



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA

CENTRO DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**PROCESSOS HIDROSEDIMENTOLÓGICOS EM
DIFERENTES ESCALAS ESPAÇO TEMPORAIS
NO BIOMA MATA ATLÂNTICA.**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Marco Alésio Figueiredo Pereira

Santa Maria, RS, Brasil

2010

**PROCESSOS HIDROSEDIMENTOLÓGICOS EM
DIFERENTES ESCALAS ESPAÇO TEMPORAIS NO
BIOMA MATA ATLÂNTICA.**

por

Marco Alésio Figueiredo Pereira

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil**.

Orientadora: Prof^a.Dr^a. Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva

Santa Maria, RS, Brasil

2010

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**

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

**PROCESSOS HIDROSEDIMENTOLÓGICOS EM DIFERENTES
ESCALAS ESPAÇO TEMPORAIS NO BIOMA MATA ATLÂNTICA.**

elaborada por

Marco Alésio Figueiredo Pereira

Como requisito parcial para obtenção do grau de

Mestre em Engenharia Civil

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof^a. Dr^a. Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva- UFSM

Prof. Dr. Jean Paolo Gomes Minella - UFSM

Prof^a. Dr^a. Iria Fernandes Vendrame - ITA

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus

Agradeço aos meus pais Ana Candida Figueiredo Pereira e Domingos Ozorio Pereira pela educação, incentivo e ensinamentos que me fizeram ser o homem que sou hoje. Agradeço aos meus irmãos por todo apoio despendido, em especial à Magda Cristina.

Agradeço a professora Eloíza Maria Cauduro Dias de Paiva pela orientação e oportunidade de realização deste trabalho.

Agradeço a Neusa Nicolini por seu apoio e incentivo nos momentos difíceis.

Agradeço aos professores do Departamento de Hidráulica e Saneamento pela dedicação e transmissão do conhecimento.

A CAPES pelo apoio financeiro para realização deste curso;

Agradeço a FINEP, pelos recursos dos projetos de pesquisa MATASUL e CLIMASUL.

Aos amigos e funcionários do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental José Astério, Alcides Sartori e Eliomar Pappis, pelo apoio e amizade.

Ao irmão e mestrando Thiago Formentini pelo apoio e parceria.

Aos amigos e mestres Ana Lúcia Denardin da Rosa e Rafael Feltrin.

Aos amigos e bolsistas, Anderson Alves, Bruno Denardin da Rosa, Carolina Victória da Costa Ribeiro, Denise Gracieli Challemberger, Fabio Belling, Gabriela Cechin, Juglans Godoy, Juliano Libraga, Liane Cela Cassol, Lariane Schossler de Brites, Luciane Calheiro, Luiza Carbunck Godoi e Natalia Pigatto Silveira.

Agradeço a todas as pessoas que de uma forma ou outra colaboraram para a elaboração deste trabalho.

A todos muito obrigado.

“Pesquisa para constatar, constatando, intervenho, intervindo educo e me educo. Pesquisa para conhecer o que ainda não conheço e comunicar ou anunciar a novidade”.

Paulo Freire

RESUMO

Dissertação de Mestrado

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

PROCESSOS HIDROSSEDIMENTOLÓGICOS EM DIFERENTES ESCALAS ESPAÇO TEMPORAIS NO BIOMA MATA ATLÂNTICA.

Autor: MARCO ALÉSIO FIGUEIREDO PEREIRA

Orientador: Prof^a. Dr^a. Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva

Data e Local da Defesa: Santa Maria, Junho de 2010

O presente trabalho tem por objetivo avaliar os processos hidrossedimentológicos em diferentes escalas espaço temporais no bioma Mata Atlântica, através do monitoramento de um lisímetro volumétrico com 1m³ e duas bacias hidrográficas embutidas: Rancho do Amaral (4,45Km²) e Rincão do Soturno (11,98Km²), áreas inseridas no interflúvio da bacia do Vacacaí Mirim, Santa Maria-RS.

As variáveis selecionadas para execução deste trabalho foram monitoradas no decorrer do ano de 2009, sendo monitorada a precipitação com o auxílio de dois pluviógrafos automáticos, o nível do rio com o auxílio de dois linígrafos automáticos. Também foram realizadas medições de descarga líquida e sólida em estações instaladas na foz de cada bacia, coletadas amostras de sedimentos em suspensão com amostradores pontuais automáticos, e monitorados a concentração de sedimentos em suspensão através de duas sondas de turbidez.

A bacia Rancho do Amaral apresentou descarga líquida média anual de 0,078m³/s, vazão específica de 17,98L/s.Km² e sólida de 0,093ton/dia, enquanto a bacia Rincão do Soturno apresentou descarga líquida média anual de 0,164m³/s, vazão específica de 13,36L/s.Km² e sólida de 0,157ton/dia.

Para comparação da concentração de sedimentos em suspensão entre as respectivas bacias foram selecionados cinco eventos representativos, nos quais se puderam tirar algumas conclusões: a bacia Rincão do Soturno apresenta 52,58mg/L de sedimentos em suspensão a mais que a bacia Rancho do Amaral, equivalente a 67%, quando há ocorrência de precipitação. Quando não há precipitação a superioridade fica em 7,29mg/L, equivalente a 34%.

A escala temporal da produção de sedimento foi avaliada em intervalos de 10 minutos a 1 dia, constatando-se que as leituras de 10min apresentaram maior produção e com o aumento da escala temporal o decréscimo tende a se estabilizar.

Do material coletado no lisímetro, 58% foi areia fina. Na bacia Rancho do Amaral, o material coletado predominante também foi areia fina, com 46%. Na bacia Rincão do Soturno, o material predominante foi o silte, com 47,55%. Comparando a produção de sedimentos por m² nas duas bacias monitoradas constata-se que a produção na bacia Rancho do Amaral é 20% maior que na bacia Rincão do Soturno.

ABSTRACT

Master's Essay

Post-Graduation Program in Civil Engineering

Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

PROCESSES HYDROSEDIMENTOLÓGICAL AT DIFFERENTE ESCALES SPACE STORMS IN ATLANTIC FOREST BIOME.

Author: Marco Alésio Figueiredo Pereira

Advisor: Dra. Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva

Date and Local: Santa Maria, June, 2010.

This study aims to evaluate the hydrosedimentological processes at different time-space scales in the Floresta Atlântica biome, by monitoring a volumetric lysimeter of 1m³ in size and two built-in basins: Rancho do Amaral (4,45km²) and Rincão do Soturno (11.98km²), inserted in the interfluve areas of Vacacaí Mirim basin, Santa Maria-RS.

The selected variables for implementation of this study were monitored during the year 2009, the precipitation being monitored with the aid of two automatic pluviographs, the level of the river with the help of two automatic linígrafos. Liquid and solid discharge measurements were also carried out in stations installed at the mouth of each river, samples of sediments in suspension were collected with automatic punctual samplers and concentration of suspended sediment were monitored through two turbidity probes.

Rancho do Amaral basin showed average annual liquid discharge of 0.078m³/s, specific flow of 17.98L/s.Km² and solid of 0.093 ton/day, while the Rincão do Soturno basin showed average annual liquid discharge of 0.164m³/s, specific flow of 13.36L/s.Km² and solid of 0.157 ton/day.

Five representing events were selected to compare the concentration of suspended sediments between the two basins, leading to some conclusions: Rincão do Soturno basin presents a higher concentration of 52.58 mg/L in suspended sediments, equivalent to 67%, compared to Rancho do Amaral basin, in precipitation events. In precipitation absence, the superiority is of 7.29 mg/L, equivalent to 34%.

The time scale for the sediment yield was evaluated at intervals of 10 minutes to 1 day, noting that the readings of 10 minutes showed higher production and with increasing time scale the decrease tends to stabilize.

Of the material collected in the lysimeter, 58% was fine sand. In Rancho do Amaral basin, collected material was also predominantly fine sand, with 46%. In the Rincão do Soturno basin, the material was predominantly silt, with 47.55%. Comparing the sediment yield per m² in the two monitored basins, it appears that the Rancho do Amaral basin's production is 20% higher than in the Rincão do Soturno basin.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Resumo das características fisiográficas das bacias monitoradas.....	41
TABELA 2 – Distribuição do tipo de solo nas bacias.....	45
TABELA 3 – Distribuição do uso e ocupação do solo nas bacias.....	47
TABELA 4 – Datas em que as precipitações diárias das bacias Rancho do Amaral e Rincão do Soturno foram superior as precipitações diárias históricas da estação do INMET.....	68
TABELA 5 - Representação das amostras coletadas com o amostrador USDH-48 na estação Rancho do Amaral.....	71
TABELA 6 - Representação das amostras coletadas com o amostrador USDH-48 na estação Rincão do Soturno.....	72
TABELA 7 – Granulometria do material coletado no lisímetro e nos Amostradores torpedos das estações Rancho do Amaral e Rincão do Soturno.....	75
TABELA 8 – Granulometria do material coletado como amostrador ISCO e coletas em campo.....	76
TABELA 9 – Porcentagem de Areia, Silte e Argila encontrada nas coletas das bacias monitoradas.....	78
TABELA 10 – Escoamento superficial ocorrido no lisímetro instalado na bacia Rancho do Amaral.....	78
TABELA 11 – Total precipitado, total escoado e porcentagem escoada de cada evento.....	86
TABELA 12 - Resumo dos dados adquiridos.....	94
TABELA 13 – Leituras de concentração de sedimentos em suspensão em intervalos de tempo de 10, 20, 30, 60, 120, 240 e 1440min.....	97
TABELA 14 – Resumo dos resultados encontrados em sub-bacias já monitoradas da bacia do Vacacaí Mirim.....	101

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Bacia hidrográfica e o relacionamento com a produção de sedimentos. Modificado de Schumm (1988).....	26
Figura 2 – Pico da concentração se antecipando ao pico da vazão. Fonte: Carvalho (2008).....	27
Figura 3 - Simultaneidade entre o pico de concentração e o pico da vazão. Carvalho (2008).....	28
Figura 4 - Pico de concentração posterior ao pico da vazão. Carvalho (2008).	28
Figura 5 - Distribuição de sedimentos na vertical. Fonte: Carvalho (2008)	29
Figura 6 - Localização da bacia do rio Vacacaí Mirim e das bacias Rancho do Amaral e Rincão do Soturno.....	41
Figura 7- Mapa das curvas de nível nas bacias do Rancho do Amaral e Rincão do Soturno.	44
Figura 8- Mapa de solos nas bacias do Rancho do Amaral e Rincão do Soturno.	46
Figura 9- Mapa de uso e ocupação do solo nas bacias do Rancho do Amaral e Rincão do Soturno.	47
Figura 10- (a) Pluviógrafo de balança; (b) Pluviógrafo de báscula.	48
Figura 11 – Representação esquemática das variáveis envolvidas no monitoramento P= Precipitação; ETP= Evapotranspiração; ΔA = variação no armazenamento entre o início e o fim do intervalo de tempo, I= Infiltração e ES= Escoamento superficial. Fonte: Modificado de Feltrin (2009)	50
Figura 12 – Medidor eletrônico de nível Thalimedes.	51
Figura 13 – (a) - Medição de descarga líquida na estação fluviosedimentométrica Rancho do Amaral. (b) Micro-molinete Ott em medição.	53
Figura 14 – Amostrador de sedimentos em suspensão marca ISCO modelo FR760.....	54

Figura 15 – Amostrador de sedimentos em suspensão USDH – 48, marca Hidromec.	55
Figura 16 – Amostrador de sedimentos em suspensão Torpedo.	56
Figura 17 - Tubo de retirada pela base.....	60
Figura 18 - Peneiras com material retido para determinação da granulometria do material.....	61
Figura 19 - Ilustração das sondas utilizadas no monitoramento da turbidez. ...	63
Figura 20 – Seção de medição da bacia Rincão do Soturno após o evento ocorrido em 04/01/2010.....	65
Figura 21 - Precipitação mensal observada nas estações Rancho do Amaral, Rincão do Soturno e INMET Santa Maria.....	66
Figura 22 - Gráfico de cota x descarga líquida da estação Rancho do Amaral.	68
Figura 23 – Gráfico de cota x descarga líquida da estação Rincão do Soturno.	69
Figura 24 – Dispersão da descarga líquida x descarga sólida estação Rancho do Amaral.	70
Figura 25 – Dispersão da descarga líquida x descarga sólida da estação Rincão do Soturno.	72
Figura 26. - Granulometria do material coletado no lisímetro e nos torpedos. .	74
Figura 27 – Granulometria do material em suspensão.	76
Figura 28 – Precipitação e escoamento superficial em eventos selecionados durante o ano de 2009.....	79
Figura 29 – Evento ocorrido em 18/01/09 às 19h a 19/01/09 às 20h.	79
Figura 30 - Evento ocorrido em 28/01/09 às 13h a 30/01/09 às 14h.	80
Figura 31 - Evento ocorrido em 11/02/09 das 04h às 12h.....	80
Figura 32 - Evento ocorrido em 18/02/09 às 16h a 21/02/09 às 18h.	81
Figura 33- Evento ocorrido em 22/02/09 às 22h a 23/02/09 às 14h.....	81
Figura 34 - Evento ocorrido em 02/03/09 das 2h às 18h.....	82
Figura 35 - Evento ocorrido em 26/09/09 às 17h a 28/09/09 às 15h.	82

Figura 36 - Evento ocorrido em 11/10/09 das 11h às 20h.....	83
Figura 37 - Evento ocorrido em 03/11/09 das 08h às 17h.....	83
Figura 38 - Evento ocorrido em 02/12/09 das 05h às 17h.....	84
Figura 39 - Evento ocorrido em 06/12/09 das 00h às 11h.....	84
Figura 40 – Gráfico de concentração x turbidez da estação Rincão do Soturno.	87
Figura 41 – Comportamento da concentração de sedimentos em suspensão e turbidez da estação Rincão do Soturno.....	88
Figura 42 – Gráfico de concentração x turbidez da estação Rancho do Amaral.	89
Figura 43 – Correlação do comportamento da concentração de sedimentos em suspensão e turbidez da estação Rancho do Amaral.....	89
Figura 44 – Precipitação e CSS ocorrido de 01/09/09 a 03/09/09.....	90
Figura 45 – Precipitação e CSS ocorrido de 04/11/09 a 05/11/09.....	91
Figura 46 – Precipitação e CSS ocorrido de 18/11/09 a 21/11/09.....	91
Figura 47 – Precipitação e CSS ocorrido em 11/12/09.....	92
Figura 48 – Precipitação e CSS ocorrido em 26/12/09 e 27/12/09.....	92
Figura 49 – Correlação do pique de CSS e o pique de descarga líquida para a bacia Rancho do Amaral.....	97
Figura 50 – Correlação do pique de CSS e o pique de descarga líquida para a bacia Rincão do Soturno.....	98
Figura 51 – Descarga sólida de 01/09/2009 a 03/09/2009.....	98
Figura 52 – Descarga sólida de 04/11/2009 a 05/11/2009.....	99
Figura 53 - Descarga sólida de 18/11/2009 a 22/11/09.....	99
Figura 54 – Descarga sólida de 11/12/2009.....	100
Figura 55 - Descarga sólida de 26/12/2009 e 27/12/2009.....	100
Figura 56 – Mapa de produção de sedimento por m ² em cada bacia.....	102

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ADCP – Acoustic Doppler Current Profiler;

CAPES – Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior;

cm – centímetros;

CSS - Concentração de Sedimentos em Suspensão;

D₂₀ - Diâmetro de 20% do que passa;

D₃₅ - Diâmetro de 35% do que passa;

D₅₀ - Diâmetro de 50% do que passa;

D₆₅ - Diâmetro de 65% do que passa;

D₉₀ - Diâmetro de 90% do que passa;

EUA – Estados Unidos da América;

h - hora

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

IPH-UFRGS - Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul;

Km² - Kilômetro quadrado

m – metros;

mg/L – miligrama por litro

min – minuto;

mm – milímetro

m³/s – metros cúbicos por segundo;

MUSLE – Equação Universal de Perda do Solo Modificada;

NTU – Unidade Nefelométrica de Turbidez;

PCD – Plataforma de Coleta de Dados;

ppm- Parte por milhão;

R² - Coeficiente de determinação;

RUSLE – Equação Universal de Perda do Solo Revisada;

Q – Descarga líquida (m³/s);

Q_s – Descarga sólida (ton/dia),

USGS - United States Geological Survey e
USLE – Equação Universal de Perda do Solo.

