizes com o Coeficientes de Pearson, encontram-se no Apêndice A e B, respectivamente.

## 5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES

O estudo resultou na obtenção das equações de CSS a partir da regressão dos dados de turbidez para os pontos de monitoramento P2 e P3. Para o ponto de monitoramento P1 foi obtida uma equação de CSS a partir de dados do nível de água. Apesar da menor precisão associada a essa equação, ela foi justificada uma vez que não foi possível a implantação do sensor de turbidez no P1.

Para o ponto de monitoramento P1 foi possível confirmar a influência da vazão por meio das correlações entre precipitação, vazão e CSS. No entanto, devido a falta de dados de turbidez, não foi possível confirmar outros tipos de influência por meio dos gráficos apresentados na seção 4.4.1. Para o ponto P1, foi confirmada a relação entre outros parâmetros por meio dos coeficientes de *Pearson*, em que foi visualizada a influência do  $I_{máx}$ , da precipitação total e do índice de precipitação antecedentes.

O ponto P2 teve maior representatividade pela equação gerada por meio do CSS e sinal emitido pelo sensor de turbidez. Nas análises dos eventos de chuva realizadas por meio dessa equação, foi possível observar a influência da precipitação máxima e da vazão no aumento do CSS. Com os valores dos coeficientes de *Pearson*, foi percebido a correlação com força forte para API de 12 e 24 horas no aumento de CSS e moderada para a precipitação total. O P2 não obteve uma notabilidade quando relacionado CSS e nível de água.

No ponto de monitoramento P3, foi adotada a hipótese de duas tendências, as quais tiveram boa correlação, uma vez que os resultados analisados se encontravam dentro do esperado. Foi notada a influência da vazão e da chuva no aumento da CSS, obtendo-se também, valores com força moderada a forte para relação linear entre os valores de CSS,  $I_{máx}$  e vazão máxima e média. Tal resultado também foi percebido nos pontos P1 e P2. As chuvas antecedentes de 5 a 30 dias possuem influência leve na produção de sedimentos.

Outros fatores importantes que causaram o aumento da CSS, confirmadas no estudo, foram: erosões, que carregaram sedimentos para os cursos de água, a presença de empresas próximas ao rio, notando-se a presença de produtos estranhos na água, como óleo e sabão, e a movimentação de carro nas estradas, que gera poeira.

Sabendo que cada ponto de monitoramento foi localizado na exutória de uma sub-bacia da BHCUIJ, foi calculado, por meio da Tabela 8, Tabela 10 e Tabela 12, qual

das sub-bacias apresentava o maior transporte de sedimentos em função do volume total. O maior transporte de sedimentos foi da sub-bacia do ponto P3, com  $0,6876 \text{ kg/m}^3$ , e o menor transporte ocorreu na sub-bacia do ponto P2, com  $0,0291 \text{ kg/m}^3$ , valores esses equivalentes a quantidade de sedimentos transportados na totalidade dos eventos.

O ponto de monitoramento P2 encontra-se localizado abaixo da exutória da sub-bacia representada por P3, nesse sentido, a quantidade de sedimento transportada deveria ser maior em P2. Contudo, P2 encontra-se em uma área com menor urbanização e apresenta inclinação igual a  $0,025 \text{ m/m}$  enquanto em P3, inclinação é igual a  $0,038 \text{ m/m}$ . Assim é possível afirmar a existência de fatores de maior produção de sedimentos em P3 e a existência de deposição de sedimento entre P2 e P3, sendo locais com baixa velocidade de escoamento favoráveis ao mesmo.

Ressalta-se que, uma vez conhecida a possibilidade de mudança no regime sedimentológico da região, estudos mais detalhados são recomendados para melhor compreensão do transporte de sedimentos na BHCUIJ. Desta forma, recomenda-se para trabalhos futuros: aumentar a discretização das curvas de CSS, calcular a descarga sólida por arrasto e total, verificar o local de assoreamento dos sedimentos, mensurar a influência gerada exclusivamente pelas empresas próximas ao rio, estudar a influência da construção do campus universitário no regime sedimentológico e determinar uma nova curva CSS em função da vazão do rio.

Finalmente, o presente trabalho de conclusão de curso teve como objetivo contribuir para a compreensão do comportamento sedimentológico da BHCUIJ. E, apesar da necessidade de estudos futuros, as análises realizadas e resultados obtidos se mostram válidos e corroboraram o estudo hidrossedimentar da BHCUIJ.

