

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO SOLO**

**CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS, CARBONO,
NITROGÊNIO E FRAÇÕES DE FÓSFORO EM SEDIMENTOS
DURANTE EVENTOS CHUVA-VAZÃO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS
NO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Márcia Luciane Kochem

**Santa Maria, RS, Brasil.
2014**

**CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS, CARBONO,
NITROGÊNIO E FRAÇÕES DE FÓSFORO EM SEDIMENTOS
DURANTE EVENTOS CHUVA-VAZÃO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS
NO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL**

Márcia Luciane Kochem

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo, Área de Manejo e Conservação do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências do Solo**.

Orientador: Jean Paolo Gomes Minella

Santa Maria, RS, Brasil.
2014

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo**

A comissão examinadora, abaixo assinada,
aprova o Dissertação de Mestrado

**CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS, CARBONO,
NITROGÊNIO E FRAÇÕES DE FÓSFORO EM SEDIMENTOS
DURANTE EVENTOS CHUVA-VAZÃO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS
NO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL**

elaborada por
Márcia Luciane Kochem

Com requisito parcial para a obtenção do grau de
Mestre em Ciências do Solo

COMISSÃO EXAMINADORA:

Jean Paolo Gomes Minella, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Ricardo Bergamo Schenato, Dr. (UFSM)

Alexandre Swarowsky, Dr. (UNIFRA)

Santa Maria, 11 de agosto de 2014.

“APRENDI QUE AMAR NÃO SIGNIFICA ESTAR JUNTO,
MAS SIM QUERER VÊR A PESSOA FELIZ,
MESMO QUE ISSO CUSTE A SUA FELICIDADE.”

Autor: John

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela oportunidade da realização do Curso de Mestrado.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

Aos agricultores das bacias hidrográficas, que auxiliaram em informações e abriram as portas para realização de coletas, além da hospitalidade.

À minha família, em especial a meu pai Arlindo Kochem, minha mãe Lucia Maria Ludwig Kochem e meu irmão Cláudio Luis Kochem, pelo apoio e o incentivo nos estudos.

Ao meu companheiro, André Pellegrini, pela convivência, parceria, amizade e apoio, nos últimos anos e para os próximos que virão.

Ao meu orientador, professor Jean Paolo Gomes Minella, pelo apoio e orientação.

A todos os colegas do Laboratório de Química e Fertilidade do Solo e o Laboratório de Hidrossedimentologia, pela convivência e amizade.

Aos amigos, pelos momentos de descontração, lazer e visitas, que de forma direta ou indireta também contribuíram para o trabalho, pois assim como a dissertação, os amigos fazem parte da nossa vida.

MUITO OBRIGADO!!!

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo
Universidade Federal de Santa Maria

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO DURANTE EVENTOS FLUVIOMÉTRICOS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS DO SUL DO BRASIL

AUTORA: MÁRCIA LUCIANE KOCHER
ORIENTADOR: JEAN PAULO GOMES MINELLA
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 11 de agosto de 2014.

A alta carga de sedimentos observadas nos corpos hídricos do sul do Brasil está fortemente relacionada com a degradação dos solos agrícolas devido à erosão hídrica. Atualmente há um grande interesse em descrever os processos erosivos e hidrossedimentológicos na escala da bacia para quantificar o impacto da degradação dos solos nos recursos hídricos, pois a erosão é o processo governante na transferência de nutrientes e contaminantes para os mananciais hídricos. A granulometria é característica fundamental para definir os processos de desagregação, transporte e deposição, bem como a capacidade de transporte de fósforo e carbono, sendo assim o objetivo deste trabalho foi caracterizar a distribuição granulométrica e a concentração de fósforo e carbono em amostras de sedimentos em suspensão durante eventos em três bacias hidrográficas no Rio Grande do Sul (Arroio Lajeado Ferreira = 119 ha; Rio Conceição = 800 km²; e Rio Guaporé = 1980 km²). Nos eventos foram caracterizadas as variáveis hidrológicas e coletadas amostras para a caracterização granulométrica e variáveis químicas (carbono total e frações de fósforo). Os resultados apresentam as faixas granulométricas, bem como as características químicas inter e intra-evento. As diferentes bacias apresentam sedimentos com características físicas e químicas distintas importantes para a compreensão dos impactos da agricultura sobre os recursos hídricos bem como para a sua descrição hidrossedimentológica.

Palavras-chave: erosão hídrica, distribuição granulométrica, bacia hidrográfica, fósforo, carbono.

ABSTRACT

Master dissertation
Graduate Program in Soil Science
Federal university of Santa Maria

PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF SUSPENDED SEDIMENT DURING FLUVIOMETRIC EVENTS HIGH FLOW EVENTS IN WATERSHEDS FROM SOUTHERN BRAZIL

AUTHOR: MÁRCIA LUCIANE KOCHER
ADVISOR: JEAN PAOLO GOMES MINELLA
Date and Local of the Defense: Santa Maria, august 11th 2014.

The observed high sediment load in the rivers of southern Brazil is strongly related to the degradation of agricultural soils due to water erosion. Currently there is great interest in describing the erosive processes and hydrosedimentological at the catchment scale to quantify the impact of land degradation on water resources because erosion is the driving process in the nutrients and contaminants transfer into the water resources. In this context, particle size information is essential to define the processes of detachment, transport and deposition of the particles as well as the transport capacity of P and C. Considering this background, the objective of this study was to characterize the particle size distribution and the concentration of P and C in suspended sediment samples during rainfall-runoff events in the three catchments of the Rio Grande do Sul (119 ha, 800 to 1980 km²). The events were characterized by their hydrological variables and material was sampled for granulometric distribution and chemical characterization (total carbon and phosphorus fractions). The results show the particle size and the inter- and intra-event chemical characteristics. The different catchments showed sediments with important differences for understanding the impacts of agriculture on water resources as well as to its hydrosedimentological behavior.

Key-words: water erosion, granulometric distribution, catchment, phosphorus, carbon.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Área total e percentagem do uso e manejo do solo para a bacia do Arroio Lajeado Ferreira ano 2010/2011	45
Tabela 2: Distribuição das classes de declividade e formas de relevo nas bacias hidrográficas estudadas.....	48
Tabela 3: Área total e percentagem do uso e manejo do solo para a bacia do Rio Conceição.....	49
Tabela 4: Tamanho das partículas do sedimento em suspensão da bacia hidrográfica do Rio Guaporé.	55
Tabela 5: Faixa de variação do D25, D50, D75, P total, C e N das três bacias hidrográficas monitoradas.....	63
Tabela 6: Estimativa de variáveis químicas para cada trecho de amostragem do evento, baseado nas concentrações de sedimento em suspensão.	72
Tabela 7: Estimativa de variáveis químicas para cada amostragem do evento, baseado nas concentrações de sedimento em suspensão.....	77
Tabela 8: Estimativa de variáveis químicas para cada amostragem do evento, baseado nas concentrações de sedimento em suspensão.....	81
Tabela 9: Variáveis hidrossedimentológicas, índice de histerese e laço da histerese para a bacia do Rio Guaporé, Rio Conceição e Arroio Lajeado Ferreira.	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização das bacias hidrográficas em estudo.....	43
Figura 2: Solos da bacia do Arroio Lajeado Ferreira.....	44
Figura 3: Uso do solo da bacia do Arroio Lajeado Ferreira.....	45
Figura 4: Declividade das bacias hidrográficas em estudo.	46
Figura 5: Mapa de tipos de solos na bacia do rio Guaporé.....	47
Figura 6: Uso do solo da bacia do Rio Conceição	49
Figura 7: Imagem de um local de monitoramento de uma bacia hidrográfica	52
Figura 8: Funcionamento do CILAS 1064 Laser Particle Size Analyzer.	54
Figura 9: Granulometro CILAS, modelo 1064.	55
Figura 10: Peneiramento das amostras de sedimento em suspensão.....	56
Figura 11: Laço da histerese com a identificação da Q_{cen} , CSS RC e CSS RD	59
Figura 12: Correlação entre variáveis hidrológicas (Q_{max} e CSS_{max}) e química (P total, C total e N total) de três bacias hidrográficas de diferentes escalas.	65
Figura 13: Correlação entre variáveis hidrológicas (Q_{max} e CSS_{max}) e físicas (D50 e areia fina) de três bacias hidrográficas de diferentes escalas.....	66
Figura 14: Variabilidade temporal entre a vazão, o P total, orgânico, inorgânico, disponível, D50 e COT em eventos pluviométricos de três bacias hidrográficas de diferentes escalas.	69
Figura 15: Correlação entre variável hidrológica (Q), físicas (D50) e química (P total) de todos os eventos amostrados na bacia hidrográfica do Arroio Lajeado Ferreira.	74
Figura 16: Correlação entre variável hidrológica (Q), físicas (D50) e química (P total) de todos os eventos amostrados na bacia hidrográfica do Rio Conceição.	79
Figura 17: Correlação entre variável hidrológica (Q), físicas (D50) e química (P total) de todos os eventos amostrados na bacia hidrográfica do Rio Guaporé.	82
Figura 18: Eventos com os hidrogramas, sedimentogramas e a curva de histerese no sentido anti-horário da bacia do Arroio Lajeado Ferreira.....	87

Figura 19: Eventos com os hidrogramas, sedimentogramas e a curva de histerese no sentido horário da bacia do Arroio Lajeado Ferreira.....	88
Figura 20: Eventos do ano de 2012 com os hidrogramas, sedimentogramas e a curva de histerese no sentido horário da bacia do Rio Conceição.	89
Figura 21: Eventos do ano de 2013 com os hidrogramas, sedimentogramas e a curva de histerese no sentido horário da bacia do Rio Conceição.	90
Figura 22: Evento com o hidrograma, sedimentograma e a curva de histerese no formato de oito da bacia do Rio Guaporé.	91
Figura 23: Eventos com os hidrogramas, sedimentogramas e a curva de histerese no sentido horário da bacia do Rio Guaporé.	92

APÊNDICES

Apêndice A: Dados de granulometria dos eventos da bacia do Arroio Lajeado Ferreira.....	114
Apêndice B: Dados de fósforo, nitrogênio e carbono dos eventos da bacia do Arroio Lajeado Ferreira.	115
Apêndice C: Dados de granulometria dos eventos da bacia Rio Guaporé.....	116
Apêndice D: Dados de fósforo, nitrogênio e carbono dos eventos da bacia Rio Guaporé.	117
Apêndice E: Dados de granulometria dos eventos da bacia Rio Conceição..	118
Apêndice F: Dados de fósforo, nitrogênio e carbono dos eventos da bacia do Rio Conceição.	119
Apêndice G: Distribuição granulométrica de uma amostra de sedimento em suspensão, da bacia do Arroio Lajeado Ferreira.....	120

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 HIPÓTESES	16
3 OBJETIVOS	16
3.1 Objetivo geral.....	16
3.2 Objetivos específicos	16
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
4.1 Caracterização e dinâmica de uma bacia hidrográfica.....	18
4.2 Origem, características e potencial poluidor dos sedimentos	20
4.3 Importância da avaliação granulométrica.....	23
4.4 Metodologias aplicadas para a determinação da granulometria a laser .	25
4.5 Relação entre granulometria, vazão e concentração de sedimento em suspensão.....	31
4.6 Concentração de fósforo (P) no sedimento.....	34
4.7 Variação da granulometria do sedimento e do fósforo (P) intra e inter-evento	37
4.8 Relação entre carbono (C), nitrogênio (N) com o transporte de sedimentos	41
5 MATERIAL E MÉTODOS	43
5.1 Características das três bacias hidrográficas monitoradas	43
5.2 Precipitação, concentração de sedimento em suspensão (CSS), vazão (Q) e amostragem de eventos.....	49
5.3 Análise granulométrica.....	53
5.4 Determinação das frações de P total, P orgânico, P disponível por resina, carbono total (CT) e nitrogênio total (NT),.....	56
5.5 Avaliação do transporte de água e sedimento em eventos de chuva-vazão-sedimentos.....	57
5.5.1 Análise qualitativa da histerese.....	57
5.6 Análises dos resultados	60
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
6.1 Caracterização física e química geral dos sedimentos em suspensão nas três bacias hidrográficas	61

6.2 Relações entre variáveis hidrológicas e a caracterização física e química	64
6.3 Caracterização física e química durante eventos individuais	67
6.4 Cálculo das descargas líquidas, sólidas e de solutos e caracterização dos eventos	70
6.4.1 Bacia do Arroio Lajeado Ferreira	70
6.4.2 Bacia do Rio Conceição	75
6.4.3 Bacia do Rio Guaporé	80
6.5 Histerese entre a vazão e a concentração de sedimento em suspensão	83
7 CONCLUSÕES	94
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95

1 INTRODUÇÃO

O impacto da atividade agrícola nos recursos hídricos é fortemente controlado pelos processos de geração do escoamento superficial e erosão hídrica. O uso do solo fora de sua aptidão, a reduzida adição de biomassa e a ausência de práticas de controle de erosão são as principais causas desse processo de degradação. Os solos erodidos nas encostas, estradas e rede de drenagem são transportados pelo escoamento superficial para os riachos e rios e carregam adsorvidos na sua estrutura uma infinidade de poluentes, como agrotóxicos e nutrientes.

O fenômeno da erosão (desagregação, transporte e deposição) é um processo seletivo governado pelo tamanho das partículas, onde o transporte ocorre preferencialmente em partículas de menor tamanho e de menor massa específica. Por outro lado, as partículas de argila têm carga elétrica e capacidade de agregação, resistindo mais à desagregação pelo impacto da gota e pela enxurrada. Sendo assim, a textura do solo e a granulometria do material erodido em suspensão reflete o processo erosivo em operação e a sua capacidade em causar danos aos recursos hídricos, seja pelo assoreamento através dos sedimentos grosseiros ou pelo transporte de poluentes através dos sedimentos finos. Atualmente há um grande interesse em descrever os processos erosivos e hidrossedimentológicos na escala da bacia para quantificar o impacto da degradação dos solos nos recursos hídricos, pois a erosão é o processo governante na transferência de nutrientes e contaminantes para os mananciais hídricos.

Junto aos sedimentos que chegam aos córregos de água, estão adsorvidos carbono (ZWIRTES, 2003) e muitos nutrientes, entre eles o fósforo (PELLEGRINI, 2008). A mobilização de sedimentos e a carga associada no escoamento ocorrem nas frações mais leves, como argila e matéria orgânica coloidal. Isto resulta em material erodido com maior conteúdo relativo de fósforo e carbono. De acordo com SHARPLEY & SMITH (1992), as quantidades e as formas de fósforo transferidas podem variar no espaço e no tempo, de evento para evento pluviométrico, importância de fontes pontuais e difusas, por causa das variações sazonais das precipitações e uso do solo, do intervalo de tempo

entre os eventos, do estágio de cultivo e do grau de cobertura vegetal do solo, entre outros.

O sistema de cultivo adotado influencia grandemente nas quantidades de sedimentos, nutrientes e carbono transferidos ao sistema aquático. No entanto, apesar de um crescente reconhecimento da importância do P para os fluxos globais, o seu transporte associado a sedimentos em sistemas fluviais ainda é relativamente pouco conhecido (OWENS, 2001). Existem poucos dados, especialmente na América Latina, sobre o teor de P, C associado com o transporte de sedimentos em suspensão, bem como a sua caracterização granulométrica em bacias com diferentes usos do solo e características fisiográficas. Tal informação é necessária não só para determinar quantitativamente a descarga de solutos (P, C e N), mas também descrever a origem e os mecanismos de propagação desses materiais das fontes em direção aos rios. Sabe-se que grande parte dos materiais é redistribuída dentro da bacia vertente e armazenada em depósitos de fundos de vale. O balanço desses elementos na escala de bacia depende fundamentalmente do entendimento dos processos de transporte e deposição que depende do tamanho do material transportado em suspensão.

2 HIPÓTESES

Considerando que as características granulométricas dos sedimentos transportados em suspensão refletem as características fisiográficas das bacias (solos, relevo, área, geologia), o uso/manejo dos solos e o seu nível de degradação, e que a descarga de P, C e do N adsorvido aos sedimentos é afetada pelo regime hidrossedimentológico da bacia, bem como pelas características dos sedimentos e do uso e manejo dos solos.

Apresentamos as seguintes hipóteses:

I – Existe uma relação estatística que explica a variabilidade temporal das características físicas e químicas dos sedimentos transportados em suspensão em função do regime hidrossedimentológico da bacia.

II – As características físicas e químicas dos sedimentos transportados em suspensão são pelas características do solo, relevo ou uso e manejo das bacias.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Relação entre as características físicas (distribuição granulométrica) e químicas (carbono total, nitrogênio total e frações de fósforo) dos sedimentos transportados em suspensão durante eventos de chuva-vazão em diferentes bacias, bem como a influência da bacia e da hidrologia na variabilidade das mesmas.

3.2 Objetivos específicos

- Avaliar a influência da escala das bacias com a distribuição granulométrica dos sedimentos em suspensão.
- Descrever o padrão de distribuição granulométrica durante e entre eventos da bacia hidrográfica, bem como sua relação com variáveis hidrossedimentológicas e características fisiográficas da bacia.

- Descrever a relação do tamanho da partícula, quantidade de P, C e N durante e entre eventos pluviométricos, bem como os valores de suas descargas.

- Analisar as diferenças da concentração de C, N, P total, P orgânico e P disponível nos sedimentos finos e grosseiros ($< 63 \mu\text{m}$ e $> 63 \mu\text{m}$).

- Avaliar a histerese nas diferentes bacias hidrográficas, para compreender o comportamento da vazão (Q) com a concentração de sedimento em suspensão (CSS), e o entendimento da perda de sedimento, P e C.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Caracterização e dinâmica de uma bacia hidrográfica

O monitoramento do ciclo hidrológico numa bacia hidrográfica engloba muitas modificações que os recursos naturais apresentam. É uma área da superfície terrestre que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, num determinado ponto de um canal fluvial. Sua composição é basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar um leito único no exutório (TUCCI, 2002). No entanto, dentro de uma bacia hidrográfica existir várias sub-bacias que drenam água para o curso principal. Desta forma, é importante não considerar apenas o tamanho da área das bacias hidrográficas, e sim a dinâmica e magnitude em que os processos hidrossedimentológicos ocorrem.

As sub-bacias auxiliam na pontualização dos problemas que se encontram difusos para tornar mais fácil o estudo da descoberta das fontes de degradação e poluição, bem como para buscar estratégias eficazes para a sustentabilidade do sistema produtivo desenvolvidos nas bacias.

O deslocamento dos sedimentos carregados pelo escoamento superficial e outros processos, embora esporádicos, acabam provocando o remanejamento e a redistribuição pela bacia de ponderáveis massas de partículas sólidas, a ponto de poderem eventualmente alterar o ciclo hidrológico e, certamente, afetar o uso, a conservação e a gestão dos recursos hídricos (BORDAS & SEMMELMANN, 2000).

A precipitação é o elemento alimentador do ciclo hidrológico e constitui importante fator para os processos de escoamento superficial, infiltração, evaporação, transpiração, recarga de aquíferos, vazão básica dos rios entre outros. Quando se faz um estudo de planejamento de longo prazo do uso de uma ou mais bacias hidrográficas, a precipitação é um dado básico, pois não sofre influências diretas de alterações antrópicas provocadas no meio e pode ser medida através de pluviógrafos e pluviômetros.

Na bacia hidrográfica, os obstáculos determinam o caminho e a velocidade que a água da precipitação se desloca e dissipa parte de sua energia, ao propiciar que partículas sólidas sejam removidas e transportadas vertentes abaixo, pelo fluxo líquido (VESTENA, 2008). A perda de solo que ocorre nestas áreas está diretamente relacionada com o uso e manejo do solo, e os sedimentos originam-se de um processo de erosões que geralmente ocorrem no solo por diferentes formas de ação (FIGUEIREDO, 1989). Segundo SANTOS (2004), a erosão condiciona a perda progressiva da porção mais fértil do solo e, conseqüentemente, sua qualidade multifuncional, diminuindo desta forma a capacidade produtiva das culturas implantadas.

Os problemas relacionados com a produção de sedimentos, tanto no local onde ocorreu a desagregação do solo como no local onde ocorreu a deposição, aumentam à medida que há maior desenvolvimento e ocupação do espaço geográfico (MORGAN, 1995; TOY et al., 2001; VANONI, 2006). Segundo MORO (2011), nem todo o material que é mobilizado do seu local de origem são transportados para fora da bacia. Isto dependerá do tamanho das partículas, da dinâmica do escoamento, da topografia, da vegetação e das condições do canal fluvial. Normalmente o início da erosão é promovido pelo impacto da gota da chuva em solo desprotegido. O material mais fino (argila, matéria orgânica) é desprendido pelo fato, das partículas serem menores e mais leves. Posteriormente, é transportado através da própria ação da gota da chuva que o arremessa para longe (salpico).

O transporte dos sedimentos ocorre até o momento em que sua capacidade supera a carga de solo desprendido, caso contrário, esse material rico em nutrientes e matéria orgânica é depositado em depressões e fundo de vales. Conforme TOY (2001) & BORAH (2007), a produção de sedimentos é um processo complexo, no qual diversos fatores exercem influência, tais como: clima, topografia, tipo de solo, uso e manejo do solo. No entanto, dentre esses fatores, o uso e o manejo do solo controla sensivelmente a magnitude dos valores observados.

Solos utilizados fora da sua aptidão de uso e manejo, quase sempre possibilitam a ocorrência de processos erosivos severos. A minimização do impacto da erosão pode ser feita através de barreiras de vegetação natural ou

implantada e/ou a construção de obras de contenção da enxurrada para a dissipação de energia, assim pode-se diminuir a transferência do sedimento mobilizado na bacia vertente para o canal fluvial.

A perda de solo e nutrientes pela erosão hídrica é um fator determinante do empobrecimento dos solos e da redução da produtividade da maioria das culturas, a médio ou longo prazo. Uma alternativa para a redução da perda do solo nas bacias hidrográficas, em função do manejo inadequado do mesmo, é a implantação de práticas conservacionistas. Práticas de conservação do solo consistem em um conjunto de práticas de manejo (rotação de culturas, cobertura vegetal, preparo conservacionista, etc.) e medidas estruturais (faixas de vegetação, terraço, etc.), que são projetadas para reduzir a erosão do solo e manter a qualidade e a produtividade do solo (USDA, 2006).

4.2 Origem, características e potencial poluidor dos sedimentos

A capacidade do sedimento em acumular compostos faz deste compartimento um dos mais importantes na avaliação do nível de contaminação de ecossistemas aquáticos continentais (ESTEVES, 1988). Os compostos indicadores de contaminação ambiental encontrados no sedimento podem ser orgânicos ou inorgânicos. Segundo ABESSA et al., (2006), um sedimento poluído, normalmente, contém uma mistura de vários contaminantes, que podem interagir entre si de maneira antagônica ou aditiva produzindo efeitos conhecidos e desconhecidos sobre o ecossistema.

Os sedimentos são considerados de grande importância na avaliação do nível de contaminação dos ecossistemas aquáticos, devido não só a sua capacidade em acumular metais, mas também, por serem reconhecidos como transportadores de compostos poluentes, já que tal compartimento ambiental pode, também, liberar espécies contaminantes (LIMA et al., 2001; JESUS et al., 2004).

Os solos contêm partículas de diferentes tamanhos em proporções das mais variadas. A determinação do tamanho das partículas e suas respectivas porcentagens de ocorrência permitem obter a função distribuição de partículas do solo e que é denominada distribuição granulométrica.

Durante a evolução das partículas da rocha ao solo, estas diminuem seu tamanho e alteram sua composição química e cristalográfica, assim como suas propriedades. Via de regra, a diminuição do tamanho das partículas em função da gênese aumenta a proporção de argila nos solos ($< 2 \mu\text{m}$ de diâmetro), tornando os solos mais argilosos. A argilificação acontece em detrimento de partículas com tamanho superiores, tais como o silte ($2 - 5 \mu\text{m}$) e a areia ($53 - 2000 \mu\text{m}$). Entretanto, técnicas atuais como a difração laser, possibilitam estudar a distribuição de tamanho de partículas dentro da fração argila (DUR et al., 2004; BORTOLUZZI & POLETO, 2006).

As práticas de cultivo acarretam efeitos na estrutura do solo, principalmente sobre a formação e estabilidade dos agregados, influenciando na quantidade, tamanho, formato e orientação de espaços vazios no solo e conseqüentemente na relação entre macro e microporos. Já nas condições agrícolas, a manutenção da estrutura do solo é um resultado dinâmico que além do clima e da textura do solo depende do manejo e das espécies cultivadas.

Nas áreas com preparo convencional, estudos demonstram que o uso de grades e arados afeta a estrutura do solo (CASTRO FILHO, 1998), o que acarreta perdas significativas por erosão. Portanto, a erosão hídrica do solo pode promover o seu enriquecimento fora do local de sua origem, por causa da remoção seletiva de sedimentos, os quais apresentam maior proporção de partículas minerais finas e orgânicas, normalmente mais reativas quimicamente e podem adsorver maiores quantidades de nutrientes e compostos químicos diversos (orgânicos e inorgânicos) do que as partículas mais grosseiras (FOSTER, 1982). Além disso, existem forças que atuam sobre as partículas, que as mantêm em suspensão ou no fundo do rio, deslizando ou rolando ao longo do leito, as quais são função do tamanho, peso e forma da partícula, do regime de escoamento e da velocidade da corrente da água.

De acordo com SANTOS et al., (2001), a distribuição dos sedimentos ao longo dos cursos fluviais pode ser caracterizada pelo volume produzido de sedimento e pela granulometria dos sedimentos transportados. Desta forma, as cabeceiras dos rios são compostas por sedimentos de tamanhos maiores, como pedras e pedregulhos. À medida que são transportados, esses materiais vão se fracionando, transformando-se em sedimentos de granulometria menor,

passando à areia grossa, média e fina gradativamente a jusante (CARVALHO, 1994).

O tipo de processo erosivo influencia o tamanho de sedimentos transportados, em função dos distintos mecanismos de desagregação e transporte de sedimentos. A erosão em entressulcos, por não ter energia suficiente para transportar partículas maiores, seleciona as partículas, enquanto a erosão em sulcos que raramente tem sua capacidade de transporte limitada, transporta partículas de todos os tamanhos, inclusive agregados estruturais (MEYER et al., 1975).

Segundo MINELLA (2007), o estudo sobre as técnicas de identificação de fontes de sedimentos tem contribuído para esclarecer como os diferentes sistemas que compõem a bacia hidrográfica contribuem para a produção de sedimentos na rede de drenagem. Desta forma, um importante refinamento na técnica de identificação de fontes foi o estudo das diferenças na granulometria e matéria orgânica que existem entre os sedimentos em suspensão e os solos das fontes. A erosão e a mobilização são processos seletivos em relação a granulometria. Conforme o mesmo autor, o escoamento transportará as partículas de menor tamanho e de menor massa específica, conseqüentemente a concentração do elemento traçador na fonte, será em geral, menor do que a concentração do sedimento em suspensão. Sendo assim, é necessário determinar a distribuição granulométrica dos solos em cada fonte e das amostras de sedimentos em suspensão.

Dentre os diversos tamanhos de partículas de solo transportadas pela enxurrada, as mais finas têm maior potencial de degradação ambiental, pois podem transportar maiores quantidades de matéria orgânica, nutrientes e compostos químicos adsorvidos, em relação as partículas mais grosseiras e, além disso, podem permanecer em suspensão por maior tempo, embora causem menor assoreamento dos mananciais.

Ao longo do transporte de metais, diversos processos físicos, químicos e biológicos podem alterar as formas geoquímicas originais (SALOMONS & FÖRSTNER, 1984). Nos ecossistemas aquáticos, estes metais podem se apresentar dissolvidos nas águas, ou em sua forma iônica, onde apresentam um comportamento complexo devido à possibilidade de sofrer interações com

diversas moléculas (FÖRSTNER & WITTMAN, 1983; BONIFORTI et al., 1988; MOLISANI, 1999). Além disso, os metais podem ser encontrados adsorvidos a partículas, ou seja, sendo encontrado associado a colóides e a moléculas orgânicas de baixo peso molecular, material particulado em suspensão, aos sedimentos ou ainda incorporado nos organismos aquáticos (SALOMONS & FÖRSTNER, 1984; FÖRSTNER & CHALESWORTH, 1996).

Os sedimentos representam o resultado de processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem nos ecossistemas aquáticos, podendo interagir com diferentes poluentes. Desta forma, os sedimentos são considerados importantes reservatórios de metais, podendo atuar como fontes de contaminação para a coluna d'água e para a biota, através do impacto que causam nas estruturas das comunidades bentônicas e dos efeitos associados nos corpos d'água superficiais (GIESY et al., 1989; FILHO et al., 1999; SANTOS et al., 2006).

4.3 Importância da avaliação granulométrica

A análise das dimensões das partículas é importante, pois disponibiliza informações sobre determinados tipos de partículas e sobre as rochas que lhes deram origem, bem como o seu transporte (resistência das partículas, segundo a sua composição, à abrasão e à alteração química), e ambientes deposicionais (DIAS, 2004).

A composição de tamanho de partícula reflete as ligações importantes entre a fonte de sedimento, transporte, deposição, e a saída de sedimentos em suspensão, e deve ser visto como uma característica fundamental da dinâmica de perda de sedimentos de uma bacia hidrográfica (STONE & WALLING, 1997).

Os sedimentos são classificados de acordo com o tamanho de suas partículas (MUDROCH et al., 1997). A troca de íons da coluna d'água com o sedimento aumenta na fração de argila, não só pela existência de uma maior área superficial específica, como também porque nesta fração ocorrem argilominerais de diferentes grupos, alguns com elevada capacidade de troca de cátions. Fatores como tamanho da partícula e grau de cristalinidade dos argilominerais influenciam a sorção e a retenção de contaminantes na superfície das partículas. A tendência observada é que, quando o grão diminui, as

concentrações de nutrientes e contaminantes aumentam no sedimento de fundo (LEMES et al., 2003).

Elementos vestigiais tendem a concentrar-se nos tamanhos de grão mais fino, de ambos os sedimentos, em suspensão ou de fundo. Também tem sido mostrado (HOROWITZ, 1985) que o sedimento de tamanho maior pode ser diluído para tamanhos de grão mais finos, ricos em constituintes químicos. Então, qual é a implicação para as concentrações de constituintes químicos em sedimentos suspensos, sob diferentes condições de descarga? A suposição imediata pode ser o aumento da própria descarga, bem como o aumento da concentração de sedimentos em suspensão. Desta forma, com o aumento da descarga, o tamanho do sedimento suspenso e transportado também irá aumentar (HOROWITZ, 1985).

Como já foi dito, o tamanho do sedimento exerce um controle desproporcional sobre as concentrações associadas a sedimentos oligoelemento: o tamanho do sedimento diminui, as concentrações de elementos traço aumenta. Além disso, os aumentos de descarga, as concentrações e porcentagem de material mais grosseiro, menos rica em oligoelementos também aumenta. Como resultado, na maioria das circunstâncias, o aumento da descarga, a concentração total de elementos vestigiais associados a sedimentos suspensos deve diminuir. Como, então, essas inter-relações afetam as concentrações dos elementos traço associados a sedimentos e transporte? Pode-se inferir que as concentrações máximas de oligoelementos e transporte ocorre durante a baixa descarga porque concentrações de elementos traço são mais elevados, ao mesmo tempo, o material $> 63 \mu\text{m}$ provavelmente poderia ser ignorado, se não fosse por si só o transporte de sedimentos em suspensão (HOROWITZ, 1985).

As frações de granulometria entre 20 - 35 μm retém a maior concentração de elementos traço. Geralmente se avalia a fração $< 63 \mu\text{m}$, que corresponde ao material transportado na suspensão por longas distâncias pela correnteza (LEMES et al., 2003).

A análise granulométrica consiste na determinação das dimensões das partículas que constituem as amostras. Desta forma, é necessário determinar as dimensões das partículas individuais e estudar a sua distribuição, pelo peso de

cada classe dimensional considerada, pelo seu volume, ou ainda pelo número de partículas integradas em cada classe. Segundo DIAS (2004), as três formas têm sido utilizadas.

Para efetuar a descrição adequada de um sedimento, torna-se necessário proceder a uma análise pormenorizada, utilizando um grande número de classes granulométricas. Quanto maior o número de classes, melhor é a descrição da variabilidade dimensional das partículas que constituem a amostra de sedimento.