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	17
1.1 - Objetivos Gerais	18
1.1.1 - Objetivos Específicos	19
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1 - Generalidades	19
2.2 - Bacia hidrográfica como unidade de planejamento	20
2.3 - Precipitação	21
2.4 - Escoamento superficial	21
2.5 - Hidrossedimentologia e processos erosivos	22
2.6 - Importância do monitoramento	24
2.7 - Produção de sedimentos	24
2.8 - Transporte do sedimento	26
2.9 - Formas de amostragem do sedimento em suspensão	29
2.9.1 - Amostragem indireta	30
2.9.2 - Amostragem direta	30
2.10 - Estimativa da produção de sedimentos em escala espaço temporal	32
2.10.1 - USLE	34
2.10.2 - MUSLE	35
2.10.3 - RUSLE	35

2.11 - Produção de sedimentos em diferentes escalas.....	36
2.12 - Relação entre concentração de sedimentos em suspensão e turbidez.	39
3 - BACIAS EM ESTUDO.....	40
3.1 - Aspectos gerais das bacias Rancho do Amaral e Rincão do Soturno.....	40
3.2 - Caracterização Geológica.....	42
3.3 - Caracterização Geomorfológica	42
3.4 - Caracterização Climática.....	44
3.5 - Caracterização do solo da bacia.....	45
3.6 - Características da vegetação e uso do solo.....	46
4 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	48
4.1 - Medidas Pluviográficas	48
4.2 - Lisímetro.....	49
4.3 - Monitoramento de níveis.....	51
4.4 - Medição de descarga líquida.....	52
4.5 - Coletas de sedimentos em suspensão	53
4.6 - Análises de laboratório.....	56
4.6.1 - Determinação do método de análise.....	57
4.6.2 - Método de Evaporação.....	57
4.6.3 - Método da filtração	58
4.6.4 - Tubo de retirada pela base.....	59
4.7 - Sonda de turbidez	61
4.8 - Dificuldades encontradas.....	63
5 - RESULTADOS.....	65
5.1 - Precipitação.....	65

5.2 - Medições de descarga líquida nas estações.....	67
5.3 - Medições de descarga sólida nas estações	69
5.4 - Granulometria do material.....	72
5.4.1 - Material coletado no lisímetro e nos amostradores torpedos.....	72
5.4.2 - Material coletado com o amostrador ISCO e coletas realizadas em campo.	75
5.5 - Escoamento superficial no lisímetro.....	77
5.6 - Aferição das sondas de turbidez.....	86
5.7 – Comparação da produção de sedimentos das bacias monitoradas	90
5.7.1 – Resumo dos dados adquiridos nas bacias monitoradas.....	93
5.7.2 - Comparação com outras bacias na mesma região.....	101
6 - CONCLUSÕES e RECOMENDAÇÕES	103
7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105
8 - ANEXOS.....	113
Anexo1 - Tabela de Evaporação.....	114
Anexo 2 – Planilha de Tubo de retirada pela base	114
Anexo 3 – Calibração da sonda de turbidez DTS 12.....	116
Anexo 4 – Tabela de granulometria das amostras coletadas em campo. 	117

1 - INTRODUÇÃO

Com o advento de tecnologias que propiciaram melhores condições de vida para os seres humanos e para o desenvolvimento da sociedade, houve um significativo aumento na população do planeta. Conseqüentemente, no anseio de suprir as necessidades da sociedade consumista, na qual se priorizava a produção, o consumo e o lucro, a conservação do meio ambiente ficou em segundo plano, desencadeando diversas ações que degradam o meio ambiente. Pode-se dizer que a globalização da questão ambiental teve início com a 1ª Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente - realizada em Estocolmo em 1972 - movida pela degradação ambiental em todo o planeta, a qual se refletia em uma poluição industrial, exploração dos recursos naturais, deterioração das condições ambientais, problemas sanitários, déficit de nutrição e aumento da mortalidade (CUNHA e GUERRA, 1998). Problemas como efeito estufa e aquecimento global, chuva ácida e aparecimento de buracos na camada de ozônio são efeitos dos processos de industrialização e da vida urbano-industrial.

Com o aumento do consumo, principalmente de alimentos houve a necessidade de expandir áreas cultiváveis, muitas vezes, transformando em lavouras locais não propícios para esse uso, como áreas declivosas, margens de rios, matas, entre outras.

As práticas inadequadas de uso e conservação do solo ocasionam o desgaste do mesmo, podendo até mesmo levar a sua esterilidade. Dentre essas mazelas de degradação, pode-se citar a compactação, lixiviação, salinização, e erosão. Mesmo sendo a erosão parte integrante do ciclo das rochas, o mau uso do solo resultante da ação antrópica ocasiona aceleração desse processo, carreando as partículas fragmentadas para outros locais. Geralmente, os cursos d'água são os principais agentes receptores e transportadores dessas partículas.

A produção e transporte de sedimentos ocorre em diferentes escalas espaciais que vai desde a desagregação da partícula, seu transporte até sua deposição. Numa escala temporal a produção de sedimentos pode ser

entendida em um evento ou até mesmo em Eras geológicas. Mediondo e Tucci (1997) colocam que o problema reside em conhecer como variáveis e parâmetros são representados em diferentes escalas e como estabelecer as funções de transferência entre essas escalas.

A quantificação e monitoramento da produção de sedimentos podem ser realizados através de coletas de dados de campo, cálculo de valores paramétricos, informações de imagens de satélites, fotos aéreas, mapas, entre outros. Tendo como objetivo traçar diretrizes de soluções de problemas que minimizem os agentes impactantes o estudo hidrossedimentológico de uma bacia faz-se de suma importância para o conhecimento das condições do seu uso e ocupação do solo, sua produção e transporte de sedimentos.

Dentro desse contexto o estudo da produção hidrossedimentométrica em efeito de escala em bacias embutidas no bioma Mata Atlântica, partindo de um lisímetro (1m²), bacia Rancho do Amaral (4,45 Km²) e bacia Rincão do Soturno (11,98 Km²) áreas inseridas no interflúvio da bacia do Vacacaí Mirim, Santa Maria – RS, faz-se necessário conhecer.

Pois em detrimento de se conhecer as dinâmicas espaço temporais dos processos hidrossedimentológicos, o conhecimento das inferências escalares faz-se preponderantes, assim no contexto deste trabalho na análise da micro-escala, o início do movimento, o estudo dessas inferências partiu de 1m². Na mesoescala que é a escala das bacias hidrográficas a análise se fez em relação ao conjunto de múltiplos processos que geram o escoamento.

Devido às duas bacias em estudo apresentarem importância regional, por serem contribuintes à bacia incremental do reservatório do Vacacaí Mirim em 41%. Este reservatório tem área inundada de 0,74 Km², sendo responsável por parcela significativa do abastecimento público para o município de Santa Maria – RS (DILL, 2004).

1.1 - Objetivos Gerais

Esta pesquisa foi desenvolvida como um sub-projeto do projeto da Rede de Pesquisa em Bacias Representativas e Experimentais no Bioma Mata Atlântica, na Região Sul do Brasil, desenvolvido por uma rede de pesquisa envolvendo instituições de ensino e pesquisa dos estados do Paraná, Santa

Catarina e Rio Grande do Sul, com o apoio da FINEP/CNPq/CT-Hidro, cuja área de atuação é a bacia do arroio Vacacaí-Mirim, em Santa Maria, RS. Possui entre seus objetivos e metas obter uma melhor compreensão e representação dos processos hidrossedimentológicos em diferentes escalas espaciais, partindo de um lisímetro com 1m² de área superficial e duas bacias com 4,45km² e 11,98km² e temporais no bioma da Mata Atlântica, na Região Sul do Brasil.

1.1.1 - Objetivos Específicos

Avaliar a produção e transporte de sedimento em diferentes escalas em área inserida no bioma Mata Atlântica.

Determinar a curva chave de descarga líquida e sólida das duas seções de medições inseridas na área de estudo.

Determinar a correlação de turbidez e concentração de sedimentos em suspensão nas seções das bacias em estudo.

Comparar métodos de monitoramento de produção de sedimentos de pequenas bacias.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Generalidades

Os processos naturais, como formação do solo, lixiviação, erosão, deslizamentos, modificação do regime hidrológico e da cobertura vegetal, entre outros, decorrem nos ambientes naturais, mesmo sem a intervenção humana. No entanto, quando o homem desmata, planta, constrói, transforma o ambiente, esses processos ditos naturais, tendem a ocorrer com intensidade muito mais violenta e, nesse caso, as conseqüências para a sociedade são quase sempre desastrosas (CUNHA & GUERRA 1998).

2.2 - Bacia hidrográfica como unidade de planejamento

Segundo Cunha & Guerra (1998), as bacias hidrográficas contíguas, de qualquer hierarquia, estão interligadas pelos divisores topográficos, formando uma rede onde cada uma delas drena água, material sólido e dissolvido para uma saída em comum ou ponto terminal, que pode ser outro rio de hierarquia igual ou superior, lago, reservatório ou oceano.

Segundo Tucci (2001), a bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório. A bacia hidrográfica compõe-se 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.

A LEI N° 9.433, de 08 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, no seu Capítulo I, Artigo 1°, Inciso V, prevê que a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

A LEI N° 10.350, de 30 de dezembro de 1994, institui o Sistema Estadual de Recursos Hídricos em Parágrafo único: Os recursos hídricos são considerados na unidade do ciclo hidrológico, compreendendo as fases aérea, superficial e subterrânea, e tendo a bacia hidrográfica como unidade básica de intervenção.

No Brasil, há grande carência de dados hidrológicos de pequenas bacias. A instalação e coleta de dados tiveram como seu principal agente o setor de geração de energia elétrica. Desta forma, há poucos postos em bacias com menos de 500 Km². O monitoramento de pequenas bacias reveste-se, portanto, de fundamental importância para a complementação da rede de informações hidrológicas, além de sua natural vocação para o estudo do funcionamento dos processos físicos, químicos e biológicos atuantes no ciclo hidrológico (GOLDEFUM, 2003).

2.3 - Precipitação

Sendo a precipitação a principal fonte de entrada de água e energia constituinte do ciclo hidrológico para abastecimento de uma bacia hidrográfica, é a partir dela que ocorrem outras variáveis do sistema como a evapotranspiração, infiltração e escoamento sub-superficial e superficial.

O termo “precipitação” em meteorologia e climatologia é usado para qualquer deposição em forma líquida ou sólida derivada da atmosfera. Conseqüentemente, o termo refere-se às várias formas líquidas e congeladas de água, como a chuva, neve, granizo, orvalho e nevoeiro (AYOADE, 1998).

A precipitação é medida como a profundidade vertical de água (equivalente à água ou, no caso de neve), que se acumula sobre uma superfície plana, se toda a precipitação permaneceu onde caiu (WANIELISTA *et al.*, 1997).

As medidas de precipitação podem ser efetuadas pontualmente por equipamentos apropriados como os pluviômetros e os pluviógrafos. Outras formas de medidas de precipitação podem ser por radar, na falta de uma cobertura espacial de pluviômetros (PETER e SELLERS, 1999). Ou então por satélites e transmissão de dados por telemetria de PCD.

2.4 - Escoamento superficial

O escoamento superficial é oriundo da precipitação efetiva de um evento pluviométrico. Para muitos eventos de precipitação existe um período inicial durante o qual toda a precipitação se infiltra no solo. Durante este período e como a água se infiltra, a capacidade de infiltração decresce até se tornar menor que a intensidade de precipitação; a partir deste momento, a água começa a se acumular sobre a superfície do solo nas microdepressões e o escoamento superficial pode ocorrer (Pruski *et al.*, 2004, apud, Santos, 2010). Esse entendimento do escoamento é definido como o escoamento Hortoniano,

pela teoria postulada o escoamento superficial é gerado em toda área de drenagem da bacia hidrográfica.

Outra alternativa do entendimento do escoamento superficial foi postulada por Dunne e Black em 1970, nos Estados Unidos, estes introduziram o conceito de “área variável de contribuição” onde o escoamento ocorre somente em áreas parciais da bacia, no qual, a variação se dá temporal e espacialmente em função da umidade da bacia e da dinâmica de cada evento de precipitação (Moraes *et al.*, 2003).

Diversos trabalhos realizados em bacias experimentais demonstram que o desmatamento produz aumento do escoamento superficial, Benito *et al.*, (2003), Sato *et al.*, (2007), Mohammad e Adam (2010), entre outros. Em bacias com floresta e vegetação fechada, as precipitações de baixa intensidade normalmente não geram escoamento. No entanto, após um período chuvoso de grande intensidade, ocorre escoamento quando a capacidade de interceptação da bacia é atingida, contudo, com volume inferior se comparado ao escoado em bacias desmatadas (TUCCI, 2002). Além disso, a presença de florestas propicia a redução das vazões médias anuais e do fluxo de base, especialmente em decorrência do aumento da evapotranspiração (BACELLAR, 2005).

O escoamento superficial juntamente com o impacto da gota da chuva é responsável pela desagregação da partícula do solo, e responsável pelo transporte dessa partícula, carreando-as através da drenagem e microdrenagem do terreno até os maiores fluxos de água.

2.5 - Hidrossedimentologia e processos erosivos

O estudo da erosão é muito importante sob os aspectos sociais e econômicos, uma vez que é responsável pelos danos em terras agricultáveis e em outras áreas de interesse imediato, bem como pelos efeitos indiretos de assoreamento dos rios e lagos (CARVALHO, 2008).

Para se ter uma visão holística dos sedimentos deve-se ter o entendimento que o sedimento é uma partícula mineral que faz parte de um processo erosivo. A erosão é um conjunto de processos, segundo, os quais o

material terroso ou rochoso é desgastado, desagregado e removido de algum lugar da superfície da terra, conseqüentemente, alterando-a localmente com diferentes taxas de mudanças. Em nível global e considerando-se grandes períodos de tempo geológico pode-se dizer que estas mudanças se operam lenta e continuamente (SIMÕES e COIADO, 2003).

Em sentido amplo, a erosão consiste no desgaste, no afrouxamento do material rochoso e na remoção dos detritos através dos processos atuantes na superfície da Terra (BIGARELLA, 2003).

O processo erosivo é definido em três etapas distintas que são a desagregação, transporte e deposição. Os processos de erosão e sedimentação numa bacia hidrográfica podem trazer muitos problemas, na área agrícola a erosão ocasiona a perda da camada superficial do solo, reduzindo sua produtividade. Podendo ocasionar o assoreamento dos rios, diminuindo a profundidade de sua calha, facilitando o seu transbordamento e conseqüentemente a inundação de áreas próximas as suas margens.

Sedimentos erodidos removem a matéria orgânica do solo, degradando sua estrutura e reduzindo sua fertilidade. Carreando nutrientes, particularmente fósforo, contribuem para a eutrofização de riachos e reservatórios. Absorvendo pesticidas são agentes catalisadores e carreadores diminuindo a qualidade da água de superfície (ELLIOT e WARD, 1995).

A deposição de sedimentos tem sua maior importância no estudo de assoreamento de reservatórios, devido ao fator inevitável de que com a construção de um barramento no curso d'água ocasionará a diminuição da velocidade de fluxo, ocasionando maior sedimentação das partículas em suspensão nos seus diversos tamanhos.

Apesar dos diversos problemas que podem ser ocasionados pela presença excessiva de sedimentos nos cursos d'água, seu fluxo é fundamental para a manutenção dos ambientes naturais. Eles transportam nutrientes importantes para a manutenção da flora e da fauna aquática e das margens, constituem e mantêm praias em rios, além do equilíbrio dos fluxos sólido e líquido entre os continentes e as zonas costeiras.

2.6 - Importância do monitoramento

A capacidade em compreender os processos hidrossedimentológicos de uma bacia hidrográfica, e conseqüentemente, propor alternativas de uso correto dos recursos naturais depende, fundamentalmente, do monitoramento das variáveis envolvidas em um período representativo (MINELLA, 2004).

O tempo de resposta da vazão e produção de sedimentos, frente a uma precipitação, é pequeno, exigindo equipamentos adequados e acompanhamento técnico. Em pequenas bacias hidrográficas é essencial que os eventos de chuva-vazão-sedimentos sejam monitorados, pois grande parte dos hidrogramas e sedimentogramas tem duração de poucas horas. Informações diárias não representam os processos ocorrentes nestas bacias hidrográficas (MINELLA, 2004).

A má utilização dos recursos naturais conduz à destruição do meio ambiente, focando na área do uso e ocupação do solo, essa má utilização pode muitas vezes acelerar os processos erosivos, ocasionando a degradação do mesmo, viabilizando a formação de ravinas podendo chegar a vossorocas, contribuindo com o assoreamento de cursos d'água e propiciando inundações, entre outros. No entanto, os levantamentos do uso e ocupação do solo são de suma importância à medida que os efeitos de seu uso desordenado causam perturbações negativas no meio ambiente.

Nesse sentido, o monitoramento, entendido como um processo contínuo de medição das características de determinado fenômeno, torna-se fundamental para a compreensão deste fenômeno (KOBAYAMA *et al.*, 2006).

2.7 - Produção de sedimentos

A produção de sedimentos pode ser entendida pela quantidade de partículas de solo transportadas numa bacia hidrográfica pelo processo erosivo, a produção de sedimentos acontece através da associação de eventos

naturais e antrópicos que associado a diversas variáveis tem maior ou menor produção por área. A produção de sedimentos pode ser expressa em metros cúbicos ou em toneladas, quando referida à área da bacia, como produção específica, em m^3 ou $t/km^2/ano$.