## REFERÊNCIAS

BARBETA, A. P.; REIS, M. M; BORNIA, A. C. **Estatística Para Cursos de Engenharia e Informática**. 3<sup>a</sup> ed. Atlas. São Paulo, 2010. 416p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente/SBF. **Água: Recursos hídricos: Águas subterrâneas e o ciclo hidrológico**. Brasília – DF. 2002.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone, 2010.

CAMPBELL SCIENTIFIC. **OBS-3+ and OBS300 suspended solids and turbidity monitors Operator's manual**.<  
<https://s.campbellsci.com/documents/us/manuals/obs-3+.pdf> >. 03 Jul. 2017.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. Apostila de Hidrologia. Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2006. 86 p.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática**. CPRM, Rio de Janeiro, 1994, 372 p.

CARVALHO, N. O. **Curso de Hidrossedimentologia de Interesse ao Assoreamento e Proteção de Reservatórios**. Goiânia, maio de 1994.

CARVALHO, N. O.; JUNIOR, N. P. F.; SANTOR, P. M. S.; LIMA, J. E. F. W. **Guia de Práticas Sedimentológicas**: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2000.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática**. 2<sup>a</sup> ed., rev., atual. e ampliada. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

EDWARDS T.K.; GLYSSON G. D. **Techniques of Water-Resources Investigations of the U.S. Geological Survey: Field Method for Measurement of Fluvial Sediment**. 3<sup>a</sup> ed., p.48. 1989

GARCEZ, Lucas Nogueira; COSTA ALVAREZ, Guillermo. **Hidrologia**. 2ª ed. rev. e atualizada. São Paulo: Edgard Blucher, 1988. 291p.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico** – 9a ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. 648 p.

LOUREIRO, D. D.T. **Métodos atuais e novas tecnologias para o monitoramento do transporte de sedimentos em rios: necessidade de dados e incertezas envolvidas**. São Carlos: USP; 2008.

MEDEIROS, P. A., CORDERO, A., **Transporte de Sedimentos em Suspensão em 3 Postos Sedimentométricos da Bacia do Rio Itajaí-Açú**, VIII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, 2008.

ORWIN, J. F.; SMART C. C. **An inexpensive turbidimeter for monitoring suspended sediement**. 53rd Annual Meeting of the Canadian Association of Geographers. Elsevier, 2003.

RIGOTTI, J. A. 2010. **Estudo da Degradação em Cursos D'água: Bacia Hidrográfica do Futuro Campus da UFSC**, Joinville. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

RIGOTTI, J. A.; POMPÊO, C. A. 2011. **Estudo de revitalização de cursos d'água: Bacia Hidrográfica do Futuro Campus UFSC**, Joinville - SC. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió.

SILVA, A.M.; SCHULZ, H.E.; CAMARGO, P.B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. São Carlos: Editora Rima, 2003, 138 p.

SUN, H.; CORNISH, P. S.; DANIELL, T. M. **Turbidity-based erosion estimation in a catchment in South Australia**. Journal of Hydrology. Elsevier, 2001.