Existem diferentes técnicas para a determinação da distribuição granulométrica, com base em diversos princípios físicos, e que medem propriedades distintas relacionadas com o tamanho das partículas, sempre consideradas esféricas. Por vezes, os resultados não são comparáveis, devido às partículas não serem exatamente esféricas, não satisfazendo aos princípios teóricos aplicados. Assim, para selecionar uma determinada técnica de caracterização granulométrica, é importante conhecer o parâmetro principal que se avalia, o intervalo de tamanho sem que a referida técnica é aplicável, a reprodutibilidade do método, e outras informações adicionais (densidade, índice de refração). A utilização da técnica de espalhamento de luz vem se tornando popular na indústria em função da simplicidade operacional, reprodutibilidade e por permitir a medição de partículas com tamanhos desde nanométricos até milimétricos.

4.4 Metodologias aplicadas para a determinação da granulometria a laser

Um novo método chamado de difração de raios laser para medir a distribuição do tamanho de partículas, está se tornando mais e mais popular. Sempre que aparece um novo método, a pesquisa é conduzida para determinar a aplicabilidade do método através da comparação do novo método com outros métodos utilizados até atualmente. Comparações da difração a laser com métodos de sedimentação foram realizadas (ARRIAGA et al., 2006; GOOSSENS 2008; TAUBNER et al., 2009; RYZAK & BIEGANOWSKI 2010). Como em todos os novos métodos, o método de difração de raios laser tem muitos proponentes e oponentes (RYZAK & BIEGANOWSKI, 2011).

Uma revisão bibliográfica levou os autores RYZAK & BIEGANOWSKI (2011), concluir que a comparação dos resultados publicados precisam ser avaliados em vez de quantitativamente, qualitativamente. Ainda os mesmos autores descreveram que existem dois tipos principais de causas de incertezas associados com a comparação quantitativa dos resultados publicados. A primeira é as causas objetivas. Há muitos tipos diferentes de dispositivos de difração a laser, a partir de diversas gerações e de vários fabricantes. O desenvolvimento desses dispositivos e as inovações de hardware e software aplicados a eles introduzem uma séria fonte de incerteza nessas comparações. O segundo tipo de causas é subjetivo, o motivo é resultante de erro humano (erro causado pelo pesquisador). Os procedimentos de medições diferentes (em diferentes estágios de medições) são a principal razão. Conforme os autores citados anteriormente, o estudo de trabalhos disponíveis mostra que não só há uma falta de um método padrão de medição, mas também uma falta de informação sobre os detalhes de medição na parte metodológica do trabalho. Como exemplo, os autores relataram que não havia informações sobre qual modelo matemático (Fraunhofer ou teoria Mie) foi usado nos cálculos de alguns dos artigos publicados após o ano de 2000. Quando a teoria de Mie foi usada, muitas vezes não havia nenhuma informação sobre os parâmetros ópticos das fases contínuas e dispersão (índices de absorção e refração).

Para a realização da análise granulométrica das amostras de solo ou sedimento, existe um pré-tratamento das amostras antes da leitura por difratometria a laser. Como já descrito anteriormente, na literatura se encontra uma variação muito ampla de metodologias, sendo que alguns exemplos serão citados sequencialmente.

O pré-tratamento químico tem demonstrado ser uma importante fonte de erro de medição se não for adequadamente realizado (LU & NA, 1997). Material orgânico e de carbonato são os componentes principais da maioria dos sedimentos continentais e, de um modo geral, devem ser removidos por tratamento químico.

Segundo GUY (1969), se a amostra contém matéria orgânica em quantidade significativa, esta deve ser removida com a adição de 5 mL g^{-1} de

uma solução de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) em uma concentração de 6%, a partir de uma amostra seca suspensa em 40 mL de água.

No trabalho elaborado por BEUSELINCK et al., (1998), foi usado H_2O_2 na concentração de 15%, porém não havia a informação do volume da amostra e nem da quantidade de peróxido de hidrogênio usado por amostra. Já na pesquisa desenvolvida por DONGHUI et al., (2002), em 2 - 5 g de amostra, são acrescentados 10 ml de H_2O_2 na concentração de 30%.

No trabalho desenvolvido por PYE et al., (2004), a utilização de peróxido de hidrogênio para remover a matéria orgânica foi apenas parcialmente bem sucedida, uma vez que algumas amostras necessitaram de tratamento repetido para uma dissolução completa. Também não houve melhoria na precisão da medição ou reprodutibilidade para os solos analisados, resultado confirmado por outros estudos (BEUSELINCK et al., 1998). O processo é, portanto, considerado muito demorado para a análise de rotina e deve ser reservada para os sedimentos altamente glutinoso tais como lamas de alguns lacustres, onde a fração orgânica compreende a maior parte do sedimento.

Na procedência do pré-tratamento da amostra, a dispersão das amostras de solo ou sedimento para a medição da distribuição do tamanho da partícula pode ser realizada em dois métodos praticamente equivalentes: quimicamente ou fisicamente. Porém ainda existem várias incertezas relacionadas a este assunto e podem ser observadas em sequência.

Nas conclusões do trabalho de PYE et al., (2004), foi recomendado que as amostras devem ser dispersas em uma solução dispersante fraca (2 ml de hexametáfosfato de sódio (Calgon) na concentração de 3%) antes da medição. Maiores concentrações podem causar aglomeração na amostra. Recomenda-se que as amostras sejam deixadas para dispersar completamente antes da análise (até 5 min para as amostras que contêm mais do que 10% de sedimentos e argila). Além disso, um curto tratamento de ultrassom (até 2 min) é recomendado antes da análise. Tempos mais longos de tratamento podem provocar a desintegração de algumas partículas.

POLETO et al., (2007), usaram um ultrassom externo para realizar a dispersão da amostra, porém uma das conclusões é que se torna necessário fazer novas pesquisas sobre o tempo e a potência do uso do ultrassom para

difratometria a laser, pois se estes fatores não forem aplicados adequadamente no material a ser analisado, ao invés de dispersar a amostra, pode ocorrer a floculação. Além disto, descreveram que a leitura da amostra deve ocorrer no máximo em uma hora após a dispersão, para evitar as floculações comentadas anteriormente.

Para as amostras de solo medidos no trabalho de RYZAK et al., (2011), o poder da sonda de ultrassom foi de 35 W e a duração foi igual a 4 minutos, esta dispersão foi praticamente equivalente à dispersão química. Porém estes autores confirmaram no seu trabalho que não se deve usar simultaneamente a dispersão química (utilizando uma solução de hexametáfosfato) e a dispersão física (usando ultrassom), pois isto poderá causar um efeito oposto, isto é, agregação secundária, em vez da dispersão.

Embora os instrumentos de difratometria a laser tenham o potencial para automatizar e melhorar as medições das distribuições do tamanho de partículas, em amostras de solo e afins (ARRIAGA et al., 2006; BEUSELINCK et al., 1998; ESHEL et al., 2004; MUGGLER et al., 1997), há problemas fundamentais com capacidades de instrumentos atuais e configurações para a sua utilização bem sucedida, pois as partículas < 2 a 2000 μm pode variar em um número infinito de combinações. As diferenças nos números de partículas do mesmo peso de amostras que contêm partículas de areia para os tamanhos de argila são muito grande para os instrumentos por causa de problemas de saturação de limites, e a interação. Embora os instrumentos atuais podem medir com sucesso partículas de tamanhos muito diferentes (por exemplo, 0,02 - 2000 μm), a sua gama dinâmica para combinações de tamanhos é muito estreita para o solo e amostras relacionadas. Quaisquer previamente relatados de instrumentos de difratometria a laser em amostras com combinações imensamente variadas de distribuição de tamanho de areia, silte e argila devem ser tratada com cautela. Os problemas fundamentais para instrumentos de difração a laser para medir com precisão as distribuições de tamanho de partículas, provavelmente representavam as dificuldades que vários estudos (BAH et al., 2009; PIERI et al., 2006; SEGAL et al., 2009; WU et al., 1993) tinham relativos a textura com propriedades físicas de solos. Não parece que as calibrações simples podem ser desenvolvidas para superar as limitações fundamentais. Melhorias para

instrumentos de laser podem ter que ser considerado, mas o desafio de medir uma ampla gama de distribuições de tamanho de partículas, incluindo sedimentos, areia e argila, ou mesmo apenas lodo e tamanhos de argila, é em grande parte devido ao aumento geométrico no número de partículas, como o tamanho diminui em amostras com o mesmo peso.

Com tudo o que foi relatado, se compreende que não há uma metodologia padrão a ser adotada para a análise granulométrica de sedimento ou solo, isso também é reforçado por PYE et al., (2004), quando relata que embora o desenvolvimento de um protocolo padrão é desejável para muitas aplicações, os testes aqui apresentados referem-se a reprodutibilidade da amostra para apenas três tipos de amostras. Em certas circunstâncias e com certos tipos de materiais (por exemplo, quando se trata de sedimentos que são transportados num estado agregado naturalmente, ou que demonstram sensibilidade química invulgar), o protocolo de preparação da amostra pode necessitar modificações a fim de produzir os resultados mais representativos. Por exemplo, adição de dispersantes pode, por vezes, causar a floculação em sedimentos com um alto teor de sal (como alguns lamas entre - marés). Sedimentos altamente cimentados podem exigir longos tempos de repouso ou tratamento mais forte de ultrassom para desagregar a amostra totalmente.

A floculação pode ser explicada pelo fato da maior parte das partículas de argila possuírem superfícies carregadas com cargas negativas que normalmente atraem um grande grupo de cátions da solução do solo. Se duas partículas de argila aproximarem-se o suficiente, cátions comprimidos na camada entre elas atrairão as cargas negativas das duas partículas, servindo assim como uma ponte, que mantêm as partículas unidas. Este processo é repetido até que um pequeno conjunto de partículas paralelas de argila seja formado. Outros agrupamentos de argila são formados por partículas orientadas ao acaso. Estes tipos são formados quando as cargas positivas nas bordas das partículas de argila atraem as cargas negativas nas superfícies planas destas partículas. As partículas de argila interagindo com os coloides orgânicos (húmus) eletricamente carregados formam pontes que os unem às partículas de silte (principalmente quartzo), criando o menor grupo na escala hierárquica de agregação do solo. O poder floculante de cátions polivalentes (Ca^{2+} , Fe^{2+} , Al^{3+}) e do húmus são

responsáveis pela estabilidade em longo prazo dos microagregados menores ($< 0,03 \mu\text{m}$). A ação cimentante dos componentes inorgânicos, como do óxido de ferro, produz agregados pequenos muito estáveis, muitas vezes chamados de pseudo-areia em certos solos argilosos (Ultisols e Oxisols) de regiões quentes e úmidas. As partículas laminares de argila não se aproximam o suficiente para que ocorra a floculação, e assim permanecem dispersas. As partículas de argila na sua forma dispersa, em condição semelhante a um gel, fazem com que o solo se torne quase sem estrutura, impermeável a água e ao ar, em uma condição pouco adequada para o crescimento de plantas.

Solos intemperizados constituem-se, principalmente, de caulinita, óxidos de Fe e Al, estes óxidos têm grande influência na retenção de fósforo (P). Desta forma, EBERHARDT et al., (2008), concluiu no seu trabalho que o P remanescente mostrou-se relacionado com a mineralogia da fração argila, e ainda, o P disponível resina relacionou-se com as características mineralógicas, granulométricas e com os teores de matéria orgânica. E uma terceira conclusão, que o P Mehlich não se correlacionou com o P resina, tampouco com as características mineralógicas e granulométricas dos solos.

O carbono presente na água pode ser encontrado em duas formas principais, carbono orgânico e carbono inorgânico. O carbono orgânico total se compõe de duas frações, a dissolvida e a particulada. O carbono particulado é composto de material orgânico parcialmente degradado e resistente à degradação bacteriana e de alguma matéria viva microscópica. A fração dissolvida é composta de substâncias húmicas e outros compostos de carbono.

Com o fracionamento granulométrico é possível conseguir a máxima dispersão do solo, a fim de separar as frações areia, silte e argila, com a mínima alteração da matéria orgânica do solo (MOS) associada a essas frações (BASANTA, 2004). A fração areia está associada à matéria orgânica livre ou lábil, desempenhando importante função na ciclagem de nutrientes do solo (CONCEIÇÃO et al., 2005). As frações silte e argila estão associadas à maior parte do carbono orgânico dos solos, na fração não lábil, sendo um material mais transformado e amorfo sem estrutura reconhecível de materiais vegetais ou da meso e microfauna (ROSCOE et al., 2002). Segundo, o COS é protegido quimicamente da mineralização (microbiana) através da formação dos

agregados do solo. O processo de formação dos agregados frequentemente ocorre hierarquicamente, e a presença das partículas de argila realiza esses processos (SIX et al., 2000).

Já ZWIRTES (2003), afirma que a caracterização granulométrica assume um papel importante quando é observado que certos tipos de compostos orgânicos são encontrados preferencialmente adsorvidos em determinadas espécies minerais. A areia pode ser considerada como um mineral de comportamento químico inerte ou que adsorve quantidades insignificantes de matéria orgânica. A argila e o silte, no entanto, comportam-se de maneira oposta, apresentando forte correlação com o material orgânico. ZWIRTES (2003), estudando sedimentos superficiais verificou que o aumento do percentual de areia presente em cada amostra é inversamente proporcional ao teor de carbono orgânico. Portanto, um maior teor de carbono orgânico está associado às partículas de granulações menores como silte e argila. Tendência semelhante também foi observada para o fósforo, ou seja, granulações menores como silte e argila detêm maiores concentrações de P.

4.5 Relação entre granulometria, vazão e concentração de sedimento em suspensão

A erosão hídrica do solo influencia a distribuição de tamanho dos sedimentos transportados pela enxurrada, os quais são dependentes também das condições de superfície do solo e de características da enxurrada. Pode-se dizer que o início do movimento de uma partícula discreta no leito, devido ao escoamento da água, ocorre quando o somatório das forças instabilizadoras atuantes sobre ela supera o somatório das forças resistivas. A força de sustentação está relacionada tanto à diferença de pressão entre as faces superior e inferior da partícula, devido ao gradiente de velocidade longitudinal na direção vertical, quanto às flutuações turbulentas (PAIVA et al., 2001).

HJUSTROM relaciona o diâmetro da partícula do leito com a velocidade, cujo resultado deu origem a um diagrama onde são extraídas algumas informações como: para partículas de mesma dimensão, a velocidade necessária para a ocorrência de início de movimento é maior que a velocidade

de transporte; para uma mesma velocidade crítica relativa ao início do movimento, tem-se dois valores de diâmetro de partícula relacionados, tendo em vista que forças coesivas são dominantes no caso de partículas de diâmetros maiores (PAIVA et al., 2001).

Chuvas de grande intensidade causam maior desagregação do solo e, normalmente originam escoamento superficial com maior capacidade erosiva do que chuvas de pequena intensidade, o que favorece o transporte de sedimentos de tamanho grande (SIDIRAS et al., 1984). Chuvas de padrão atrasado, cujo pico da intensidade ocorre quando o solo se encontra próximo ou no ponto de saturação, resultam em maior quantidade de sedimentos grandes transportados do que as chuvas de padrões avançado e intermediário. O fluxo laminar associado à erosão e entre sulcos tem pouca capacidade de desagregar e de transportar partículas de solo de maior tamanho, enquanto o fluxo canalizado em sulcos tem grande capacidade (SHAINBERG et al., 1992; HUDSON 1995).

A velocidade é o componente de energia cinética que, em maior grau, determina a capacidade erosiva da enxurrada de desagregar e de transportar solo nos terrenos inclinados, exercendo influência direta no tamanho dos sedimentos removidos pela erosão (LOPES et al., 1987; HUDSON 1995). Desta forma, entre as condições físicas externas ou superficiais do solo, a cobertura por resíduo cultural e a rugosidade induzida pelas operações de seu preparo são as responsáveis pelas maiores reduções, tanto da quantidade quanto do tamanho dos sedimentos erodidos transportados na enxurrada (JOHNSON et al., 1979; COGO et al., 1983; NORTON et al., 1985; GILLEY et al., 1986; LOPES et al., 1987).

A concentração de sedimento suspenso varia não apenas com a descarga, mas também ao longo do ano. Dessa forma, para uma mesma descarga pode-se obter diferentes valores de concentração de sedimento a depender da estação do ano ou do posicionamento em relação à passagem da onda de cheia. Tal situação provoca um comportamento conhecido como histerese, ou seja, para uma mesma vazão são obtidos diferentes valores de concentração de sedimento suspenso (KNIGHTON 1998). Embora a velocidade da carga suspensa seja praticamente igual à da água, o pico de maior concentração de sedimento não necessariamente acompanha o pico da

descarga, podendo anteceder-lo ou proceder-lo. Segundo LELI et al., (2010), essa defasagem foi observada e descrita em vários rios e pode estar relacionada a uma série de fatores como forma da bacia, regime de precipitação, uso e ocupação do solo etc.

ZABALETA et al., (2007), mostraram a variabilidade na produção de sedimentos em suspensão em uma bacia hidrográfica de evento para evento, e associaram esta variação a diferentes caminhos em proporção aos fatores físicos e antropogênicos que controlam a produção e o transporte de sedimentos que interagem em cada evento.

De acordo com CARVALHO (1994), 70% a 90% de todo o sedimento transportado pelos cursos de água ocorrem no período de chuvas, principalmente durante as fortes precipitações. Como exemplo pode se citar o trabalho de DESTEFANI (2005), onde observou que a bacia hidrográfica do rio Ivaí é caracterizada por apresentar rápida subida das vazões logo no início da precipitação, alcançando picos de cheia muitas vezes superiores aos valores médios. Desta forma, a relação entre a concentração de sedimentos em suspensão e a vazão varia com o tempo e não é constante durante um evento, ocorrendo frequentemente o fenômeno da histerese (SEEGER et al., 2004).

Segundo ANDRADE (2011), relata que a associação da descarga fluvial e a concentração de sedimento em suspensão durante 4 anos (2003-2006) apresentou uma correlação significativa dos dados (95% de confiança). Isto leva a crer que o fator dominante na variação da CSS é a vazão, pelo fato da variação explicar 67 % da CSS. ROVIRA (2006), explica que o suprimento de sedimentos, a intensidade e distribuição espacial das chuvas, a quantidade e taxas de escoamento e as distancias dos locais de enxurrada até os canais principais, também tem uma influência na CSS no fluxo do rio.

ANDRADE (2011), verificou também que os maiores valores de vazão que ocorreram nos últimos meses do ciclo hidrológico não corresponderam aos maiores picos de descarga sólida, isso deve-se ao fato que no início das temporadas de chuvas, os sedimentos das encostas são facilmente erodidos pelo escoamento, ocasionando uma diminuição na taxa de fornecimento de materiais no fim do ciclo hidrológicos. Embora a vazão do rio continue aumentando, as CSS não respondem de acordo com a descarga líquida, e os

sedimentos que são transportados pelo fluxo passam a ser oriundos das margens e leitos dos rios (IADANZA, 2006).

4.6 Concentração de fósforo (P) no sedimento

O fósforo dos agroecossistemas é transferido para os ecossistemas aquáticos pelo fluxo da água em superfície e sub-superfície (SHARPLEY et al., 1995; DILS & HEATHWAITE 1996; HAYGARTH et al., 1998). PELLEGRINI (2005) relata que as transferências são quantitativamente superiores nos fluxos superficiais. Desta forma, GONÇALVES (2003) estudando a qualidade da água do Arroio Lino em uma microbacia de Agudo – RS, verificou que nas coletas realizadas em dias normais (vazão de base), os teores médios de fósforo solúvel e total foram de 0,09 e 0,17 mg l⁻¹, respectivamente. Esses resultados demonstram que as transferências de fósforo nos fluxos superficiais dos rios são contínuas. Porém, é durante os eventos pluviométricos que elas são mais expressivas (MCDOWELL et al., 2001). Uma grande parte do P transferido para os ecossistemas aquáticos de fontes terrestres tais como solos, está associada com as partículas (as “chamadas partículas-P”. SHARPLEY et al., 1999) em sedimento e material em suspensão, como no solo, o P ocorre em um grande número de formas químicas que são distribuídos ao longo dos meios aquosos e sólidos, incluindo organismos vivos (GOLTERMAN 1976; HOLTAN et al., 1988). Nas frações sólidas, partículas de P ocorrem principalmente em minerais de fosfato primário, sendo o mais comum os do grupo geral apatita: fórmula $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})$, conhecido como hidroxiapatita, fluorapatita ou clorapatita dependendo da união predominante (HOLTAN et al., 1988). O fosfato é também sorvido sobre as superfícies das partículas, ou é precipitado como minerais secundários, principalmente com Ca, Al e Fe. Além disso, os revestimentos de fosfato de metal na superfície das partículas de óxido de metal amorfas são também muitas vezes encontrados, bem como alguns compostos orgânicos associados com partículas de P. Assim, as partículas de P estão presentes em uma gama de compostos com estabilidades extremamente diversas. Estes compostos contribuem para várias frações da fase sólida. Assim, parece lógico considerar as frações sólidas do P estar associada com as “fases de transporte”,

um conceito que é muitas vezes usado para descrever a forma como os metais pesados são distribuídos por toda a fração sólida de solos e sedimentos (JAQUET et al., 1982; WARREN & HAACK, 2001).

Alguns ambientes lênticos, como lagos, rios, reservatórios e estuários podem suportar concentrações de até $100 \mu\text{g l}^{-1}$ de fósforo total, entretanto para outros ambientes sob condições particulares concentrações acima de $20 \mu\text{g l}^{-1}$ de P total desencadeiam o processo de eutrofização, que se caracteriza pelo aumento da produção de fitomassa de algas, causada pelo aumento da disponibilidade de nutrientes na água (PELLEGRINI, 2005). O fósforo, juntamente com o nitrogênio, é o elemento regulador deste processo, já que os demais nutrientes essenciais normalmente estão presentes em quantidades não limitantes nas águas (CORRELL, 1998).

Nos ambientes em que os fluxos são contínuos e turbulentos, como em pequenos rios de áreas de encosta, é pouco comum serem visualizadas manifestações do fenômeno de eutrofização. Porém, são nesses locais que as causas e não as consequências podem ser identificadas na sua origem (PELLEGRINI, 2005). Segundo TUNDISI (2003), com a crescente produção de resíduos urbanos e rurais ricos em nitrogênio e, principalmente em fósforo, a tendência para o futuro é que a eutrofização dos recursos hídricos brasileiros se torne um problema de difícil solução, se não irreversível.

No trabalho desenvolvido por ZHU et al., (2013), o fósforo frouxamente sorvido ($\text{NH}_4\text{Cl-P}$) foi fortemente influenciado pelas partículas mais finas na superfície e de núcleo de sedimentos. Com o aumento da área de superfície dos sedimentos, as concentrações de $\text{NH}_4\text{Cl-P}$ decresceu na interface água-sedimento. As partículas finas favorecem a adsorção de $\text{NH}_4\text{Cl-P}$ e a sua transformação em outras frações. Ainda relatam que o tamanho de partículas parece desempenhar um papel importante no ciclo de fósforo geoquímico nos sedimentos e na biodisponibilidade P. Mais pesquisas são necessárias para investigar o acoplamento de frações com os processos do ecossistema do lago e do papel de tamanhos diferentes de partículas de sedimentos nesses processos.

Os materiais erodidos de solos mais estruturados, com alta porcentagem de argila, óxido e matéria orgânica e durante os eventos de baixa intensidade

podem percorrer longas distâncias suspensos na água do escoamento, devido a sua baixa densidade em relação a sua área superficial específica. Devido a essa seletividade, que é promovida durante os mecanismos de produção e transporte, o conteúdo de fósforo e a reatividade dos sedimentos são maiores que o observado no solo (SHARPLEY, 1985b). Esse mesmo autor observou que o teor de fósforo disponível nos sedimentos foi, em média, 3 vezes maior e o de fósforo total 1,5 vezes aos teores encontrados no solo. Também, SMITH et al., (1992), estudando áreas de pastagens perene e cultivada, constataram que durante o movimento do solo em suspensão na água do escoamento, as frações mais leves, como argila e matéria orgânica coloidal, foram preferencialmente deslocadas. Isto resulta em material erodido com maior conteúdo relativo de fósforo. Conseqüentemente, do P total, o teor de P inorgânico e orgânico de sedimentos em suspensão pode variar no espaço e no tempo, devido a variações na importância relativa das fontes pontuais e difusas, as variações no uso da terra e outras características de captação (OWENS et al., 2002).

O fósforo está adsorvido às partículas de solo com diferentes energias de ligação, que por sua vez, determinam a capacidade de dessorção desse nutriente e seu aproveitamento pelos organismos vivos. A capacidade do solo, ou do sedimento, em liberar o fósforo adsorvido é conhecida como labilidade e pode ser estudada com a utilização sequencial de extratores que permitem retirar teores de fósforo adsorvido ao solo com ordem crescente de energia de ligação (GATIBONI et al., 2005). MARINS et al., (2007) destacam que o estudo de diferentes formas de fósforo é capaz de caracterizar a influência antrópica sobre os sistemas fluviais, sendo uma importante ferramenta como indicador da qualidade ambiental.

A deposição e armazenamento de sedimentos em várzeas e leitos de canais e sua remobilização posterior pode ser temporário ou de longo prazo e também pode exercer uma influência importante sobre o encaminhamento, transporte e destino da partícula de P em bacias hidrográficas (WALLING, 2000). Igualmente, a remobilização de sedimentos no leito do canal e reformulação de depósitos de várzea por erosão das margens e a sua migração pode reintroduzir partículas de P de volta para o sistema de canal, mesmo que as contribuições de outras fontes foram reduzidas.

É necessário informação sobre os fluxos de P, armazenamento e remobilização, a fim de planejar e implementar estratégias de gestão de bacias apropriadas. No entanto, apesar de um crescente reconhecimento da importância da partícula de P para o fluxo total de P nos rios, o seu transporte associado a sedimentos em sistemas fluviais ainda é relativamente pouco conhecido. Por exemplo, há poucos dados sobre o teor de P (mg g^{-1}) de sedimentos em suspensão em rios que drenam bacias com diferentes usos do solo e características de captação. Tal informação é necessária não só para caracterizar o teor de P de sedimentos em suspensão e, assim, identificar fontes prováveis, mas também a fim de estimar tanto partículas como cargas de P total. Além disso, há pouca informação sobre as perdas de transporte e armazenamento de partículas de P associados com sedimentos depositados em várzeas e canais, particularmente dentro das grandes bacias (DORIOZ, 1996).

4.7 Variação da granulometria do sedimento e do fósforo (P) intra e inter-evento

O transporte e produção de sedimentos em pequenos córregos diferem significativamente dos maiores rios de baixa altitude e alta variabilidade presente de evento para evento e até mesmo dentro de um único evento. A contribuição da fração de sedimentos em suspensão para carga de sedimentos total também mostra uma grande variabilidade, de 70 a 95% para os rios de planície (LANE & BORLAND, 1951; WALLING & WEBB, 1987) e entre 10 e 90% para maior gradiente (HAYWARD, 1980; LAUFFER & SOMMER, 1982; BATHURST et al., 1987; WHITTAKER, 1987; DIEZ et al., 1988; BILLI et al., 1998).

Quando se avaliam os problemas agrônômicos no local onde ocorre a erosão é importante fazer a distinção entre a erosão acumulada do passado e as taxas de erosão atuais, além de como prever as futuras através de modelos matemáticos (MAIER, 2013).

Os sedimentos acumulam-se na entrada dos cursos de água, pois o relevo mais plano proporciona taxas de deposição mais elevada do que as de transporte. Quando o aporte de sedimento é grande demais para estes se deslocarem ocorre aumento de deposição localmente. Quando o fluxo pode transportar mais sedimento do que é fornecido, ele age sobre o leito e pode

causar erosão nas margens e no fundo. A introdução de sedimento no rio pode resultar em acúmulo (depósito) durante fluxos de baixa intensidade ou lavagem (transporte) quando a vazão aumenta (MAIER, 2013).

A forma do canal geralmente reflete as características e as magnitudes dos fluxos (vazão média), os quais são frequentes o suficiente para reafirmar os seus efeitos, além de serem capazes de moverem grandes quantidades de sedimentos (CASSETI, 2005).

A concentração média de sedimentos transportados por um arroio em uma microbacia hidrográfica raramente é alterada num único processo erosivo, a menos que esta mudança represente um fato atípico, como uma enxurrada ou até mesmo um solapamento de margens de grande magnitude (REITER e BESCHTA, 1995). Neste sentido, GRANT et al., (2008) observou que mudanças na morfologia do canal de uma bacia hidrográfica florestal, no oeste de Oregon Washington não eram unicamente resultado do aumento de vazão nas épocas de colheitas da madeira. As modificações no canal foram resultados da associação de efeitos provocados pela colheita das árvores/madeira, tais como o aumento das cargas de sedimentos oriundos das estradas, a reduzida estabilidade das margens pela exploração intensivas em áreas ribeirinhas, alterações de vazões ocasionadas por conexões com as estradas e outros canais de drenagem dentro da bacia hidrográfica (GRANT et al., 2008).

CARTER et al., (2003), estudando eventos na bacia do Rio Aire (Reino Unido), afirmam que a contribuição de sedimentos em suspensão dos canais é menor do que em outros locais, onde os cursos de água são protegidos e a erosão das margens não é tão comum. A contribuição do material em suspensão a partir de áreas cultivadas é substancial e reflete a grande quantidade de lavouras na bacia. Esses autores relatam que nos eventos monitorados na bacia de Kildwick, no Reino Unido, existe um ligeiro aumento na proporção de material fornecido pelo canal durante as últimas fases do evento. Isto é consistente com os achados de WALLING et al., (1999) e OWENS et al., (2000) que sugeriram que o material do canal é arrastado em descarga de alta vazão e que maiores quantidades de sedimento podem assim ser esperadas no pico de descarga ou logo após as chuvas, dependendo da distância a partir da fonte do material para o local de amostragem.

MOTHA et al., (2004) estudando variações de fontes de sedimentos durante eventos de chuva-vazão, em uma bacia próxima a Melbourne na Austrália, relatam que os sedimentos amostrados na recessão do nível da água a contribuição relativa das estradas de cascalho foi maior do que as contribuições das terras cultivadas sob solos graníticos.

A produção de sedimentos em suspensão é fortemente dependente da estabilidade da camada de superfície grosseira do leito do canal, quando esta é removida, uma disponibilidade muito maior de sedimento fino da camada subsuperficial torna-se acessível para o fluxo (DIPLAS & PARKER, 1992). Este material é transportado nos rios de duas formas, como material sólido e em solução com componentes orgânicos e inorgânicos. Se o material está localizado no leito do rio ou se está suspenso, isto é geralmente determinado pela relação entre as condições de fluxo, estrutura, densidade e tamanho do material. Em muitos sistemas fluviais, a maior parte da carga de sedimento suspenso é < 2 μm em tamanho e muito deste é < 0,63 μm . Além disso, a fração < 0,63 μm da carga suspensa aumentou em importância fluxos biogeoquímicos nos sistemas fluviais, porque este é o componente químico ativo da carga sólida e assim, muitos contaminantes e nutrientes (incluindo dioxinas, radionuclídeos, metais pesados e fósforo) são transportados (e armazenado) em associação com a fração < 0,63 μm (SALOMONS & FÖRSTNER, 1984; HOROWITZ et al., 1993, 1995; FOSTER & CHARLESWORTH, 1996; OWENS et al., 2001). É importante reconhecer, contudo, que a maior parte da carga de grão fino em suspensão é coesiva e, portanto, não é transportado como partículas individuais discretas, mas sim como partículas floculadas ou agregado (DROPO & ONGLEY, 1994; PETTICREW & DROPO, 2000; DROPO, 2001).

KURASHIGE (1994, 1996), trabalhando em riachos de cabeceira no Japão, indica que a concentração de sedimentos suspensos podem atingir valores máximos, antes ou durante os picos de inundação, dependendo se os sedimentos suspensos são oriundos principalmente do leito do canal ou a partir das encostas.

Medidas de eventos em bacias glaciais suíços mostrou variações consideráveis de transporte de sedimentos em suspensão, em ambos um sazonal e uma escala intra-anual temporal, resultante de fenômenos de

instabilidade de encosta, obstruções dos canais temporários e chuvas de alta intensidade (COLLINS, 1990).

COLLINS et al., (1997b), a fim de incorporar o aspecto intra-evento na determinação de fontes, coletaram amostras de sedimento em suspensão durante inundações em Bickleigh (Reino Unido). Encontraram contribuições máximas de pastagem cultivada coincidentes com o pico do hidrograma, e portanto, com intensidades máximas de precipitação, altas taxas de escoamento superficial e grandes áreas contribuintes. Por exemplo, durante as inundações amostras em 29/11/93, 05/01/94, 23/01/94 e 25/02/94 o máximo de contribuição da paisagem foi de 84,0%, 78,5%, 81,0% e 82,0% respectivamente, e coincidem com o pico do hidrograma das enchentes em questão (MAIER, 2013).