Segundo Yang (1996) Os fatores que determinarão a produção de sedimentos de uma bacia hidrográfica pode ser resumido da seguinte forma:

- _ Quantidade e intensidade pluviométrica;
- _ Tipo de solo e formação geológica;
- _ Cobertura do solo;
- _ Uso do solo;
- _ Topografia;
- _ Taxa de erosão, drenagem, rede de densidade, declividade;
- _ Forma, tamanho e alinhamento dos canais;
- _ Características dos sedimentos, tais como granulometria e mineralogia, e características hidráulicas do canal.

Bordas e Semmelmann (2001) citam que a produção de sedimentos em uma bacia hidrográfica pode ser dividida em três grandes conjuntos que são: Interflúvios ou vertentes que constituem a área de captação e produção de sedimentos. Leitões ou calhas em que se concentra o escoamento e que têm por papel principal a propagação até a saída da bacia do complexo água - sedimentos produzidos pelos interflúvios. E planícies aluviais ou várzeas que circulam as calhas e que funcionam como receptores dos sedimentos produzidos mais a montante quando os rios transbordam, ou como áreas fornecedoras de sedimentos no resto do tempo.

De modo geral, o alto curso (interflúvios) é a área da bacia com maior degradação e o rio transporta elevadas quantidades de material grosseiro, com predominância do transporte de arraste, o médio curso é uma área de maior estabilidade, onde não há elevados acréscimos e perdas do volume transportado, que apresenta uma granulometria média; o baixo curso (planícies aluviais) é uma região de agradação, onde predomina a deposição dos sedimentos e o rio acaba transportando somente partículas finas (SANTOS, 2001).

A Figura 1 representa esquematicamente a bacia hidrográfica e o

relacionamento com a produção de sedimentos.

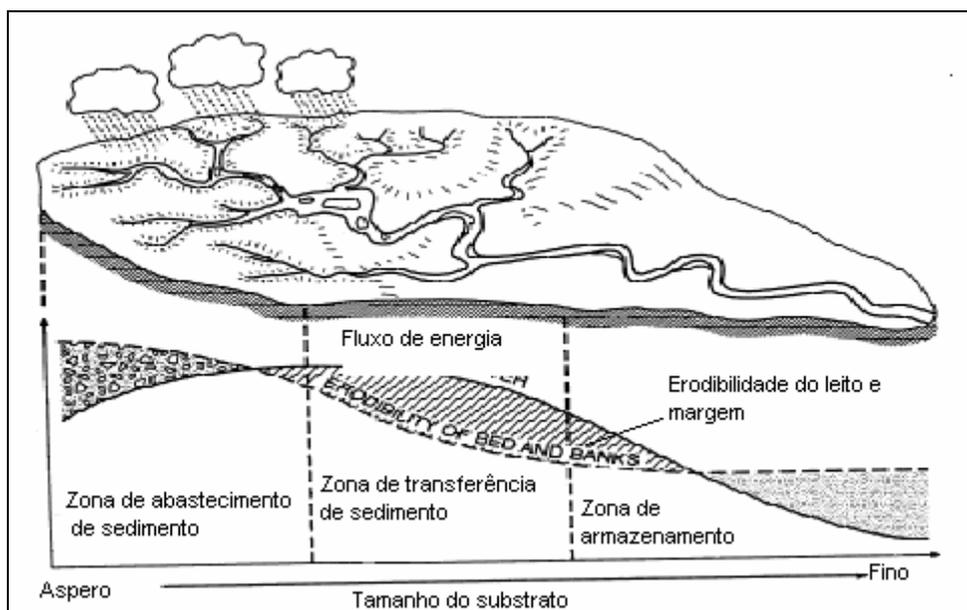


Figura 1 - Bacia hidrográfica e o relacionamento com a produção de sedimentos. Modificado de Schumm (1988).

2.8 - Transporte do sedimento

As formas do transporte podem ser definidas em três tipos conforme cita Carvalho (2008):

Carga Sólida de Arrasto – são as partículas de sedimento que rolam ou escorregam longitudinalmente no curso d'água. As partículas estão em contato com o leito praticamente todo o tempo.

Carga Sólida Saltante – são as partículas que pulam ao longo do curso d'água por efeito da correnteza ou devido ao impacto de outras partículas.

Carga Sólida em Suspensão – são as partículas que estão suportadas pelas componentes verticais das velocidades do fluxo turbulento, enquanto estão sendo transportadas pelas componentes horizontais dessas velocidades, sendo pequenas suficientemente para permanecerem em suspensão.

Contudo, as partículas de sedimentos que chegam ao curso d'água têm diversas formas, tamanhos e pesos que contribuirão para o tipo de transporte dessa partícula no decorrer do curso. Também se deve levar em consideração a forma do escoamento do fluxo se turbulento ou laminar, a velocidade da corrente, obstáculos no fluxo, diversas

outras forças inter-relacionadas como a temperatura da água, formas do leito, forma do canal, declividade do leito, entre outras.

Carvalho (2008) cita que a chuva é a maior responsável pelo processo erosivo e as enxurradas que transportam as partículas até os cursos d'água formam uma onda que acompanha a onda de enchente em três maneiras diferentes, como demonstram as figuras 2, 3 e 4.

Nas bacias analisadas observou-se que os picos de concentração e vazão ocorre simultaneamente, conforme demonstrado na figura 3.

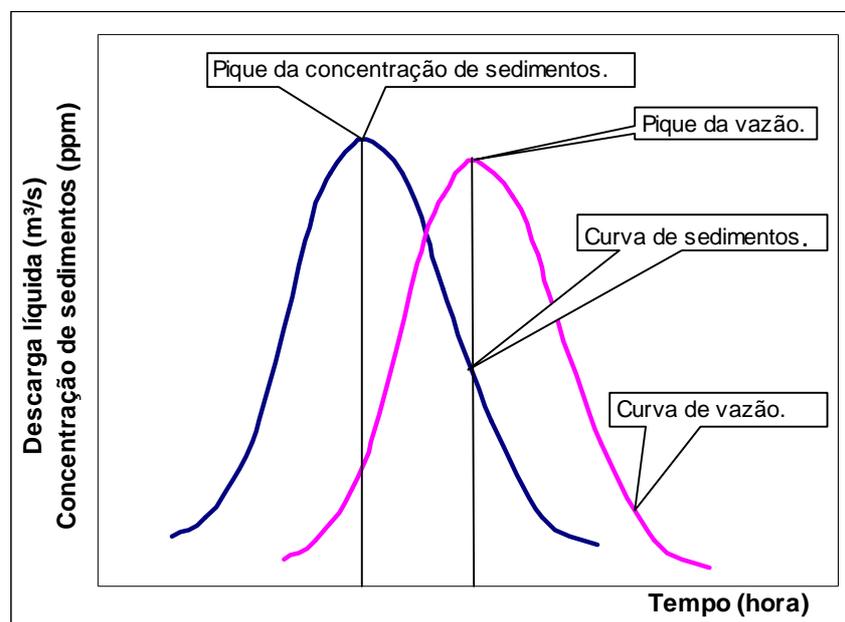


Figura 2 – Pico da concentração se antecipando ao pico da vazão. Fonte: Carvalho (2008)

Conforme Carvalho (2008), em relação ao transporte de sedimentos do rio principal, a carga em suspensão é predominantemente maior que a do fundo (90% a 95%) no alto curso. A carga de fundo vai crescendo à medida que a erosão da bacia vai diminuindo e a declividade do curso d'água também (65 a 90% de sedimento em suspensão).

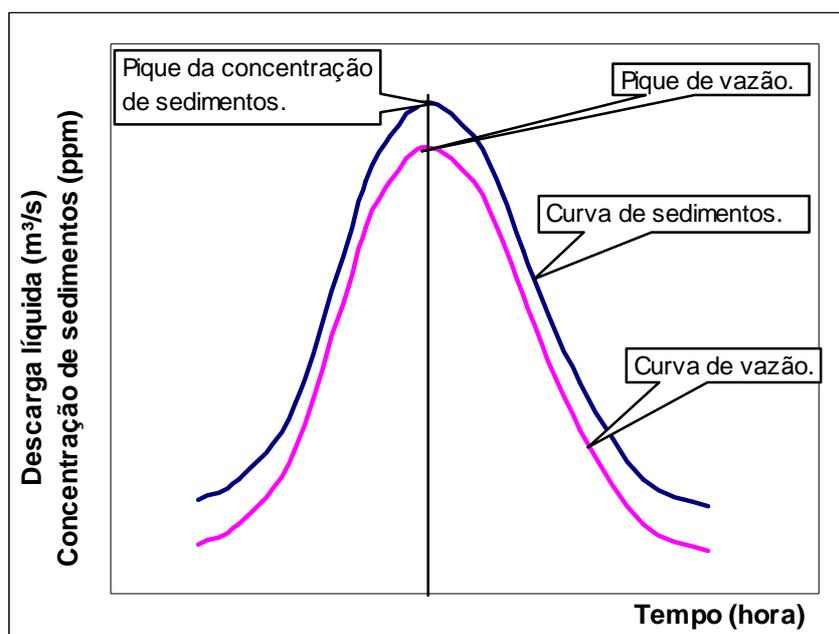


Figura 3 - Simultaneidade entre o pico de concentração e o pico da vazão. Carvalho (2008)

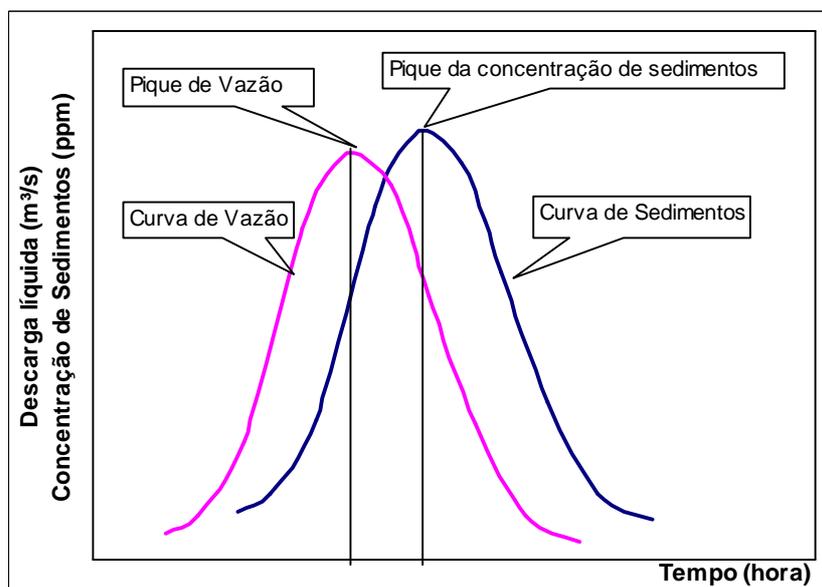


Figura 4 - Pico de concentração posterior ao pico da vazão. Carvalho (2008)

Estando a partícula do sedimento sujeita a ação da velocidade da corrente, e do seu peso, sua variação de distribuição dentro do fluxo d'água variará conforme demonstra a Figura 5, Carvalho (2008). A concentração do sedimento apresenta um mínimo na superfície e um máximo perto do leito, para uma granulometria variada. As partículas mais grossas do sedimento em

suspensão, geralmente areias, apresentam uma variação crescente da superfície para o leito. As partículas finas como silte e argila, têm uma distribuição aproximadamente uniforme na vertical.

Portanto, para poder monitorar o fluxo de sedimentos no curso d'água deve-se ter o entendimento como se comporta este sedimento no fluxo e quais são seus objetivos, para assim poder aplicar técnicas adequadas a sua pesquisa e em decorrência encontrar respostas condizentes com a realidade.

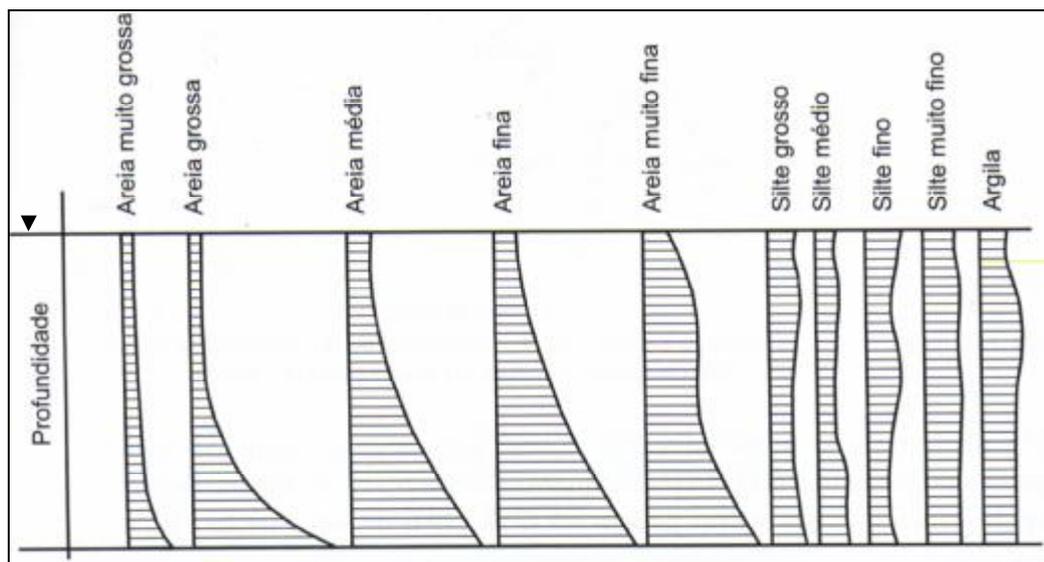


Figura 5 - Distribuição de sedimentos na vertical. Fonte: Carvalho (2008)

2.9 - Formas de amostragem do sedimento em suspensão

Quando as partículas de sedimentos entram no sistema fluvial estas podem ser estimadas através de equações de transporte sedimentar calculando-se a sua taxa de transporte ou então podem ser medidas em estações fluviosedimentométricas (YANG, 1996).

A quantificação do aporte de sedimentos em um fluxo d'água pode ser medida de forma direta e indireta. Carvalho (2008) relata que os equipamentos da hidrossedimentometria são fabricados para medição direta ou indireta da descarga sólida. Apesar de não existir uma divisão física bem definida entre as formas de transporte de sedimentos, existem equipamentos independentes para medição da descarga sólida em suspensão e de arrasto.

2.9.1 - Amostragem indireta

Para a medição indireta da descarga em suspensão, no qual, coleta-se amostras do fluxo (água/sedimento), os equipamentos utilizados para tais coletas podem ser divididos em três categorias:

- Amostradores instantâneos: coletam um volume de água/sedimento pelo fechamento instantâneo por meio de dispositivos nas extremidades do recipiente, exemplo: Garrafa de van Dorn.
- Amostradores por integração: acumulam no recipiente a mistura água/sedimento em certo tempo pela retirada do fluxo ambiente através de um pequeno bico ou bocal. Podem ser pontuais ou integradores na vertical, exemplo amostradores da série AMS-1, AMS-2 e AMS-3.
- Amostradores por bombeamento: retira a mistura água/sedimento através de um orifício pela ação de bombeamento. Podem ser pontuais ou integradores na vertical, como o amostrador ISCO.

2.9.2 - Amostragem direta

Para a medição direta da carga de sedimentos em suspensão, mesmo que de certa forma indireta, através de correlações, o advento de novas tecnologias vêm substituindo os métodos tradicionais de medição. Com instrumentos e métodos alternativos que produzem dados contínuos e de menor custo.

Gray e Gartner (2009) citam que propriedades ópticas da água (como a turbidez) vêm sendo muito utilizadas para a determinação da concentração de sedimentos em suspensão. Porém, outras técnicas como difração a laser, fotos digitais, métodos acústicos, e tecnologias baseadas em diferenças de pressão também estão sendo utilizados tanto para determinação da concentração de sedimentos em suspensão como para avaliações da granulometria.

Schoelhamer (2002) aborda que a utilização de propriedades ópticas para o monitoramento de turbidez e concentração de sedimentos em suspensão tem funcionado muito bem em uma série de casos.

A estimativa da CSS com uso do turbidímetro apresenta como principal vantagem a aquisição contínua de dados e o baixo custo operacional (MINELLA, *et al.*, 2009).

Para a difração a laser Gray e Gartner (2009) comentam que para realização de medições de CSS e sua distribuição granulométrica em rios é uma atividade relativamente recente, tendo sido desenvolvida originalmente, em 1990, para uso em ambientes marinhos e estuarinos.

O método é essencialmente insensível às mudanças na cor das partículas ou da composição, no entanto, os desvios da forma esférica produzem alterações para estimativa da granulometria dos sedimentos e volume de concentração (AGRAWAL & POTTSMITH, 2000).

Para as medições através de fotos digitais Gray e Gartner (2009) expressam que com base estatística a tecnologia calcula o tamanho das partículas suspensas em um fluxo contínuo de células. Sendo desenvolvido um protótipo que captura imagens de vídeo capaz de obter imagens bidimensionais de partículas em suspensão. A incorporação de um sistema multi-lente irá permitir a aplicação de areia, silte e argila, e a distribuição do tamanho do material em suspensão. O limite de concentração superior ainda está para ser estabelecido, mas os testes de até 10 g/L forneceram resultados precisos. Os testes e desenvolvimento da tecnologia estão sendo realizados pela USGS (Serviço Geológico dos Estados Unidos da América) no Observatório de Cascades Volcano, Vancouver, Washington, EUA.