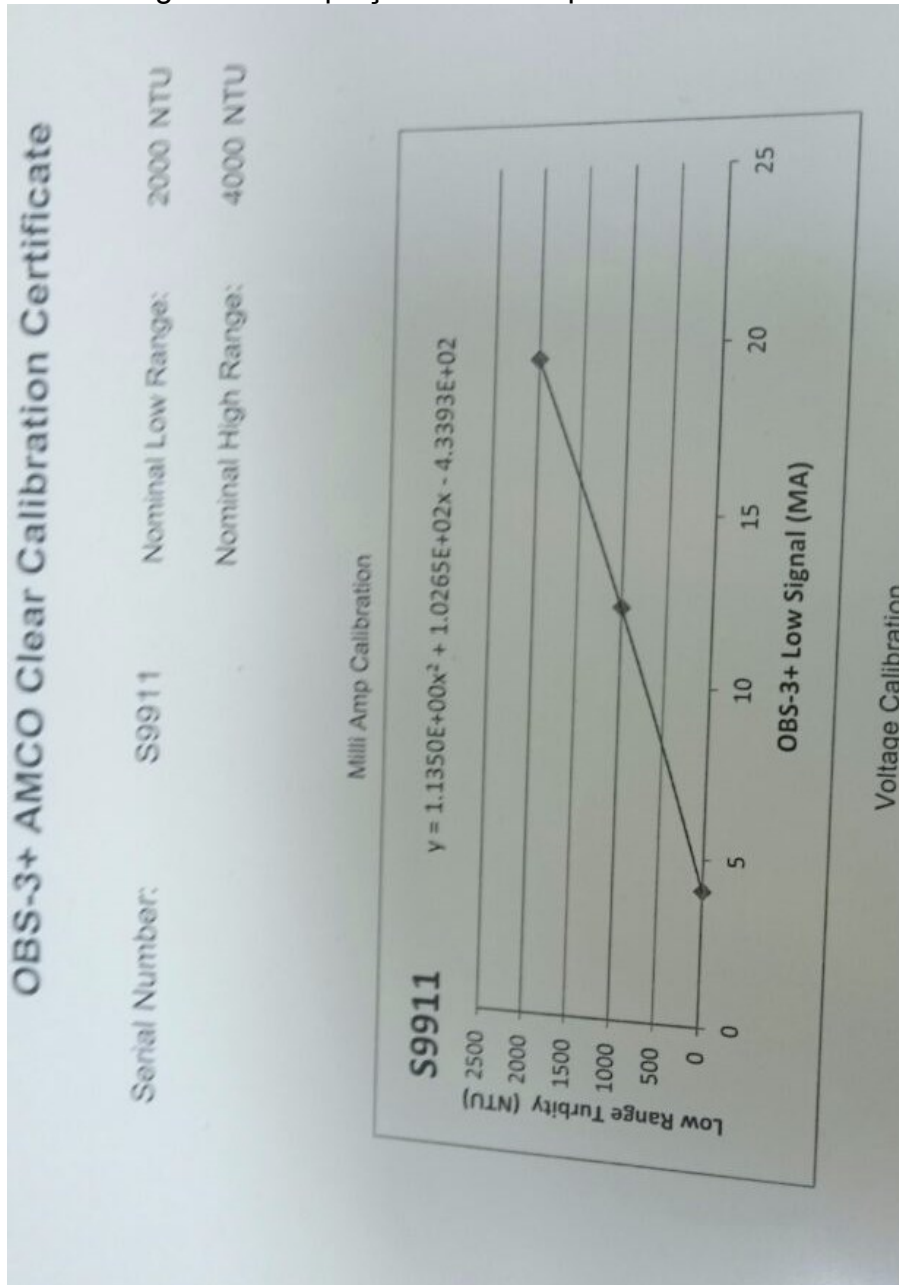
TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**. 2ª ed, Editora da Universidade/UFRGS, 2001.

TUCCI, C.; COLLISCHONN, W. 1998. **Drenagem urbana e Controle de Erosão**. VI Simpósio nacional de controle da erosão, Presidente Prudente, São Paulo.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS M. DE. **Drenagem Urbana**. Editora da Universidade/UFRGS, 1995, 427p.

## ANEXO A - Relação mV e NTU (Campbell)

Figura 34 - Equação fornecido pelo fabricante.



Fonte: Acervo do autor (2017).

**APÊNDICE A - Tabelas de parâmetros P1, P2 e P3.**

**Tabela 17 - Resumo de Parâmetros P1**

Data	I <sub>MAX</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>MAX</sub>	CSS <sub>MAX</sub>	CSS <sub>MÉD</sub>	Precipitação	DIAS					HORAS			
	mm/h	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	mg/L	mg/L	mm	API 3d	API 5d	API 10d	API 30d	API 1h	API 3h	API 6h	API 12h	API 24h
26/01/2017	61,0	3,7	9,3	44,93	39,38	25,7	19,7	20,2	33,3	40,1	3,3	6,1	6,2	6,2	6,3
31/01/2017	63,7	2,1	3,5	41,45	39,37	18,9	119,7	128,9	132,7	156,0	0,0	0,6	0,8	2,9	8,3
01/02/2017	8,3	1,8	2,9	41,14	38,69	4,1	126,6	131,0	140,7	209,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4
17/02/2017	168,0	0,2	0,4	54,83	37,48	25,0	0,1	6,9	9,9	31,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
17/03/2017	14,4	0,1	0,2	46,27	38,64	15,4	12,5	14,5	15,9	27,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0
11/04/2017	50,4	1,2	2,2	40,59	38,43	16,6	44,4	56,4	59,2	75,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