No trabalho desenvolvido por LENZI et al., (2003), concluíram que os dados coletados no Rio Cordon durante um período de 16 anos mostram que 76% da carga de sedimento total (8.949,1 t de 11 744,2 t) foi devido ao transporte de sedimentos em suspensão. Uma grande parte da carga de sedimentos em suspensão foi fornecida durante dois eventos de inundação, em setembro de 1994 e maio de 2001, com 27% e 11% da carga total, respectivamente. Abundante deposição na rede de canal no final de setembro de 1994 forneceu a maior parte dos sedimentos para ser corroída durante as cheias. Os resultados desta pesquisa enfatizam a conexão entre os processos de fluxo aluviais dos canais e as fontes de sedimentos transportados.

Dentre os nutrientes transportados com os sedimentos, está o fósforo. De acordo com SHARPLEY et al., (1992), as quantidades e as formas de fósforo transferidas variam de evento para evento pluviométrico, por causa das variações sazonais das chuvas em intensidade e duração, do intervalo de tempo entre os eventos, do estágio de cultivo e do grau de cobertura vegetal do solo, entre outros. Isto também é ressaltado por OWENS (2002), quando relata que o P orgânico, inorgânico e total presente nos sedimentos em suspensão pode variar tanto espacial como temporalmente, devido a variações na relação entre importância de fontes pontuais e difusas, as variações de uso da terra e as características de captação. Além disso, as variações podem ser enormes se forem comparadas às concentrações de fósforo no deflúvio em dias normais e durante os eventos pluviométricos, como determinado por MCDOWELL et al.,

(2001), os quais constataram num trabalho desenvolvido em uma microbacia do estado da Pensilvânia – EUA, valores de fósforo total de 0,030 mg l⁻¹ nos dias normais e de 0,900 mg l⁻¹ durante as precipitações pluviométricas.

Segundo o trabalho de SCHENATO (2009), os dados do fracionamento do fósforo ligado aos sedimentos coletados na calha localizada no braço principal do arroio Lino no município de Agudo - RS, onde as frações de fósforo na forma orgânica e inorgânica variaram ao longo do ano em função do uso predominante do solo na pequena bacia hidrográfica. Considerando a labilidade decrescente do fósforo (extraído com RTA, NaHCO₃, NaOH 0,1 mol l⁻¹, HCl e NaOH 0,5 mol l⁻¹), constataram que os sedimentos coletados durante as chuvas ocorridas nos períodos de pousio hibernar e pós-colheita das folhas de fumo houve predomínio das frações com menor labilidade, enquanto nos sedimentos coletados no período do transplante (aterramento do fumo), constataram predomínio das formas mais lábeis, evidenciando a utilização de fertilizantes fosfatados no solo.

Conforme PELLEGRINI (2003), as concentrações de fósforo encontradas no escoamento e no deflúvio superficial são resultante da interação entre a água das chuvas e o teor de fósforo na camada superficial do solo. Essa por sua vez, depende da riqueza natural dos solos e das adições de fontes de fosfatos, sejam elas, orgânicas ou químicas.

4.8 Relação entre carbono (C), nitrogênio (N) com o transporte de sedimentos

O estoque de carbono e nitrogênio no solo depende de seu histórico de uso e manejo e tem relações com a qualidade do solo. As perdas de C são maximizadas em sistemas agrícolas que revolvem intensamente o solo, tornando a sua concentração menor, comparativamente a outras áreas com cobertura vegetal permanente ou sistemas conservacionistas de cultivo (CORAZZA et al., 1999). Já o estoque de N, é controlado especialmente pelas condições climáticas e pela vegetação. Na matéria orgânica está um importante reservatório de formas potencialmente disponíveis de N para os vegetais. Além disso, o uso de leguminosas incluídas nos esquemas de rotação de cultura e a implantação de espécies com maior produção de biomassa causam maior armazenamento de N total no solo (MIELNICZUK et al., 2003).

A origem da matéria orgânica em colunas sedimentares tem sido avaliada a partir da razão entre os teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) presentes nos sedimentos e utilizada na distinção entre matéria orgânica originada de algas e de plantas terrestres (PRAHL et al., 1994; MEYERS, 1997).

O C e o N orgânicos são os dois constituintes principais da matéria orgânica. O conteúdo de carbono orgânico nos sedimentos superficiais depende de uma série de fatores, tais como as características sedimentares, produtividade da coluna d'água, taxa de degradação microbiana, além das condições oceanográficas locais. As perdas de C orgânico por erosão hídrica são elevadas podendo constituir importante fator de degradação do solo e sua concentração no sedimento erodido correlaciona-se linear e positivamente com a concentração na camada superficial do solo de onde o sedimento se originou (SCHWARZ, 1997).

No processo de erosão hídrica, a capacidade de transporte dos sedimentos é seletiva, primeiramente ocorrendo o arrastamento de partículas de sedimento fino com aderência de nutrientes, carbono e nitrogênio. A perda de carbono orgânico do solo devido a erosão é afetada por muitos fatores, tais como as propriedades do solo, intensidade/duração da chuva, topografia, cobertura superficial e umidade do solo (FOSTER & WISCHMEIER, 1974).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Características das três bacias hidrográficas monitoradas

O presente estudo foi realizado em três bacias hidrográficas: bacia Arroio Lajeado Ferreira no município de Arvorezinha, bacia do Rio Guaporé com exutório no município de Anta Gorda, bacia do Rio Conceição com exutório no município de Ijuí, todas localizadas no estado do Rio Grande do Sul (figura 1). Ambas as bacias apresentam um elevado grau de degradação pela erosão hídrica, entretanto com padrões e processos distintos. A bacia do Arroio Lajeado Ferreira, tem como característica pequenas propriedades cultivadas com fumo e encostas declivosas. A bacia do Rio Guaporé com uma elevada heterogeneidade de solos, uso e relevo e grande área de captação. A bacia do Rio Conceição com elevada área de contribuição, mas com relevo e uso do solo homogêneo.

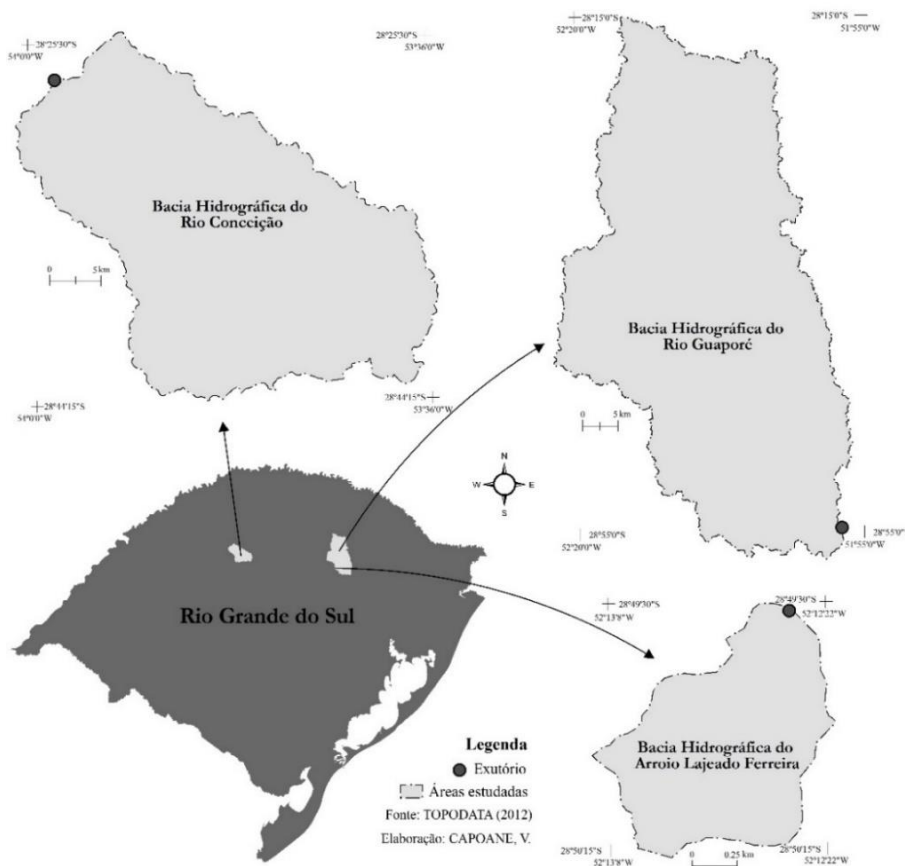


Figura 1: Localização das bacias hidrográficas em estudo.

A bacia hidrográfica do Arroio Lajeado Ferreira, está localizada no município de Arvorezinha que se situa na região centro-norte do estado do Rio Grande do Sul. Além disso, esta bacia se encontra inserida na bacia do Rio Guaporé, ou seja, pode ser caracterizada como uma sub-bacia. A área da bacia possui 119 ha e a principal atividade desenvolvida está relacionada com o cultivo do fumo. O clima da região é temperado super úmido, classificado como Cfb segundo classificação de KOPPEN, com verões fracos e invernos com geadas severas e frequentes, sem estação seca. A precipitação é bem distribuída ao longo do ano e varia de 1250 a 2000 mm. A formação geológica é caracterizada como Serra Geral, caracterizada pelo derramamento basáltico. O relevo na parte superior é ondulado, no terço médio e inferior o relevo é forte ondulado com vertentes curtas e vales encaixados (MINELLA 2007; MORO 2011). Os solos encontrados são Argissolos, Cambissolos e Neossolos (figura 2). Em 2011/2012, os principais usos de solo identificados foram: cultivo de fumo com preparo convencional e com cultivo mínimo, pastagem natural, reflorestamento com eucalipto e mata nativa (tabela 1; figura 3).

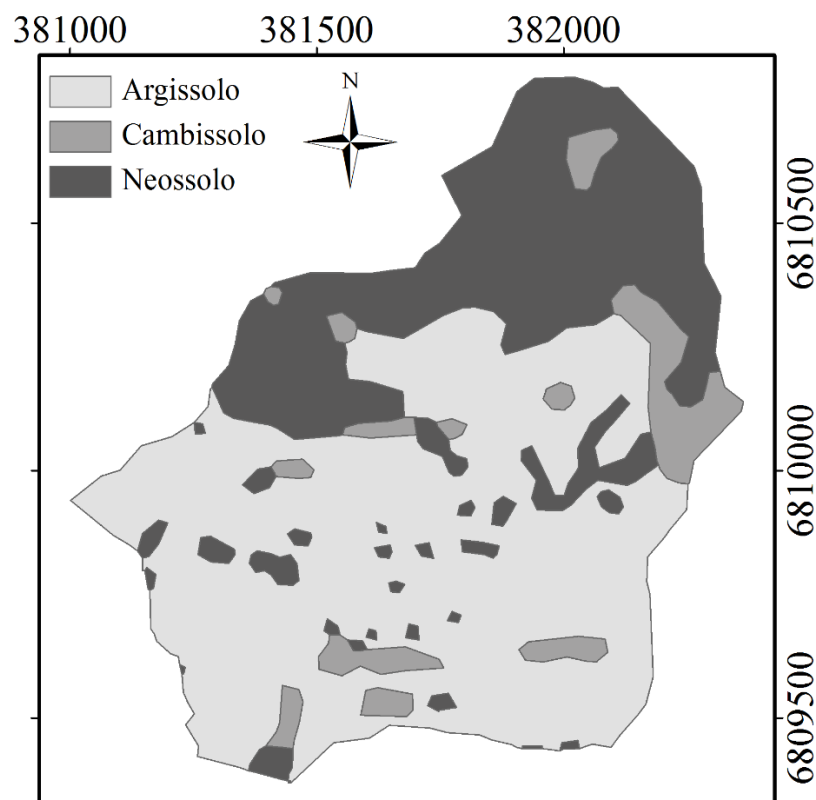


Figura 2: Solos da bacia do Arroio Lajeado Ferreira (DALBIANCO, 2013).

Tabela 1: Área total e percentagem do uso e manejo do solo para a bacia do Arroio Lajeado Ferreira ano 2010/2011 (DALBIANCO, 2013).

Usos	Área (ha)	Área (%)
Mata nativa	26,99	22,26
Pastagem	5,70	4,70
Reflorestamento	21,87	18,04
Preparo mínimo	37,88	31,24
Preparo convencional	16,37	13,50
Outros usos	12,44	10,26

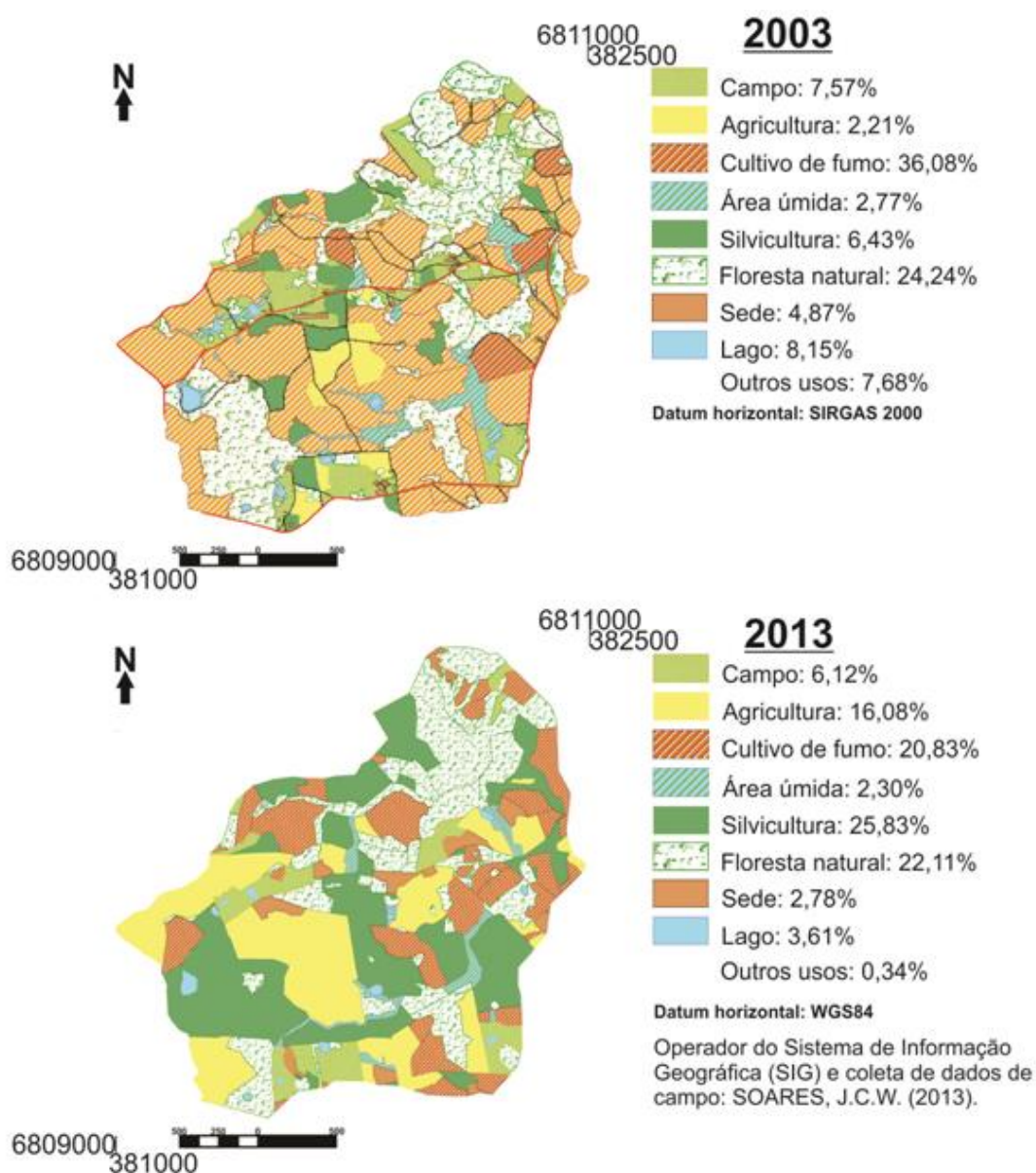


Figura 3: Uso do solo da bacia do Arroio Lajeado Ferreira (DALBIANCO, 2013).

A bacia do Rio Guaporé corresponde a uma área de 198.000 ha, localizada na mesorregião Nordeste e Noroeste do Rio Grande do Sul. O clima

da região, de acordo com a classificação climática de KOPPEN, é do tipo Cfb, subtropical superúmido, mesotérmico, com verões frescos e geadas severas demasiadamente frequentes, sem estação seca. A precipitação média anual varia entre 1.400 mm e 2.000 mm, e a temperatura média anual da região é de 18,4 °C. Segundo DALBIANCO (2013), o uso e manejo do solo são diversificados, sendo composto por áreas de plantio direto com soja, milho e trigo, principalmente na porção superior, que apresenta relevo suave ondulado e solos com perfil profundo; e produção convencional do fumo e atividade agropecuária (produção de grãos e pastagens, bovinocultura de leite, produção de aves e suínos) em pequenas propriedades localizadas em áreas com relevo mais declivoso e com solos rasos, ocupando um espaço representativo na agricultura da região (figura 4).

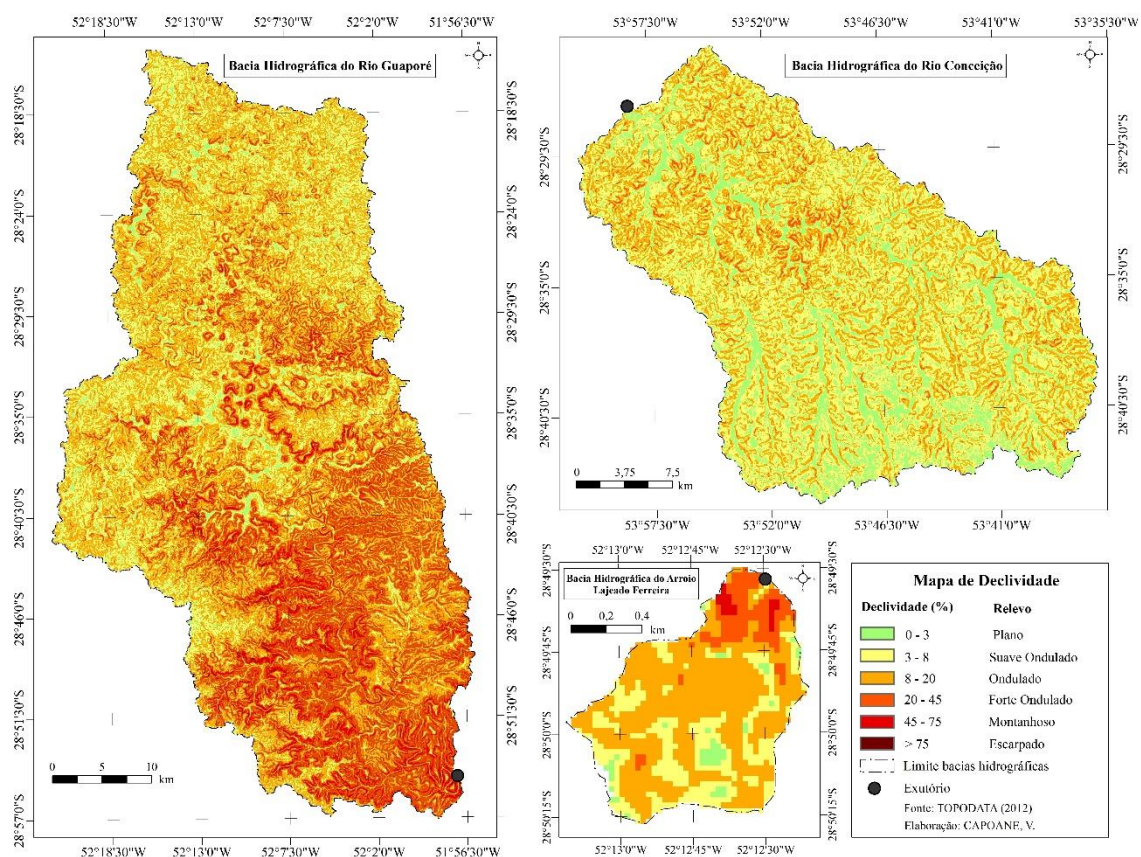


Figura 4: Declividade das bacias hidrográficas em estudo.

Os solos são bastante diversificados, devido às diferentes formas de relevo na paisagem. As principais classes de solos da bacia são: Argissolo Vermelho, Chernossolo Argilúvico, Latossolo Bruno, Latossolo Vermelho,

Neossolo Litólico e Neossolo Áplico (figura 5). Segundo DALBIANCO (2013), na maior parte desta bacia hidrográfica, o relevo inclinado e os solos rasos, associados a não utilização de práticas conservacionistas, favorece a erosão hídrica em sulcos e entressulcos, gerando escoamento superficial com grande capacidade de transporte de partículas grosseiras de sedimentos.

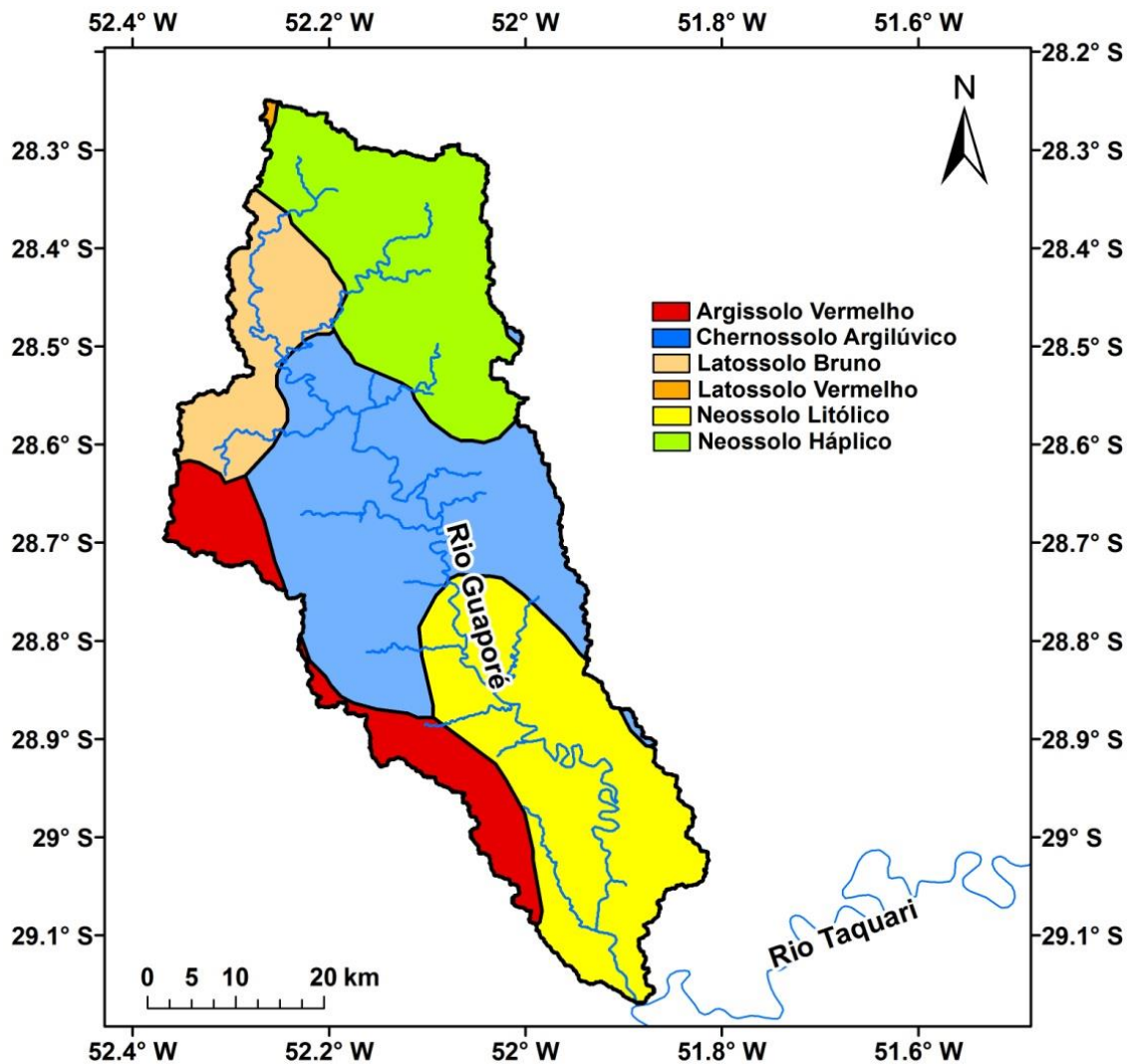


Figura 5: Mapa de tipos de solos na bacia do rio Guaporé obtido do RADAM Brasil.

A bacia hidrográfica do Rio Conceição possui uma área de 84.000 ha, localizada no Planalto do Rio Grande do Sul, sobre formação basáltica vulcânica. O relevo é considerado ondulado moderado (classe de declividade predominante 3 - 8%), com colinas (tabela 2).

Tabela 2: Distribuição das classes de declividade e formas de relevo nas bacias hidrográficas estudadas.

Declividade (%)	Relevo (Embrapa, 2006)	Rio Guaporé Área %	Arroio Lajeado Ferreira Área %	Rio Conceição Área %
0-3	Plano	5,3	3,6	20,0
3-8	Suave	22,9	27,3	46,6
8-20	Ondulado	40,8	56,5	32,7
20-45	Forte	26,1	10,2	0,6
45-75	Ondulado	4,7	1,7	0,0
>75	Montanhoso	0,2	-	-
	Escarpado			

Base de dados: TOPODATA

As classes de solos da bacia são Argissolos, Nitossolos e Latossolos (STRECK et al. 2008). A precipitação média anual da região é de 1.750 a 2.000 mm, com temperatura média de 17 °C. Os cultivos agrícolas correspondem a produção de grãos e pecuária leiteira. No verão, as áreas são cultivadas predominantemente pela cultura da soja sob o sistema de plantio direto e, em menor extensão, pela cultura do milho, que é destinado à alimentação do rebanho leiteiro (silagem, ração). No inverno, as áreas são ocupadas pelo trigo (grãos) e por pastagens, como aveia e azevém (DALBIANCO, 2013). Isso pode ser considerado como um resultado das condições de clima e relevo favorável. Segundo DALBIANCO (2013), o valor médio de CSS para o Rio Conceição é tipicamente 15,6 mg L⁻¹ em dias sem eventos pluviométricos e 110,5 mg L⁻¹ em dias de eventos. Apesar do uso do sistema plantio direto nesta bacia hidrográfica (tabela 3; figura 6), frequentemente são observados sulcos formados pela erosão hídrica nas áreas sob este sistema de manejo, bem como a formação de voçorocas entre as áreas de cultivo e nas beiras de estradas.

Tabela 3: Área total e porcentagem do uso e manejo do solo para a bacia do Rio Conceição (DIDONÉ, 2013).

Classe de uso	Área (ha)	Área (%)
Lavoura	53907,44	67,039
Área úmida	1319,10	1,640
Florestas	6466,35	8,042
Solo exposto	18718,79	23,279

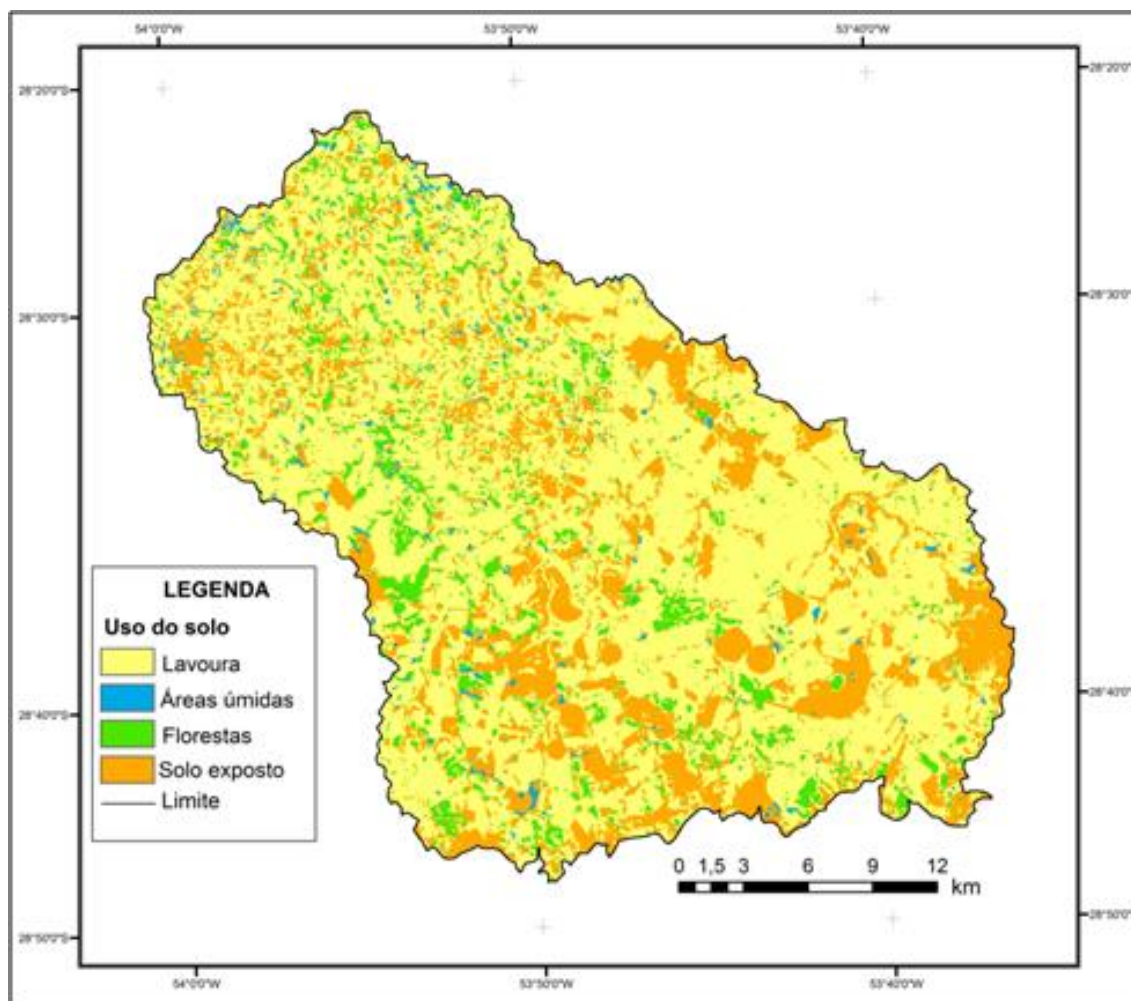


Figura 6: Uso do solo da bacia do Rio Conceição (DIDONÉ, 2013).

5.2 Precipitação, concentração de sedimento em suspensão (CSS), vazão (Q) e amostragem de eventos

Os eventos chuva-vazão-sedimentos utilizados foram coletados durante os anos de 2012 e 2013, em diferentes épocas do ano que são caracterizadas por diferentes usos e manejos do solo e variabilidade climática, especialmente a

erodibilidade das precipitações, o que torna o conjunto representativo dos fatores controladores antrópicos e climáticos.

O monitoramento da precipitação nas bacias hidrográficas foi realizado com pluviógrafos e pluviômetros. Estes equipamentos possuem uma área de coleta conhecida para a medida da quantidade de água precipitada em um determinado tempo.

O pluviógrafo é um equipamento utilizado para coletar e registrar, continuamente no tempo, a intensidade das chuvas. Os registradores são dotados de um coletor que opera a precipitação e a transfere à unidade sensível. Possui um mecanismo de registro capaz de traçar a curva representativa da evolução da chuva com o tempo, sobre um diagrama apropriado (pluviograma). Neste trabalho o pluviógrafo se encontrava acoplado a uma fonte de energia e um *data logger*, permitindo o armazenamento dos dados por um determinado período (em torno de um mês).

O pluviômetro é um aparelho de meteorologia usado para recolher e medir, em milímetros lineares, a quantidade de líquidos (chuva) precipitados durante um determinado tempo e local. Os pluviômetros são coletores mais simples, mas que necessitam de uma pessoa para realizar a leitura do volume de chuva precipitado, desta forma, neste trabalho, a leitura foi realizada a cada 24 horas. Estes dados obtidos foram comparados com as leituras dos pluviógrafos, pois são dados coletados diariamente, o que pode auxiliar na correção dos volumes precipitados caso ocorra alguma falha no equipamento automático.