O uso do ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) é uma tecnologia já consagrada para medições de descarga líquida. Simpson (2001) cita que o advento do ADCP possibilitou o desenvolvimento de um sistema de avaliação de descarga capaz de medir com mais precisão as instabilidades gravitacionais afetados pelo fluxo. Na maioria dos casos, um sistema de medição de descarga ADCP é praticamente mais rápido do que os sistemas de medição de descarga convencionais e se comparável apresenta melhor precisão. Em muitos casos, o sistema de medição de descarga por ADCP é a única escolha para uso em um local de medição específico.

Gartner (2002) coloca que a generalização da utilização de instrumentos acústicos para medir a velocidade da correnteza levou ao interesse na técnica de utilização destes sensores para estimar a concentração de sólidos

suspensos, pela intensidade de retroespalhamento acústico por ABS (Acoustic Backscattering Solids). Também relata que estimativas bem sucedidas da CSS pelo ABS oferece a promessa de que esta técnica pode ser apropriada e útil para a determinação da CSS com os instrumentos disponíveis comercialmente, como profilers Acoustic Doppler Current (ADCPs). Apesar das vantagens significativas para o método, os usuários devem estar cientes das limitações importantes para a técnica, como a frequência de operação do equipamento a ser utilizado. Bem como, devem ter consciência que esta técnica está em fase de estabelecimento.

Equipamentos com frequência única não podem diferenciar variações entre concentração e alterações na distribuição de tamanho de partícula, uma mudança no tamanho da distribuição será interpretado como uma mudança na concentração, a menor distribuição do tamanho da partícula, independente de medições indicam necessidade de “calibrações adicionais”. Outra limitação está associada com a relação entre a frequência do instrumento e distribuição de tamanho de partículas, pois dependendo da frequência de operação do equipamento este refletirá uma faixa de diâmetros de partículas.

Gray e Gartner (2009) relatam que a técnica de diferença de pressão baseia-se em medições simultâneas de dois sensores de pressão de precisão. A diferença nas leituras de pressão é convertida para um valor de densidade da água, da qual é inferida CSS após a correção para a temperatura da água (concentrações de sólidos dissolvidos nestes sistemas de água doce são irrelevantes no cálculo da densidade). A aplicação desta técnica no campo pode ser complicada em razão de ruído do sinal, turbulência, significativamente grandes concentrações de sólidos dissolvidos e variações de temperatura. A USGS está realizando experimentos em relação a esta nova tecnologia, no qual achou valores máximos na faixa de 17 g/L em Porto Rico e valores máximos de 380g/L em Arizona, U.S., porém novos experimentos estão sendo realizados para a validação deste novo método.

2.10 - Estimativa da produção de sedimentos em escala espaço temporal

Na escala temporal trabalhamos com a duração dos processos no

decorrer do tempo, essa variabilidade ocorrerá em virtude da ação antrópica e das condições de variabilidade climática.

As escalas temporais podem ser de curto prazo, como num evento chuvoso de minutos, horas ou poucos dias. Pode ser abordada dentro da variabilidade temporal sazonal (dentro do ano) que define o ciclo de ocorrência de períodos úmidos e secos. Na variabilidade interanual de curto prazo (poucos anos 2-3 anos) e na variabilidade decadal (dezenas de anos) que atuam fortemente sobre as condições climáticas do globo e outros períodos mais longos (TUCCI e MENDES 2006).

Na escala espacial a estimativa de perda de solos em bacias hidrográficas pode ser realizada com parcelas de erosão, lisímetros, (descrito no item 4.2), medições diretas e indiretas e modelos hidrossedimentológicos. Paiva (2003) afirma que os modelos de previsão podem ser classificados quanto à estrutura, em empíricos e conceituais. Os modelos empíricos utilizam relações empíricas simples, com interesse em estudos preliminares e estimativas grosseiras, tentando relacionar a concentração e vazão, não podendo prever sempre a variação da qualidade das águas superficiais e o impacto das mudanças das práticas agrícolas na qualidade das águas.

No entanto, em virtude dos modelos empíricos necessitarem menor número de dados de entrada, são mais utilizados que os modelos mais complexos. Particularmente são úteis como um primeiro passo a identificação das fontes de geração de sedimentos e nutrientes (MERRITT *et al.*, 2003).

Nos modelos conceituais, uma bacia hidrográfica é representada por sistemas de armazenamento. Estes tipos de modelos tendem a incluir uma descrição geral dos processos de captação permitindo uma indicação qualitativa e quantitativa dos efeitos das mudanças no uso da terra, sem necessidade de grandes quantidades de dados de entrada espacial e temporal (MERRITT *et al.*, 2003; AKSOY e KAVVAS, 2005).

Em relação à escala os modelos podem ser classificados em globais (consideram a bacia vertente como uma unidade homogênea em toda a sua superfície e desconsideram os processos de transformação e transporte) ou distribuídos, quando consideram heterogeneidades do clima, solo, vegetação, relevo e ocupação da bacia vertente (SOUZA *et al.*, 2006).

Existem, na literatura, diversos modelos hidrossedimentológicos, e

quase sempre estes modelos fornecem resultados satisfatórios numa bacia específica, depois da devida parametrização. A escolha de uma modelo de simulação mais apropriado para uma região depende de sua robustez, precisão, consistência e facilidade de parametrização regional (PAIVA *et al.*,2009).

Diante da diversidade de modelos hidrossedimentológicos encontrados, este trabalho se restringe em apenas fazer uma pequena explanação com enfoque especial na Equação Universal de Perda de Solo (USLE) e suas variações.

2.10.1 - USLE

A Equação Universal de Perda de Solo foi desenvolvida por Wischmeier e Smith (1975), sendo estabelecida com base em mais de 10.000 parcelas estudadas no Estados Unidos, com distintas características de solo, clima, relevo e cultivos. Com dimensões de área reduzidas está submetida exclusivamente a processos de erosão hídrica superficial do tipo laminar. É a fórmula mais empregada para cálculo da erosão em termos médios anuais.

A USLE tema a seguinte forma:

$$Y = R. K. L.S.C. P \quad (1)$$

onde:

Y = perda de solo por unidade de área e tempo, em t/ha/ano, ou outra unidade dependendo das que forem usadas nos diversos parâmetros;

R = fator de erosividade da chuva, que expressa à erosão potencial, ou poder erosivo da precipitação média anual da região, em t.m/ha.mm/hora;

K = fator de erodibilidade do solo que representa a capacidade do solo de sofrer erosão por uma determinada chuva, em t/ha/(t.m/ha.mm/hora);

L = fator topográfico que expressa o comprimento do declive em relação a uma parcela com 22m de comprimento;

S = fator topográfico que expressa à declividade do terreno ou grau do declive (9%);

C = fator que expressa o uso e manejo do solo e cultura,

P = fator que expressa à prática conservacionista do solo.

Segundo Casagrande (2004), a equação universal de perdas de solo pode ser usada para:

- Prever as perdas de solo por erosão;
- Selecionar práticas de conservação de solo de tal forma que sejam mantidas as perdas dentro dos limites aceitáveis;
- Determinar os declives máximos que podem ser cultivados sob determinados manejos e tipos de solo;
- Estudos e pesquisas.

2.10.2 - MUSLE

A MUSLE proposta por Williams (1975) é uma modificação da USLE através da substituição do fator de energia da chuva por um fator de escoamento superficial. Particularmente, este modelo destina-se a estimativa da produção de sedimentos em uma bacia com base em eventos de chuva isolados (PAIVA 2003; PANDEY, CHOWDARY e MAL, 2009).

A equação universal de perdas de solo modificada (MUSLE) tem a seguinte forma:

$$Y = \alpha \cdot (Q_s \cdot q_p)^\beta \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (2)$$

Onde:

Y = produção de sedimento para uma chuva individual, em toneladas;

Q_s = volume de escoamento superficial (m³);

q_p = vazão de pico do escoamento superficial, em m³/s;

α e β = coeficientes calibrados para a bacia em estudo;

K, LS, C, P = fatores da USLE descritos anteriormente.

2.10.3 - RUSLE

A RUSLE - ainda que, de concepção empírica - é um modelo consideravelmente dependente de sistemas computacionais. Suas vantagens sobre a USLE são: (a) uso de algoritmos para efetuar cálculos; (b) desenvolvimento de um termo de erodibilidade variável sazonalmente; (c) utilização de novos algoritmos para calcular comprimento de vertente e

declividade (LS) refletindo a erosão laminar e em sulcos; (d) capacidade de calcular o fator topográfico (LS) para vertentes de variadas formas; (e) novos valores de práticas conservacionistas (P); (f) e definição de subfatores para calcular o termo uso da terra (C) contemplando o uso anterior da terra, cobertura e rugosidade do solo. (CECCHIA, 2005 *apud* RENARD, 1997).

$$Y = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (3)$$

Onde:

R = Fator de escoamento e precipitação; As chuvas e o fator de escoamento são a soma da média anual do índice EI₃₀. E é o total de energia cinética de cada evento por unidade de área. I₃₀ é a precipitação máxima de 30 minutos, ocorrida durante o período de 1 ano, conforme equação 4 (FALK, 2010)

$$R = \sum_{i=1}^m EI_{30} \quad (4)$$

Y, K, L, S, C, P = fatores da USLE descritos anteriormente.

Trabalhos realizados por Wischmeier e Smith (1978) demonstraram que os eventos de chuva podem ser considerados erosivos, quando apresentam altura igual ou superior a 10mm de altura pluviométrica, ou quando apresentam, no mínimo, uma precipitação de 6mm num período máximo de 15 minutos, sendo as demais chuvas consideradas não-erosivas (BERTOL *et al.*, 2002) e (SANTOS *et al.*, 2010).

2.11 - Produção de sedimentos em diferentes escalas

Quando se quer monitorar, quantificar variáveis envolvidas no ciclo hidrológico deve-se ter o entendimento que o processo está inserido em diversas escalas tanto espaciais quanto temporais, desde a microescala do poro, passando pela mesoescala que contempla as bacias hidrográficas, as paisagens, até a macroescala como dados observados por satélites (MEDIONDO e TUCCI, 1997). Assim, o hidrólogo deve ter o entendimento

sobre qual escala (quali-quantitativa) seu objeto de estudo está inserido, qual é o limite entre a sua escala, como ocorre essa correlação entre as variáveis medidas na micro-escala até a macro-escala.

Ao nível da estrutura do meio poroso estuda-se a água ligada por adesão e capilaridade e as reações de transformações e de imobilização dos elementos químicos. Ao nível do perfil do solo, as pesquisas são direcionadas ao movimento local da água e de solutos. Ao nível da bacia hidrográfica, o interesse é dirigido aos escoamentos superficiais, sub-superficiais e subterrâneos, que alimentam os cursos de água. Estes escoamentos relacionam-se com os processos sedimentológicos gerados nas vertentes da bacia e no sistema de drenagem fluvial (DEPINÉ, *et al.*, 2009).

A escala da bacia hidrográfica permite limitar a variabilidade e heterogeneidade do meio que são estudados nas escalas inferiores. Seu caráter integrador é por um lado o seu principal interesse e de outro lado seu principal limite. Esta abordagem privilegia os processos dominantes agindo sobre a quantidade e/ou qualidade da água no exutório (Grimaldi, 2004).

Lane *et al.* (1997) comenta que dados históricos sobre rendimento de sedimentos a partir de bacias selecionadas nos Estados Unidos e Austrália, por meio de uma série de escalas, foram utilizados para ilustrar as variações de produção de sedimentos em escala de bacia hidrográfica. Sendo a área um importante fator de produção de sedimentos, mas nem sempre, está correlacionada com a real produção de sedimentos. As características da rocha matriz, suas interações com o solo, a quantidade e intensidade de chuvas, densidades e propriedades de canais aluviais, e tipo de vegetação (e sua variabilidade espacial) em grande parte são determinantes na produção de sedimentos nessa escala.

Farias (2008), em estudo realizado em três pequenas bacias hidrográficas, Bacia Experimental de Aiuba com 12Km², Bacia do Pai João com 9,3Km² e Bacia Santo Antônio com 6,8Km², localizadas no estado do Ceará, realizou o monitoramento hidrossedimentológico durante o ano de 2007, encontrando valores na faixa de 0,011 e 6,86ton.ha.ano⁻¹.

Falcão *et al.* (2009), em pesquisa realizada no estado do Alagoas, em três parcelas de erosão com 3m² cada e com simuladores de chuva, encontrou valores de 0,779ton/ha para uma lâmina escoada de 67,9mm para a parcela 1.

Para a parcela 2 encontrou valores de 1,292ton.ha para uma lâmina escoada de 91,3mm e para a parcela 3 encontrou valores de 0,412ton.ha para uma lâmina escoada de 31,6mm.

Depiné *et al.* (2009) monitorou a Bacia Experimental do Ribeirão Concórdia, no período de janeiro de 2008 a março de 2009, com área de drenagem de 30,74km², localizada no município de Lontras, SC. Lá foram instaladas três seções de medições. No decorrer da bacia encontrou valores na faixa de: 1) média de 3,19g/L, máximo 5,89g/L; 2) média de 4,72g/L, máximo 20,14g/L; 3) média de 1,75g/L, máximo 2,53g/L.

Nesse sentido foram realizados alguns trabalhos no interflúvio da bacia do Vacacaí Mirim, no município de Santa Maria-RS. Dentre esses trabalhos destaca-se o de Paiva e Costas (2002) que analisaram a produção de sedimentos uma pequena bacia em urbanização (Alto da Colina) com área de 1,80Km² e declividade média de 4,98%, encontrando valores entre 2,82ton/dia a 90,12ton/dia.

Bellinaso e Paiva (2007) avaliaram 10 eventos chuvosos em uma pequena bacia hidrográfica de encosta, em fase de urbanização, com 0,53Km² e declividade de 26,8%, área afluyente ao reservatório do Vacacaí Mirim, encontrando valores entre 158ton/dia a 3200ton/dia associados às precipitações de 1,5mm e 5,0mm, respectivamente.

Paranhos e Paiva (2008) avaliando a metodologia para a estimativa de produção de sedimentos em uma pequena bacia rural de encosta (Menino Deus II) com área de 5,03Km² e declividade média de 28,92%, área afluyente ao reservatório Vacacaí Mirim, selecionaram 8 eventos representativos e encontraram valores entre 0,41ton/dia a 19,41ton/dia.

A produção de sedimentos em diversas escalas espaço temporais está condicionada a diferentes formações geológicas, pedológicas, geomorfológicas, climáticas, tipo de cobertura do solo e ações antrópicas da região onde estão inseridas, sendo estes fatores, entre outros, preponderantes para maior ou menor produção.

Assim para o entendimento e quantificação da produção de sedimento numa determinada área, devemos ter o conhecimento da escala de seu objeto de estudo e suas interações com outras escalas, e as implicações dessa mudança de escala, pois as escalas espaciais influenciam a magnitude dos

processos hidrológicos. Assim a questão de integrações (up-scaling) e desagregação (down-scaling) devem ser consideradas.

Os processos (up-scaling) entre escalas menores para escalas maiores são definidas através de parâmetros constitutivos, através de uma síntese matemática combinando os fatores empíricos e o conhecimento disponível na microescala, com teorias capazes de predizer eventos numa escala maior (MEDIONDO e TUCCI 1997).

No processo de desagregação (down-scaling) a informação do modelo macro para o micro é detalhada através de uma abordagem empírica ou estatística, com relações extraídas de observações e do funcionamento do sistema de uma forma distribuída (MEDIONDO e TUCCI 1997).

2.12 - Relação entre concentração de sedimentos em suspensão e turbidez.

A utilização de um sistema de monitoramento da medida de turbidez para o acompanhamento dos sedimentos geralmente requer o desenvolvimento de uma relação estatisticamente significativa entre a turbidez e concentração de sedimentos em suspensão (SUN *et al.*, 2001).

A relação entre turbidez e concentração de sólidos suspensos é potencialmente confundida pelas variações no tamanho e forma das partículas, composição das partículas e cor da água (APHA, 1995; GIPPEL, 2006).

Sun (*et al.*, 2001), em estudos para a correlação de CSS e turbidez, em uma bacia hidrográfica de 2,87Km², encontraram uma correlação de $R^2 = 0,81$ utilizando equação de 2º grau.

Paiva e Costas (2002) em trabalho realizado na bacia hidrográfica Alto da Colina encontraram uma correlação entre CSS e turbidez de $R^2 = 0,92$ utilizando equação exponencial.

Carvalho (*et al.*, 2004), em estudos realizados em duas bacias hidrográficas, Menino Deus II com 5,03Km² e Alto da Colina II com 1,36km², no município de Santa Maria-RS, encontraram valores de $R^2 = 0,76$ e $0,73$, respectivamente representado por uma equação exponencial.