**Tabela 18 - Resumo de Parâmetros P2**

Data	I <sub>MAX</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>max</sub>	CSS <sub>MAX</sub>	CSS <sub>MÉD</sub>	Precipitação	DIAS					HORAS				
	mm/h	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	mg/L	mg/L	mm	API 3d	API 5d	API 10d	API 30d	API 1h	API 3h	API 6h	API 12h	API 24h	
11 a 12/02/17	36,6	0,7	1,2	604,6	121,3	98,0	0,4	0,5	3,0	31,2	0,0	0,0	0,0	0,3	1,2	
12 a 14/02/17	98,2	1,3	2,2	373,9	64,6	26,7	17,6	17,6	18,3	46,0	0,0	0,0	0,0	0,3	1,2	
23 a 25/02/17	304,8	2,7	3,5	56,2	17,6	91,8	0,2	0,2	0,4	17,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
01 a 03/03/17	81,6	0,6	0,7	28,8	9,4	12,4	6,1	6,1	17,6	29,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	
03 a 04/03/17	69,6	0,9	1,4	23,1	11,5	11,6	12,9	12,9	21,5	38,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
08 a 11/04/17	38,4	2,1	3,5	280,7	24,9	47,4	9,2	19,2	23,0	39,5	0,0	0,2	0,4	0,4	0,4	

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).



Tabela 19 - Resumo de Parâmetros P3

Data	I <sub>MAX</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>MAX</sub>	CSS <sub>MAX</sub>	CSS <sub>MÉD</sub>	Precipitação	DIAS				HORAS				
	mm/h	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s			mm	API 3d	API 5d	API 10d	API 30d	API1 h	API3 h	API6 h	API- 12h	API2 4h
19/01/2017	16,8	0,4	0,5	19,6	5,2	8,0	90,3	90,3	90,7	104,5	0,2	0,2	0,2	10,3	10,3
30/01/2017	101,8	0,8	0,9	10974,8	404,8	92,5	24,2	37,4	38,3	61,3	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2
31/01/2017	13,7	0,5	0,6	357,0	75,7	3,0	119,7	128,9	132,7	156,0	0,0	1,7	3,0	12,3	12,3
31-01/02/2017	63,7	0,7	0,9	21592,6	1601,0	33,1	119,7	128,9	132,7	156,0	0,0	0,6	0,8	2,9	8,3
01-02/02/2017	33,8	0,6	0,7	10018,3	635,9	11,2	126,6	131,0	140,7	209,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4
03-04/02/2017	5,5	0,2	0,2	644,0	109,7	2,8	33,9	63,9	73,8	114,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

**APÊNDICE B - Matrizes dos Coeficientes de Pearson**

Tabela 20 - Tabela de Pearson para P1

P1	I <sub>MAX</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>MAX</sub>	CSS <sub>MAX</sub>	CSS <sub>MÉD</sub>	Precipitação	API-3d	API-5d	API-10d	API-30d	API-1h	API-3h	API-6h	API-12h	API-24h
I <sub>MAX</sub>	1,00														
Q <sub>MÉD</sub>	-0,21	1,00													
Q <sub>MAX</sub>	-0,13	0,97	1,00												
CSS <sub>MAX</sub>	0,80	-0,44	-0,30	1,00											
CSS <sub>MÉD</sub>	-0,61	0,77	0,70	-0,70	1,00										
Precip.	0,72	0,17	0,32	0,57	-0,08	1,00									
API-3d	-0,46	0,30	0,07	-0,70	0,47	-0,67	1,00								
API-5d	-0,43	0,28	0,04	-0,70	0,43	-0,66	1,00	1,00							
API-10d	-0,44	0,34	0,11	-0,71	0,47	-0,65	1,00	1,00	1,00						
API-30d	-0,43	0,25	0,03	-0,63	0,33	-0,74	0,98	0,97	0,98	1,00					
API-1h	0,00	0,80	0,92	0,01	0,50	0,50	-0,30	-0,34	-0,27	-0,32	1,00				
API-3h	0,00	0,84	0,94	-0,03	0,56	0,52	-0,24	-0,28	-0,21	-0,28	0,99	1,00			
API-6h	0,00	0,84	0,94	-0,03	0,57	0,52	-0,23	-0,27	-0,20	-0,27	0,99	1,00	1,00		
API-12h	0,01	0,89	0,93	-0,14	0,72	0,53	-0,03	-0,06	0,00	-0,12	0,89	0,93	0,94	1,00	
API-24h	-0,09	0,74	0,66	-0,33	0,83	0,29	0,40	0,38	0,40	0,25	0,47	0,56	0,58	0,81	1,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Tabela 21 - Tabela de Pearson para P2