O transporte e o fluxo de sedimentos nos rios apresentam uma grande variabilidade espaço-temporal. Além disto, dependendo da velocidade do escoamento, a concentração de sedimento em suspensão (CSS) tende a aumentar com a profundidade, uma vez que as partículas mais grosseiras e densas não são homogeneamente distribuídas ao longo da vertical.

O monitoramento da CSS foi efetuado com turbidímetros e coletas de amostras durante os eventos de chuva e em calendário fixo. O turbidímetro é conectado a um *data logger* e registra continuamente a medida da turbidez em um ponto fixo, sendo seu funcionamento baseado no espalhamento da luz

emitida por uma fonte devido à presença de partículas de sedimento em suspensão (silte, argila, etc).

A realização das coletas das amostras de água e sedimento foram realizadas com alguns cuidados, desta forma, três características são necessárias para que a amostra seja representativa: a velocidade do fluxo de entrada da amostra deve ser a mesma da velocidade do escoamento no canal; a presença do amostrador deve causar o menor distúrbio no escoamento no ponto de coleta; e o bico do amostrador deve estar orientado nos planos vertical e horizontal do escoamento.

A técnica de amostragem dos sedimentos em suspensão pode variar em função do objetivo específico da coleta. Porém o que se deve levar em consideração, é que a amostragem e a frequência das amostragens são etapas cruciais para uma análise representativa e reprodutiva do tamanho de partícula.

Das bacias hidrográficas que foram acompanhadas durante o estudo, duas (Rio Conceição e Rio Guaporé) possuem grande descarga líquida que não pode ser medido através de calhas ou vertedores, portanto, junto a suas margens se encontram instaladas régua limnimétricas, turbidímetro e linígrafo que auxiliaram na coleta de dados e na determinação da vazão e turbidez, respectivamente através de curvas-chaves. A medição da vazão consiste em determinar a área da seção de medição e a velocidade em vários pontos distribuídos em verticais desta seção para posterior obtenção da velocidade média em cada vertical e em sequência calcular a vazão. Com várias medidas de vazão em diferentes níveis se obtém a curva chave, que foi utilizada para estimar a vazão com o auxílio das leituras realizadas pelo sensor de nível (linígrafo) em diferentes intervalos de tempo ou por leituras feitas manualmente na régua limnimétrica.

Para a medida da vazão da bacia do Arroio Lajeado Ferreira, foi utilizado linígrafo instalado em calha Parshall que contém medidas conhecidas, portanto a vazão foi determinada através da relação entre a altura da lâmina de água e as dimensões conhecidas da calha Parshall. Junto a ela está acoplado uma régua limnimétrica, e ainda um linígrafo de pressão acoplado a um *data logger* para armazenar as informações (figura 7).

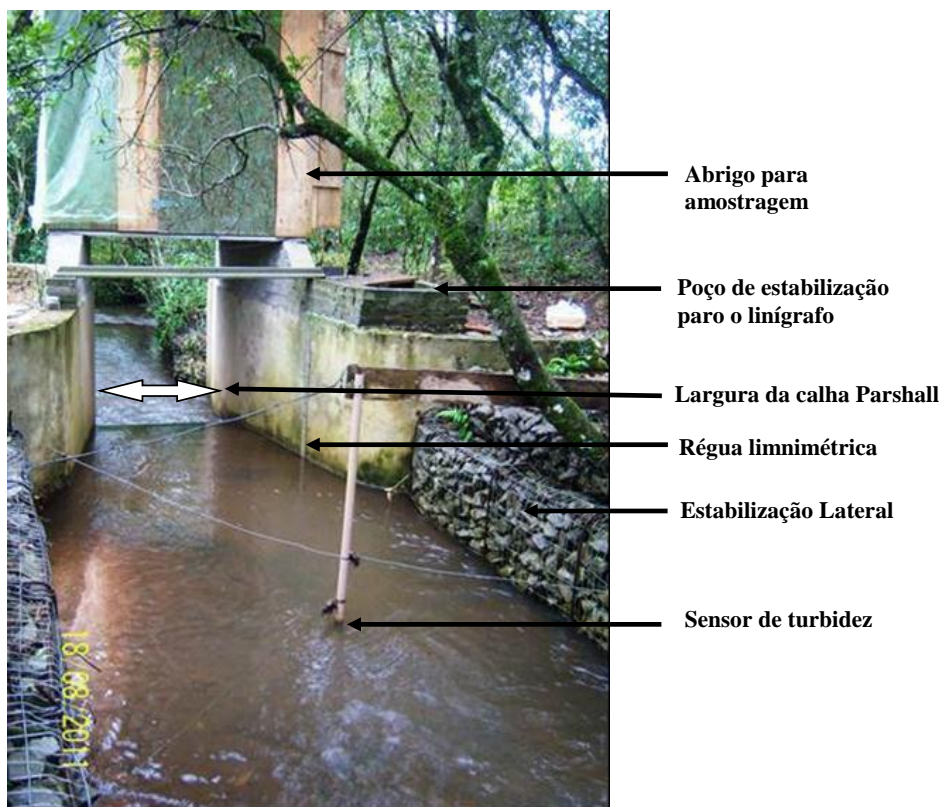


Figura 7: Imagem de um local de monitoramento de uma bacia hidrográfica (PELLEGRINI, 2011).

Durante o período de monitoramento, foi-se deparado com uma diversidade na vazão (Q) e CSS entre os eventos devido a variação e intensidade de precipitações, desta forma, a coleta das amostras foi realizada conforme os itens mencionados. O objetivo da amostragem, foi a coleta de no mínimo 3 galões de 20 L de água + sedimento por evento, mas quando o evento se tornava muito intenso, a frequência de coletas eram aumentadas.

As amostras foram coletadas com alguns cuidados básicos. Primeiramente, os galões usados foram limpos antes de serem utilizados, evitando assim a existência de algum material indesejável. A amostragem foi realizada no lugar que representasse melhor todo o fluxo de água no exutório. Além disso, no momento da coleta não havia nenhuma turbulência frente ao galão que poderia supostamente alterar a representatividade da amostragem.

Na bacia hidrográfica do Arroio Lajeado Ferreira foram monitorados sete eventos de precipitação (30 a 111 mm), as vazões médias e máximas observadas foram $0,21 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e $1,47 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, respectivamente. Na bacia

hidrográfica do Rio Conceição foram monitorados nove eventos pluviométricos (48 a 201 mm), as vazões médias e máximas observadas foram 54,6 e 177,7 m³ s⁻¹, respectivamente. Já na bacia hidrográfica do Rio Guaporé foram monitorados quatro eventos, onde a vazão máxima monitorada foi de 945,2 m³ s⁻¹ e a vazão média igual a 198,4 m³ s⁻¹.

5.3 Análise granulométrica

A análise de tamanho de partícula, utilizando o princípio da difração a laser, tem sido realizada há vários anos e uma variedade de instrumentos está disponível comercialmente. Conforme PYE et al., (2004) os instrumentos variam na sua sensibilidade e sofisticação, que influenciam a quantidade de tamanhos de partículas que podem ser analisados, a facilidade com a qual os dados podem ser manipuladas e sintetizadas e a qualidade global dos resultados.

O granulômetro (CILAS 1064 - Laser Particle Size Analyzer) é um instrumento de pesquisa projetado para aplicações que exigem alta resolução análise de partículas sub micron. As medições das amostras podem ser feitas em modo de líquido ou seco, com um intervalo de medição de 0,04 a 500 micrómetros. O granulômetro integra duas fontes de laser sequenciados posicionado a 0° e 45° (figura 8), para produzir um padrão de difração analisados em um detector de silício de 64 canais. Através do software, a curva de distribuição é representada por 100 classes ao longo da gama de 0,04 - 500 µm. O 1064 foi desenvolvido em conformidade com a norma ISO 13320 para a precisão da medição e repetibilidade.

CILAS 1064

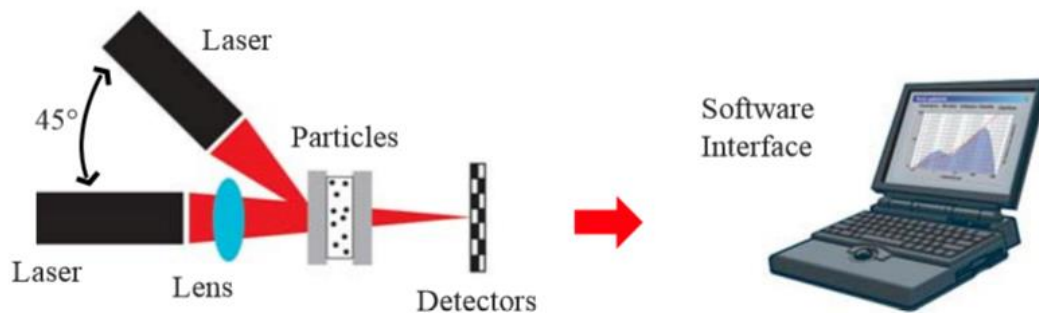


Figura 8: Funcionamento do CILAS 1064 Laser Particle Size Analyzer.

Em vários eventos pluviométricos foram coletados, no mínimo, três galões de 20 L com água e sedimento, sendo 1 na subida, 1 no pico e 1 na decida do nível da água. Estas amostras foram levadas ao laboratório para análise, sendo que a primeira etapa realizada, foi a secagem da amostra em uma estufa com circulação de ar a 50 °C.

Sequencialmente, foi realizado a queima da matéria orgânica de 0,5 g de sedimento a uma temperatura de 550 °C em um mufla.

Para determinação das partículas do sedimento, foi empregada a análise por difração de raios laser, em granulometria CILAS, modelo 1064 (figura 9). Para realização das análises, as amostras foram submetidas ao ultrassom do próprio aparelho por 30 s, com o objetivo da difração das partículas. A varredura foi realizada entre 0,04 - 500 μm . Pelo software, foram calculados os valores da frequência da distribuição das porcentagens do D10, D50 e D90 (tabela 4). Tais valores referem-se à média dos diâmetros de partículas nos intervalos abaixo de 10, 50 e 90% na curva de distribuição de tamanho.

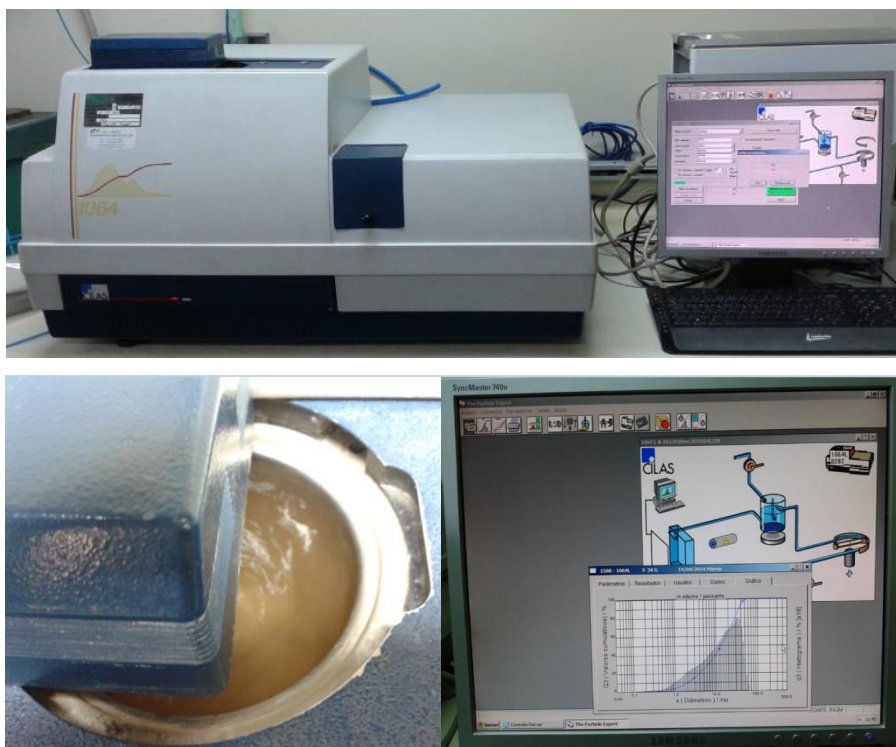


Figura 9: Granulometro CILAS, modelo 1064.

Tabela 4: Tamanho das partículas do sedimento em suspensão da bacia hidrográfica do Rio Guaporé.

Evento	Data	D 10	< 63 μm	
			D 50	D 90
1	06/07/2012	1,89	13,43	34,86
2	06/07/2012	2,4	11,86	29,22
3	07/07/2012	1,96	12,67	33,12
4	07/07/2012	1,85	12,02	32,24
5	07/07/2012	1,89	13,66	34,53
1	18/09/2012	2,11	14,66	35,58
2	19/09/2012	1,74	11,71	31,25
1	12/03/2013	2,32	15,59	37,10
2	12/03/2013	1,87	12,27	35,43
3	12/03/2013	2,03	13,34	35,59
4	13/03/2013	2,11	14,66	35,58
5	13/03/2013	2,11	14,04	35,96
6	13/03/2013	1,57	11,72	32,38
1	20/09/2013	1,24	9,75	29,65
2	21/09/2013	1,71	13,27	35,16
3	21/09/2013	1,62	14,50	38,42
4	21/09/2013	1,90	14,12	35,45

5.4 Determinação das frações de P total, P orgânico, P extraído por resina, carbono total (CT) e nitrogênio total (NT)

O fósforo (P) é um elemento essencial para o desenvolvimento das plantas, e quando o solo for mal manejado, ele é transferido para os ambientes aquáticos junto com as partículas de sedimento. No entanto, mesmo que se encontram teores totais altos de P, apenas uma pequena fração deste tem baixa energia de ligação que possibilita sua dessorção e disponibilidade.

Para a determinação do P, primeiramente as amostras de sedimento foram passadas em uma peneira de malha 63 μm . Desta forma, se obteve frações de sedimento maiores e menores que 63 μm (figura 10). Em cada uma destas frações se efetuou análises de P total, orgânico e extraído por resina, segundo a metodologia descrita a seguir.



Figura 10: Peneiramento das amostras de sedimento em suspensão.

O P total do solo foi estimado pela digestão com H_2SO_4 e H_2O_2 na presença de MgCl_2 saturado (OLSEN & SOMMERS, 1982). O teor de P extraído por resina de troca aniônica (RTA) foi determinado conforme segue: i) 1,0 g de solo foi acondicionado em tubos *falcon* de 15 mL; ii) em seguida foi adicionado 10 mL de água destilada e uma lâmina de RTA (placas AR 103 QDP 434 Ionics Inc.), saturada com NaHCO_3 0,5 M a pH 8,5; iii) após procedeu-se agitação por 16 horas, em agitador tipo 'sem fim' a 25 °C. As lâminas foram então retiradas e lavadas com jatos de água destilada e depois diluídas em 10 mL de HCl 0,5 M. No extrato de HCl o teor de P foi determinado conforme metodologia descrita por MURPHY & RILEY (1962). O P orgânico estimado pelo método de ignição foi obtido pela diferença entre a quantidade de P extraída com H_2SO_4 0,5 M de amostras de solo ignificadas (550 °C, 2 horas) e amostras de solo não ignificadas

(OLSEN & SOMMERS, 1982). Todos os extratos foram reservados e submetidos à determinação de P, conforme proposto por MURPHY & RILEY (1962).

Os teores de COT e NT foram determinados por via seca, através analisador elementar (modelo Flash EA 1112, Thermo Finnigan). As amostras foram maceradas, até adquirir consistência homogênea e colocadas em cápsula de estanho, onde a digestão do material foi feita em câmara de combustão em temperatura de aproximadamente 975°C. Os gases foram detectados por um sensor de termocondutividade e convertidos em porcentagem de C e N.

5.5 Avaliação do transporte de água e sedimento em eventos de chuva-vazão-sedimentos

Os eventos de precipitação e a formação do escoamento superficial são responsáveis pela transferência de sedimento até a rede fluvial. Mesmo que o padrão e/ou magnitude da precipitação seja semelhante a resposta hidrossedimentológica sempre apresentará um comportamento distinto, pois existem muitos fatores que influenciam nessa resposta, resultando em diferentes vazões (Q) e concentrações de sedimento em suspensão (CSS). Desta forma, tentou-se compreender um pouco mais o funcionamento deste processo.

Os dados contínuos de Q e CSS foram separados conforme os eventos monitorados. Posteriormente, foi aplicada uma metodologia qualitativa e quantitativa nas duas variáveis (Q; CSS) para analisar o efeito da histerese, e sequencialmente fazer uma comparação entre eventos e bacias hidrográficas.

Estas análises foram aplicadas em três bacias hidrográficas (Rio Guaporé; Rio Conceição; Arroio Lajeado Ferreira), totalizando em catorze eventos.

5.5.1 Análise qualitativa da histerese

A avaliação entre o gráfico de Q e CSS, caracteriza a curva de histerese. O comportamento hidrossedimentológico da bacia pode ser analisado a partir do sentido e do formato do laço de histerese, sendo que existem três laços principais: anti-horário, horário e em formato de 8. Já WILLIAMS (1989)

identificou e classificou cinco tipos comuns da curva de histerese que podem ser distinguidos em valor simples (*single-valued*), sentido horário (*clockwise*), sentido anti-horário (*counterclockwise*), linha simples comum (*single line plus*) e figura oito (*figure eight*).

Quando a curva de histerese apresentar o laço no sentido anti-horário, significa que os valores da concentração de sedimento em suspensão no ramo crescente (CSS RC) são menores que no ramo decrescente (CSS RD), significando a chegada de sedimentos de fontes mais distantes, como aqueles sedimentos que são mobilizados na bacia vertente e transferidos pelo escoamento superficial para o canal fluvial (MINELLA et al., 2011).

Se o laço da curva apresentar o sentido horário, os valores da CSS RC são maiores que os da CSS RD. Esse tipo de curva ocorre quando os sedimentos são mobilizados, transportados e depositados rapidamente.

No entanto, se a curva apresentar os dois sentidos (anti-horário e horário) o laço será em formato de oito (SEEGER et al., 2004). Isso só é possível quando a Q e a CSS aumentam juntas, mas quem atinge o pico primeiro é a CSS, formando uma curva horária, sendo que a quantidade de sedimento que chega ao exutório ainda é elevada fazendo com que a CSS RD decresça lentamente comparado a Q (WILLIAMS, 1989).

A histerese tem contribuído para localizar a fonte de sedimentos suspensos e compreender o mecanismo de transporte de sedimentos (JANSSON, 2002). Apesar da diferença do tamanho entre as bacias hidrográficas, dos catorze eventos analisados, onze apresentaram o laço da histerese no sentido H, sendo que este tipo de laço ocorre quando os sedimentos são mobilizados, transportados e depositados rapidamente (SEEGER et al., 2004).

A análise da histerese permite comparações entre eventos e bacias hidrográficas, desta forma, o índice de histerese (IH) foi avaliado de acordo com LAWLER et al., (2006).

Para chegar ao resultado do IH, primeiramente foi preciso calcular a Q_{max} (vazão máxima) e Q_{min} (vazão mínima) do evento, para posteriormente determinar a Q_{cen} (vazão central) conforme a equação 1.

$$Q_{cen} = 0,5*(Q_{max} - Q_{min}) + Q_{min}$$

Após a obtenção do resultado da Q_{cen} , é calculado o valor da concentração de sedimento em suspensão do ramo crescente (CSS RC) e o valor da concentração de sedimento em suspensão do ramo decrescente (CSS RD), com o auxílio do gráfico de Q versus CSS (figura 11), e em sequência foi determinado o sentido dos laços para cada evento.

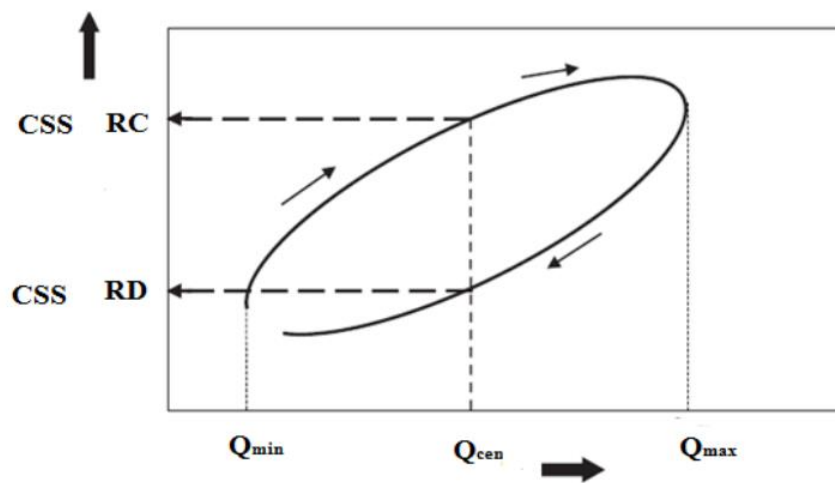


Figura 11: Laço da histerese com a identificação da Q_{cen} , CSS RC e CSS RD (LAWLER et al., 2006).

O IH é calculado conforme o sentido do laço. Quando a CSS RC for menor que a CSS RD o laço terá um formato anti-horário e o IH será calculado pela equação 2 resultando em um valor negativo. Se a CSS RC for maior que CSS RD o laço formado terá sentido horário e é calculado pela equação 3, resultando em um valor positivo.

$$IH = (-1 / (CSS RC / CSS RD)) + 1$$

$$IH = (CSS RC / CSS RD) - 1$$

5.6 Análises dos resultados

Para todas as bacias hidrográficas e para todos os eventos foram realizadas a análise das tendências espaciais e temporais com o objetivo de identificar os padrões existentes e a caracterização de cada bacia. Foram efetuadas correlações entre variáveis hidrológicas (Q_{max} , Q_{med} , escoamento superficial, CSS_{max} , CSS_{med} , produção de sedimento), físicas (D10, D16, D25, D50, D75, D84 e D90) e químicas (P total, P orgânico, P disponível, C total e N total) com o auxílio de regressões. Para verificar se as condições físicas e químicas variam entre as três bacias hidrográficas foi realizado um teste *T* de Student.

O comportamento hidrossedimentológico foi observado intra e inter-evento de cada bacia hidrográfica, pois se tinha a intenção de saber o quanto a épocas do ano, o relevo, o tipo de solo e os sistemas de produção influenciavam. Também foi realizado uma comparação entre quantidade de sedimento, volume de P total, C total e N total transferido, para analisar as situações mais críticas de perda.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Caracterização física e química dos sedimentos em suspensão nas três bacias hidrográficas

A formação do escoamento superficial e sua complexidade espacial e temporal governam a transferência de sedimentos até os canais fluviais. Cada evento (chuva-vazão-sedimentos) apresenta particularidades definidas pela característica da chuva, do uso e manejo do solo, relevo e tipo de solo, naquele momento, por isso os padrões de vazão e concentrações de sedimento em suspensão, bem como suas características físicas e químicas serão distintas. De acordo com SHARPLEY et al. (1992), as quantidades e as formas de P transferidas variam de evento para evento pluviométrico, por causa das variações sazonais das chuvas em intensidade e duração, do intervalo de tempo entre os eventos, do estágio de cultivo e do grau de cobertura vegetal do solo, entre outros. Já MALMQVIST & RUNDLE (2002), comentam que os diversos usos do solo vêm causando um aumento das concentrações de poluentes químicos inorgânicos e orgânicos nos rios. Esta poluição varia conforme o desenvolvimento das atividades humanas existentes no entorno do rio.

Na tabela 5 é apresentado um resumo dos dados obtidos considerando todos os eventos monitorados nas três bacias hidrográficas. Constata-se nesse caso que a variação granulométrica entre as bacias é estatisticamente inexistente (teste T *Student*). Os valores médios ou a mediana é relativamente diferente, mas em função da elevada variância os conjuntos de dados não podem ser considerados diferentes. Nota-se claramente que para ambas as bacias a classe silte médio (6 a 20 μm) é predominante. Isso indica que o processo de transporte de sedimentos erodidos envolve a classe naturalmente mais erodível e/ou a presença de microagregados compostos de argila de tamanho silte. Os valores máximos observados dos diâmetros característicos são inversamente proporcionais aos tamanhos das bacias, sendo um resultado coerente, já que bacias menores tendem a ter melhor conectividade entre fonte e rio e menor possibilidades de deposição. Um estudo realizado por GOERL et al, (2012), na bacia experimental de Santa Alice, localizada ao norte do estado de Santa Catarina, mostrou que ocorreu uma diferença entre a ruptura da

conectividade conforme a relação área por classe de uso do solo e ainda, comentou que a maior densidade de fragmentação ocorreu nas estradas, por ocupar uma área pequena em relação às demais classes e possuir um número médio de segmentos.

Em relação aos teores de P nos sedimentos, a bacia do Rio Conceição apresentou as maiores concentrações, com valores sensivelmente maiores que as bacias do Arroio Lajeado Ferreira e do Rio Guaporé. Esse resultado indica, aparentemente, um elevado nível de degradação química devido à agricultura nas áreas de plantio direto. Mesmo em comparação com o Arroio Lajeado Ferreira que apresenta intenso uso do solo com a cultura do fumo e altas taxas de erosão e conseqüentemente transferência de solos ricos em P para a rede de drenagem, a bacia do Rio Conceição superou em, aproximadamente, 30% a concentração de P associados aos sedimentos.

Os valores da média e mediana de C nos sedimentos erodidos nas três bacias são basicamente os mesmos, na ordem de 3,3%. Isso confirma que a erosão não é apenas seletiva em relação à granulometria, no caso o silte, mas também que exporta da bacia solos com elevada concentração de carbono. Isso também foi encontrado no trabalho elaborado por FROEHNER & MARTINS (2008), que realizaram uma avaliação da composição de sedimentos da bacia do Rio Barigüi, com relação à presença de metais e às razões de C:N:P. Os valores de COT encontrados variam de 428 ± 11 até 2.694 ± 11 $\mu\text{mol/g}$. Dos seis pontos amostrados, o ponto com menor teor de COT foi onde a composição do sedimento era dominada por areia. Por outro lado, os pontos que tiveram os maiores teores de COT, o sedimento era predominantemente composto por silte e argilas, ou seja, partículas mais finas.

Observando os valores máximos de concentração de carbono presente nas amostras de sedimentos notam-se concentrações elevadas (4,88 a 6,36%). Considerando que em bacias hidrográficas temos outras fontes com baixa concentração de P e C, como as estradas que teria efeito diluidor nos valores encontrados, considera-se que a exportação de C e P via sedimento erodido é extremamente alto. Em um estudo realizado por PELEGRINI (2005), na bacia hidrográfica de Agudo, os menores valores de P total nos sedimentos foram registrados nos segmentos com maior cobertura florestal e nos com maior

percentagem de estradas, com valores entre 1050 a 1170 mg kg⁻¹. GOERL et al. (2012), também comenta que deve-se atentar para a dispersão de fluxos canalizados nas estradas em direção aos rios. MINELLA et al. (2007), estudando as principais fontes de sedimentos em bacias rurais, através de traçadores naturais, verificaram que os sedimentos transportados em suspensão tem como origem a erosão provenientes de áreas agrícolas (68,3 e 55,5%), erosão nas estradas (28,1 e 37,6%) e erosão na rede fluvial (3,6 e 6,9%). Já DEPINÉ et al. (2011), relata em seu trabalho, que a maior contribuição de sedimentos é proveniente do locais monitorado imediatamente a jusante da estrada, podendo esta ser uma das principais fontes de sedimento da bacia, já que grande parte da estrada está localizada ao lado do rio. Isso indica que a degradação pela erosão além do dano quantitativo da perda de solo também é qualitativo, pois retira material rico em C, tal como visto com o P anteriormente. O nitrogênio (N), assim como o C, a média não apresentou variação significativa.

Tabela 5: Faixa de variação do D25, D50, D75, P total, C e N das três bacias hidrográficas monitoradas.

Rio Conceição						
	D25	D50	D75	P total	C	N
Mínimo	3,00	9,23	19,00	985,37	2,41	0,28
Máximo	10,00	20,89	34,00	1629,73	4,88	1,76
Média	4,41	12,49	24,76	1359,14	3,37	0,52
Mediana	4,00	11,77	25,00	1338,31	3,30	0,43
Rio Guaporé						
	D25	D50	D75	P total	C	N
Mínimo	3,20	9,75	20,00	631,61	2,76	0,42
Máximo	6,50	15,59	28,00	1250,92	5,83	1,08
Média	5,07	13,13	24,06	1012,87	3,59	0,73
Mediana	5,30	13,34	25,00	1058,23	3,35	0,75
Arroio Lajeado Ferreira						
	D25	D50	D75	P total	C	N
Mínimo	2,80	7,01	15,00	510,74	1,84	0,18
Máximo	9,00	24,96	45,00	1052,30	6,36	1,46
Média	4,63	12,36	23,93	859,21	3,30	0,55
Mediana	4,30	11,51	23,00	886,98	3,35	0,51

Unidades: D25, D50 e D75 em µm; P total em mg kg⁻¹; C e N em %.

Foi aplicado o teste *T*, com o objetivo de testar a igualdade entre médias dos tamanhos de partículas (D50 e areia fina) e químicas (P total e C total).

O D50 não demonstrou diferença entre as bacias, pois o valor de p é maior que 0,05: Rio Conceição x Rio Guaporé ($p = 0,31$); Rio Conceição x Arroio Lajeado Ferreira ($p = 0,77$); e Rio Guaporé x Arroio Lajeado Ferreira ($p = 0,37$) porém, nas avaliações que envolveram a bacia do Arroio Lajeado Ferreira ocorreu uma variância mais elevada, correspondendo a 8,50 e 12,11, respectivamente. Já na análise dos dados correspondentes a areia fina, foi encontrado uma diferença entre as bacias do Rio Conceição x Rio Guaporé ($p = 0,005$).

Na aplicação do teste T sobre as variáveis químicas, o p total apresentou diferença e variância entre todas as bacias (Rio Conceição x Rio Guaporé ($p = 4,55 \cdot 10^{-9}$); Rio Conceição x Arroio Lajeado Ferreira ($p = 6,11 \cdot 10^{-18}$); e Rio Guaporé x Arroio Lajeado Ferreira ($p = 0,003$). Porém a menor variância ocorreu entre as bacias que apresentaram maior diferença de P total (Rio Conceição x Arroio Lajeado Ferreira). Na análise do C total não ocorreu nenhuma diferença entre as bacias.

6.2 Relações entre variáveis hidrológicas e a caracterização física e química dos sedimentos

Uma importante hipótese desse trabalho foi testar se as variáveis físicas e químicas dos sedimentos apresentam tendências com as variáveis hidrológicas durante os eventos. Para tanto, foram testadas inúmeras variáveis hidrológicas com todas as variáveis físicas e químicas determinadas nas amostras. Importante salientar que foram utilizadas regressões simples entre variáveis dependentes e independentes. Entretanto, os resultados obtidos não apresentam um padrão claro de dependência estatística. Na figura 12 e 13 são apresentadas algumas correlações que expressam o padrão encontrado para todas as outras variáveis apresentadas. Nesse caso é explorado a variabilidade inter-eventos, onde são apresentadas todas as amostras coletadas de todos os eventos monitorados em cada uma das três bacias hidrográficas. Foram escolhidas variáveis independentes que teoricamente refletem a intensidade e magnitude do processo erosivo que é a vazão máxima e conseqüentemente a perda de sedimentos.

Uma das correlações analisadas foi a vazão máxima e a concentração de sedimento em suspensão máxima do trecho amostrado com o diâmetro característico, a concentração de P total, o C total e o N total na fração menor que 63 μm (figura 12). A bacia do Arroio Lajeado Ferreira apresentou uma concentração menor dos elementos químicos analisados comparado com os outros dois rios, no entanto se deve levar em consideração que é uma bacia de área menor. Para as bacias dos Rios Conceição e Guaporé não houve diferença entre os valores de P total, C total e N total observados. No caso da concentração do fósforo uma distinta posição no eixo cartesiano com maiores concentrações de P para a bacia do Rio Conceição.