Lopes (*et al.*, 2009), apresentam valores de R^2 de 0,92 para dados de

CSS de até aproximadamente 22mg/L e turbidez (T) equivalente a 390NTU; R^2 de 0,91. Os dados coletados na sub-bacia do Capão Comprido, DF, com área aproximada de 16,40Km², foram obtidos por equação linear.

Nesse contexto Caliaro (2004), em sua dissertação de mestrado pela Universidade Federal do Espírito Santo, intitulada: “Relação entre turbidez e concentração de sólidos suspensos em rios: Avaliação de fatores que influenciam a relação e proposição de modelos de estimativas”. Avaliou a relação que a cor da água, o diâmetro médio das partículas, e o coeficiente de uniformidade (que é uma característica da distribuição granulométrica) têm sobre a medida de turbidez.

Geraldes (1984), estudando as relações entre absorção de luz por partículas suspensas e a concentração destas partículas, em várias classes granulométricas, observou que a sensibilidade do turbidímetro diminui com o aumento do tamanho das partículas.

Lenzi e Marchi (2000) em seu estudo sobre a relação entre vazão e concentração de sedimentos em suspensão em cursos d'águas alpinos, também realizaram estudos sobre o tamanho das partículas e a turbidez e observaram que as partículas maiores não provocam a mesma resposta de turbidez que as partículas mais finas.

3 - BACIAS EM ESTUDO

3.1 - Aspectos gerais das bacias Rancho do Amaral e Rincão do Soturno.

As bacias embutidas Rancho do Amaral e Rincão do Soturno, localizadas entre as coordenadas métricas 226764,85m ; 230486,21m E e 6721831,86m ; 6716281,79m N , situam-se no município de Santa Maria, no interflúvio da bacia do Vacacaí Mirim, sendo a bacia Rancho do Amaral embutida a bacia Rincão do Soturno, conforme demonstra a Figura 6.

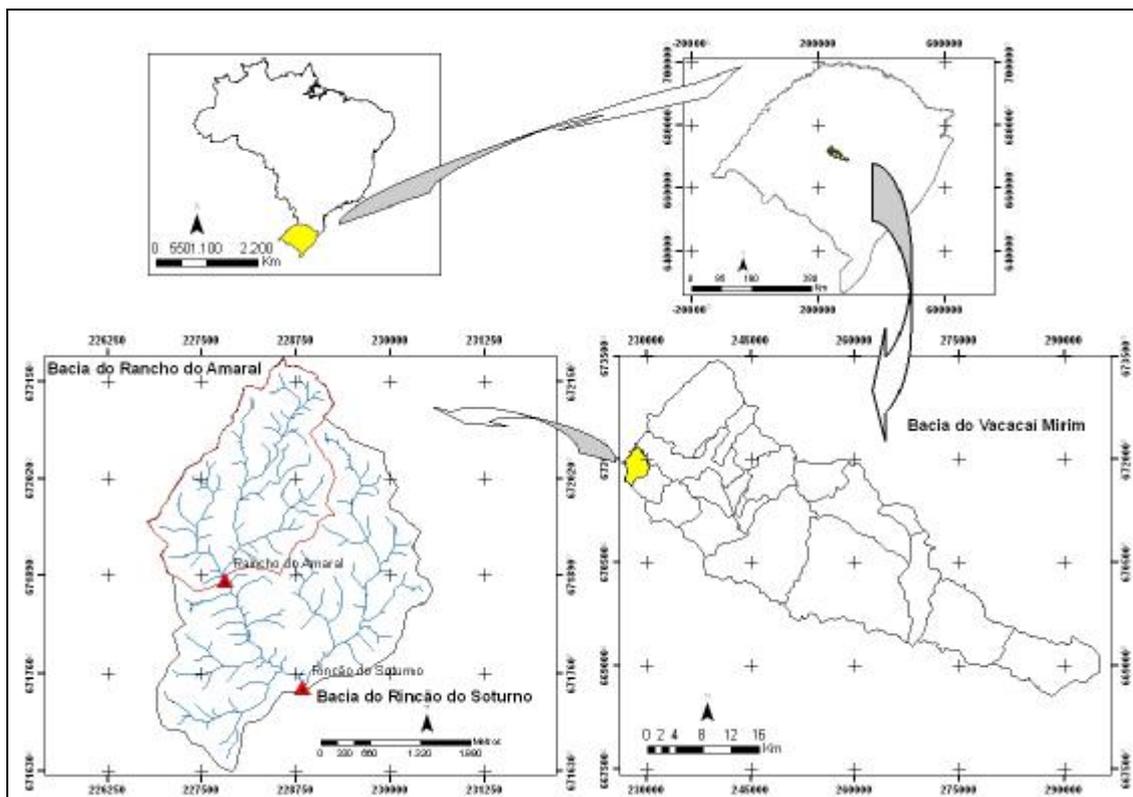


Figura 6 - Localização da bacia do rio Vacacaí Mirim e das bacias Rancho do Amaral e Rincão do Soturno.

Para uma melhor compreensão das especificidades de cada bacia a tabela 1 apresenta o resumo de algumas de suas características físicas.

Tabela 1 – Resumo das características fisiográficas das bacias monitoradas.

Características físicas		
	Rancho do Amaral	Rincão do Soturno
Área (Km ²)	4.45	11.98
Perímetro (Km)	9.72	16.08
Declividade média (%)	29	21
Altitude média (m)	341.21	316.21
Comprimento do rio principal (Km)	2.1	4.18
Declividade ponderada (m/m)	0.073	0.066
Rede de drenagem	Dendritica	Dendritica
Densidade da rede de drenagem (Km/Km ²)	4.65	4.45
Fator de forma (Kf)	0.00059	0.00044
Coeficiente de compacidade (Kc)	1.29	1.30
Ordem da bacia	4	4
Tempo de concentração (min.)	110	150

As áreas compreendidas pelas bacias se caracterizam por estarem inseridas na unidade geomorfológica Bacia do Paraná. Com suas escarpas abruptas, sua drenagem é caracterizada pelo padrão dendrítico, com seus vales esculpidos em V. O rio principal desta bacia é o Vacacaí Mirim.

Tais informações foram obtidas com base na imagem de satélite IKONOS, a qual foi processada com o auxílio do software ArcGis 9.2.

3.2 - Caracterização Geológica

Segundo Kaul (1990), o Rio Grande do Sul é constituído por três grandes domínios geológicos: Terrenos Pré-Cambriânicos, Bacia do Paraná e Cobertura de Sedimentos Cenozóicos. O mesmo autor coloca que o domínio da Bacia do Paraná engloba, no Rio Grande do Sul, as rochas Efusivas Ácidas e Básicas e a Cobertura Sedimentar Gonduânica.

A Seqüência Ácida da Formação Serra Geral, que corresponde a áreas de relevo menos dissecado e menos arrasado, compreende derrames de dacitos pórfiros, dacitos felsíticos, riolitos felsíticos, riolacitos felsíticos, basaltos pórfiros e fenobasaltos vítreos.

A Seqüência Básica da Formação Serra Geral, que predomina grandemente em área e volume sobre a ácida, compreende derrames de basalto, andesito e basalto com vidro, além de brechas vulcânicas e sedimentares, diques e soleiras de diabásio e corpos de arenitos interderrames.

A Cobertura Sedimentar Gonduânica, implantada na Bacia do Paraná nos tempos do Siluriano Inferior, marcou o início de uma nova sedimentogênese. Nessa bacia formam-se, a partir daquele período até o Jurássico, extensas e espessas seqüências de sedimentos de granulação essencialmente fina, com intercalações de calcários e raríssimos conglomerados.

3.3 - Caracterização Geomorfológica

Afirmando que a bacia Rancho do Amaral e Rincão do Soturno pertencem à bacia do Vacacaí Mirim e estão localizadas na Unidade de Relevo da bacia do Paraná, estas apresentam as mesmas feições geomorfológicas

que a bacia referida anteriormente, portanto, pode-se considerar os expostos abaixo descritos como a formação geomorfológica das bacias em estudo.

Herrmann e Rosa (1990) definem a bacia do Paraná como constituinte de uma área interplanática situada entre os relevos esculpidos em rochas cristalinas e aqueles talhados sobre rochas efusivas, circundando o Planalto das Araucárias, no Brasil, desde o limite com o Estado de São Paulo até, aproximadamente o município de Santa Maria (RS). Nos setores sudeste e sul, os Patamares da Bacia do Paraná correspondem à borda do Planalto das Araucárias, identificados por Justus, Machado e Franco, em 1986, com os nomes de Serra Geral e Patamares da Serra Geral. Essa borda é representada por terminais escarpados, festonados e profundamente dissecados pela erosão fluvial, que deixou nas vertentes abruptas um sucessivo escalonamento de patamares estruturais. Os patamares escarpados representam testemunhos do recuo da linha de escarpa e se apresentam como esporões enterfluviais alongados e irregulares que se interdigitam com a Planície Gaúcha ou com a Depressão Periférica da Bacia do Paraná, representada, nessa área, pela Depressão Central Gaúcha. As cotas altimétricas no sopé da Serra Geral estão entre 650 a 750 m.

Para melhor entendimento do relevo constituinte das bacias em análise é apresentado na figura 7 o mapa de altitude das referidas bacias, representado por suas curvas de nível. Observa-se que as cotas na bacia Rancho do Amaral variam de 240m a 480m, com uma altitude média de 341m, enquanto na bacia Rincão do Soturno as cotas variam de 170m a 480m, com uma altitude média de 316m. A bacia rancho do Amaral apresenta uma declividade média de 29% enquanto a bacia Rincão do Soturno apresenta uma declividade média de 21%.

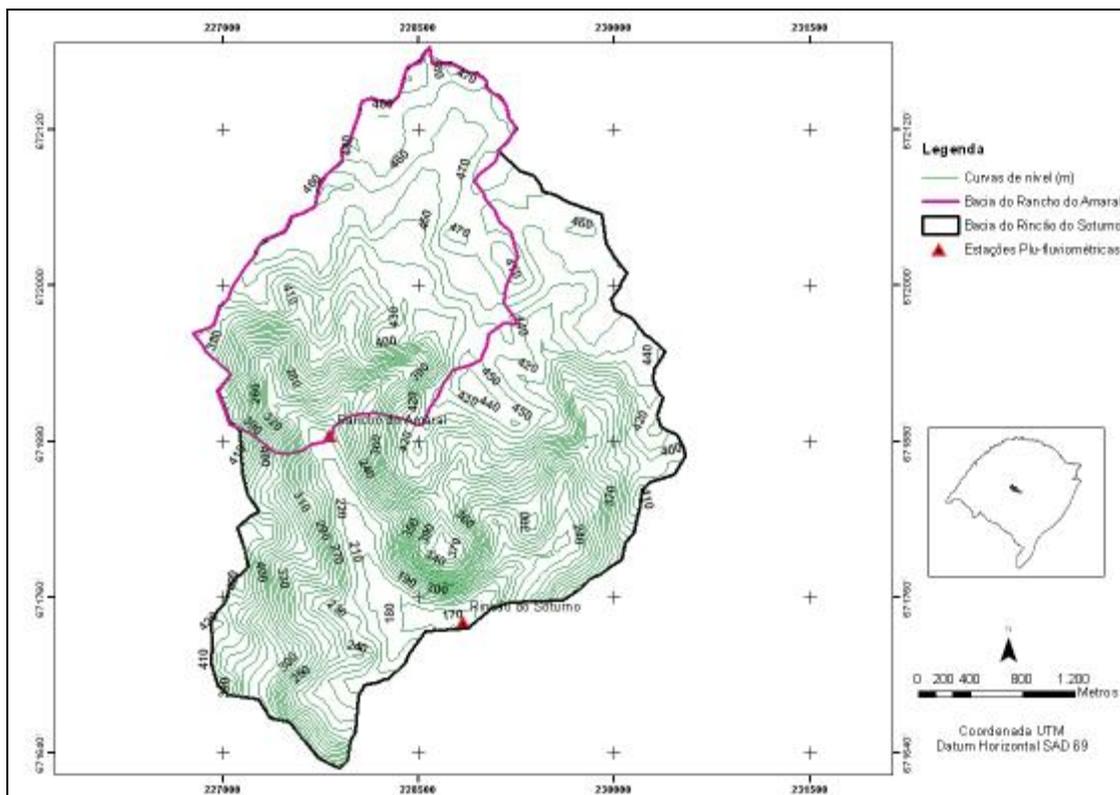


Figura 7 - Mapa das curvas de nível nas bacias do Rancho do Amaral e Rincão do Soturno.

3.4 - Caracterização Climática

De acordo com Isaia (1992), o clima específico da região e da bacia em estudo, conforme o sistema de classificação de Köppen, é o sub-tropical "Cfa", com temperatura média anual de 19,3°C, sendo a média das temperaturas máximas do mês mais quente do ano (janeiro) de 31,5°C e o mês mais frio (julho) de 9,3°C. A precipitação média anual é superior a 1.500mm, com uma frequência de 113 dias com chuva. Porém, esta região pode sofrer um déficit anual superior a 200 mm de precipitação.

A umidade relativa do ar média anual é de 82%, com ventos predominantes de leste e sudoeste, com expressividade para os ventos que sopram do quadrante norte. O local é periodicamente invadido por massas polares e frentes frias, responsáveis pelas baixas temperaturas e pela regularidade na distribuição das precipitações.

3.5 - Caracterização do solo da bacia.

A classificação dos solos foi obtida a partir do mapa para a bacia do Rio Vacacaí-Mirim apresentado por Azolin e Mutti (1988), na escala de 1:100000.

Com base nos trabalhos de Dias (2003), Casagrande (2004), Feltrin (2009), pela classificação da EMBRAPA (2005), a figura 8 apresenta a espacialização dos solos presentes nas bacias. Também é apresentada na tabela 2 a área ocupada por cada solo e suas respectivas percentagens.

Tabela 2 – Distribuição do tipo de solo nas bacias.

Tipo de solo	Rancho do Amaral		Rincão do Soturno	
	Área (Km ²)	(%)	Área (Km ²)	(%)
Re4	3,60	80,81	6,49	54,18
Rd ₁	0,78	17,60	1,04	8,68
Re-C-Co	0,07	1,58	2,83	23,62
Tba-Rd	0,01	0,11	1,62	13,52
Total	4,45	100	11,98	100

Re4: Neossolo Litólico Eutrófico Chernossólico;

Rd1: Neossolo Litólico Distrófico relevo ondulado;

Re-C-Co: Associação Neossolo Litólico Eutrófico Chernossólico-Cambissolo-Colúvios;

TBa-Rd: Associação Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico Alissólico e Neossolo Litólico Eutrófico.

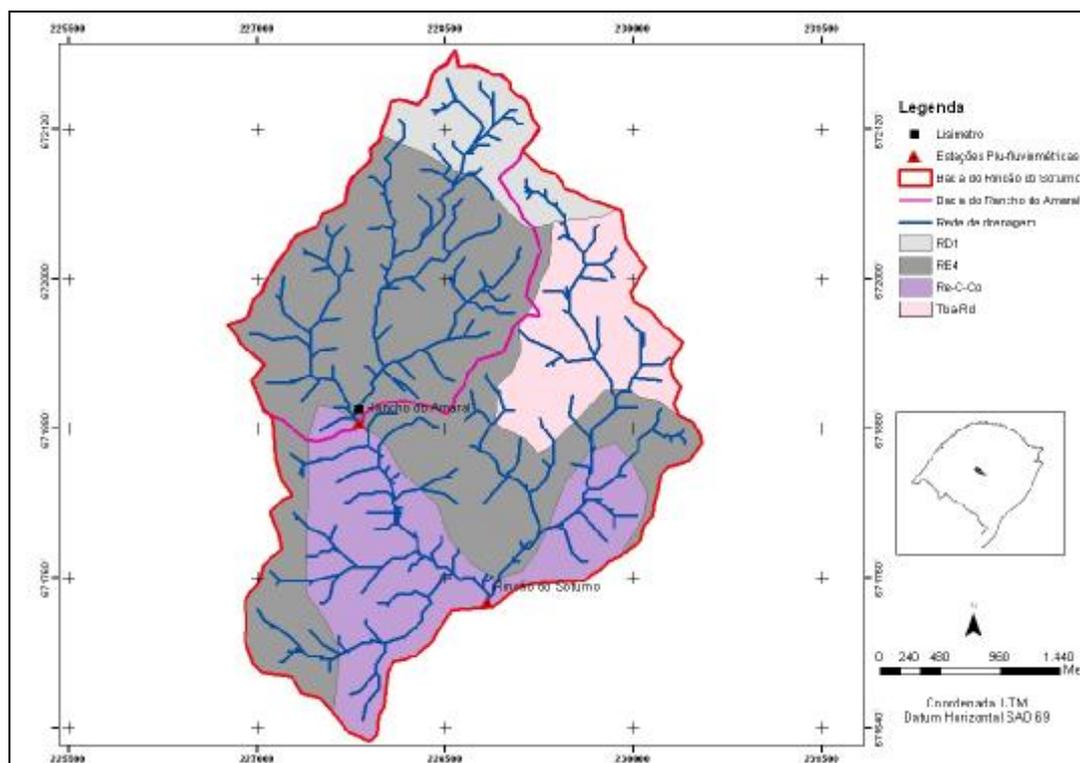


Figura 8 - Mapa de solos nas bacias do Rancho do Amaral e Rincão do Soturno.