P2	I <sub>MAX</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>MAX</sub>	CSS <sub>MAX</sub>	CSS <sub>MÉD</sub>	Precipitação	API-3d	API-5d	API-10d	API-30d	API-1h	API-3h	API-6h	API-12h	API-24h
I <sub>MAX</sub>	1,00														
Q <sub>MÉD</sub>	0,68	1,00													
Q <sub>MAX</sub>	0,49	0,97	1,00												
CSS <sub>MAX</sub>	-0,44	-0,18	-0,04	1,00											
CSS <sub>MÉD</sub>	-0,34	-0,31	-0,22	0,95	1,00										
Precipitação	0,39	0,43	0,38	0,50	0,55	1,00									
API-3d	-0,38	-0,18	-0,05	-0,08	-0,20	-0,78	1,00								
API-5d	-0,47	0,06	0,25	-0,01	-0,25	-0,64	0,87	1,00							
API-10d	-0,60	-0,24	-0,10	-0,26	-0,44	-0,87	0,80	0,88	1,00						
API-30d	-0,72	-0,35	-0,14	0,33	0,17	-0,59	0,88	0,86	0,77	1,00					
API-1h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
API-3h	-0,32	0,43	0,59	0,11	-0,18	-0,01	0,10	0,57	0,46	0,29	-	1,00			
API-6h	-0,32	0,43	0,59	0,11	-0,18	-0,01	0,10	0,57	0,46	0,29	-	1,00	1,00		
API-12h	-0,52	0,10	0,32	0,81	0,59	0,23	0,21	0,47	0,18	0,57	-	0,61	0,61	1,00	
API-24h	-0,44	-0,34	-0,21	0,91	0,88	0,23	0,17	0,09	-0,12	0,48	-	-0,09	-0,09	0,71	1,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Tabela 22 - Tabela de Pearson para P3

P3	I <sub>MAX</sub>	Q <sub>MÉD</sub>	Q <sub>MAX</sub>	CSS <sub>MAX</sub>	CSS <sub>MÉD</sub>	Precipitação	API-3d	API-5d	API-10d	API-30d	API-1h	API-3h	API-6h	API-12h	API-24h
I <sub>MAX</sub>	1,00														
Q <sub>MÉD</sub>	0,84	1,00													
Q <sub>MAX</sub>	0,81	0,98	1,00												
CSS <sub>MAX</sub>	0,71	0,76	0,77	1,00											
CSS <sub>MÉD</sub>	0,50	0,61	0,64	0,96	1,00										
Precipitação	0,96	0,71	0,65	0,50	0,26	1,00									
API-3d	-0,29	0,23	0,31	0,23	0,38	-0,52	1,00								
API-5d	-0,36	0,15	0,21	0,22	0,40	-0,59	0,98	1,00							
API-10d	-0,40	0,11	0,16	0,21	0,39	-0,62	0,96	1,00	1,00						
API-30d	-0,38	0,06	0,11	0,20	0,35	-0,59	0,85	0,90	0,93	1,00					
API-1h	-0,30	-0,35	-0,20	-0,41	-0,38	-0,24	0,05	-0,08	-0,13	-0,28	1,00				
API-3h	-0,26	0,14	0,06	-0,14	-0,02	-0,31	0,53	0,56	0,52	0,27	-0,15	1,00			
API-6h	-0,28	0,11	0,02	-0,21	-0,11	-0,31	0,48	0,52	0,48	0,26	-0,18	0,99	1,00		
API-12h	-0,45	-0,15	-0,13	-0,49	-0,38	-0,43	0,43	0,37	0,31	0,02	0,53	0,75	0,74	1,00	
API-24h	-0,33	0,04	0,07	-0,15	0,00	-0,40	0,62	0,57	0,51	0,18	0,43	0,79	0,74	0,92	1,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).