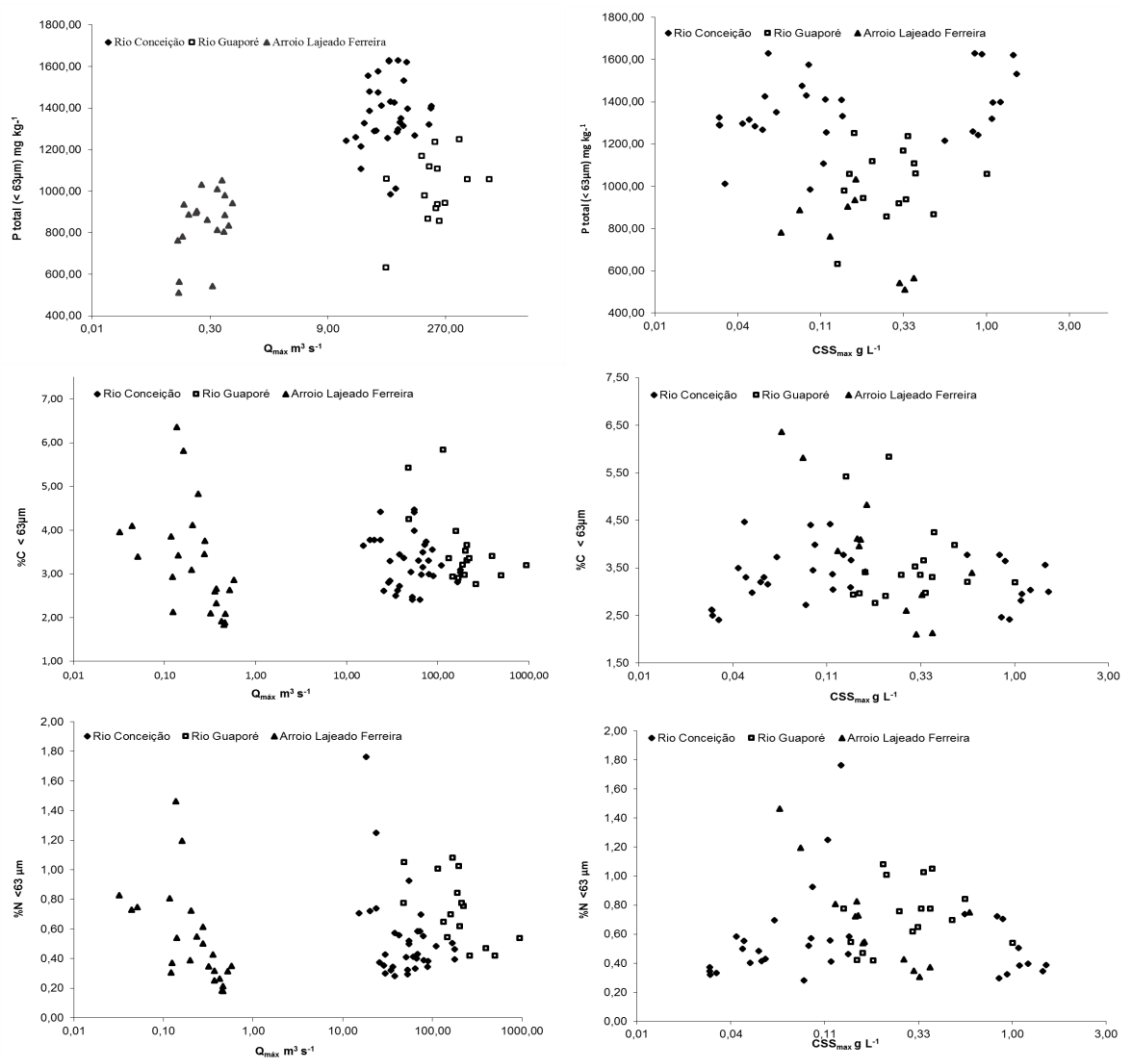


Figura 12: Correlação entre variáveis hidrológicas (Q_{max} e CSS_{max}) e química (P total, C total e N total) de três bacias hidrográficas de diferentes escalas.

Nota-se que a variabilidade do diâmetro característico para a bacia do Arroio Lajeado Ferreira é maior (figura 13), o que é natural para uma bacia com maior conectividade (MINELLA, 2007) e menor capacidade de amortização da onda de cheia. Na dinâmica dos processos hidrológicos, a conectividade hidrológica de uma paisagem pode ser definida como sendo a intermediação feita pela água na transferência de matéria, energia e/ou organismos dentro ou entre elementos do ciclo hidrológico (PRINGLE, 2003).

Fazendo uma comparação entre os Rios Conceição e Guaporé, se observa que a concentração de areia fina, quando correlacionada com a Q_{max} , é um pouco superior no Rio Conceição. Já as correlações com a CSS_{max} não apresentaram diferenças significativas, porém quando se efetua uma comparação, o Rio Conceição apresenta a menor concentração tanto do D50 quanto da areia fina. Em uma comparação entre as variáveis químicas e físicas analisadas, nota-se uma maior diferença para as variáveis químicas dos sedimentos monitorados.

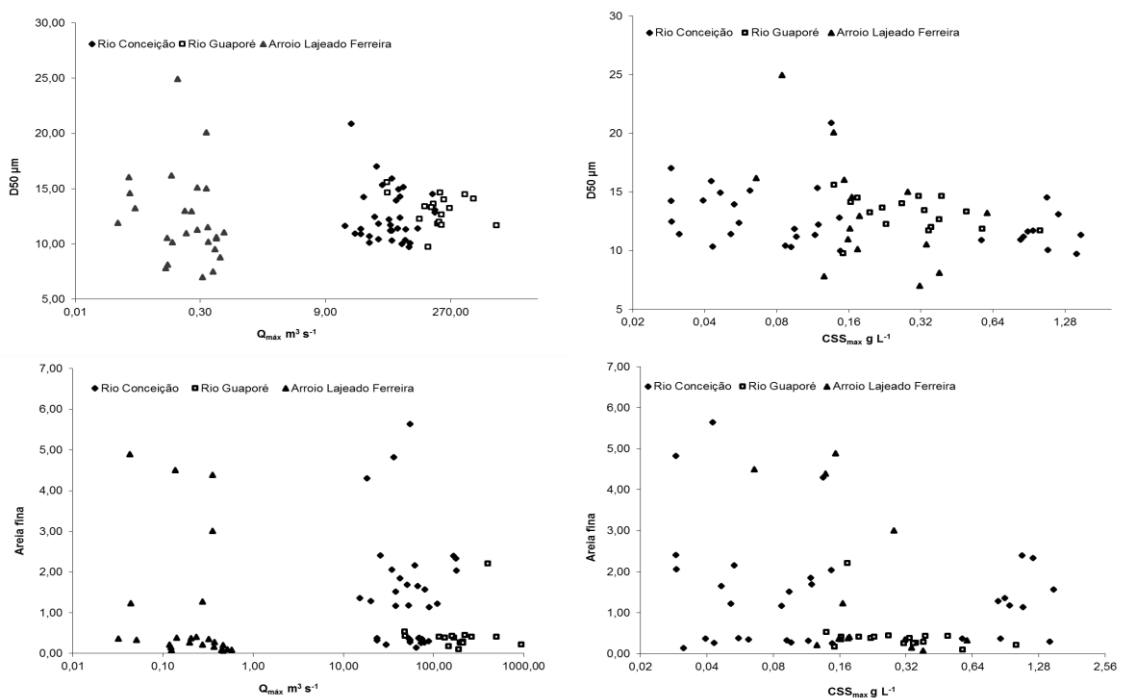


Figura 13: Correlação entre variáveis hidrológicas (Q_{max} e CSS_{max}) e físicas (D50 e areia fina) de três bacias hidrográficas de diferentes escalas.

6.3 Caracterização física e química durante eventos individuais

Outro resultado é apresentada na figura 14, nesse caso, assume-se que ocorre variação dentro do evento e essa pode estar correlacionada com o padrão hidrológico desse evento. Da mesma forma que o resultado anterior não foi identificado um padrão fortemente relacionado com o hidrograma medido. Os resultados apresentados na figura 14 demonstram variabilidade na concentração de P total, orgânico e disponível nas diferentes fases do hidrograma (subida, pico e decida). BERNARDINO et al., (2013), comenta em seu trabalho que a diferença da vazão nos pontos de monitoramento, pode ser um dos fatores que influenciaram a variação na concentração do P total. Ainda ressalta que o processo de diluição ocorre em uma maior taxa quando a vazão é maior. Segundo o autor, esta situação provavelmente ocorre devido ao aporte hídrico de outros afluentes não identificados e monitorados, que podem contribuir com uma menor ou maior concentração de fósforo.

Na bacia do Arroio Lajeado Ferreira, conforme ocorre o progresso do evento e aumento da vazão também acontece o aumento do P total e orgânico. As duas primeiras amostras apresentaram grande variação na concentração de P orgânico, e pode ser explicado pelo aumento do volume total de água escoado superficialmente entre as duas amostragens ($76,79 \text{ m}^3$ - $200,20 \text{ m}^3$) e consequentemente o aumento da CSS_{med} que variou de $0,06 \text{ g L}^{-1}$ – $0,16 \text{ g L}^{-1}$.

O P disponível não demonstrou muita variação, com exceção da última amostra, que reflete a diminuição do volume escoado e acarreta a redução do sedimento e por conseguinte do P orgânico e disponível. A maior variação da bacia do Rio Conceição ocorreu na amostra 5, onde houve um grande aumento no P orgânico, comparado com as amostragens realizadas anteriormente. Por ser uma bacia de área maior, pode ter ocorrido um atraso na chegada do sedimento até o exutório, ou seja, sedimentos com alto teor de P orgânico podem ser procedentes de fontes mais distantes. No Rio Guaporé as duas primeiras amostragens apresentaram valores baixos de P orgânico ($21,57 \text{ mg kg}^{-1}$ e $117,26 \text{ mg kg}^{-1}$), mas os valores aumentaram, conforme o aumento da vazão. Nas últimas três amostragens, houve uma estabilização das concentrações,

tanto do P total, P orgânico, como do P disponível, no entanto, se percebe uma pequena variação na vazão.

Os teores de P orgânico e inorgânico no sedimento são um indicativo das condições de preservação ou degradação da matéria orgânica. Altas taxas de P inorgânico no sedimento, em relação ao P orgânico, são indicativos de degradação (remineralização) da matéria orgânica. Ao contrário, elevadas concentrações de P orgânico podem ser atribuídas à preservação da matéria orgânica (MARTINS 2008).

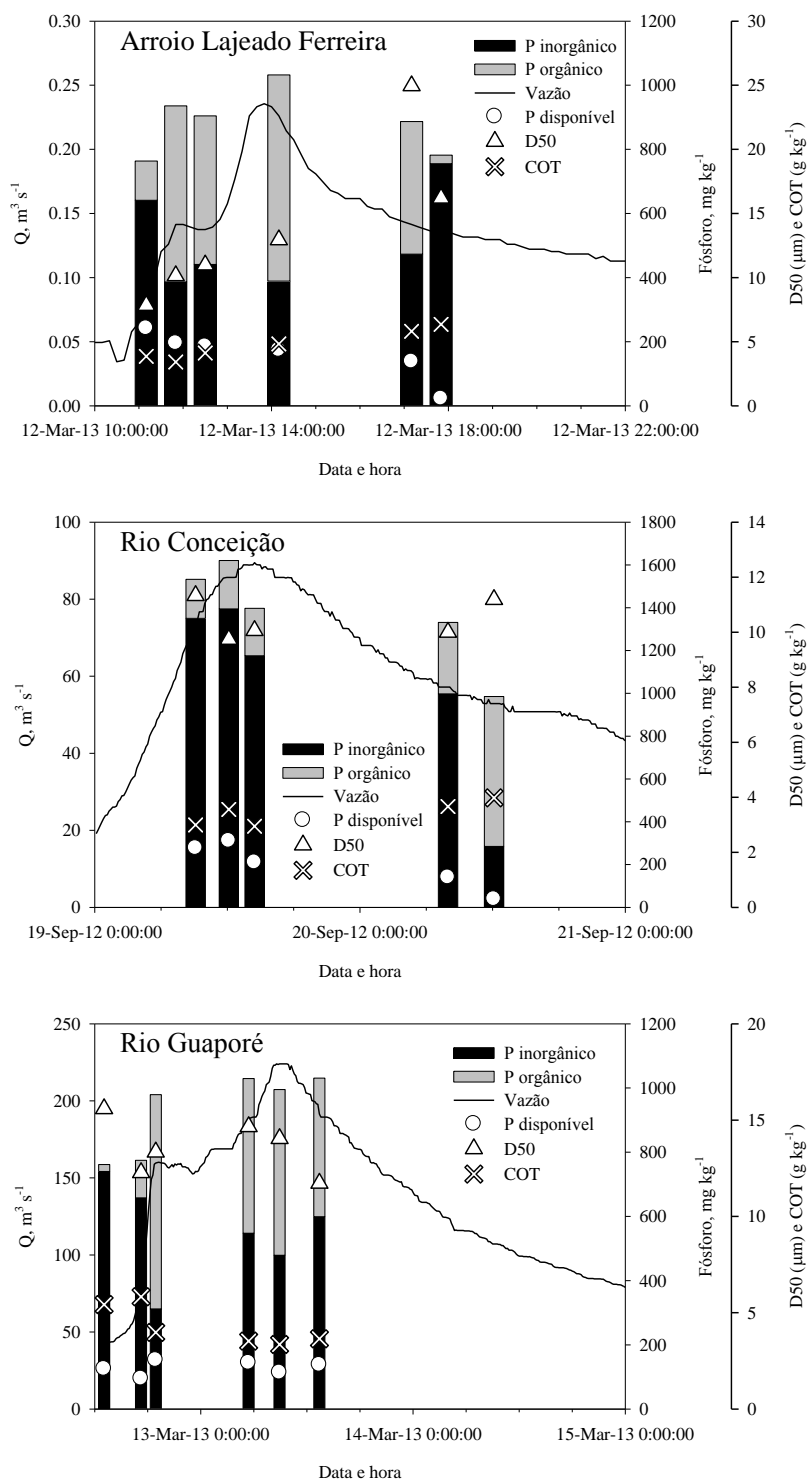


Figura 14: Variabilidade temporal entre a vazão, o P total, orgânico, inorgânico, disponível, D50 e COT em eventos pluviométricos de três bacias hidrográficas de diferentes escalas.

6.4 Cálculo das descargas líquidas, sólidas e de solutos e caracterização dos eventos

6.4.1 Bacia do Arroio Lajeado Ferreira

Na bacia do Arroio Lajeado Ferreira foram avaliados dados de 4 eventos, mas já foi mencionado anteriormente, que foram realizadas amostragens em 7 eventos, os três eventos que foram excluídos nesta avaliação, apresentaram falhas nos dados monitorados por aparelhos à campo. Desta forma, nos 4 eventos foram avaliados as perdas totais de sedimento em suspensão, P total, C total e N total. O evento pluviométrico do dia 12 de março de 2013 apresentou a maior perda de P total, C total e N total, correspondendo a 0,69 kg, 42,71 kg e 6,62 kg, respectivamente. No entanto, a maior perda de sedimento em suspensão (638,27 kg) aconteceu no evento dos dias 17 e 18 de setembro de 2012. O volume precipitado foi de 111 mm, em um período de 14 horas e 35 minutos. Conforme a tabela 6, não se tem o valor da precipitação do evento do dia 12 de março devido a falhas no aparelho de coleta, mas provavelmente tenha sido mais intenso, pois a duração é praticamente a metade (7 horas e 43 minutos) do evento anterior, justificando a maior perda dos elementos químicos avaliados. Além disso, pode ser explicado pela produção de sedimento máxima que correspondeu à 224,46 kg, ou seja, apenas 1,9 kg de sedimento a menos que a concentração máxima do evento do dia 17 e 18 de setembro. Outro fato que deve ser levado em consideração é as épocas de amostragens, pois são diferentes. O mês de setembro é o período do plantio do fumo (cultura principal na bacia) e o solo é preparado em parte, de forma convencional e em parte, por cultivo mínimo. Isso pode explicar a maior perda de sedimento no evento do dia 17 de setembro, além disso, ainda se coincidiu com um evento de alta precipitação. Isso também foi encontrado por DEPINÉ et al., (2011), no estudo desenvolvido na bacia do Ribeirão em Concórdia, Santa Catarina. O autor relata que ao longo do monitoramento, a quantidade de sedimentos transportados pelo escoamento superficial se manteve estável em grande parte do período monitorado. Variou apenas em três eventos que coincidem com a época de preparo do terreno para o plantio (07/10/2008) e época de semeadura e

germinação do milho. Ainda comenta que as práticas da agricultura convencional causam um revolvimento maior no solo, podendo justificar as variações na concentração de sedimentos encontrados na bacia. GRANDO (2011), ressalta que a caracterização dos fenômenos ligados a erosão e produção de sedimento dependem do conhecimento dos principais atributos responsáveis por intervir na dinâmica dos processos erosivos, tais como: tipo de solo, características mecânicas, físicas e hídricas do solo, cobertura vegetal, precipitação, práticas de manejo, dentre outras.

O menor evento avaliado nesta bacia, foi o que ocorreu no dia 26 de agosto do ano de 2012. Assim como apresentou o menor volume precipitado também resultou nas menores perdas dos elementos químicos avaliados (tabela 6). Já no evento do dia 9 de setembro as perdas de P total, C total e N total foram maiores e se explica pelo maior volume precipitado (72 mm).

Tabela 6: Estimativa de variáveis químicas para cada trecho de amostragem do evento, baseado nas concentrações de sedimento em suspensão.

Arroio Lajeado Ferreira						
Evento	Hora	Prec.	Prod. Sed.	P total	C total	N total
26/08/2012	10:00		78,25	0,04	6,25	1,12
26/08/2012	15:30	30	**	**	**	**
26/08/2012	19:30		43,40	0,02	3,40	0,75
Total	10:00		121,65	0,05	9,66	1,88
09/09/2012	16:52		178,83	0,16	7,10	1,19
09/09/2012	17:39	73	267,19	0,08	13,24	2,24
Total	00:51		446,02	0,24	20,34	3,43
17/09/2012	22:55		226,38	0,06	14,50	3,40
18/09/2012	12:55	111	165,53	0,14	7,38	1,25
18/09/2012	13:40		246,36	0,20	14,35	1,50
Total	14:45		638,27	0,41	36,23	6,15
12/03/2013	11:10		12,28	0,01	0,91	0,20
12/03/2013	11:49		52,97	0,07	3,46	0,53
12/03/2013	12:35		88,03	0,12	7,11	1,25
12/03/2013	14:10	**	224,46	0,36	20,80	2,42
12/03/2013	17:14		71,98	0,10	8,01	1,67
12/03/2013	17:53		19,86	0,03	2,41	0,56
Total	07:54		469,58	0,69	42,71	6,62

Unidades: Precipitação (Prec.) mm; Produção de sedimento (Prod. Sed.), P total, C total e N total em kg. ** = falta de material.

Durante o período de estudo foram amostrados sete eventos pluviométricos, onde se efetuou avaliações intra e inter-eventos, porém na tabela 6 são apresentados apenas 4 eventos, porque ocorreram falhas no turbidímetro, responsável pelo registro da produção de sedimento. Desta forma, a vazão mínima e máxima entre os 7 eventos da bacia do Arroio Lajeado Ferreira correspondeu a $0,03 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e $1,47 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ respectivamente. Na figura 15 se observa que existem variações granulométricas no D50. Isso se explica, pelo fato da bacia estar localizada em um relevo mais acentuado, o que facilita o escoamento superficial e aumento da capacidade de transporte pela velocidade da água. Segundo PELEGRINI (2005), também comenta em seu trabalho, que a forma e a área de uma bacia hidrográfica são variáveis importantes e determinantes no volume e na energia do deflúvio. Ainda complementa que o transporte de sedimento pelos cursos de água ocorre de maneira complexa e sua eficiência está relacionada com a energia cinética (velocidade) da corrente.

O silte representa a maior parte granulométrica das amostragens efetuadas. Segundo MAIER (2013), o silte por ser mais leve que as demais partículas (argila e areia) é transportado com maior facilidade pelas enxurradas. Além disso, a presença de neossolos na bacia, caracterizados por serem solos pouco desenvolvidos, tendem a possuir maior quantidade de silte e ainda, com a alta energia dos escoamentos é mais prontamente carregado para os canais de drenagem.

O P total foi outra variável analisada nos eventos amostrados na bacia do Arroio Lajeado Ferreira, como pode ser observado na figura 15. Houve grande variação na concentração de P total ($< 63 \mu\text{m}$) associada ao sedimento em suspensão, resultando em uma concentração máxima e mínima de $1.052,30 \text{ mg kg}^{-1}$ e $510,74 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente. Isso é um reflexo do sistema de uso e manejo do solo, onde a principal atividade desenvolvida dos agricultores com retorno financeiro é o cultivo do fumo, procedendo em perdas de solo com altas concentrações de P, devido as erosões causadas pelas intensas precipitações.

O valor máximo e mínimo de COT encontrado na bacia do Arroio Lajeado Ferreira foi de 6,36% e 1,84%, respectivamente. Já o NT apresentou um valor máximo de 1,46% e o valor mínimo de 0,18%, ressaltando que estes valores correspondem a fração granulométrica de sedimento $< 63 \mu\text{m}$. O valor máximo, tanto do COT quanto do NT são referentes a mesma amostra e a composição do sedimento é denominada por argila e silte, o que justifica estes valores elevados. Para PORTO FILHO (1996), o domínio de partículas finas (silte e argila) está associado a uma maior área superficial do sedimento, permitindo um acúmulo de matéria orgânica. Percentagens mais altas de partículas finas no sedimento são comumente encontradas em sedimentos com altas concentrações de carbono orgânico e que pode ser associado ao acúmulo de detritos advindos de fontes antrópicas.

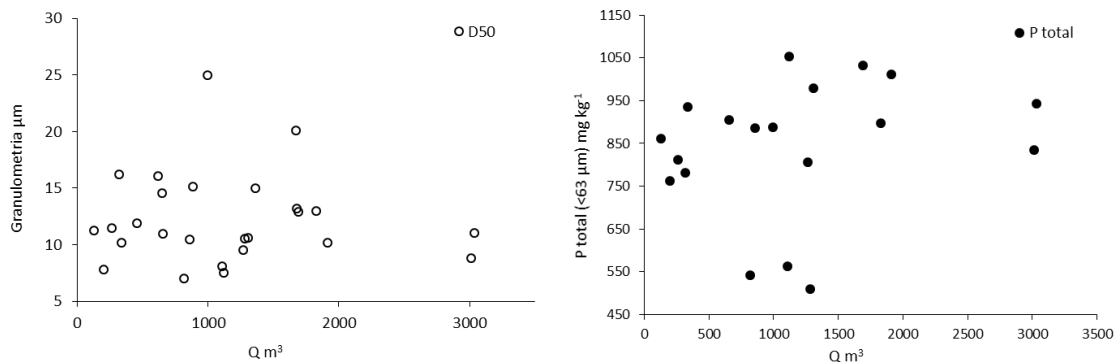


Figura 15: Correlação entre variável hidrológica (Q), físicas (D50) e química (P total) de todos os eventos amostrados na bacia hidrográfica do Arroio Lajeado Ferreira.

A avaliação realizada de cada evento coletado separadamente, proporcionou um maior entendimento do funcionamento da bacia hidrográfica. Dos 7 eventos amostrados, o de maior precipitação ocorreu no dia 17 e 18 de setembro do ano de 2012, com um volume total de 111 mm. A bacia é caracterizada por um relevo acentuado o que facilita o escoamento superficial. Foi o que ocorreu neste evento, onde a primeira amostra coletada apresentou um tamanho maior de partículas de sedimento.

O evento do dia 26 de outubro do ano de 2013, correspondeu a uma precipitação de 31 mm em um período de 7 horas e 35 minutos, no entanto a Q_{\max} e Q_{med} do evento foi de $0,46 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e $0,30 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, respectivamente. Durante o decorrer do evento, ocorreram variações na vazão, ou seja, teve aumentos e quedas e a concentração do P total e o D90 corresponderam a estas variações.

De todos os eventos monitorados, o evento do dia 12 de março do ano de 2013 foi o que apresentou maiores valores de carbono e nitrogênio. O valor máximo e mínimo de COT encontrado foi de 6,36% e 3,42%, respectivamente. Já do NT, o valor máximo foi de 1,46% e o mínimo de 0,54%. Estes valores elevados de C e N foram encontrados nas frações granulométricas de argila, ou seja, o D10 e o D16 também apresentaram os maiores valores neste evento (D10 = $3,64 \text{ } \mu\text{m}$; D16 = $5,60 \text{ } \mu\text{m}$). O FROEHNER et al., (2008), no seu estudo observou um comportamento semelhante, quando relata que os valores de nitrogênio seguiram o mesmo comportamento do COT, variando entre $25,9 \pm 0,8$ e $127,0 \pm 0,4 \text{ } \mu\text{mol/g}$. Estes resultados também são explicado por FURTADO &

PETRÚCIO (1998), quando relatam que, partículas finas compostas por argila e silte que apresentam maior teor de carbono orgânico, conseqüentemente, maior será a tendência de adsorção de compostos orgânicos hidrofóbicos e metais. DARWISH et al., (2011) encontraram, estudando a contaminação de águas subterrâneas por nitrato, no Líbano, concentrações elevadas desse nutriente em áreas agrícolas chegando a 200 mg L^{-1} , ressaltando a grande contribuição que o uso de fertilizantes pode gerar à degradação deste meio aquático.

6.4.2 Bacia do Rio Conceição

Entre os eventos avaliados da bacia do Rio Conceição, a maior perda de sedimento, bem como de P total, C total e N total foi no evento do dia 2 de outubro do ano de 2012, porém não foi o evento de maior precipitação. Desta forma, a maior perda ocorreu nas duas primeiras amostragens (tabela 7), indicando um evento de alta intensidade e provavelmente o solo já se encontrava umedecido, facilitando o escoamento superficial. Segundo MONTE-MOR et al., (2012), a umidade do solo é um fator chave da determinação da resposta do escoamento superficial para um dado evento de precipitação, sendo a variável de estado natural, que varia espacialmente e temporalmente sobre a área da bacia. SANTOS (2010), efetuou um estudo em uma bacia hidrográfica localizada na região agreste do estado de Pernambuco, onde observou que a umidade do solo apresentou elevada variabilidade no tempo, além de estar relacionada aos diferentes tipos de cobertura e propriedades do solo, sendo mais dependentes da intensidade de precipitação do que do total precipitado, bem como da umidade antecedente.

O evento do dia 19 de setembro de 2012 é muito semelhante ao mencionado anteriormente, pois também ocorreram muitas perdas destes materiais analisados, mas somente a precipitação foi superior (125 mm). No evento com menor precipitação, ocorreu uma Q total e Q_{\max} de $22.177.207,52 \text{ m}^3$ e $176,86 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, respectivamente. Já no evento do dia 19 de setembro estes valores corresponderam à $7.768.481,62 \text{ m}^3$ e $89,48 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. No entanto, apesar da precipitação ter sido maior a vazão foi inferior, podendo ser o resultado de um

solo com baixa umidade, ou seja, uma boa quantidade de água precipitada é infiltrada no solo reduzindo o escoamento superficial.

O evento do dia 22 e 23 de outubro de 2012 foi muito semelhante aos dois eventos descritos anteriormente. Conforme a tabela 7, a precipitação, a produção de sedimentos e a perda de elementos químicos, são inferiores aos eventos anteriores, porém a maior perda também ocorre nas duas primeiras amostragens.

Os eventos do dia 6 de julho de 2012 e 20 de setembro de 2013 são muito semelhantes, tanto no volume precipitado, quanto na produção de sedimento, P total, C total e N total, como pode ser observado na tabela 7. Além disso, as concentrações dos elementos avaliados em cada amostragem, aumentam e posteriormente diminuem gradativamente.

A menor perda dos materiais avaliados ocorreu no evento do dia 24 de outubro de 2013. A produção de sedimento foi de 159,59 Mg, o P total, o C total e o N total equivaleram a 0,25 Mg, 7,25 Mg e 0,94 Mg, respectivamente. No entanto, é um evento de alta precipitação (122 mm). O que pode explicar estes valores é o longo período de precipitação do evento (39 horas), ou seja, por mais que o volume precipitado foi elevado, a Q_{max} do evento foi de $36,07 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, que pode ser considerada baixa para uma bacia hidrográfica como a do Rio Conceição.

Outro evento avaliado foi o que ocorreu no dia 24 de agosto de 2013 e pode ser considerado como um evento de período longo. Conforme a tabela 7 aconteceram algumas variações nas concentrações de sedimento e elementos químicos entre uma amostragem e outra. Isso significa que ocorreram períodos com precipitações um pouco mais intensas, no entanto, o tempo e o volume precipitado (124 mm) foram proporcionais, o que evitou perdas maiores de sedimento com poluentes.

Tabela 7: Estimativa de variáveis químicas para cada amostragem do evento, baseado nas concentrações de sedimento em suspensão.

Rio Conceição					
Evento	Prec.	Prod. Sed.	P total	C total	N total
06/07/2012		39,69	0,07	3,49	0,77
06/07/2012		53,19	0,09	4,38	0,76
06/07/2012	84	102,31	0,12	8,76	1,57
07/07/2012		138,50	0,28	12,11	3,01
08/07/2012		80,12	0,06	6,06	2,76
Total		413,81	0,64	34,80	8,87
19/09/2012		1026,45	2,44	66,59	10,76
19/09/2012		1021,82	2,77	36,36	9,44
19/09/2012	125	1953,34	5,18	119,68	15,27
20/09/2012		260,07	0,52	19,85	3,07
20/09/2012		53,85	0,10	3,99	0,73
Total		4315,53	11,01	246,46	39,28
02/10/2012		2543,60	5,54	148,99	26,82
03/10/2012		3567,55	7,63	227,11	29,43
03/10/2012	121	516,57	1,12	31,58	4,68
04/10/2012		180,31	0,23	12,00	1,75
04/10/2012		87,90	0,17	6,00	0,91
Total		6895,93	14,69	425,68	63,59
22/10/2012		290,47	0,73	14,67	1,85
23/10/2012		203,12	0,52	11,04	1,29
23/10/2012		121,09	0,26	7,67	1,04
23/10/2012	47	73,64	0,16	5,81	0,68
23/10/2012		102,75	0,24	6,89	0,87
24/10/2012		67,83	0,19	6,21	0,70
Total		858,89	2,10	52,29	6,42
24/08/2013		60,78	0,14	3,84	0,61
24/08/2013		147,41	0,32	10,07	1,64
25/08/2013	124	112,05	0,28	6,81	0,93
25/08/2013		215,53	0,50	15,63	2,90
26/08/2013		186,93	0,47	13,05	2,28
Total		722,69	1,72	49,40	8,36
20/09/2013		90,95	0,22	4,72	0,48
21/09/2013	73	161,03	0,48	9,60	1,25
22/09/2013		134,22	0,25	7,59	0,95
Total		386,20	0,95	21,90	2,69
24/10/2013		14,13	0,03	0,73	0,10
24/10/2013		30,57	0,06	1,48	0,18
25/10/2013	122	57,80	0,13	3,04	0,39
25/10/2013		57,06	0,04	2,00	0,26
Total		159,56	0,25	7,25	0,94

Unidades: Precipitação (Prec.) mm; Produção de sedimento (Prod. Sed.), P total, C total e N total em Mg.

No Rio Conceição foram efetuados amostragens de nove eventos pluviométricos, sendo que a Q_{max} , considerando todos os eventos, foi de $177,76 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e a Q_{med} de $54,64 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Apesar de ser uma bacia de tamanho maior (84.000 ha), não foram encontradas grandes variações granulométricas entre as amostragens (figura 16), pois os resultados de todas as amostras realizadas em todos os eventos foram semelhantes e isso, é o reflexo da homogeneidade do solo encontrado nesta bacia. SILVEIRA & TUCCI (1998), afirmam que a heterogeneidade das pequenas bacias é muito grande, ou seja, ocorre uma dificuldade na caracterização de regiões quando diminui a área da bacia, e reduz a escala de detalhamento. Além disso, a medida que aumenta o tamanho de uma bacia, aumenta-se a chance de deposições, e com isso menor será a taxa de transferência de sedimentos. Isso também é confirmado no trabalho de SOUZA (2011), quando relata que no ano de 2009 a menor concentração de sedimento em suspensão ocorreu no período chuvoso (07/08/2009), com um valor de $185,23 \text{ mg L}^{-1}$ para uma vazão de $11,60 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, considerada a maior das vazões ocorridas no decorrer de todo o período de monitoramento no Rio Capibaribe. No mesmo período chuvoso, também ocorreu a maior concentração (06/07/2010), com um valor de $594,95 \text{ mg L}^{-1}$ para uma vazão de $2,89 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Este mesmo autor explica esse comportamento, da baixa concentração de sedimento em suspensão no período da alta vazão, como sendo um efeito que as águas das chuvas exercem na diluição da concentração do sedimento em suspensão.