3.6 - Características da vegetação e uso do solo

O município de Santa Maria agrega vegetações dos campos limpos e da floresta sub-caducifólia sub-tropical, entretanto, a bacia Rancho do Amaral e Rincão do Soturno em virtude de sua localização (transição entre o planalto e a depressão central) apresenta características de predomínio da escarpa da Serra geral, sendo ocupada em sua maior parte pela floresta sub-caducifolia subtropical, a qual é constituída por dois estratos arbóreos distintos, um emergente e outro dominado.

O estrato emergente apresenta árvores com altura variando entre 25 e 30 metros, compondo-se pelo predomínio de leguminosas caducifólias, dentre as quais se destacam a Grápia (*Apuleia leiocarpae*), o Angico Vermelho (*Anadenanthera Colubrina*). O estrato dominado, contínuo, é formado por árvores cuja altura não ultrapassa os 20 metros, caracterizando-se por uma grande diversidade florística de espécies predominantemente perenifólias, com considerável ocorrência de lauráceas: Canela- Guaicá (*Ocotea puberula*), Guajuvira (*Patogonula americana*) e Goiaba (*Psidium guajava*), Bortoluzzi (1971).

Para uma melhor compreensão da distribuição das formas de uso e ocupação do solo da bacia, a figura 9 apresenta os seus respectivos usos e na Tabela 3 suas percentagens.

Tabela 3 – Distribuição do uso e ocupação do solo nas bacias.

Uso do solo	Rancho do Amaral		Rincão do Soturno	
	Área (Km ²)	(%)	Área (Km ²)	(%)
Mata nativa	2,12	47,62	6,56	54,76
Campo nativo	1,75	39,38	4,67	38,98
Eucaliptos	0,36	8,15	0,46	3,84
Culturas anuais	0,16	3,64	0,21	1,74
Pequenos reservatórios	0,05	1,21	0,088	0,73
Total	4,45	100	11,98	100

Observa-se que a mata nativa tem predominância nas duas bacias, seguido por campo nativo, eucaliptos, culturas anuais e pequenos reservatórios.

Nas duas bacias somando-se as áreas de mata nativa e campo nativo teremos mais de 87% de predominância desses dois usos, caracterizando como áreas pouco perturbadas.

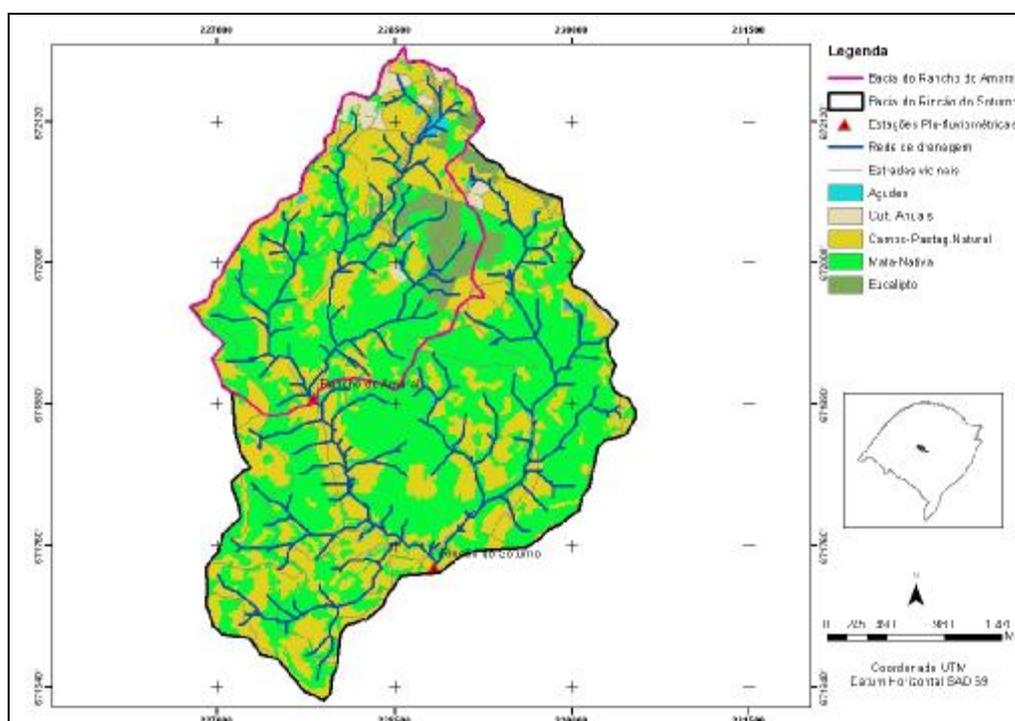


Figura 9 - Mapa de uso e ocupação do solo nas bacias do Rancho do Amaral e Rincão do Soturno.

4 - MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 - Medidas Pluviográficas

Para o acompanhamento das precipitações ocorridas nas bacias foram operados dois pluviógrafos, um instalado na bacia Rancho do Amaral nas coordenadas 227826.97m E 6718832.76m N e outro na bacia Rincão do Soturno, nas coordenadas 228934.64m E 6717424.826m N.

O equipamento instalado na bacia Rancho do Amaral é um pluviógrafo eletrônico do tipo cubas basculante da marca HIDROMEC®, com área de captação de 400cm², permitindo monitorar a precipitação local em intervalos de tempo de até 1 minuto, com uma precisão de até 0,02mm (Figura10b). O instrumento instalado na estação Rincão do Soturno é um pluviógrafo eletrônico de balança, da marca OTT, com área de captação de 400cm² e intervalo de 1 minuto entre cada leitura, conforme demonstra a figura10 a



Figura 10- (a) Pluviógrafo de balança; (b) Pluviógrafo de báscula.

4.2 - Lisímetro.

Uma das ferramentas utilizadas para a compreensão e representação dos processos hidrológicos em diferentes escalas espaço temporais na produção de sedimentos foi um lisímetro volumétrico, com 1m³ de amostra representativa de solo, não deformado. Este equipamento apresenta 1m² de área superficial, constituído de placas de acrílico com espessura de ½”, coladas e parafusadas, formando uma caixa vazada. O instrumento foi confeccionado pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH-UFRGS). O equipamento está instalado nas coordenadas 227815,56m E 6718950,58m N, estando localizado na área abrangente do solo tipo Re4: Neossolo Litólico Eutrófico Chernossólico, conforme mapa de solos da figura 7.

Segundo Feltrin (2009), para a caracterização físico-hídrica do solo contido no lisímetro, realizou-se a coleta de amostras indeformadas de solo nas profundidades de 10, 30 e 70cm, em áreas próximas ao equipamento. Estes dados foram enviados ao Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal de Santa Maria, onde foram efetuadas análises de densidade do solo, densidade de partículas do solo e porosidade do solo (Quadro 1) além da análise granulométrica (Quadro 2)

Profundidade (cm)	Densidade(g/cm ³)		Porosidade (%)		
	Solo	Partic.	Macro	Micro	Total
10	1,44	2,57	22,43	21,53	43,96
30	1,37	2,57	28,52	18,15	46,67
70	1,41	2,59	24,53	21,00	45,53

Quadro 1 - Valores de densidade do solo, densidade de partículas do solo e porosidade do solo coletado em áreas próximas ao lisímetro instalado na bacia Rancho Amaral.

Profundidade (cm)	Granulometria (%)				Classe Textural
	Areia grossa (2 - 0.2mm)	Areia fina (0.2 - 0.05mm)	Silte (0.05 - 0.002mm)	Argila (<0.002mm)	
10	6,00	82,50	6,50	5,00	Areia
30	3,00	87,60	3,10	6,30	Areia
70	6,50	80,50	5,50	7,50	Areia Franca

Quadro 2 - Valores da análise granulométrica e classificação textural do solo de amostras retiradas próximas ao lisímetro instalado na bacia Rancho Amaral.

Observa-se que em todas as profundidades amostradas a textura do solo apresenta porcentagens de areia maiores que 80% do total, caracterizando o solo contido no lisímetro como arenoso.

Tucci (2001) cita que as variáveis controladas junto ao lisímetro são a precipitação, o escoamento, a infiltração e o armazenamento permitindo dessa forma a obtenção da evapotranspiração real. Como o lisímetro é um equipamento utilizado para medir as variáveis envolvidas no processo de evapotranspiração e, conseqüentemente a determinação do balanço hídrico de uma determinada área, o equipamento foi instalado na bacia com o objetivo de monitorar tais variáveis. Feltrin (2009) avaliou do balanço hídrico através de medidas lisimétricas considerando diferentes escalas temporais, sendo a evapotranspiração obtida em intervalos diários, de 5 e de 10 dias.

A Figura 11 apresenta de forma esquemática as variáveis monitoradas no lisímetro instalado na bacia do Rancho do Amaral.

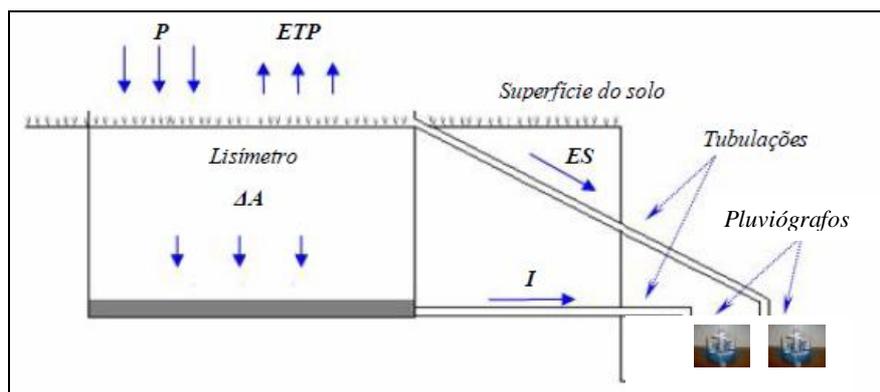


Figura 11 – Representação esquemática das variáveis envolvidas no monitoramento P = Precipitação; ETP = Evapotranspiração; ΔA = variação no armazenamento entre o início e o fim do intervalo de tempo, I = Infiltração e ES = Escoamento superficial. Fonte: Modificado de Feltrin (2009)

Considerando que um dos objetivos principais deste trabalho é mensurar a produção de sedimentos sob a óptica do escoamento superficial, utilizou-se as variáveis de precipitação e escoamento superficial para tal análise.

O escoamento superficial tem origem nas precipitações, onde parte da água é interceptada pela vegetação e outros obstáculos, posteriormente evaporando. Do volume que atinge a superfície do terreno, parte se infiltra e o restante escoar na superfície logo que a precipitação supera a capacidade de infiltração do solo e os espaços existentes nas superfícies retentoras terem sido preenchidos (LOPES, 1980).

O monitoramento do escoamento superficial foi realizado a partir de janeiro de 2009, por um pluviógrafo do tipo cubas basculantes, propiciando uma melhor avaliação do processo na parcela do lisímetro, bem como seu comportamento no decorrer de um evento chuvoso. O processo de “acompanhamento” ocorre da seguinte forma: O volume escoado da parcela (1m²) converge para um canto do lisímetro de onde é conduzido através de um cano de PVC até a boca de captação do pluviógrafo. Cada contagem de basculada do pluviógrafo (0,2mm) é armazenada em um logger modelo LOGBOX, fabricado pela empresa NOVUS Produtos eletrônicos Ltda. O LogBox é um registrador eletrônico de dados com dois canais de entrada, no qual, os valores medidos são armazenados em sua memória eletrônica para posteriormente serem enviados a um computador. Juntamente ao registrador acompanha o software LogChart-II que é uma ferramenta para configuração do modo de funcionamento e também para a visualização dos dados. O equipamento foi configurado para que o intervalo de registros fosse de 1 min.

4.3 - Monitoramento de níveis.

Para o acompanhamento constante da variação do nível nas estações fluviométricas implantadas no exutório de cada bacia, foram instalados registradores eletrônicos de nível com data-logger, que efetuavam seus registros no intervalo de um minuto. A Figura 12 apresenta o equipamento de registro contínuo do nível, Thalimedes da marca OTT.



Figura 12 – Medidor eletrônico de nível Thalimedes.

4.4 - Medição de descarga líquida

A determinação da descarga líquida envolve medidas de uma série de grandezas geométricas da seção e de velocidade em pontos com as coordenadas conhecidas. As avaliações são realizadas em um local, denominado de seção de medição, e as coordenadas de posicionamento são referidas a uma linha materializada por dois pontos (um em cada margem do rio), denominadas de ponto inicial (PI) e outro ponto final (PF), sendo as distâncias verticais medidas a partir da superfície livre (BACK, 2006).

As medições de descarga líquida foram realizadas em duas seções de medições, situadas nas coordenadas 227818.001m E 6718845.443m N (Rancho do Amaral) e 228842.129m E 6717408.914m N (Rincão do Soturno).

Essas determinações foram realizadas com o auxílio de dois molinetes hidrométricos, sendo um micromolinete da marca OTT com duas hélices substitutivas e outro molinete da mesma marca com uma hélice apenas.

Na seção da bacia do Rancho do Amaral as avaliações foram realizadas em verticais pré-definidas com espaçamento entre verticais de 0,5 m e na seção da bacia do Rincão do Soturno as verticais foram espaçadas a cada 1 m. Esse espaçamento segue as normas recomendadas por Netto (1998), bem como, a leitura das rotações em cada vertical na sua maioria das vezes foi a 60% da profundidade total da vertical, pois as profundidades dificilmente ultrapassaram 0,6m de profundidade.

A Figura 13a demonstra a realização de medição de descarga líquida na estação da bacia do Rancho do Amaral e na Figura 13b ilustra o micro-molinete utilizado em algumas das medições.



Figura 13 – (a) - Medição de descarga líquida na estação fluviométrica Rancho do Amaral. (b) Micro-molinete Ott em medição.

4.5 - Coletas de sedimentos em suspensão

Na seção de medição da estação Rincão do Soturno as coletas de sedimentos em suspensão foram realizadas com o amostrador ISCO modelo FR760, no período de julho de 2008 a dezembro de 2009. Na estação fluviométrica do Rancho do Amaral as coletas foram realizadas com o amostrador ISCO modelo 3700, no período de setembro de 2009 a janeiro de 2010.

Os amostradores de sucção são instrumentos automáticos com a função de realizar coletas em períodos pré-programados. O equipamento é composto por 24 garrafas plásticas com capacidade de 1000mL cada, que ficam acondicionadas no interior do amostrador, o qual é composto de três partes bem definida: painel de controle, bomba de sucção e refrigerador.

As coletas são realizadas com o auxílio da bomba de sucção e por intermédio de uma mangueira devidamente instalada no equipamento até o curso d'água, a bomba succiona a mistura água-sedimento do rio acondicionando-a nas garrafas no interior do equipamento, conforme é apresenta na Figura 14.

As coletas foram geralmente programadas para serem efetuadas em intervalos de 1 hora quando existia a previsão de chuva. Quando da previsão de não ocorrência de chuva às coletas foram programadas para serem realizadas diariamente às 07:00h. Na estação da bacia Rancho do Amaral as amostragens foram realizadas próximo a margem direita do rio, cerca de 1 m, o

local escolhido apresentou maior produto de profundidade x velocidade. Na estação Rincão do Soturno as amostragens foram realizadas próxima a margem esquerda do rio, cerca de 0,5 m e próximo da vertical de maior relação profundidade x velocidade.

Paralelamente as coletas pontuais pelo amostrador ISCO foram realizadas 8 coletas de sedimentos em suspensão na seção de medição do Rancho do Amaral e 10 coletas de sedimentos em suspensão na seção de medição do Rincão do Soturno. Essas coletas foram realizadas com o amostrador USDH-48, pela integração na vertical e pelo método de Igual Incremento de Largura. Estas amostras tiveram o intuito de comparar a representatividade das amostras pontuais coletadas pelo ISCO em relação às amostradas coletadas em diversas verticais ao longo da seção de medição.

O amostrador USDH-48 é construído em alumínio com corpo de forma hidrodinâmica, tendo haste de operação a vau ou de canoa, em profundidades baixas, até 2,7m para uso em coleta por integração na vertical em dois sentidos. Como é um equipamento leve, só pode ser usado em condições de baixa velocidade. A Figura 15 apresenta o equipamento. (CARVALHO, 2000)



Figura 14 – Amostrador de sedimentos em suspensão marca ISCO modelo FR760.

Outra metodologia utilizada para coleta do material em suspensão foram os amostradores integradores no tempo, denominados “torpedo”. Ele é instalado na seção de medição com seu orifício de entrada contra a corrente, e acumula sedimentos finos os quais são representativos do material em suspensão transportado na bacia.