A produção de P total inter-eventos também foi avaliada. Dois eventos tiveram problemas com os dados do *data logger*, mas dos outros sete eventos monitorados na bacia do Rio Conceição, aconteceu uma perda de 13.752,61 Mg de sedimentos juntamente com 31,36 Mg de P total. A figura 16 mostra uma variação de P total nas partículas de sedimento menores que $63 \mu\text{m}$, isso ocorre pelo fato das coletas terem ocorrido em épocas diferentes, com cobertura do solo variável, precipitações diferenciadas, entre outros fatores. A escala espacial tem importantes implicações no entendimento de como os efeitos podem ser detectados e qual a sensibilidade de alterações. Por exemplo, quanto maior for a bacia, mais difícil se torna o monitoramento dos impactos a montante, que podem conectar-se, e a jusante uma vez que podem ser diluídos.

Outras variáveis químicas analisadas foi o COT e o NT. A avaliação destas variáveis foi realizada em duas frações granulométricas (maior e menor 63 μm), no entanto, o que chamou a atenção é que a diferença entre o carbono e o nitrogênio nestas duas frações, foi muito pequena. Desta forma, a média do COT e do NT na granulometria maior que 63 μm , foi de 3,57% e 0,97%, respectivamente. Já no tamanho das partículas menores que 63 μm , a média do COT correspondeu a 3,65% e o NT foi de 1,02%.

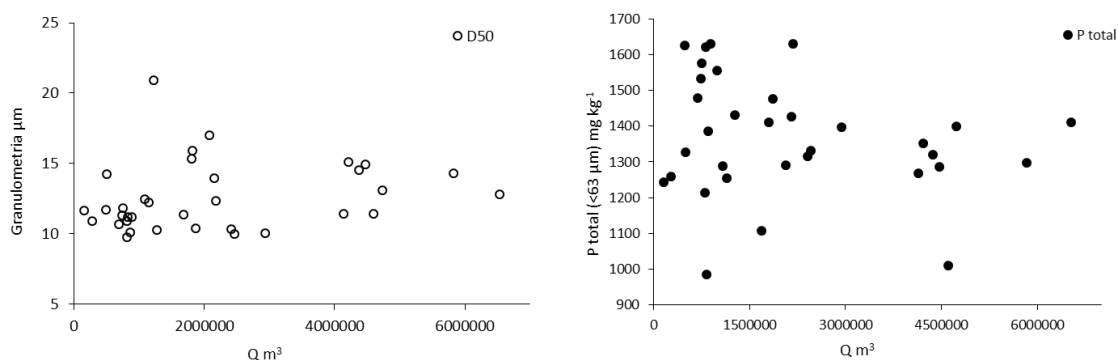


Figura 16: Correlação entre variável hidrológica (Q), físicas (D50) e química (P total) de todos os eventos amostrados na bacia hidrográfica do Rio Conceição.

Outra avaliação realizada na bacia foi a de intra-evento. O evento coletado no dia 2 de outubro de 2012 durante um período de 43 horas, demonstrou uma precipitação total de 121 mm. O evento apresentou uma vazão intensa no início, o que resultou em uma maior perda de sedimento neste período, no entanto com o passar do tempo, tanto a concentração quanto o tamanho das partículas também foram diminuindo. No entanto, o volume total da vazão correspondeu a 22.177.207,52 m^3 e a produção de sedimentos e a produção total de P corresponderam a 6.895,93 Mg e 14,69 Mg, respectivamente. A perda de P total foi coerente com o aumento da vazão.

O evento amostrado no dia 6 e 7 do mês de julho de 2012, apresentou uma precipitação de 84 mm. A Q_{max} (23,54 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) é baixa, mas apresentou uma granulometria superior ao evento coletado no dia 19 e 20 de setembro do mesmo ano, onde a precipitação e a Q_{max} atingiram um valor de 125 mm e 89,48 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$, respectivamente. Isto pode ser explicado pela época em que ocorreram os

eventos, pois no mês de julho o solo se encontra com baixa vegetação, facilitando a perda de sedimentos.

Como já mencionado anteriormente, não ocorreu muita variação nas concentrações de COT e NT intra e inter-evento. É importante salientar que os resultados apresentados posteriormente são de frações menores que $63 \mu\text{m}$. Desta forma, a máxima concentração de COT (4,88%) ocorreu no evento do dia 9 de março do ano de 2013 e do NT (1,76%) aconteceu no dia 8 de julho de 2012 com uma precipitação de 84 mm. Já o valor mínimo, tanto do COT (2,41%) quanto do NT (0,28%) ocorreu no mesmo evento (20/09/2013), porém em amostragens diferentes. Uma explicação de DUARTE (2006), pelo valor baixo do N é que a redução da concentração de nitrato em águas de drenagem se deve ao fato do nitrogênio disponível no solo ser decorrente da mineralização e da decomposição da matéria orgânica, em que os micro-organismos transformam o N orgânico nas formas amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-) disponibilizando-os às plantas.

6.4.3 Bacia do Rio Guaporé

Na bacia do Rio Guaporé, o evento que apresentou a maior perda de sedimento, P total, C total e N total, ocorreu no dia 18 e 19 de setembro do ano de 2012, mais especificamente a amostragem realizada no dia 19, como pode ser observado na tabela 8.

O evento do dia 6 de julho de 2012, apresentou uma variação na concentração de sedimentos e elementos químicos conforme a vazão, ou seja, ocorre um aumento e uma diminuição gradativa, assim como à da vazão. As perdas dos elementos avaliados não diferem muito do evento que ocorreu no dia 20 e 21 de setembro de 2013. Por mais que ocorreram em anos diferentes, as épocas não variaram muito, o que pode justificar esta semelhança.

A menor produção de sedimentos (3216,25 Mg), de P total (6,07 Mg), de C total (231,20 Mg) e de N total (43,80 Mg), ocorreu no evento do dia 12 e 13 de março do ano de 2013. Conforme a tabela 8, as duas primeiras amostragens apresentaram valores muito baixos comparado com os que procedem o evento.

Tabela 8: Estimativa de variáveis químicas para cada amostragem do evento, baseado nas concentrações de sedimento em suspensão.

Rio Guaporé					
Evento		Prod. Sed.	P total	C total	N total
06/07/2012	13:11	354,53	0,83	29,41	4,78
06/07/2012	17:02	1561,42	0,00	111,37	26,26
07/07/2012	01:30	1632,65	3,45	120,53	24,63
07/07/2012	08:29	1055,67	2,42	71,11	22,19
07/07/2012	13:11	479,17	1,10	32,57	10,84
Total	24:00	5083,44	7,80	364,99	88,70
18/09/2012	01:55	109,05	0,23	9,34	2,50
19/09/2012	14:20	20421,54	42,56	1908,04	264,44
Total	12:25	20530,60	42,78	1917,38	266,94
12/03/2013	13:07	36,27	0,05	3,51	0,60
12/03/2013	17:10	62,84	0,05	6,93	1,33
12/03/2013	18:53	657,45	1,21	54,98	9,63
13/03/2013	05:25	953,84	1,86	68,75	12,29
13/03/2013	08:50	587,89	1,09	36,76	7,79
13/03/2013	13:23	917,96	1,81	60,26	12,15
Total	24:16	3216,25	6,07	231,20	43,80
20/09/2013	22:51	293,62	0,60	17,78	3,20
21/09/2013	08:38	619,66	1,23	40,07	5,61
21/09/2013	10:58	1399,59	3,27	103,07	13,28
21/09/2013	23:19	3050,45	7,69	191,34	26,87
Total	24:13	5363,31	12,80	352,26	48,96

Unidades: Produção de sedimento (Prod. Sed.), P total, C total e N total em Mg.

Na bacia hidrográfica do Rio Guaporé foram amostrados quatro eventos. É a bacia de maior área de coleta (198.000 ha), maior variação de relevo e maior variação de solo. Analisando todos os eventos e amostragens realizadas, se obteve uma Q_{max} e Q_{med} de $945,20 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e $198,37 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, respectivamente e uma Q total de $95.328.988,71 \text{ m}^3$. A análise granulométrica não apresentou muita variação (figura 17), sendo que o valor mínimo do D50 correspondeu a $9,75 \mu\text{m}$ e o máximo foi de $15,59 \mu\text{m}$.

O P total analisado nos inter-eventos foi mais variável. Entre os quatro eventos avaliados, a Q total correspondeu a $95.328.988,71 \text{ m}^3$ e a produção de sedimento foi de $34.193,60 \text{ Mg}$, no entanto, juntamente com este sedimento foi

perdido 69,44 Mg de P total. Conforme a figura 17 se percebe que a maior parte de P total está concentrado na Q inferior a 10.000.000 m³.

No Rio Guaporé as análises de COT e NT apresentaram resultados inesperados, ou seja, tanto para o COT (6,15%), quanto para o NT (1,25%) os valores máximos e mínimos foram superiores na granulometria maior que 63 µm. Havia a expectativa de resultados maiores nestes dois parâmetros, devido a se referir a uma bacia de área maior com diferentes tipos de solo e manejo, porém não se esperava valores tão elevados. O alto valor pode ser explicado pela Q total e Q_{max} do evento, que correspondeu a 38.159.302,84 m³ e 945,20 m³ s⁻¹, respectivamente.

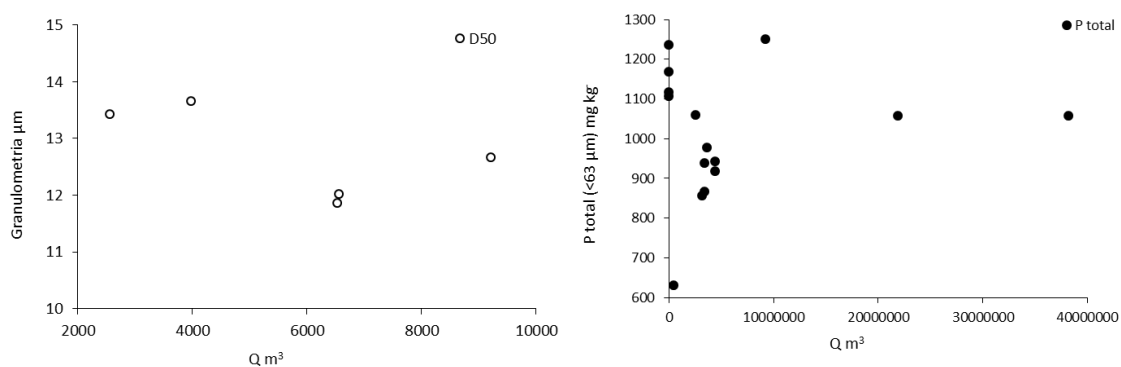


Figura 17: Correlação entre variável hidrológica (Q), físicas (D50) e química (P total) de todos os eventos amostrados na bacia hidrográfica do Rio Guaporé.

O evento amostrado no dia 12 e 13 de março do ano de 2013 teve uma duração de 24 horas e 30 minutos, com uma Q total de 15.473.200,46 m³ e uma Q_{max} de 223,97 m³ s⁻¹. Já a produção de sedimento e P total corresponderam a 3.216,24 Mg e 6,07 Mg respectivamente. São quantidades bem exprecivas e com alto poder de contaminação, que também é afirmado por LIMA (2001), quando relata que os sedimentos são considerados de grande importância na avaliação do nível de contaminação dos ecossistemas aquáticos, devido não só a sua capacidade em acumular metais, mas também, por serem reconhecidos como transportadores e possíveis fontes de contaminação, já que podem liberar espécies contaminantes.

O evento pluviométrico do dia 6 e 7 do mês de julho do ano de 2012, foi o que apresentou a menor vazão (28.806,89 m³). A Q_{max} apresenta um padrão

lógico, que seria a subida, o pico e a descida da Q durante o evento, porém isso não ocorre com a concentração e tamanho das partículas de sedimento. Isto pode ser explicado pelo tamanho da área da bacia hidrográfica e pela imensa quantidade de canais fluviais que se ligam ao canal principal, podendo adiantar ou atrasar a chegada do sedimento ao exutório. Isso é comentado por MEGAHAN (1999), quando afirma que o transporte de um evento de alto fluxo é em sua maioria de sedimentos que se encontram prontamente disponíveis para o transporte conforme o aumento de fluxo. Ocorre defasagem durante o evento quando os sedimentos não estão imediatamente disponíveis, ou quando aqueles gerados em pontos mais distantes levam algum tempo para chegar às estações de medição. Tanto a disponibilidade local e abastecimento de sedimento a montante das estações de medição são influenciados pela história antecedente de fluxo ao longo do rio. Além disso, MAIER (2013), comenta que nem todo material mobilizado do seu local de origem é transportado para fora da bacia. Esse material pode ficar depositado dentro dos limites da bacia, tanto na calha quanto na planície aluvial e depressões.

6.5 Histerese entre a vazão e a concentração de sedimento em suspensão

Para a elaboração dos gráficos da histerese, foram selecionados quatro eventos do Rio Guaporé, onde três apresentaram sentido horário (H) e um no formato de oito (8). Para a bacia do Rio Conceição, os seis eventos selecionados apresentaram a curva de histerese no sentido H. Para a bacia do Arroio Lajeado Ferreira, dos quatro eventos analisados, dois apresentaram formato anti-horário (AH) e dois H, como pode ser observado na tabela 9.

A bacia do Rio Guaporé é muito similar à do Rio Conceição, apesar de ser uma bacia de área de coleta maior, também é de relevo mais acentuado e de diferentes tipos de solo, o que pode explicar o resultado da histerese. A maioria dos eventos apresentaram um padrão semelhante no laço da histerese, porém os valores calculados do índice de histerese (IH) apresentaram uma variação considerável nas três bacias. No Rio Guaporé o IH variou entre 1,59 e -0,59 com uma média de 0,83, para o Rio Conceição o IH ficou entre 24,17 e 0,52 com média de 9,33 e para o Arroio Lajeado Ferreira o IH variou entre 12,40

e -27,33 com média de -3,68. Além das informações anteriores estarem descritos na tabela 9, também é possível observar que quando o IH for negativo, o laço da histerese é AH ou em formato de 8. Isso ocorre quando a CSS RC for menor que a CSS RD, indicando que a quantidade de sedimento no canal fluvial após o pico da Q é maior. Quando o IH possuir valores positivos ocorre o oposto.

Tabela 9: Variáveis hidrossedimentológicas, índice de histerese e laço da histerese para a bacia do Rio Guaporé, Rio Conceição e Arroio Lajeado Ferreira.

Bacias	Evento	Data	P ⁽¹⁾	Q _{máx} ⁽²⁾	Q _{mín} ⁽³⁾	Q _{cen} ⁽⁴⁾	CSS RC ⁽⁵⁾	CSS RD ⁽⁶⁾	IH ⁽⁷⁾	Histerese
Rio Guaporé	1	06/07/2012		211,37	5,00	108,19	0,22	0,12	0,78	H
	2	18/09/2012		945,20	26,70	485,95	0,60	0,23	1,59	H
	3	12/03/2013		223,97	30,82	127,40	0,09	0,22	-0,59	8
	4	20/09/2013		500,88	25,22	263,05	0,13	0,05	1,56	H
Rio Conceição	1	06/07/2012	84,70	23,54	2,54	13,04	0,53	0,08	5,58	H
	2	19/09/2012	125,40	89,48	7,86	48,67	1,24	0,06	19,65	H
	3	02/10/2012	121,50	177,76	9,76	93,76	1,01	0,04	24,17	H
	4	22/10/2012	47,90	61,49	16,83	39,16	0,25	0,04	5,37	H
	5	24/08/2013	124,20	74,5	10,54	42,52	0,05	0,03	0,67	H
	6	20/09/2013	73,40	66,24	12,72	39,48	0,05	0,03	0,52	H
Arroio Lajeado Ferreira	1	26/08/2012	30,40	0,04	0,01	0,03	0,10	0,16	-0,34	AH
	2	09/09/2012	72,71	0,36	,12	0,24	0,02	0,68	-27,33	AH
	3	17/09/2012	111,14	1,51	0,02	0,77	2,63	0,20	12,40	H
	4	12/03/2013		0,24	0,05	0,14	0,11	0,07	0,73	H

(1) P = precipitação total; (2) Q_{máx} = vazão máxima; (3) Q_{mín} = vazão mínima; (4) Q_{cen} = vazão central; (5) C_{ss} RC = ramo crescente; (6) C_{ss} RD = ramo decrescente; (7) IH = índice de histerese; AH = anti-horário, H = horário e oito = 8.

A histerese para a bacia hidrográfica do Arroio Lajeado Ferreira foi bem dividida, ou seja, dois eventos AH (figura 18) e dois H (figura 19). Segundo MIINELLA et al., (2011), em um trabalho realizado na mesma bacia, dos dezenove eventos analisados, apenas um apresentou o laço no sentido AH e um em formato de 8, sendo que, os principais fatores controladores do sentido do laço de histerese caracterizados pelos autores foram as características fisiográficas da bacia, a pequena área de drenagem e as características das vertentes, que são declivosas e curtas, a proximidade das fontes de sedimentos com a rede de drenagem e o tipo de uso e manejo do solo.

Na bacia do Arroio Lajeado Ferreira ocorreram dois eventos onde o sentido da curva de histerese foi anti-horário. Segundo MINELLA et al., (2011) a curva de histerese em sentido anti-horária deve-se a chegada de sedimentos de fontes mais distantes, como aqueles sedimentos que são mobilizados na bacia vertente e transferidos pelo escoamento superficial para o canal fluvial. Isso também é confirmado por SEEGER et al., (2004), destacando que tal comportamento deve-se à contribuição de sedimentos oriundos de áreas fontes mais distantes dos cursos de água, distribuídas na bacia. VESTENA (2009), complementa que estas áreas geralmente apresentam maior disponibilidade de sedimentos e ocorrem quando o solo apresenta alta umidade, em condições próximas da saturação. Desta forma, o evento 1 e 2 aconteceram em períodos muito curtos, o que pode ter proporcionado uma maior umidade do solo e com a precipitação, pode ter sido devido a novas fontes de contribuição de sedimentos para a bacia, resultando da maior umidade do solo que gera novas fontes de escoamento superficial.

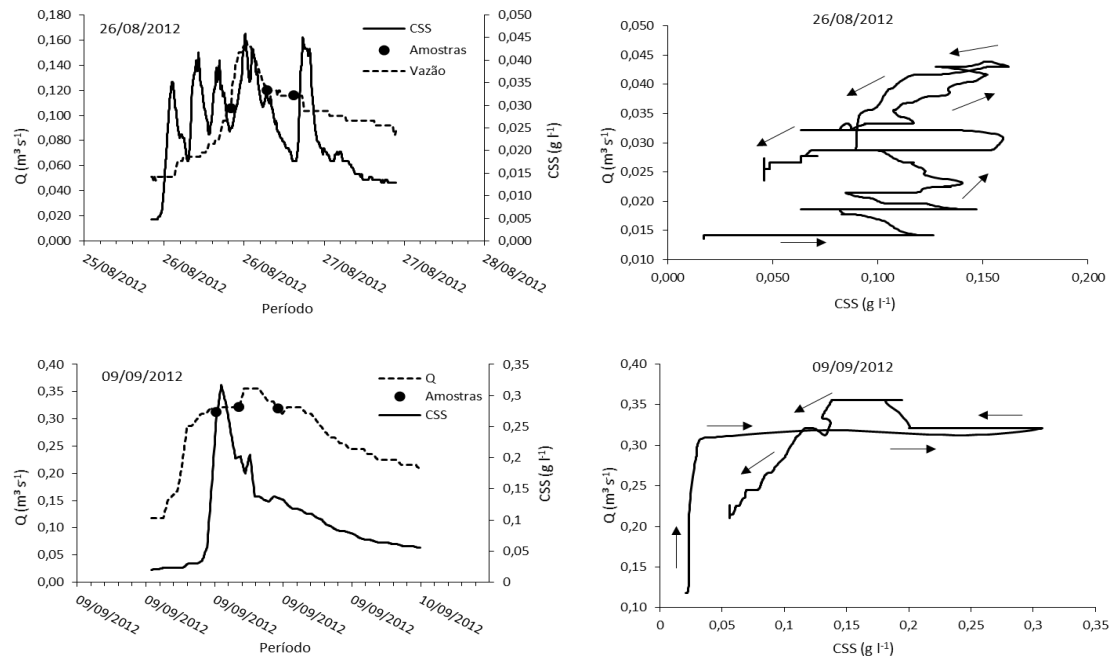


Figura 18: Eventos com os hidrogramas, sedimentogramas e a curva de histerese no sentido anti-horário da bacia do Arroio Lajeado Ferreira.

O evento 3 da bacia do Arroio Lajeado Ferreira foi onde aconteceu a maior perda de CSS RC. Isso pode ser explicado, devido ao evento ter acontecido na época em que o solo estava sendo mobilizado para o plantio da cultura do fumo. Além do solo estar descoberto, é uma bacia hidrográfica com relevo acentuado e foi um evento de 111 mm com alta intensidade, onde ocorreu muita perda de sedimento, como pode ser conferido na tabela 9. Isso também foi observado por VESTENA (2009), quando comenta que na bacia, o relevo dissecado, constituído por vertentes íngremes (elevada declividade), favorece a concentração do fluxo e uma resposta hidrológica rápida. Em um trabalho realizado por DEPINÉ et al., (2011), também foram encontrados resultados semelhantes. O autor comenta que a concentração de sedimento no início da onda de cheia é elevada, apresentando um pico anterior em relação ao pico de vazão, e na sequência, um decréscimo na concentração ainda na fase de ascensão do hidrograma. Ainda relata que esta concentração no início das ondas de cheia provavelmente está relacionada a intensidade da chuva, carga de sedimento disponível para transporte e a contribuições externas.

O evento 4 ocorreu no dia 12/03/2013, onde o solo se encontrava com cobertura de resíduos de fumo e vegetação espontânea. Além disso, é uma

época que o solo está com baixa umidade devido à alta evapotranspiração, contribuindo para a redução do deslocamento do sedimento até canais fluviais.

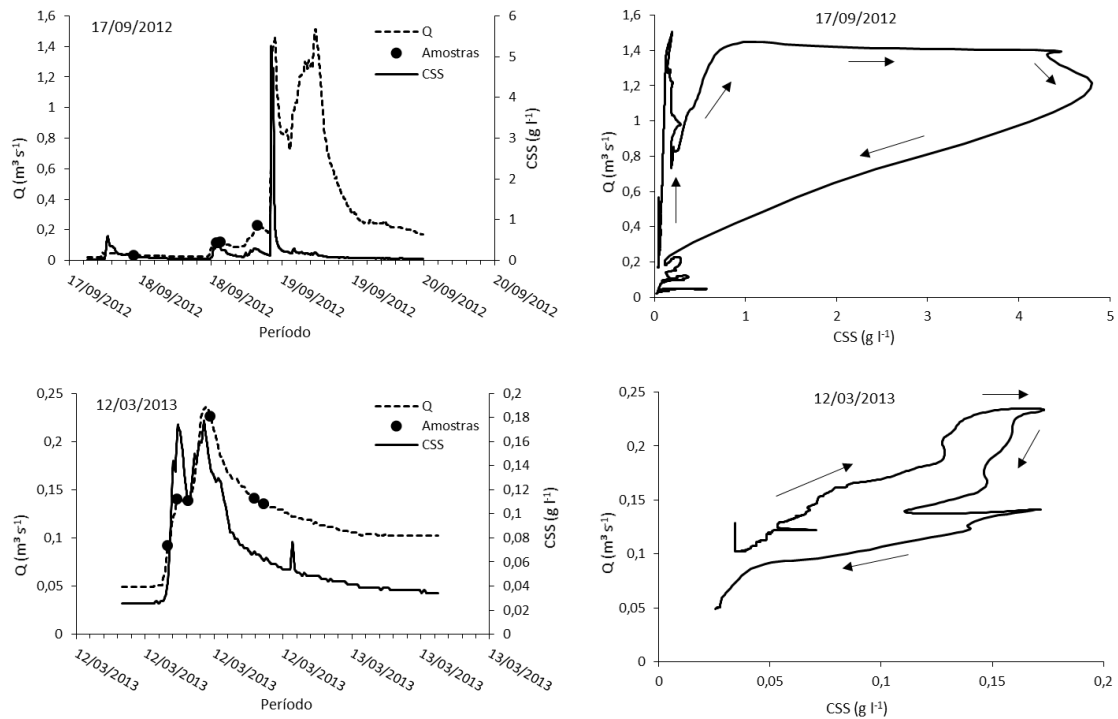


Figura 19: Eventos com os hidrogramas, sedimentogramas e a curva de histerese no sentido horário da bacia do Arroio Lajeado Ferreira.

Na bacia do Rio Conceição, os eventos apresentaram formato da histerese no sentido H (figura 20 e 21). Segundo LENZI et al., (2002), uma característica deste tipo de curva é ocorrer uma rápida resposta de contribuição da fonte de sedimento no curso de água. Isto se explica devido a presença de canais de erosão nas lavouras e canais que drenam água das estradas, consequentemente aumentando a velocidade do escoamento superficial e o potencial do transporte de sedimento. Além disso, o tráfego de máquinas excessivas e em condições de umidade de solo desfavoráveis causam compactações e dificultam a infiltração de água no solo, aumentando o escoamento superficial e a drenagem de sedimento para os canais fluviais.

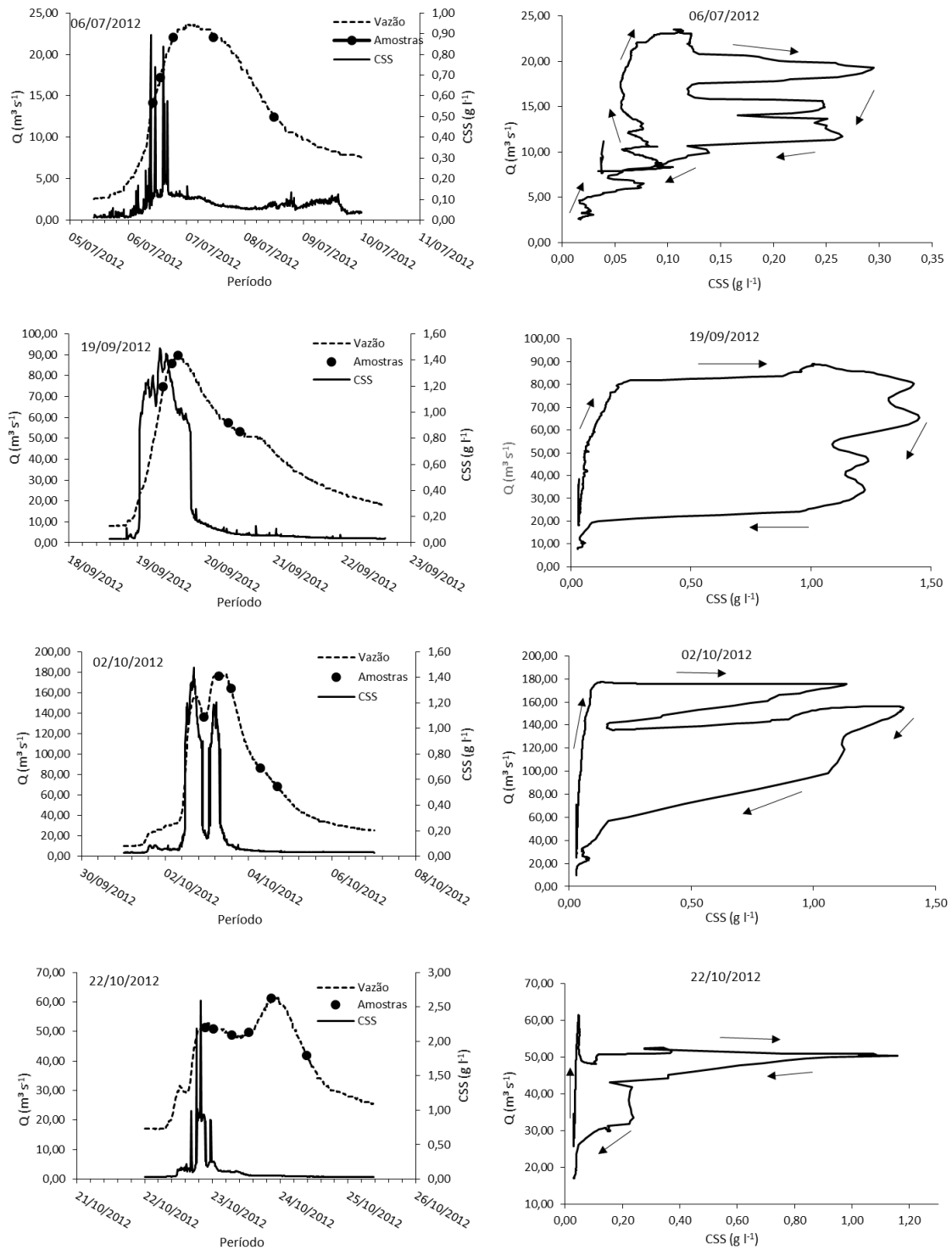


Figura 20: Eventos do ano de 2012 com os hidrogramas, sedimentogramas e a curva de histerese no sentido horário da bacia do Rio Conceição.

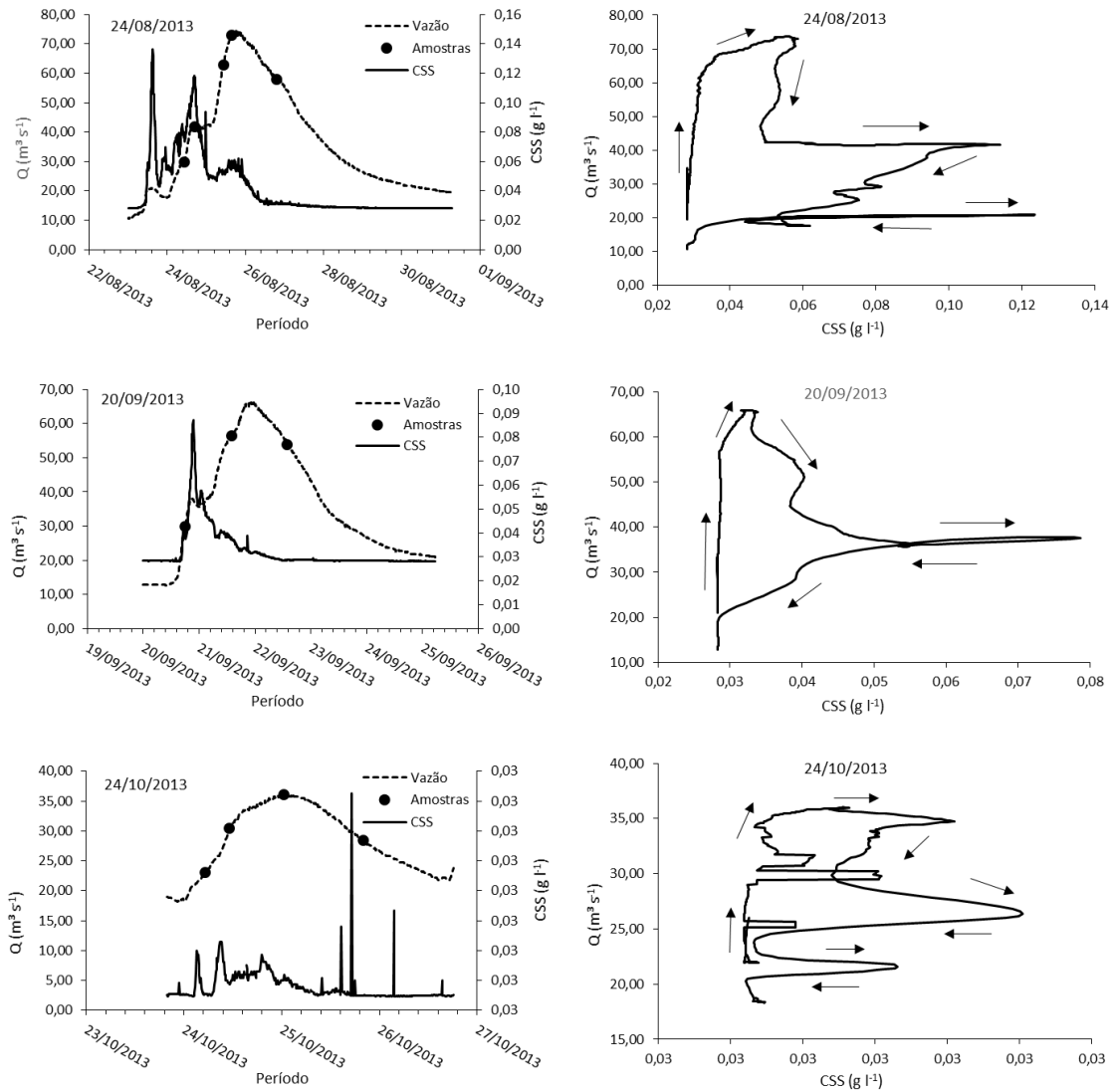


Figura 21: Eventos do ano de 2013 com os hidrogramas, sedimentogramas e a curva de histerese no sentido horário da bacia do Rio Conceição.

No evento 1 e 3 da bacia hidrográfica do Rio Guaporé, pode ser observado uma única semelhança que foi a Q_{max} , correspondendo a intensidade da precipitação. O evento 1 ocorreu no dia 06 de julho do ano de 2012, como se sabe, é uma época em que se obtêm solos descobertos, o que pode proporcionar perdas de sedimento com um índice de precipitação muito baixo. Este evento não apresentou uma diferença muito grande entre a CSS RC e CSS RD, mas proporcionou um IH elevado (0,78).

O evento 3 do Rio Guaporé, que ocorreu no dia 12/03/2013, as condições de solo foram praticamente opostas ao evento 1, pois se obtinha uma maior cobertura de solo, o que resultou em um maior tempo para o deslocamento do

sedimento até os canais fluviais. Conforme LOPES et al., (2006) num primeiro momento, há o aumento da CSS antes do pico da vazão e posteriormente aparece outro pico de CSS, indicando que o sedimento em suspensão está chegando de áreas afastadas. VESTENA (2009), comentou que em seu trabalho, na maioria dos seus 25 eventos avaliados, verificou a ocorrência do pico da CSS logo no início da ascensão da vazão. Posteriormente observou um decréscimo na CSS, enquanto a Q continuou aumentando. Em seguida, verificou mais um pico da CSS e o pico da Q, que ocorreram praticamente ao mesmo tempo, com leve tendência do pico da Q anteceder o pico da CSS. Ainda conforme o autor, na recessão do hidrograma, com a redução do volume escoado, tem-se a redução da quantidade de sedimento em suspensão, ocorrendo na maioria dos eventos oscilações da CSS representadas por picos de menores proporções. Desta forma foi o único evento que apresentou o sentido da curva de histerese em formato de 8 (figura 22).

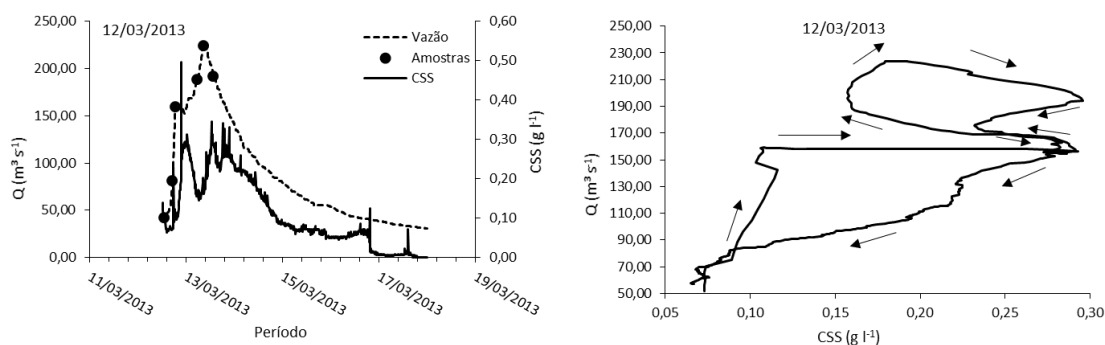


Figura 22: Evento com o hidrograma, sedimentograma e a curva de histerese no formato de oito da bacia do Rio Guaporé.

Os eventos 2 e 4 da bacia do Rio Guaporé ocorreram na mesma época do ano e podem ser caracterizados por precipitações de alta intensidade. Isso pode ser afirmado devido ao valor elevado da Q_{max} (evento 2 = $945,20 m^3 s^{-1}$; evento 4 = $500,88 m^3 s^{-1}$). Segundo SEEGER et al., & SAMMORI et al., (2004), a razão para a ocorrência de picos de CSS antes do pico de Q, pode estar relacionado, com áreas fontes próximo do curso de água que condicionam uma resposta rápida na taxa de sedimento em suspensão e à intensidade da chuva. Desta forma, se obteve um escoamento superficial e conseqüentemente um aumento na produção de sedimento, porém com um diferencial entre os dois

eventos. O evento 2 apresentou uma CSS RC muito superior ao evento 4 (evento 2 = 0,60; evento 4 = 0,13) e no ramo decrescente ocorreu a diminuição dos dois eventos (evento 2 = 0,23; evento 4 = 0,05), no entanto, apresentaram um IH muito semelhante (evento 2 = 1,59; evento 4 = 1,56). Acredita-se que isso pode ter acontecido devido a diminuição da transferência de sedimento para os canais fluviais, comprovado com o resultado do sentido horário da curva de histerese (figura 23), resultando na diminuição dos valores da CSS RD e aumentando os valores do IH.

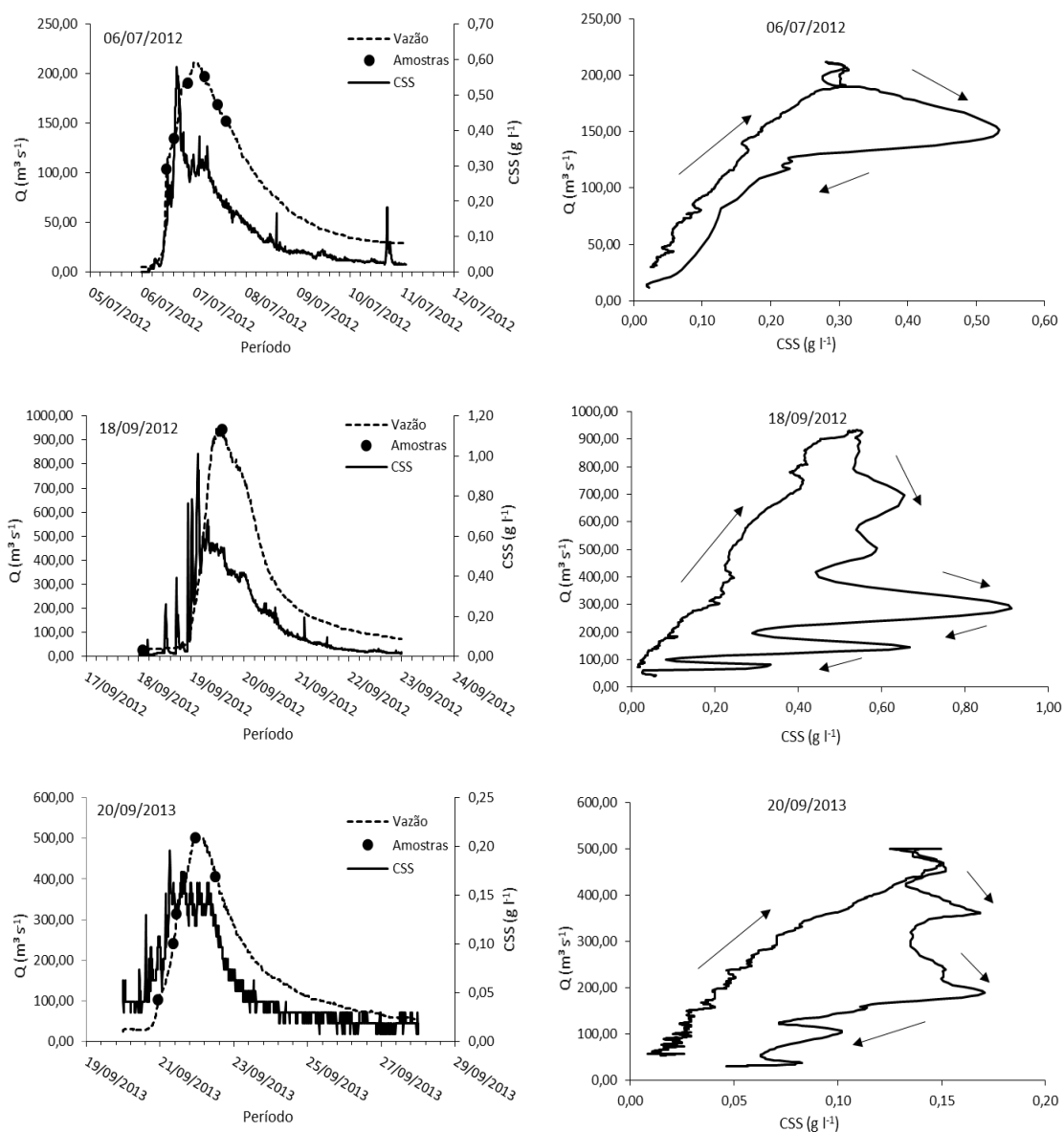


Figura 23: Eventos com os hidrogramas, sedimentogramas e a curva de histerese no sentido horário da bacia do Rio Guaporé.

Fazendo uma comparação dos mesmos eventos coletados nas três bacias hidrográficas, é possível concluir que os eventos 1, 2 e 4 do Rio Guaporé possuem uma Q_{\max} maior e um IH menor comparado aos eventos 1, 2 e 6 do Rio Conceição. E ainda, o evento 3 e 4 do Arroio Lajeado Ferreira apresentou uma Q_{\max} menor e um IH maior do que os eventos 2 e 3 do Rio Guaporé, e uma Q_{\max} menor e um IH menor comparado ao evento 2 do Rio Conceição.

7 CONCLUSÕES

As características físicas dos sedimentos transportados em suspensão são em grande parte classificadas como silte médio. Não houve em termos médios diferença significativa entre os diâmetros característicos, entretanto quanto menor a bacia maior foi a variância no valor medido inclusive nos diâmetros máximos observados.

As características químicas dos sedimentos erodidos apresentam elevada concentração de P e C associados aos sedimentos, indicando que o processo erosivo além dos impactos quantitativos de perda de solo, também tem sérios impactos qualitativos pois exporta material rico em fósforo e carbono. A comparação entre bacias indica forte impacto na bacia sob plantio direto cultivado com grãos (soja/aveia e trigo).

Considerando a variabilidade intra-evento nas diferentes bacias hidrográficas, observou-se um aumento do P orgânico simultaneamente com o aumento da vazão. A variabilidade intra-evento pode ser útil para identificar a origem e os padrões de transferência de nutrientes das fontes até o exutório, entretanto notou-se que um número maior de amostras é necessário para capturar a variabilidade existente.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABESSA, D. M. S.; SOUSA, E. C. P. M.; TOMMASI, L. R. Utilização de testes de toxicidade na avaliação da qualidade de sedimentos marinhos. **Revista de Geologia**, v.19, n. 2, p. 253-261, 2006.

ANDRADE, N. J. S. Descarga sólida em suspensão do sistema guaíba – RS e sua variabilidade temporal. Dissertação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociência. Porto Alegre - RS. 48f. 2011.

ARRIAGA, F. J.; LOWERY, B.; MAYS, M. D. A fast method for determining soil particle size distribution using a laser instrument. *Soil Sci.* 171, p. 663 – 674. 2006.

BATHURST, J. C.; GRAF, W. H; CAO, H. H. Bed load discharge equations for steep mountain rivers. In: *Sediment Transport in Gravel-Bed Rivers* (ed. by C. R. Thorne, J. C. Bathurst & R. D. Hey), p. 453 – 491. John Wiley & Sons, Chichester, West Sussex, UK. 1987.

BASANTA, M. Del V. Dinâmica do nitrogênio da cultura de cana-de-açúcar em diferentes sistemas de manejo de resíduo da colheita. Tese (Doutorado – Escola Superior de Agricultura – Luiz de Queiroz) - Universidade de São Paulo – Piracicaba - SP. 2004.

BERNARDINO, A. D.; FORTES, M.; FERREIRA, W. R. Modelagem dinâmica de bacia hidrográfica: avaliação dos componentes manganês e fósforo total no rio das Montes, MG. *Braz. J. Aquat. Sci. Technol.* v, 17. n, 1. p, 43 - 51. 2013.

BEUSELINCK, L.; GOVERS, G.; POESEN, J.; DEGRAER, G.; FROYEN, L. Grain-size analysis by laser diffractometry: comparison with the sieve-pipette method. **Catena**, v. 32. p. 193 – 208, 1998.

BILLI, P.; D'AGOSTINO, V.; LENZI, M. A; MARCHI, L. Bedload, slope and channel processes in a high altitude Alpine torrent. In: *Gravel-Bed Rivers in the*

Environment (ed. by P. C. Klingeman, R. L. Beschta, P. D. Komar & J. B. Bradley), 15 – 38. Water Resources Publication, LLC, Littleton, Colorado, USA. 1998.

BONIFORTI, R.; BACCIOLA D.; NICCOLAI I.; RUGGIERO R. Selective extraction and estimated bioavailability of As, Cd, Co, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn. In: marine sediments collected from the Central Adriatic Sea. Environ Tech Let 9: p. 117 - 126. 1988.

BORAH, D. K.; KRUG, E. C.; YODER, D. Watershed sediment yield. In: GARCIA, M. H. (ed). Sedimentation engineering: processes, measurements, modeling, and practice. ASCE Task Committee for the Preparation of the Manual on Sedimentation of the Sedimentation Committee of the Hydraulics Division. (ASCE manuals and reports on engineering practice; nº 110). p. 827 - 858. 2007.

BORDAS, M. P.; SEMMELMANN, F. R. Elementos de engenharia de sedimentos. In: TUCCI, C. E. M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. 2ª ed. Porto Alegre: **Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (ABRH)**. p. 915 - 943. 2000.

BORTOLUZZI, E. C.; POLETO, C. Metodologias para estudos de sedimentos: ênfase na produção e na natureza mineralógica das partículas. In: MARTEN, G. H.; POLETO, C. (Org.). Qualidade de sedimentos. 1º Ed. Porto Alegre, ABRH, p. 80 - 140. 2006.

CARTER, J.; OWENS, P. N.; WALLING, D. E.; GRAHAM, J. L. L. Fingerprinting suspended sediment sources in a large urban river system. **Science Total Environment**. v. 314 - 316, p. 513 – 534. 2003.

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

CASSETI, V. Geomorfologia. <http://www.funape.org.br/geomorfologia/>. 2005.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PADANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio direto, rotação de culturas e métodos de preparos das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 527 - 538, 1998.

COGO, N. P.; MOLDENHAUER, W. C.; FOSTER, G. R. Effect of residue cover, tillage-induced roughness, and runoff velocity on size distribution of eroded soil aggregates. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v. 47, p. 1005 – 1008. 1983.

COLLINS, D. N. Seasonal and annual variations of suspended sediment transport in meltwaters draining from an Alpine glacier. In: *Hydrology in Mountainous Regions. I—Hydrological Measurements: The Water Cycle* (ed. By H. Lang & A. Musy) (Proc. Lausanne Symp., August 1990), IAHS Publ. n. 193, p. 439 – 446. 1990.

COLLINS, A. L.; WALLING, D. E.; LEEKS, G. J. L. Source type ascription for fluvial suspended sediment based on a quantitative composite fingerprinting technique. **Catena**, v. 29, p. 1 – 27. 1997b.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira Ciências do Solo**. Viçosa - MG. v. 29, n. 5, p. 777 - 788. 2005.

CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E., RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 425 – 432. 1999.

CORRELL, D. L. The role of phosphorus in the eutrophication of receiving waters: A review. **Journal of Environmental Quality, Madison**, v. 27, p. 261 – 266.

1998.

DARWISH, T.; ATALLAH, T.; FRANCIS, R.; SAAB, C.; JOMAA, I.; SHAABAN, A.; SAKKA, H.; ZDRULI, P. Observations on soil and groundwater contamination with nitrate: A case study from Lebanon-East Mediterranean. *Agricultural Water Management*. v. 99, p. 74 - 84. 2011.

DESTEFANI, E. V. Regime hidrológico do Rio Ivaí – PR. Dissertação (Mestrado em Análise Regional e Ambiental) - Universidade Estadual de Maringá. 2005.

DEPINÉ, H.; PINHEIRO, A.; KAUFMANN, V.; SILVA, M. R. 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.

DIAS, J. A. A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos. **Livro**, p. 84. 2004.

DIEZ, J. C.; ALVERA, B.; PUIGDEFABREGAS, J.; GALLART, F. Assessing sediment sources in a small drainage basin above the timberland in the Pyrenees. In: *Sediment Budgets* (ed. by M. P. BORDAS & D. E. Walling) (Proc. Porto Alegre Symp., December 1988), IAHS Publ. n. 174, p. 197 – 205. 1988.

DILS, M. R.; HEATHWAITE, A. L. Phosphorus fractionation in hillslope hydrological pathways contributing to agricultural runoff. In: ANDERSON, M. G.; BROOKS, S. M. (Ed) *Advances in Hillslope Processes*. New York: JohnWiley and Sons, v. 1, p. 229 – 251. 1996.

DIPLAS, P.; PARKER, G. Deposition and removal of fines in gravel-bed streams. In: *Dynamics of Gravel-bed Rivers* (ed. by P. BILLI, R. D.; HEY, C. R. THORNE, & P. TACCONI). John Wiley & Sons, Chichester, West Sussex, UK. p. 313 – 329. 1992.

DONGHUAI, S.; BLOEMENDAL, J.; REA, D. K.; VANDENBERGHE, J.; FUCHU, J.; ZHISHENG, A.; RUIXIA, S. Grain-size distribution function of polymodal sediments in hydraulic and aeolian environments, and numerical partitioning of the sedimentary components. **Sedimentary Geology**, v. 152, p. 263 – 277. 2002.

DORIOZ, J. M. Phosphorus storage, transport and transformations in river systems of the Lake Lemman basin. In: KRONVANG, B.; SVENDSEN, L. M.; SIBBESSEN, E. Editors. Sediment and phosphorus, NERI Technical Report, v. 178, p. 81 – 8. 1996.

DROPPO, I. G. Rethinking what constitutes suspended sediment. *Hydrological Processes*. v. 15, p. 1551 – 1564. 2001.

DROPPO, I. G.; ONGLEY, E. D. Flocculation of suspended sediment in rivers of southwestern **Canada**. *Water Research* v. 28, p. 1799 – 1809. 1994.

DUARTE, F. M. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia e eficiência da adubação nitrogenada na cultura do arroz irrigado. Santa Maria: UFSM. Dissertação Mestrado. 87f. 2006.

DUR, J. C.; ELSASS, F.; CHAPLAIN, V.; TESSIER, D. The relationship between particle-size distribution by laser granulometry and image analysis by transmission electron microscopy in a soil clay fraction. *Eur J. Soil Sci.* v. 55, p. 265 - 270. 2004.

EBERHARDT, D. N.; VENDRAME, P. R. S.; BECQUER, T.; GUIMARÃES, M. F. Influência da granulometria e da mineralogia sobre a retenção do fósforo em Latossolo sob pastagens no Cerrado. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, v. 32, p. 1009 – 1016. 2008.

ESTEVES, F. A. Fundamentos de limnologia. Rio de Janeiro: Interciência: FINEP. 1988.

FIGUEIREDO, A. G. Análise da produção e transporte de sedimentos nas bacias do rio do Peixe e rio Aguapeí. Anais do **VIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. São Paulo. ABRH, v. 2. 1989.

FILHO, A. G. M.; REZENDE, C. E.; LACERDA, L. D. Poluição da baía de Sepetiba já ameaça outras áreas. **Ciência Hoje**, n. 25, v. 149, p. 46 - 49. 1999.

FOSTER, G. R. Modeling the erosion process. In: Hydrological Modeling of small Watersheds. American Society of Agricultural Engineering. St. Joseph. Chapter v. 8, p. 297 – 300. 1982.

FÖRSTNER, U.; WITTMAN, G. T. W. Metal Pollution in the Aquatic Environment. Berlin, Springer Verlag, 2^a ed., p. 486. 1983.

FOSTER, I. D. L.; CHARLESWORTH, S. M. Heavy metals in the hydrological cycle: trends and explanation. Hydrological Processes. v. 10, p. 227 – 261. 1996.

FOSTER, G. R.; WISCHMEIER, W. H. Evaluating irregular slopes for soil loss prediction. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. v. 17, p. 305 - 309. 1974.

FROEHNER, S.; MARTINS, R. F. Avaliação da composição química de sedimentos do Rio Barigui na região metropolitana de Curitiba. **Quimica Nova**, n. 8, v. 31, p. 2020 - 2026. 2008.

FURTADO, A. L.; PETRÚCIO, M. M. IN: PETRÚCIO, M. M.; FARIA, B. M. Em Ecologia das Lagoas Costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé; ESTEVES, F. A., ed.; Universidade Federal do Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, p. 123. 1998.

GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S. Modificações nas formas de fósforo do Solo após extrações sucessivas com Mehlich-1, Mehlich-3 e resina

trocadora de ânions. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 3, v. 29, p. 363 – 371. 2005.

GIESY, J. P.; HOKE R. A. Freshwater sediment toxicity bioassessment: rationale for species selection and test design. **Journal of Great Lakes Research**, n. 15, v. 4, p. 539 - 569. 1989.

GILLEY, J. E.; FINKNER, S. C.; SPOMER, R. G.; MIELKE, L. N. Size distribution of sediment as affected by cornresidue. *Trans. Am. Soc. Agron. Eng.*, v. 29, p. 1273 – 1277. 1986.

GOERL, R. F.; SIEFERT, C. A. C.; SCHULTZ, G. B.; SANTOS, C. S.; SANTOS, I. Elaboração e Aplicação de Índices de Fragmentação e Conectividade da Paisagem para Análise de Bacias Hidrográficas. **Revista Brasileira de Geografia Física** v. 05. p. 1000-1012. 2012.

GOLTERMAN, H. L. Sediment as a source of phosphate for algal growth. In: GOLTERMAN, H. L. (ed) *Interaction between sediment and fresh waster*. Junk Publishers, The Hague, The Netherlands, p. 286 – 293. 1976.

GONÇALVES, C. S. Qualidade de águas superficiais na microbacia hidrográfica do arroio Lino Nova Boêmia - Agudo – RS. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 114f. 2003.

GOOSSENS, D. Techniques to measure grain-size distributions of loamy sediments: a comparative study of ten instruments for wet analysis. **Sedimentology**, v. 55, p. 65 – 96. 2008.

GRANDO, A. Monitoramento e modelagem hidrosedimentológica em uma microbacia hidrográfica experimental. Dissertação, mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 174f, 2011.

GRANT, G. E.; LEWIS, S. L.; SWANSON, F. J.; CISSEL, J. H.; MCDONNELL, J. J. Effects of forest practices on peak flows and consequent channel response: A state-of-science report for western Oregon and Washington. U.S. Department of Agriculture Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, Oregon. General Technical Report PNW-GTR-760. 2008.

GUY, H. P. Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey. Laboratory Theory and Methods for Sediment Analysis. United States Government Printing Office: Washington. Book 5 – Chapter C1. 1969.

HAYGARTH, P. M.; HEPWORTH, L.; JARVIS, C. Forms of phosphorus transfer in hydrological pathways from soil under grazed grassland. **European Journal of Soil Science**, v. 49, p. 65 – 72. 1998.

HAYWARD, J. A. Hydrology and stream sediment from Torlesse Stream catchment. Spec. Publ. Tussock Grasslands and Mountain Lands Institute, Lincoln College, Canterbury, New Zealand. n. 17. 1980.

HOLTAN, H.; KAMP-NIELSEN, L.; STUANES, A. O. Phosphorus in soil, water and sediment: an overview. **Hydrobiologia**, n. 170, v. 1, p. 19 – 34. 1988.

HOROWITZ, A. J.; ELRICK, K. A.; COOK, R. B. Effect of mining and related activities on the sediment trace element geochemistry of Lake Coeur d'Alene, Idaho, USA. Part I: surface sediments. *Hydrological Processes*, v. 7, p. 403 – 423. 1993.

HOROWITZ, A. J. A primer on sediment-trace element chemistry. 2nd rev. ed. 1985.

HUDSON, N. W. Soil conservation. 3 ed. Ames, Iowa State University Press, p. 391. 1995.

IADANZA, C.; NAPOLITANO, F. Sediment transport time series in the Tiber River, Physics and chemistry of the Earth: v. 31, p. 1212 - 1227. 2006.

JANSSON, M. B. "Determining sediment source areas in a tropical river basin, Costa Rica". **Catena**, v. 47, p. 63 – 84. 2002.

JAQUET, J. M.; DAVAUD, E.; RAPIN, F. Concept and associated statistical methodology in geochemical study of lake sediments. **Hydrobiologia**, v. 91 p. 139 – 146. 1982.

JESUS, H. C.; COSTA, E. A.; MENDONÇA, A. S. F.; ZANDONADE, E. Distribuição de metais pesados em sedimentos do sistema estuarino da Ilha de Vitória – ES. **Química Nova**, n. 3, v. 27, p. 378 – 386. 2004.

JOHNSON, C. B.; MANNERING, J. V.; MOLDENHAUER, W. C. Influence of surface roughness and clod size and stability on soil and water losses. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 43, p. 772 – 777. 1979.

KNIGHTON, D. Fluvial forms & processes. A new perspective. London: Arnold, 1998.

KREUTZ, M. R. O contexto ambiental e as primeiras ocupações humanas no Vale do Taquari-Rio Grande do Sul. Dissertação (Mestrado em Ambiente e Desenvolvimento) - Centro Universitário UNIVATES, Lajeado RS. p. 150. 2008.

KURASHIGE, Y. Monitoring of thickness of river-bed sediment in the Pankenai River, Hokkaido, Japan. **Trans. Japan. Geomorphol. Union** v. 20, p. 21 – 33. 1994.

KURASHIGE, Y. Mechanisms of suspended sediment supply to headwater rivers. **Trans. Japan. Geomorphol. Union** v. 15, p. 109 – 129. 1996.

LANE, E. W.; BORLAND, W. M. Estimating bedload. *Trans. Am. Geophys. Union* n. 32, v. 1, p. 121 – 123. 1951.

LAUFFER, H.; SOMMER, N. Studies on sediment transport in mountain streams of the eastern Alps. In: *Int. Commission of Large Dams (Proc. 14th Congress, Rio de Janeiro, Brazil)*, p. 431 – 453. 1982.

LAWLER, D. M.; PETTS, G. E.; FOSTER, I. D. L.; Harper, S. Turbidity dynamics and hysteresis patterns during spring storm events in an urban headwater system: The Upper Tame, West Midlands, UK, *Science of the Total Environment*, v. 360, p.109 – 126. 2006.

LELI, I. T.; STEVAUX, J. C.; NÓBREGA, M. T. Produção e transporte de carga suspensa fluvial: teoria e método para rios de médio porte. *Bol. geogr., Maringá*, n. 1, v. 28, p. 43 – 58. 2010.

LEMES, M. J. L.; FIGUEIREDO FILHO, P. M.; PIRES, M. A. F. Influência da Mineralogia dos Sedimentos das Bacias Hidrográficas dos Rios Mogiguaçu e Pardo na Composição Química das Águas de Abastecimento Público. **Química Nova**, n. 1, v. 26, p. 13 – 20. 2003.

LENZI, M. A.; MARCHI, L. “Suspended sediment load during floods in a small stream of the Dolomites (northeastern Italy)”. **Catena**, v. 39, p. 267 – 282. 2002.

LENZI, M. A.; MAO, L.; COMITI, F. Interannual variation of suspended sediment load and sediment yield in an alpine catchment. **Hydrological Sciences–Journal–des Sciences Hydrologiques**, n. 48, v. 6. 2003.

LIMA, M. C.; GIACOMELLI, M. B. O.; STÜPP, V.; ROBERGE, F. D.; BARRERA, P. B. Especificação de cobre e chumbo em sedimento do Rio Tubarão (SC) pelo método Tessier. **Química Nova**, n. 6, v. 24, p. 734 – 742. 2001.

LOPES, P. R. C.; COGO, N. P.; CASSOL, E. A. Influência da cobertura vegetal morta na redução da velocidade da enxurrada e na distribuição de tamanho dos sedimentos transportados. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, v. 11, p. 193 – 197. 1987.

LOPES, N. H. Y.; KOBAYAMA, M.; SANTOS, I. Relação entre a concentração de sedimentos em suspensão e a vazão em microbacias experimentais na região norte do Estado de Santa Catarina, Brasil. **XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Anais eletrônicos. Florianópolis- SC, 2006.

LU, H. Y.; AN, Z. S. The influence of pre-treatment to grain size analysis results of loess. *Chinese Science Bulletin*, v. 42, p. 2535 – 2538. 1997.

MAIER, C. Variabilidade intra-evento da origem das fontes de sedimentos em uma bacia hidrográfica rural. Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Porto Alegre, janeiro de 2013.

MALMQVIST, B.; RUNDLE, S. Threats to the running water ecosystems of the world. *Environmental Conservation*, v. 29, n. 2, p. 134 – 153. 2002.

MARTINS, C. C.; FIGUEIRA, R. C. L. Emprego de colunas sedimentares em estudos do histórico da poluição ambiental. IN: POLETO, C. Ambiente e sedimento. Porto Alegre, ABRH, p. 291 - 327. 2008.

MARINS, R. V.; FILHO, F. J. P.; ROCHA, C. A. S. Geoquímica de fósforo como indicadora da qualidade ambiental e dos processos estuarinos do Rio Jaguaribe – Costa Nordeste Oriental Brasileira. **Química Nova**, São Paulo, n. 5, v. 30, p. 1208 – 1214. 2007.

McDOWELL, R. W.; SHARPLEY, A. N.; CONDRN, L. M. Processes controlling soil phosphorus release to runoff and implications for agricultural management. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 59, p. 269 - 284. 2001.

MEGAHAN, W. F. Scale considerations and detectability of sedimentary cumulative watershed effects. Research triangle park N.C.: National council of the paper industry for air and stream improvement, inc. **Technical Bulletin** n, 776. 358f. 1999.

MEYER, L. D.; FOSTER, G. R.; NIKOLOV, S. Effect of flow rate and canopy on rill erosion. Trans. Of the ASAE, St. Joseph, n. 5, v. 18, p. 905 - 911. 1975.

MEYERS, P. A. Organic geochemical proxies of paleoceanographic, paleolimnologic and paleoclimatic processes. Organic Geochemistry, v. 27, p. 213 – 250. 1997.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F. F.; DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVAREZ, V. V. H. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 3, p. 209 - 248. 2003.

MINELLA, J. P. G. Utilização de técnicas hidrossedimentos métricas combinadas com a identificação de fontes de sedimentos para avaliar o efeito do uso e manejo do solo nos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica rural no Rio Grande do Sul. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. 172f. 2007.

MOLISANI, M. M.; SALOMÃO M. S. M. B.; OVALIE A. R. C.; REZENDE C. E.; LACERDA L. D.; CARVALHO C. E. V. Heavy Metals in Sediments of the Lower Paraíba do Sul River and Estuary, R. J., Brazil. Environ. Contam. Toxicol. v. 63, p. 682 - 690. 1999.

MONTE-MOR, R.C.A.; PALMIER, L.R.; PINTO, E.J.A.; LIMA, J.E.S. Estabilidade Temporal da Distribuição Espacial da Umidade do Solo em uma Bacia

Intermitente no Semiárido de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 17, p. 101-113. 2012.

MORO, M. Avaliação do modelo LISEM na simulação dos processos hidrossedimentológicos de uma pequena bacia rural localizada nas encostas basálticas do Rio Grande do Sul. Tese em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 133f. 2011.

MORGAN, R. P. C. *Soil erosion and conservation*. 2^o ed. Longman Group Ltd. p. 198. 1995.

MOTHA, J. A.; WALLBRINKA, P. J.; HAIRSINEA, P. B.; GRAYSON, R. B.; Unsealed roads as suspended sediment sources in an agricultural catchment in south-eastern Australia. **Journal of Hydrology**. v. 286, p. 1 – 18. 2004.

MUDROCH, A.; MUDROCH, P.; AZCUE, J. M. *Manual of physico-chemical analysis of aquatic sediments*. Boca Raton: CRC. CLA: 551.304, M294ma, CG. p. 287. 1997.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, Oxford, v. 27, p. 31 – 36. 1962.

NORTON, L. D.; COGO, N. P.; MOLDENHAUER, W. C. Effectiveness of mulch in controlling soil erosion. In: ELSWAIFY S. A.; MOLDENHAUER, W. C.; LO, A., orgs. *Soil erosion and conservation*. Ankeny, Soil Conservation Society of America, v. 1, p. 598 - 606. 1985.