O amostrador é constituído por um tubo de PVC com 75mm de diâmetro, 80cm de comprimento, fechado nas duas extremidades por uma tampa com rosca. No centro das tampas é inserido um tubo de 3cm de comprimento e 5mm de diâmetro, no qual, entrará e sairá o fluxo de água.



Figura 15 – Amostrador de sedimentos em suspensão USDH – 48, marca Hidromec.

Quando a mistura água sedimento entra no amostrador, passa para um micro ambiente lântico, ocasionando o depósito do sedimento no interior do tubo. A água sem sedimento sai pela parte posterior do equipamento. Vide Figura 16.



Figura 16 – Amostrador de sedimentos em suspensão Torpedo.

4.6 - Análises de laboratório

Em detrimento do objetivo do trabalho, especificar a produção de sedimentos em seu efeito de escala em duas bacias hidrográficas de diferentes tamanhos na mata atlântica fez-se necessário determinar a concentração de sedimentos em suspensão das amostras, e a determinação da granulometria do material coletado. Após coletadas as amostras estas eram transportadas ao Laboratório de Sedimentos do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria, onde eram analisadas. Assim, logo que as amostras são recebidas em laboratório era efetuada a limpeza externa das garrafas, conferidos seus dados de coleta, e pesadas.

A pesagem das amostras no seu recebimento é importante para minimizar as perdas por evaporação da mistura água-sedimento anotando-se seus valores em formulários específicos (CARVALHO, 2000). Caso não seja possível realizar os ensaios de concentração e granulometria no mesmo dia de recebimento das amostras, estas devem ser acondicionadas em local protegido da incidência direta da luz solar e com temperatura amena.

Para análise das amostras de sedimentos em suspensão primeiramente deve-se determinar o método de análise a ser realizado em cada amostra.

4.6.1 - Determinação do método de análise

Para determinação do método de análise primeiramente deve-se deixar a amostra decantar em um béquer de 1000mL por 24 horas, em seguida a amostra é reduzida para 490mL. O material reduzido é passado na peneira nº 230 para separação do material fino.

Na mistura água sedimento que transpôs a peneira é realizada uma pipetagem de 25mL para se determinar a concentração proporcional e conseqüentemente o ensaio a ser realizado.

Cesp (2008) cita que para amostras com concentrações abaixo de 300mg/L, usa-se o método de Evaporação ou Filtração. Para amostras acima de 300mg/L usa-se o método de Tubo de retirada pela base.

Após determinada a metodologia a ser empregada para determinação dos sedimentos em suspensão usou-se o método de Evaporação, Filtração ou Tubo de retirada pela base, de acordo com a concentração proporcional.

4.6.2 - Método de Evaporação

Coloca-se a amostra em um béquer de 1000mL, deixando-a decantar por um período de 24 h, então faz-se a coleta dos sais solúveis.

A coleta dos sais solúveis é feita com a retirada de duas pipetagens de 50mL da parte isenta de sedimento (água sobrenadante). Transferem-se essas amostras para dois béquers devidamente preparados e pesados. Posteriormente são levados para estufa até a evaporação total da água no béquer para posterior pesagem.

Após a retirada dos sais solúveis deve-se reduzir a amostra com o auxílio de uma mangueira com água destilada. O material remanescente da redução é removido para uma proveta de 100mL, faz-se à leitura da proveta, então passa-se o material para um béquer de 250mL. Adiciona-se ao béquer de 250mL o material remanescente do béquer de 1000mL e da proveta. Conseqüentemente esse béquer é levado para estufa ficando por um período de 24h. Passado o período determinado o béquer é levado para o dessecador

ficando por um período de cerca de 60 min. Logo o béquer é pesado em balança de precisão.

A concentração da amostra é obtida dividindo-se o volume pelo peso seco de sedimentos contido em cada amostra.

A tabela utilizada para determinação da concentração em mg/L é apresentada no anexo 1.

4.6.3 - Método da filtração

O método de análise de filtração para determinação da concentração de sedimentos em suspensão é realizado com o auxílio dos seguintes equipamentos:

1. Estufa de esterilização;
2. Forno mufla;
3. Dessecador;
4. Cápsula de porcelana pequena;
5. Pré-filtro AP20 em microfibra de vidro, de 47mm de diâmetro;
6. Bomba de vácuo, ¼" CV;
7. Kit de filtração;
8. Pinça metálica;
9. Garra metálica;
10. Balança eletrônica digital;
11. Proveta volumétrica calibrada de 100ml;
12. Kitasato (Kit de filtração);
13. Cadinho de Gooch (Kit de filtração);
14. Bisnaga;
15. Água destilada; e;
16. Sílica.

Para a execução do processo primeiramente devemos queimar a cápsula + filtro (C+F) no forno mufla a 550°C, por 15 minutos. Posteriormente leva-se a C+F para o dessecador por cerca de 30 min para seu resfriamento, após é realizada a pesagem da C+F em balança de precisão.

Com o auxílio de uma pinça metálica acondiciona-se a membrana

filtrante no cadinho de Gooch e este no kitasato. Então, se agita a amostra até obter uma homogeneização perfeita e despeja-se um pouco da amostra no cadinho, deve-se ligar a bomba de vácuo filtrando a amostra com uma pressão de 10 a 20 pol Hg. Filtra-se toda a amostra limpando o remanescente ainda existente na proveta com água destilada até ficar sem nenhum resíduo de sedimento.

Após a filtração, com uma pinça metálica transfere-se o pré-filtro do cadinho de Gooch para a cápsula numerada; levando-a para secar na estufa a 105°C por 24 horas. Em seguida retira-se as cápsulas da estufa levando-as para o dessecador para se manterem em temperatura ambiente pesam-se as cápsulas+filtro+sedimento em balança eletrônica digital, anotando na planilha o valor da cápsula com o material retido. Após essa pesagem as cápsulas são novamente levadas para mufla a 550°C durante 15 min, depois retirado e levado o material para o dessecador que posteriormente será pesado novamente em balança eletrônica.

Na primeira pesagem são determinados os sedimentos totais e na segunda são expressos os sedimentos fixos. Essa metodologia seguiu as normas descritas em APHA (1995).

4.6.4 - Tubo de retirada pela base

Do material passante a peneira nº 230 deixa-se a amostra decantar por 24 h. Posteriormente pipeta-se duas amostras de 50mL (sobrenadante) para determinar os sais solúveis. O restante do material deve ser cuidadosamente homogeneizado e acondicionada em um tubo de vidro graduado de 10cm em 10cm, completando com água destilada até a graduação de 100cm, se necessário. Após agita-se o tubo em movimentos de 180° durante cinco minutos para que se tenha uma boa homogeneização, fixar o tubo no suporte e retirar a rolha.

As amostras são retiradas de dez em dez graduações, em um único movimento, em intervalos de tempo determinados de acordo com o diâmetro de precipitação das partículas. Os tempos para retirada de cada amostra são em: 0,5; 1; 2; 5; 13; 32; 80; 160; 450, 451 minutos e a coleta final. Após

realizada a última amostra (coleta final), adiciona-se água destilada para retirar os sedimentos restantes no tubo e procede-se a coleta.

As coletas são acondicionadas em béquers previamente preparados para cada amostra é importante se medir a temperatura. A Figura 17 mostra o ensaio do tubo de retirada pela base. As amostras retiradas são levadas para a secagem em estufa a 100°C durante 24h. O peso total da amostra se dá pela diferença entre o peso seco e a tara do béquer. A tabela de preenchimento dos dados coletados no tubo de retirada pela base é apresentada no anexo 2.

O material que ficou retido na peneira quando foi realizado a determinação do método deve ser transferido para uma cápsula, previamente preparada, e secas em estufa à 100°C onde ficará por 24 horas. O material da cápsula será utilizado para se determinar a granulometria do sedimento entre 0,062 e 2,0mm. Passado às 24h retira-se o material da estufa leva-o até o dessecador deixando por cerca de 60 min. Então se transfere o material da capsula para o jogo de peneiras com abertura de 0.062, 0.125, 0.25, 0.5, 1.0 e 2.0mm agita-se manualmente as peneiras de forma horizontal até que o material seja todo repartido de acordo com sua granulometria, conforme Figura 18.

Após pesa-se cada peneira com sua devida amostra retida. Cada peneira deve ser tarada antes de se acondicionar a amostra de sedimento a ser pesada.

Com esses resultados é possível determinar a granulometria do material em suspensão contido em cada amostra.



Figura 17 - Tubo de retirada pela base.



Figura 18 - Peneiras com material retido para determinação da granulometria do material.

4.7 - Sonda de turbidez

Geralmente em pequenas e médias bacias hidrográficas o tempo de pico das vazões líquidas e sólidas são relativamente curtos dificultando a coleta do dado nos seus eventos de cheias.

O entendimento da dinâmica dos sedimentos em suspensão, a partir de medições pontuais em intervalos de tempo relativamente grandes, em pequenas e médias bacias fica comprometido devido a sua variabilidade de concentração em poucas horas (VESTENA *et al.*, 2007).

A turbidez é uma expressão das propriedades ópticas de uma amostra que faz com que os raios de luz se dispersem e sejam absorvidos em vez de se transmitirem em linhas retas através de uma amostra. (turbidez da água é causada pela presença de matéria em suspensão e dissolvida, tais como argila, silte, matéria orgânica finamente dividida, plâncton e outros organismos microscópicos, ácidos orgânicos, e corantes.) (APHA, 1995; ZIEGLER, 2002; GRAY e GLYSSON, 2002).

A turbidez está relacionada linearmente com a concentração de sedimentos em suspensão apenas quando as propriedades das partículas são constantes. Em bacias naturais, a variabilidade espacial de geologia, solos e cobertura da terra significa que o sedimento entregue a um rio é geralmente heterogêneo, e representa uma mistura de matérias provenientes de diferentes

fontes (WASS e LEEKS, 1999).

A medição da CSS deve estar vinculada com as mudanças de nível dos rios, especialmente dos episódios de cheias, pois é nesse momento que ocorre o maior fluxo de sedimentos. Por isso, a utilização de métodos automáticos, complementares às técnicas tradicionais, para a estimativa da CSS seria de grande importância para a obtenção de dados sedimentométricos de forma contínua em rios (MINELLA, 2008).

Com o objetivo de monitorar continuamente o fluxo de sedimentos em suspensão passante nas seções de medições das bacias em estudo foi instalada uma “sonda de turbidez” em cada seção.

Estas sondas foram configuradas para realizarem as leituras de turbidez em intervalos de 10 min.

Na estação do Rincão do Soturno foi instalada no período de 07/08/2009 a 29/12/2009, a sonda SL2000-TS produzida pela Solar Instrumentação LTDA.

Os dados sedimentológicos obtidos pela sonda foram através do sensor de turbidez e sedimentos SL 2000-TS usado para medir as partículas em suspensão pela reflectância da luz infravermelha, imune a cor da água, na faixa de medição de sedimento em suspensão de 0 ~ 5000 ppm e de turbidez de 0 ~ 2500 NTU formazina.

A sonda foi acoplada a um cano ficando seu sensor acondicionado no sentido horizontal de tal forma que a emissão dos feixes de luz fossem emitidas contra o sentido do fluxo d'água. O local de instalação da sonda foi a cerca de 10cm do leito do rio e aproximadamente 1,5m da margem esquerda. Em medições de descargas líquidas realizadas, o local de instalação da sonda foi na mesma linha da vertical de maior velocidade na seção de medição. A escolha deste local foi em virtude de esta vertical ser representativa do material passante em toda seção de medição.

Na estação Rancho do Amaral foi instalada a sonda DTS-12 com o logger modelo H 500 XL, produzida pela empresa canadense Forest Technology System, LTD, no período de 29/09/09 a 11/01/2010, o equipamento já veio calibrado do fabricante, conforme certificado de calibração (anexo 3).

A sonda DTS-12 possui um alcance de medição de 0 – 1500 NTU, com uma resolução de 0,01 NTU, sua acurácia na faixa de 0 – 499,99 NTU fica em média 2%, de 500 – 1500 NTU fica em média 4%.

A sonda foi instalada na seção conforme as indicações do fabricante o qual especifica que o local seja em uma área representativa da água a ser medida. A lente deve ficar no mínimo a 10 cm distante do leito do rio e o seu entorno deve ser livre cerca de 5 cm. A sonda DTS – 12 apresenta a particularidade de ter um limpador da sua lente, que é programado para realizar a limpeza da lente antes de cada leitura. Esta particularidade da sonda possibilita uma maior confiabilidade e fidedignidade dos dados coletados em campo.

Na Figura 19, pode-se observar as sondas descritas anteriormente.



Figura 19 - Ilustração das sondas utilizadas no monitoramento da turbidez.

4.8 - Dificuldades encontradas.

Em virtude de a pesquisa realizada ter diversas atividades de campo, muitas vezes o fator clima e tempo cronológico foram preponderantes para o êxito do trabalho. Durante a realização deste trabalho ocorreram algumas adversidades para o bom andamento e melhora no fator quantidade e qualidade dos dados obtidos.

Para os dados coletados diretamente em campo observou-se que os eventos de cotas elevadas ocorriam geralmente no período noturno, inviabilizando sua aquisição. PAIVA (1997), MEHL (2000) afirmam que na cidade de Santa Maria 69% das precipitações ocorrem no período das 00:00 às 06:00h.

Na estação Rancho do Amaral foi possível instalar o amostrador ISCO, somente em 01/09/2009, ocasionando poucos eventos para serem comparados com os coletados na estação Rincão do Soturno. Algumas vezes programava-se o equipamento, porém este não realizava as coletas. A sonda de turbidez DTS 12 foi instalada somente em 29/09/2009, no dia 03/11/2009 ocorreu uma chuva de 72,6mm num período de 8 horas, esta enxurrada arrancou o suporte de fixação da sonda, ficando esta, presa somente por seu cabo de conexão. Desde então a sonda passou a apresentar problemas de alto consumo de energia, o que impossibilitou as leituras contínuas dos parâmetros medidos. Na data de 04/01/2010 ocorreu um evento de 111,40mm que novamente arrancou o suporte de fixação da sonda e esta foi retirada do campo pela equipe técnica da universidade.

Na estação Rincão do Soturno o maior problema encontrado foi a não limpeza automática do visor da sonda de turbidez SL2000, pois esta superestimava seus dados de refletância quando a limpeza do visor não era realizada com frequência.

No evento ocorrido no dia 04/01/2010 o equipamento ISCO e a sonda de turbidez, foram levados pela enxurrada. A Figura 20 demonstra a seção de medição após o evento.

Alguns dados de escoamento superficial gerado pelo lisímetro tiveram de ser usados com certo critério, em virtude de alguns erros que ocorreram no decorrer do monitoramento:

- Eventualmente ocorria o entupimento do pluviômetro que contabilizava o escoamento superficial gerado pela precipitação no lisímetro. Quando isto ocorria era quantificado apenas o total escoado, não possibilitando o acompanhamento do escoamento no decorrer do evento. Este entupimento era causado pelos sedimentos carregados do lisímetro.

- O logger modelo LOGBOX, do escoamento superficial ficou sem bateria durante o período de 18/06/09 a 15/08/09 e 05/11/09 a 30/11/09 impossibilitando o armazenamento dos dados.



Figura 20 – Seção de medição da bacia Rincão do Soturno após o evento ocorrido em 04/01/2010.

5 - RESULTADOS

5.1 - Precipitação

Com os dados de precipitação adquiridos nas bacias monitoradas foi possível comparar as chuvas entre as estações Rancho do Amaral e Rincão do Soturno. Para melhor análise destes dados é apresentado a figura 21 que ilustra em forma gráfica os totais mensais ocorridas durante o ano de 2009 e como forma comparativa, apresenta-se o total mensal histórico (1961 a 2009) na estação do INMET, localizada nas coordenadas 238761m E 6711393m N.

Observa-se que as precipitações ocorridas na bacia Rancho do Amaral são maiores, que as ocorridas na estação Rincão do Soturno com exceção para o mês de março de 2009, que ocorreram precipitações 14% superiores que na estação Rincão do Soturno. A diferença entre as chuvas pode ser explicada pela amplitude da altitude e localização dos pluviógrafos, pois a estação Rancho do Amaral esta localizada bem no sopé da Serra Geral, com altitude de 240m, enquanto a estação Rincão do Soturno apresenta altitude de 170m, distante cerca de 3Km da primeira estação.

Para o ano de 2009, na estação Rancho do Amaral a maioria dos meses foram superiores a média histórica em especial os meses de setembro, novembro e dezembro com 259%, 408% e 171% respectivamente. E na estação Rincão do Soturno os mesmos apresentaram 211%, 317% e 148%.

Nas duas estações os meses de abril, julho e outubro foram inferiores a série histórica de comparação e na estação Rincão do Soturno o mês de junho também foi inferior a série histórica de comparação.