OLSEN, S. R.; SOMMER, L. E. Phosphorus. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, Q. R. eds. *Methods of soil analysis, Part 2. Chemical and microbiological properties*. 2. ed. Madison, **American Society of Agronomy**, (Agronomy Monograph, 9). p. 403 – 430. 1982.

OWENS, P. N.; WALLING, D. E.; CARTON, J.; MEHARG, A. A.; WRIGHT, J.; LEEKS, G. J. L. Downstream changes in the transport and storage of sediment as sociated contaminants (P, Cr and PCBs) in agricultural and industrialised drainage basins. *The Science of the Total Environment* v. 266, p. 177 – 186. 2001.

OWENS, P. N.; WALLING, D. E.; LEEKS, G. J. L. Tracing fluvial suspended sediment sources in the catchment of the River Tweed, Scotland, using composite fingerprints and a numerical mixing model. In: *Tracers in geomorphology*, Foster I. D. L. (ed.). Wiley: Chichester; p. 291 – 308. 2000.

OWENS, P. N.; WALLING, D. E. The phosphorus content of fluvial sediment in rural and industrialized river basins. *Water Research*, v. 36, p. 685 – 701. 2002.

PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. D. *Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas*. Porto Alegre: ABRH, 2001.

PELLEGRINI, J. B. R.; REINHEIMER, S.; GONÇALVES, C. S.; COPETTI, A. C. C.; BORTOLUZZI, E. C. Adsorção de fósforo em sedimentos e sua relação com a ação antrópica. ***Revista Brasileira Ciências do Solo***. v. 32, p. 2639 – 2646. 2008.

PELLEGRINI, J. B. R. Fósforo na água e no sedimento na microbacia hidrográfica do arroio Lino - Agudo – RS. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 98f. 2005.

PETTICREW, E. L.; DROPPO, I. G. The morphology and settling characteristics of fine-grained sediment from a selection of Canadian rivers. In *Contributions to the Hydrological Programme - V by Canadian Experts*. Technical Documents in Hydrology. UNESCO: Paris; n. 33, p. 111 – 126. 2000.

POLETO, C.; BORTOLUZZI, E. C.; MERTEN, G. H. Uso de ultra-som como pré-tratamento de amostras de sedimento fluvial em difratometria laser. In: MERTEN, G. H.; POLETO, C.; BORGES, A. L. O. Orgs. Sedimentos: O desafio da multidisciplinaridade. Porto Alegre, ABRH, p. 51 - 66. 2007.

PRAHL, F. G.; ERTEL, J. R.; GONI, M. A.; SPARROW, M. A.; EVERSMEYER, B. Terrestrial organic carbono contributions to sediments on the washington margin. *Geochimica Cosmochimica Acta*, v. 58, p. 3048 – 3055. 1994.

PRINGLE, C. What is hydrologic connectivity and why is it ecologically important? *Hydrological Processes*, v.17, n.13, p. 2685–2689. 2003.

PORTO FILHO, E.; A geomorfologia e o manejo do ecossistema, geosul: Florianópolis, 1996.

PYE, K.; CROFT, D. J. Forensic Geoscience: Principles, Techniques and Applications. Geological Society, London, Special Publications. The Geological Society of London. v. 232, p. 63 - 73. 2004.

REYTER, L. M.; BESCHTA, R. L. Effects of forest practices on water. in: Cumulative effects of forest practices in Oregon: Literature and synthesis. BESCHTA, R. L.; BOYLE, J. R.; CHAMBERS, C. C.; GIPSON, W. P.; GREGORY, S. V.; GRIZZEL, J.; HAGAR, J. C.; LI, J. L.; PARZYBOK, W. C.; REITER, M. L.; TAYLOR, G. H.; WARYLA, J. E. (compilers). Oregon Department of Forestry, Salem, Oregon, 1995.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste. 86f. 2002.

ROVIRA, A.; BATALLA, R. J. Temporal distribution of suspended sediment transport in a Mediterranean basin The Lower Tordera. *Geomorphology*, v. 79, p. 58 - 71. 2006.

SALOMONS, W; FORSTNER U. Metals in the Hydrocycle. Springer-Verlag: New York. 1984.

SAMMORI, T. Suspended solids discharge from a small forested basin in the humid tropics. *Hidrological processes*. 18. p. 721 – 738. 2004.

SANTOS, T. E. M. Dinâmica espacial e temporal da umidade do solo em bacia experimental do semiárido. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de Agronomia, Recife - PE. 68 f. 2010.

SANTOS, D. M.; BOSSINI, J. A. T.; PREUSSLER, K. H.; VASCONSELOS, E. C.; CARVALHONETO, F. S.; CARVALHO-FILHO, M. A. S. Avaliação de Metais Pesados na Baía de Paranaguá, PR, Brasil, sob Influência das Atividades Antrópicas *J. Braz. Soc. Ecotoxicol.* n. 2, v. 1, p. 157 - 160. 2006.

SCHWARZ, R. A. Perdas por erosão hídrica em diferentes classes de declividade, sistemas de preparo e níveis de fertilidade do solo na região das missões – RS. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, (Dissertação de Mestrado). 130f. 1997.

SCHENATO, R. B. Dinâmica do fósforo de sedimentos de uma pequena bacia hidrográfica de cabeceira. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, RS, 2009.

SEEGER, M.; ERREA, M. P.; BEGUERÍA, S.; ARNÁEZ, J.; MARTÍ, C.; GARCÍA-RUIZ, J. M. “Catchment soil moisture and rainfall characteristics as determinant factor for discharge/suspended sediment hysteretic loops in a small headwater catchment in the Spanish pyrennes”. **Journal of Hydrology**, v. 88, p. 299 – 311. 2004.

SHAINBERG, I.; WARRINGTON, D.; LAFLEN, J. M. Soil dispersibility, rain properties, and slope interaction in rill formation and erosion. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 56, p. 278 – 283. 1992.

SHARPLEY, A. N. Depth of surface soil-runoff interaction as affected by rainfall, soil slope and management. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v. 49, p. 1010 – 1015. 1985b.

SHARPLEY, A. N.; SMITH, S. J.; JONES, O. R. The transport of bioavailable phosphorus in agricultural runoff. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 21, p. 30 – 35. 1992.

SHARPLEY, A. N.; HEDLEY, M. J.; SIBBESON, E. Phosphorus transfers from terrestrial to aquatic ecosystems. In: TIESSEN, H. (Ed) *Phosphorus in the global environment*. Chichester: John Wiley & Sons, p. 171 - 200. 1995.

SHARPLEY, A. N.; GBUREK, W. J.; FOLMAR, G. Sources of phosphorus exported from an agricultural watershed in Pennsylvania. *Agric Wat Manag* n. 41, v. 2, p. 77 – 89. 1999.

SILVEIRA, G. L.; TUCCI, C. E. M. Monitoramento em pequenas bacias para a estimativa de disponibilidade hídrica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 3, p. 97 – 110, 1998.

SMITH, S. J. Water quality characteristics associated with southern plains grasslands. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 21, p. 595 – 601. 1992.

SIDIRAS, N.; ROTH, C. H.; FARIAS, G. S. Efeito da intensidade de chuva na desagregação por impacto de gotas em três sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, v. 8, p. 251 – 254. 1984.

SIX, J. E.; PAUSTION, K. Soil macroaggregate turnover and microaggregate: a mechanism for C sequestration under on tillage agriculture. **Soil Biology & Biochemistry**. n.14, v. 32, p. 2099 - 2013. 2000.

STONE, P. M.; WALLING, D. E. Particle size selectivity considerations in suspended sediment budget investigations. *Water Air Soil Pollut.* v. 99, p. 63 - 70. 1997.

STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L.F.S.. Solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: **EMATER/RS-ASCAR**. ed. 2. p. 222. 2008.

TAUBNER, H.; ROTH, B.; TIPPKÖTTER, R. Determination of soil texture: Comparison of the sedimentation method and the laser diffraction analysis. *J. Plant Nutr. Soil. Sci.* v. 172, p. 161 – 171. 2009.

TOY, T. J.; FOSTER, G. R.; RENARD, K. G. Soil erosion: processes, prediction, measurement and control. Nova Iorque: John Wiley & Sons, Inc. 2001.

TUNDISI, J. G. Água no século XXI: Enfrentando a escassez. São Paulo: Rima, p. 247. 2003.

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURAL. National handbook of conservation practices. USDA/NRCS. 2006.

VANONI, V. A. Sedimentation engineering. ASCE Task Committee for the Preparation of the Manual on Sedimentation of the Sedimentation Committee of the Hydraulics Division. (ASCE manual sandreport sonengin eeringpractice; n. 54, p. 418. 2006.

VESTENA, L. R. Análise da relação entre a dinâmica de áreas saturadas e o transporte de sedimentos em uma bacia hidrográfica por meio de monitoramento

e modelagem. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 268f. 2008.

ZWIRTES, I. R. Uso da geocronologia e da distribuição de lipídios e fósforo na reconstituição histórica dos sedimentos da Lagoa da Conceição, Florianópolis, SC. Florianópolis, Dissertação (Mestrado em Química) – Departamento de Química, Universidade Federal de Santa Catarina. 2003.

WARREN, L. A.; HAACK, E. A. Biogeochemical controls on metal behavior in freshwater environments. **Revista Earth Sci**, n. 54, v. 4, p. 261 – 320. 2001.

WALLING, D. E.; WEBB, B. W. Suspended load in gravel-bed rivers: UK experience. In: *Sediment Transport in Gravel-Bed Rivers* (ed. by C. R. Thorne, J. C. Bathurst & R. D. Hey), John Wiley & Sons, Chichester, West Sussex, UK. p. 545 – 579. 1987.

WALLING, D. E.; HE, Q.; BLAKE, W. H. River flood plains as phosphorus sinks. In: Stone M, editor. *The role of erosion and sediment transport in nutrient and contaminant transfer*. IAHS Publ. n. 263, p. 211 – 218. 2000.

WHITTAKER, J. G. Sediment transport in step-pool streams. In: *Sediment Transport in Gravel-Bed Rivers* (ed. By C. R. Thorne, J. C. Bathurst & R. D. Hey). John Wiley & Sons, Chichester, West Sussex, UK. p. 545 – 579. 1987.

WILLIAMS, G. P. “Sediment concentration versus water discharge during single hydrologic events in rivers”. **Journal of Hydrology**, v. 111, p. 89 – 106. 1989.

Apêndice A

Apêndice A: Dados de granulometria dos eventos da bacia do Arroio Lajeado Ferreira.

Arroio Lajeado Ferreira							
Data	< 63 µm						
	D 10	D 16	D 25	D 50	D 75	D 84	D 90
26/08/2012	2,23	3,40	5,60	14,59	28,00	34,00	36,97
26/08/2012	2,52	3,80	6,00	16,05	32,00	38,00	43,95
26/08/2012	2,23	3,40	5,00	11,9	23,00	30,00	34,3
09/09/2012	1,36	1,80	2,80	7,01	19,00	28,00	33,46
09/09/2012	1,85	2,80	4,60	15,02	30,00	36,00	40,91
09/09/2012	3,29	5,30	8,50	20,09	34,00	40,00	43,71
17/09/2012	2,15	3,20	5,30	13,23	25,00	30,00	34,21
18/09/2012	1,31	2,00	3,20	8,12	16,00	21,00	25,6
18/09/2012	1,46	2,20	3,60	10,55	21,00	25,00	30,32
18/09/2012	1,35	2,00	3,40	10,01	20,00	28,00	31,92
12/03/2013	1,34	2,00	3,00	7,83	18,00	25,00	29,64
12/03/2013	1,32	2,00	3,40	10,15	22,00	30,00	34,32
12/03/2013	1,56	2,40	3,80	10,98	23,00	30,00	34,45
12/03/2013	1,82	2,80	4,60	12,95	25,00	32,00	35,2
12/03/2013	3,64	5,60	9,00	24,96	45,00	56,00	
12/03/2013	3,63	5,60	8,50	16,2	30,00	38,00	43,09
24/08/2013	2,03	3,20	5,60	13,8	25,00	30,00	34,00
25/08/2013	1,85	2,80	5,00	13,4	25,00	32,00	35,18
25/08/2013	1,55	2,60	4,30	12,4	23,00	30,00	34,2
20/09/2013	1,54	2,40	4,00	11,27	22,00	28,00	31,45
20/09/2013	1,5	2,40	4,30	11,51	21,00	25,00	30,35
20/09/2013	1,32	2,00	3,40	9,52	18,00	23,00	27,61
20/09/2013	1,2	1,80	2,80	8,79	19,00	25,00	28,18
20/09/2013	1,45	2,20	3,80	11,05	21,00	25,00	29,2
20/09/2013	1,82	3,00	5,30	15,12	28,00	34,00	37,21
26/10/2013	1,25	1,80	3,00	7,5	15,00	18,00	21,08
26/10/2013	1,38	2,20	3,80	10,61	21,00	25,00	30,8
26/10/2013	1,42	2,20	4,00	10,5	19,00	25,00	28,11
26/10/2013	1,29	2,00	3,40	10,21	21,00	28,00	32,31
26/10/2013	1,62	2,60	4,60	13,01	25,00	30,00	33,23

Unidade é representada em µm.

Apêndice B

Apêndice B: Dados de fósforo, nitrogênio e carbono dos eventos da bacia do Arroio Lajeado Ferreira.

Arroio Lajeado Ferreira										
Data	P total		P orgânico		P disponível		N		C	
	>63 μ m	<63 μ m	>63 μ m	<63 μ m	>63 μ m	<63 μ m	>63 μ m	<63 μ m	>63 μ m	<63 μ m
26/8/12	474,1		370,6	323,4	104,7		0,71	0,73	3,89	4,10
26/8/12					124,6					
26/8/12	346,3		398,1	313,3	8,9		0,91	0,83	3,89	3,96
9/9/12	352,7	542,7	221,5	258,0	131,9	131,9	0,32	0,35	1,87	2,10
9/9/12	297,9		299,0		159,1		0,41	0,43	2,35	2,60
9/9/12			294,2		116,2					
17/9/12	273,2		292,2	324,5	45,0	69,6	0,75	0,75	3,01	3,40
18/9/12	292,1	563,9	254,1	241,5	119,5	119,5	0,39	0,37	2,33	2,13
18/9/12	310,9	510,7	278,5	278,4	118,3	118,3	0,30	0,31	2,89	2,93
18/9/12	474,2	537,6	312,5	274,9	143,1	143,1	0,56	0,52	3,00	2,85
12/3/13	399,5	763,4	159,3	122,3	232,2	242,0	0,81	0,81	3,54	3,86
12/3/13	473,1	935,4	561,5	549,2	192,7	195,4	0,47	0,54	3,12	3,42
12/3/13	433,9	904,4	407,6	463,6	185,2	185,2	0,69	0,72	3,96	4,12
12/3/13	562,3	1032,1	498,6	643,0	172,7	173,9	0,53	0,55	4,44	4,83
12/3/13	519,4	887,0	460,8	414,0	119,9	138,2	1,12	1,20	5,32	5,81
12/3/13	494,2	782,1	104,6	26,5	97,1	22,3	1,34	1,46	5,79	6,36
24/8/13	490,9	862,4	595,7	381,0	232,8	220,3	0,66		3,84	
24/8/13	623,6		417,4	909,2	124,5	170,2	0,84	0,83	3,71	3,60
24/8/13	554,7	989,6	410,5	525,7	194,6	207,1	0,66	0,64	3,86	3,30
25/8/13	613,3	957,6	551,5	579,8	163,3	202,1	0,72	0,67	4,12	3,52
25/8/13	693,4	948,1	658,0	543,1	239,1	178,3	0,64	0,53	4,19	3,77
20/9/13	611,8	861,7	164,0	130,6	134,5	135,1	0,50	0,50	4,61	3,75
20/9/13	546,3	812,7	458,1	524,1	207,2	209,1	0,37	0,32	3,63	2,66
20/9/13	623,6	805,5	405,9	321,5	194,9	158,2	0,22	0,19	2,32	1,84
20/9/13	737,0	834,9	404,7	341,8	175,1	137,6	0,33	0,31	2,84	2,63
20/9/13	731,9	942,9	586,5	428,8	168,9	172,7	0,39	0,35	3,15	2,86
20/9/13	644,2		138,3	253,7	285,1	205,9	0,65	0,61	4,60	3,45
26/10/13	668,4	1052,3	573,0	524,3	207,8	205,9	0,28	0,26	2,17	1,91
26/10/13	750,2	979,4	394,8	286,1	132,0		0,28	0,21	2,83	2,09
26/10/13	601,6	885,6	245,5	233,6	232,9	156,3	0,26	0,18	2,71	1,89
26/10/13	688,3	1010,6	183,4	126,5	96,4	96,4	0,28	0,25	2,75	2,33
26/10/13	649,4	896,8	93,0	118,6	131,3	131,3	0,42	0,39	3,37	3,09

Unidades: P total, P orgânico e P disponível = mg kg⁻¹; C e N em %.

Apêndice C

Apêndice C: Dados de granulometria dos eventos da bacia Rio Guaporé.

Rio Guaporé							
Data	< 63 µm						
	D 10	D 16	D 25	D 50	D 75	D 84	D 90
06/07/2012	1,89	3,00	5,30	13,43	25,00	30,00	34,86
06/07/2012	2,4	3,60	5,60	11,86	21,00	25,00	29,22
07/07/2012	1,96	3,20	5,30	12,67	23,00	28,00	33,12
07/07/2012	1,85	3,00	5,00	12,02	22,00	28,00	32,24
07/07/2012	1,89	3,20	5,60	13,66	25,00	30,00	34,53
18/09/2012	2,11	3,80	6,50	14,66	25,00	32,00	35,58
19/09/2012	1,74	2,80	4,60	11,71	22,00	28,00	31,25
12/03/2013	2,32	3,60	6,00	15,59	28,00	34,00	37,1
12/03/2013	1,87	2,80	4,60	12,27	25,00	32,00	35,43
12/03/2013	2,03	3,20	5,30	13,34	25,00	32,00	35,59
13/03/2013	2,11	2,40	4,00	14,66	23,00	28,00	35,58
13/03/2013	2,11	3,40	5,60	14,04	25,00	32,00	35,96
13/03/2013	1,57	2,60	4,30	11,72	22,00	28,00	32,38
20/09/2013	1,24	2,00	3,20	9,75	20,00	25,00	29,65
21/09/2013	1,71	2,80	5,00	13,27	25,00	32,00	35,16
21/09/2013	1,62	2,80	5,00	14,5	28,00	34,00	38,42
21/09/2013	1,9	3,00	5,30	14,12	25,00	32,00	35,45

Unidades em µm.

Apêndice D

Apêndice D: Dados de fósforo, nitrogênio e carbono dos eventos da bacia Rio Guaporé.

Rio Guaporé										
Data	P total		P orgânico		P disponível		N		C	
	>63µm	<63µm	>63µm	<63µm	>63µm	<63µm	>63µm	<63µm	>63µm	<63µm
6/7/12	1158,3	1168,8	780,8	784,0	113,0	126,0	0,70	0,65	4,95	3,35
6/7/12			826,8		58,8		0,84	0,84	3,93	3,20
7/7/12	1005,6	1108,1	878,3	694,0	29,6	56,2	0,73	0,77	4,08	3,30
7/7/12	1059,1	1237,2	849,2	675,1	50,9	41,4	1,08	1,02	3,77	2,97
7/7/12	1175,1	1118,1	820,7	783,5	131,3	83,4	1,18	1,08	3,90	2,90
18/9/12	1018,7	1060,5	730,4	699,9	93,5	131,9	1,25	1,05	4,32	4,24
19/9/12	1025,6	1058,2	698,9	712,1	4,7	140,2	0,76	0,54	6,15	3,19
12/3/13	761,5	631,6	21,6	456,0	125,1	184,0	0,89	0,78	4,26	5,42
12/3/13	775,0		117,3	545,1	94,5	65,5	1,12	1,01	5,20	5,83
12/3/13	979,3	866,8	667,3	588,9	152,4	164,3	0,77	0,70	4,39	3,98
13/3/13	1029,5	917,7	481,9	580,1	143,9	175,8	0,67	0,62	3,68	3,52
13/3/13	995,0	856,6	515,9	101,3	113,5	127,5	0,57	0,75	2,90	3,35
13/3/13	1030,8	938,0	431,9	446,3	137,6	152,9	0,55	0,77	2,91	3,65
20/9/13	1067,9	978,9	634,8	501,5	183,3	224,7	0,55	0,54	3,12	2,94
21/9/13	1041,9	943,2	624,1	387,2	182,7	181,5	0,49	0,42	3,71	2,76
21/9/13	1088,8	1250,9	617,7	652,5	187,1	190,9	0,48	0,47	3,96	3,41
21/9/13	1463,1	1058,2	714,5	352,6	182,1	18,1	0,46	0,42	3,31	2,97

Unidades: P total, P orgânico e P disponível = mg kg⁻¹; C e N em %.

Apêndice E

Apêndice E: Dados de granulometria dos eventos da bacia Rio Conceição.

Rio Conceição							
Data	< 63 µm						
	D 10	D 16	D 25	D 50	D 75	D 84	D 90
06/07/2012	1,51	2,40	4,00	11,64	25,00	30,00	35,88
06/07/2012	1,45	2,40	3,80	10,94	23,00	30,00	34,96
06/07/2012	1,37	2,20	3,60	10,89	23,00	30,00	34,16
07/07/2012	1,49	2,40	4,00	11,35	22,00	28,00	33,32
08/07/2012	3,21	6,00	10,00	20,89	34,00	40,00	43,47
19/09/2012	1,27	2,00	3,60	11,33	23,00	30,00	35,97
19/09/2012	1,17	1,80	3,00	9,74	21,00	28,00	32,48
19/09/2012	1,15	1,80	3,00	10,06	22,00	28,00	34,22
20/09/2012	1,28	2,00	3,40	10	21,00	25,00	31,52
20/09/2012	1,56	2,40	4,00	11,19	22,00	28,00	32,5
02/10/2012	1,71	2,80	5,30	14,53	28,00	34,00	39,18
03/10/2012	1,44	2,40	4,30	13,09	28,00	34,00	38,41
03/10/2012	1,49	2,40	4,30	12,83	28,00	34,00	37,88
04/10/2012	1,35	2,20	3,80	11,41	23,00	30,00	34,87
04/10/2012	1,32	2,00	3,40	10,34	21,00	28,00	32,1
22/10/2012	1,3	2,00	3,80	11,7	23,00	30,00	35,41
23/10/2012	1,24	2,00	3,60	11,2	23,00	30,00	34,32
23/10/2012	1,43	2,40	4,00	12,22	25,00	32,00	36,73
23/10/2012	1,21	1,80	3,20	10,3	22,00	28,00	33,42
23/10/2012	1,59	2,60	4,60	13,95	28,00	34,00	38,45
24/10/2012	1,7	3,00	5,30	15,92	32,00	40,00	45,22
09/03/2013	1,8	3,00	5,60	15,2	30,00	38,00	43,25
09/03/2013	1,5	2,40	4,30	12,34	25,00	32,00	36,23
10/03/2013	1,16	1,80	3,00	9,23	19,00	25,00	31,07
10/03/2013	1,63	2,60	4,30	12,18	25,00	30,00	35,45
24/08/2013	1,36	2,20	3,80	11,84	25,00	32,00	36,49
24/08/2013	1,92	3,20	6,00	15,33	28,00	34,00	38,1
25/08/2013	1,45	2,40	4,30	12,37	25,00	30,00	34,58
25/08/2013	2,38	3,80	6,00	15,13	25,00	32,00	34,99
26/08/2013	2,16	3,40	5,60	14,29	25,00	32,00	35,16
20/09/2013	1,23	1,80	3,40	10,41	22,00	30,00	34,73
21/09/2013	1,97	3,40	6,00	14,94	28,00	34,00	37,71
22/09/2013	1,58	2,60	4,30	11,42	21,00	25,00	29,85
24/10/2013	1,66	2,80	5,30	14,26	28,00	34,00	38,54
24/10/2013	1,46	2,40	4,30	12,47	25,00	32,00	37,12
25/10/2013	1,83	3,20	6,50	17,02	32,00	38,00	43,95
20/11/2013	1,26	2,00	3,40	10,11	20,00	25,00	30,12
21/11/2013	1,27	2,00	3,60	10,71	21,00	28,00	31,03

Unidade em µm.

Apêndice F

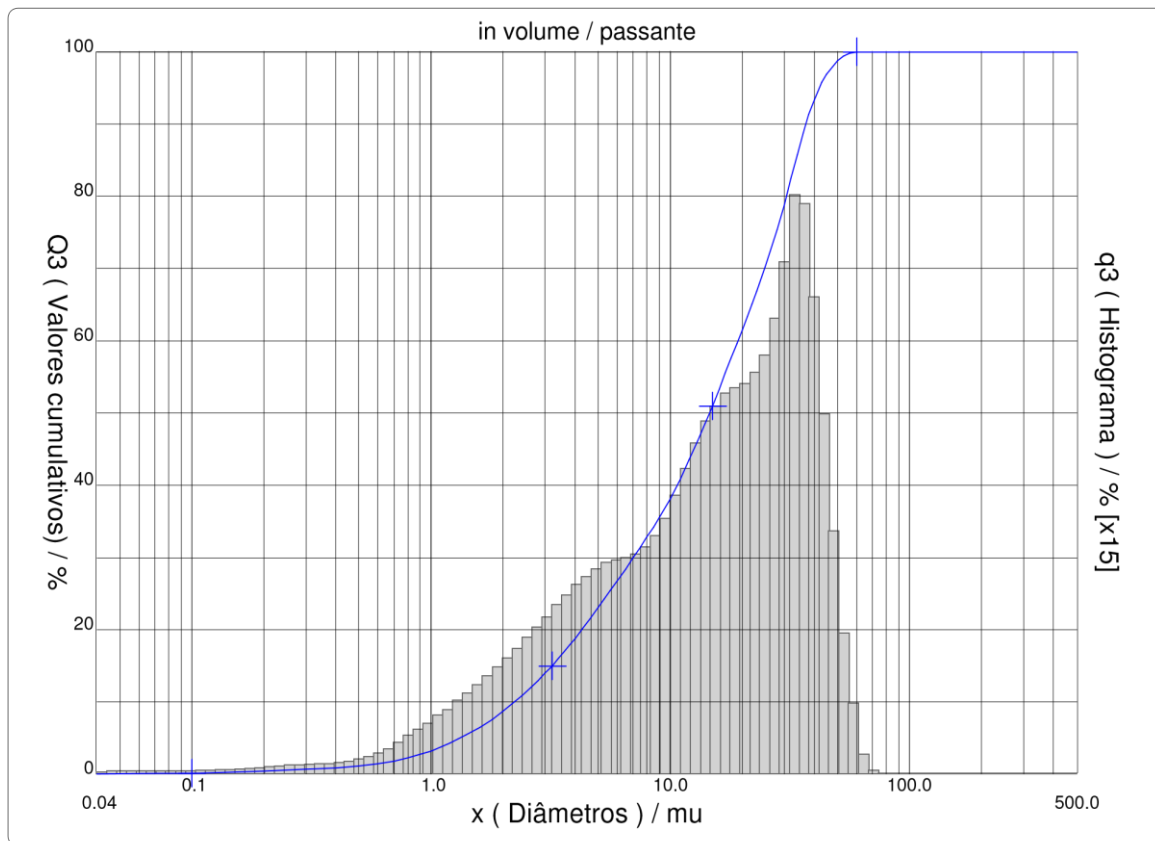
Apêndice F: Dados de fósforo, nitrogênio e carbono dos eventos da bacia do Rio Conceição.

Rio Conceição										
Data	P total		P orgânico		P disponível		N		C	
	>63µm	<63µm	>63µm	<63µm	>63µm	<63µm	>63µm	<63µm	>63µm	<63µm
6/7/12	623,2	1242,7	247,5	177,7		143,1	1,23	0,71		3,65
6/7/12	521,2	1260,4	371,2	233,9		56,2	0,71	0,72	4,46	3,78
6/7/12		1215,2	240,5	244,2	120,8	112,4	0,79	0,74	4,79	3,77
7/7/12	944,0	1107,3	220,9	254,8	42,0	39,6	0,93	1,25	4,33	4,42
8/7/12	805,9		417,1	332,7	7,7	13,8	1,69	1,76	3,79	3,77
19/9/12	842,9	1532,4	435,9	181,6	128,9	184,5	0,66	0,39	3,49	3,00
19/9/12	1094,5	1620,7	269,5	226,5	137,8	207,0	0,58	0,34		3,56
19/9/12	1253,8	1397,1	267,4	221,7	116,5	140,2	0,40	0,38	3,18	2,95
20/9/12	674,6	1331,7	337,1	334,2	70,4	93,5	0,60	0,58	3,97	3,67
20/9/12	800,2	985,4	422,4	700,6	19,5	25,4	0,44	0,93	3,43	3,98
2/10/12	858,5	1320,7	202,7	721,8	136,0	104,7	0,55	0,51	3,04	2,81
3/10/12	739,4	1399,7	439,0	715,7	126,0	122,4	0,43	0,40	3,33	3,04
3/10/12	753,6	1410,1	477,3	746,2	112,4	123,6	0,44	0,46	3,02	3,09
4/10/12		1267,6		829,9	98,7	102,3	0,49	0,48	3,46	3,20
4/10/12	593,9	1315,1	457,5	707,6	118,3	115,3	0,48	0,55	3,52	3,30
22/10/12	879,7	1625,8	223,5	736,9	146,1	146,1	0,31	0,32	2,64	2,41
23/10/12	948,7	1629,4	295,6	687,1	137,8	169,2	0,34	0,29	2,97	2,47
23/10/12	872,9	1254,6	19,6	821,6	123,0	109,4	0,45	0,41	3,29	3,04
23/10/12	704,6	1430,6	336,7	780,7	95,8	103,5	0,40	0,52	3,48	4,40
23/10/12	950,8	1426,3	610,0	683,2	113,6	117,1	0,43	0,41	3,41	3,30
24/10/12	2783,7		851,2	790,9	82,8	100,5	0,53	0,50	4,69	4,47
9/3/13	688,5	1212,2	371,2	422,2	164,5	105,7	0,45	0,47	4,32	4,88
9/3/13	764,3	1203,0	334,5	409,9	144,1	140,2	0,43	0,45	4,10	4,34
10/3/13	901,0	1398,2	451,2	557,5	114,4	145,8	0,36	0,38	3,48	3,78
10/3/13	824,1	1338,3	374,4	491,6	139,5	130,1	0,40	0,42	3,95	4,27
24/8/13	796,7	1576,3	673,3	791,9	195,2	257,1	0,43	0,57	2,88	3,45
24/8/13	777,5	1411,0	564,9	676,4	5,4	132,6	0,55	0,56	3,47	3,36
25/8/13	894,3	1629,7	557,2	653,1	214,0	239,7	0,40	0,43	2,93	3,15
25/8/13	953,8	1351,1	420,0	499,9	152,9	154,2	0,65	0,70	3,52	3,73
26/8/13	1232,8	1297,2	258,6	496,9	143,9	105,0	0,64	0,58	3,48	3,50
20/9/13	966,5	1475,4	420,7	447,3	158,9	177,0	0,25	0,28	2,47	2,72
21/9/13	1724,6	1285,4	366,8	402,7	137,0	161,1	0,38	0,40	2,98	2,98
22/9/13	817,8	1011,2	374,0	294,1	123,8	70,6	0,38	0,33	3,24	2,41
24/10/13	692,8	1326,5	353,7		131,3	119,9	0,34	0,37	2,56	2,61
24/10/13	634,5	1288,7	455,4	471,6	148,4	154,8	0,28	0,32	2,35	2,50
25/10/13	883,2	1290,4	435,1		157,0	158,6	0,33	0,34	2,65	2,62
25/10/13	714,7		122,0		272,7	287,7	0,46		3,50	
20/11/13	733,7	1556,0	593,7	757,7	155,1	119,4	0,35	0,35	2,84	2,81
20/11/13	764,2	1385,4	502,0	534,2	189,8	221,8	0,38	0,43	3,14	3,30
21/11/13	990,3	1479,5	569,4	585,0	154,8	173,2	0,27	0,30	2,80	2,84

Unidades: P total, P orgânico e P disponível = mg kg⁻¹; C e N em %.

Apêndice G

Apêndice G: Distribuição granulométrica de uma amostra de sedimento em suspensão, da bacia do Arroio Lajeado Ferreira.



Núm. de série : 282

Ref : 1.r112.m16.45A0000/3.30/1500/m26.12.5.10.1Fh.20.5.10.Bh/Q-.0.0.0.0//300.0.15.g60.15.9.10.1.10.P6500.1.10.N.0/V 3.10/830