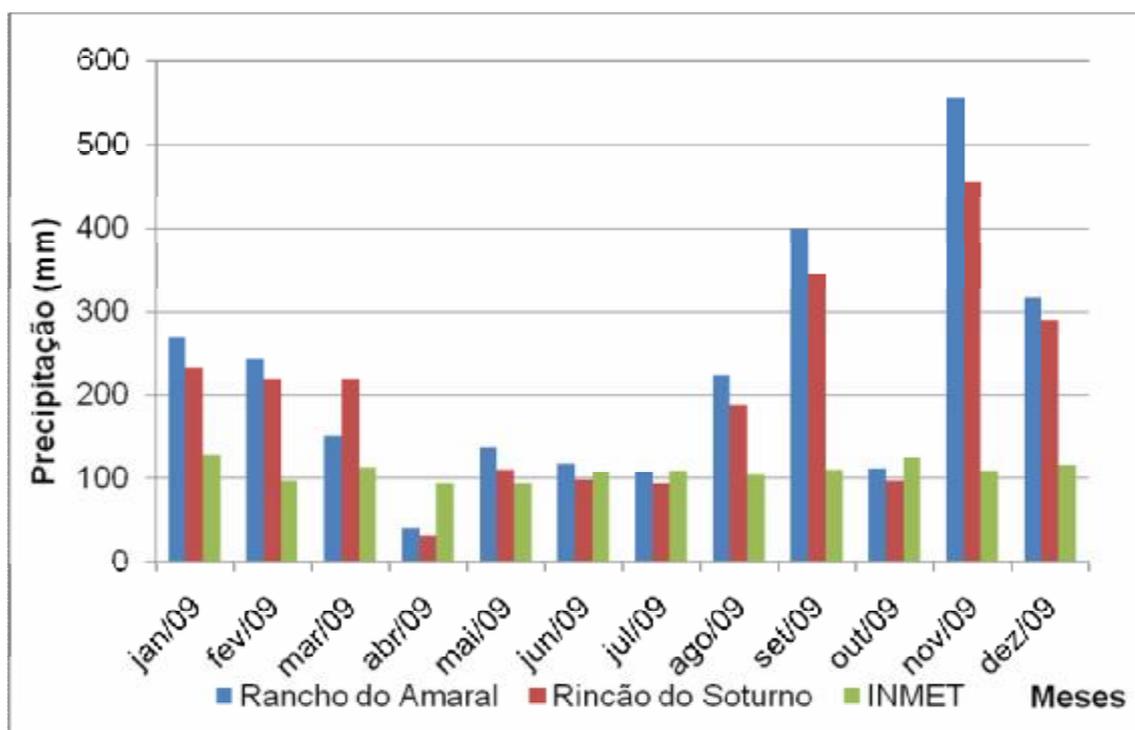


Figura 21 - Precipitação mensal observada nas estações Rancho do Amaral, Rincão do Soturno e INMET Santa Maria.

Analisando os dados obtidos das duas bacias monitoradas com os dados da estação do INMET e sua respectiva série histórica apresenta-se a tabela 4, que demonstra os dias em que as precipitações diárias nas duas bacias foram superiores as precipitações diárias da série histórica da estação do INMET.

Tabela 4 – Datas em que as precipitações diárias das bacias Rancho do Amaral e Rincão do Soturno foram superiores as precipitações diárias históricas da estação do INMET.

Mês	Dia	Rancho do Amaral	Rincão do Soturno	Inmet	Série histórica
		Precipitação (mm)	Precipitação (mm)	Precipitação (mm)	Precipitação (mm)
Janeiro	10	96	92	4	51
	18	62	57	47	39
Fevereiro	21	43	37	17	32
Março	2	98	84	71	76
Maio	13	42	34	3	11
	30	53	46	46	27
Junho	23	74	57	44	70
Julho	7	37	32	26	33
Agosto	8	53	44	26	31
	9	78	65	68	72
	17	37	27	7	29
Setembro	27	58	51	40	45
Novembro	7	49	39	47	37
	14	58	49	50	18
	23	44	33	37	11
	28	56	56	8	24
	30	73	30	42	66
Dezembro	2	95	22	69	34

Como o ano de 2009 foi um ano com precipitações acima da média quase todos os meses ocorreram dias em que a chuva foi maior que a série histórica. Em especial para o mês de novembro que apresentou cinco dias com chuvas superiores a média histórica. Também se constata que na estação do INMET os dias 18 de janeiro, 30 de maio, 7,14 e 23 de novembro e 2 de dezembro ocorreram eventos superiores a sua respectiva série histórica.

5.2 - Medições de descarga líquida nas estações.

Na estação fluviométrica da bacia Rancho do Amaral foram realizadas 74 medições de descarga líquida, no período de 29/08/2007 à 11/12/2009, no qual foram medidas vazões máxima e mínima de 5,867m³/s e 0,001m³/s, respectivamente. A Figura 22 apresenta o gráfico de dispersão de cota x vazão das medições realizadas na seção. Com os dados foi possível estabelecer equação da curva chave da seção de medição. Conforme equação a seguir apresentada:

$$Q = 2,08445 \cdot 10^{-6} (H + 14,4)^{3,34627} \quad (8)$$

$$R^2 = 0,98$$

Onde

Q – Descarga líquida (m³/s) e

H – Altura da lâmina d'água (cm).

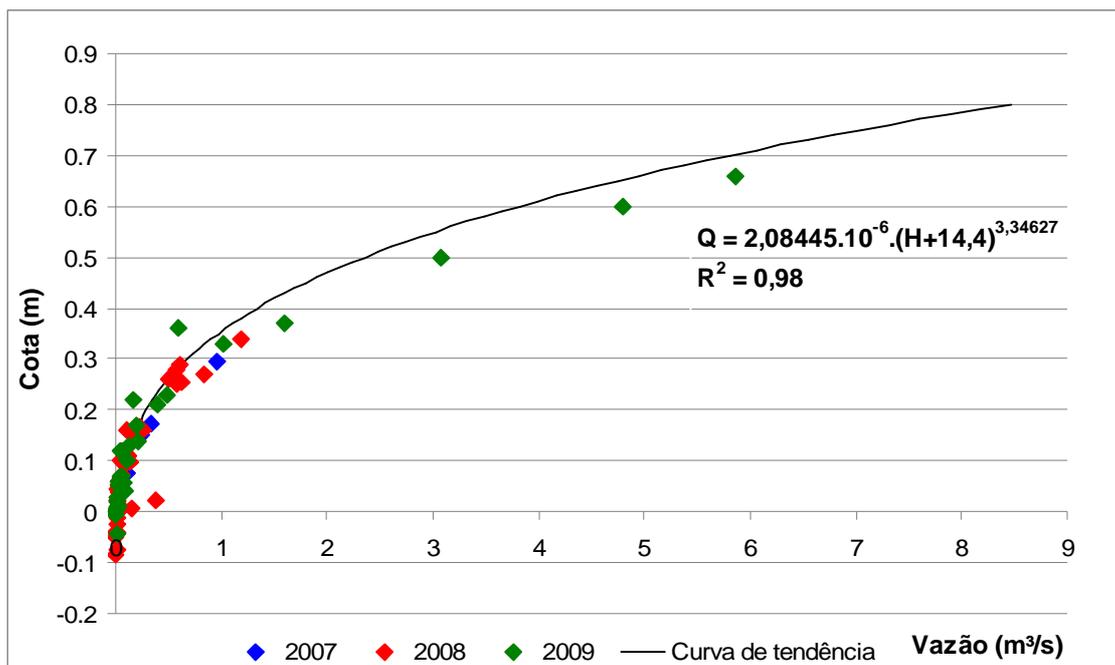


Figura 22 - Gráfico de cota x descarga líquida da estação Rancho do Amaral.

Na estação fluviométrica da bacia Rincão do Soturno foram realizadas 74 medições de descarga líquida, no período de 23/08/2007 à 16/11/2009, no qual foram medidas vazões máxima e mínima de 3,053m³/s e 0,014m³/s. A Figura 23 apresenta o gráfico de dispersão de cota x vazão das medições realizadas na seção. Com os dados foi possível estabelecer a equação da curva chave da seção de medição. Conforme equação a seguir apresentada:

$$Q = 1,0676 \cdot 10^{-6} (H - 1,5)^{3,56794} \quad (9)$$

$$R^2 = 0,97$$

Onde

Q – Descarga líquida (m³/s) e

H – Altura da lâmina d'água (cm).

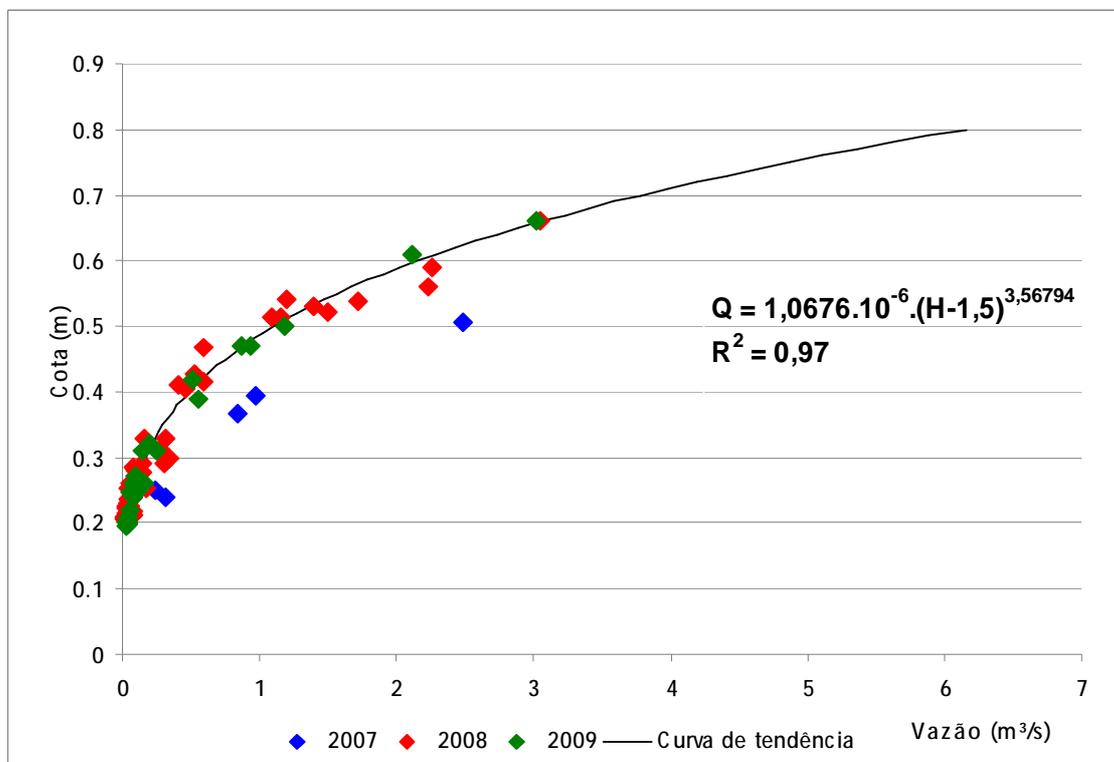


Figura 23 – Gráfico de cota x descarga líquida da estação Rincão do Soturno.

5.3 - Medições de descarga sólida nas estações

Na estação Rancho do Amaral realizaram-se 228 amostragens de sedimentos em suspensão entre o período de 01/09/2009 a 07/01/2010. Essas amostras foram coletadas com o equipamento ISCO, descrito no item 4,5, e algumas coletadas diretamente em campo.

Correlacionando os dados medidos foi ajustada a seguinte equação potencial:

$$\text{CSS} = 17,984e^{0,5974 \cdot Q} \quad (11)$$

$$R^2 = 0,19$$

A baixa relação de R^2 encontrada pode ser explicada pela incidência das diversas fontes de produção de sedimentos encontradas na bacia, como a erosão das barrancas e do leito. Ocasionalmente ocasionando uma amplitude significativa da concentração de sedimentos em suspensão para uma mesma vazão.

Para melhor visualização e entendimento dos pontos medidos a Figura 24 ilustra a relação entre descarga líquida e sólida da estação.

Paralelamente, as amostragens pontuais realizaram algumas coletas de sedimentos em suspensão com o amostrador USDH-48, representadas pelos quadrados rosa. A Tabela apresenta a data de coleta de tais amostras, bem como, tipo de amostra, hora, cota, descarga líquida e sólida.

Tabela 5 - Representação das amostras coletadas com o amostrador USDH-48 na estação Rancho do Amaral.

Data	Coleta	Hora	Cota (m)	Q (m ³ /s)	Conc. (mg/L)	Qs (ton/dia)
10/8/2009	Extra	16:00	0,34	0,91	45,89	3,59
	Homogeneizadas	16:00	0,34	0,91	39,57	3,10
25/9/2009	Extra	11:00	0,12	0,12	12,35	0,13
	Homogeneizadas	11:00	0,12	0,12	12,96	0,13
22/10/2009	Extra	10:30	0,06	0,05	16,28	0,07
	Homogeneizadas	10:30	0,06	0,05	14,56	0,06
11/12/2009	Extra	16:30	0,65	4,75	313,52	128,55
	Homogeneizadas	16:30	0,65	4,75	302,56	124,06

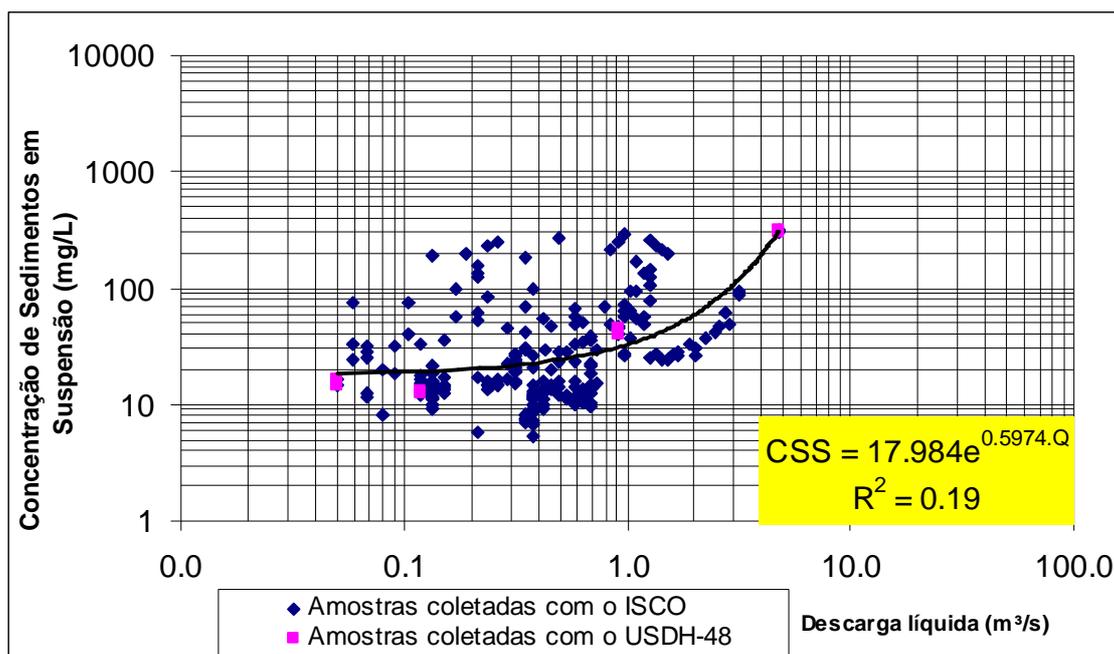


Figura 24 – Dispersão da descarga líquida x descarga sólida estação Rancho do Amaral.

Na estação de medição da bacia do Rincão do Soturno no período de 19/07/2008 a 28/12/2009 foram realizadas 819 amostragens de sedimentos em suspensão, essas amostras foram coletadas com o ISCO. Para melhor visualização e entendimento dos pontos medidos a Figura 26 ilustra a relação entre descarga líquida e sólida da estação, no qual se obteve a seguinte equação que correlaciona à descarga líquida x descarga sólida da estação.

$$\text{CSS} = 46,289 \cdot Q^{0,3995} \quad (10)$$

$$R^2 = 0,28$$

As mesmas explicações da baixa correlação de R^2 encontradas na bacia Rancho do Amaral pode ser consideradas para a bacia Rincão do Soturno.

Paralelamente, as amostragens pontuais realizaram-se algumas coletas de sedimentos em suspensão com o amostrador USDH-48, representadas pelos quadrados rosa. A Tabela apresenta a data de coleta de tais amostras, bem como, tipo de amostra, hora, cota, descarga líquida e sólida.

Tabela 6 - Representação das amostras coletadas com o amostrador USDH-48 na estação Rincão do Soturno.

Data	Coleta	Hora	Cota (m)	Q (m³/s)	Conc. (mg/L)	Qs (ton/dia)
10/8/2009	Extra	17:30	0,61	2,29	65,89	13,03
	Homogeneizadas	17:30	0,61	2,29	45,57	9,01
23/9/2009	Extra	16:20	0,33	0,24	380,15	7,77
	Homogeneizadas	16:20	0,33	0,24	356,09	7,28
25/9/2009	Extra	11:50	0,31	0,19	26,35	0,43
	Homogeneizadas	11:50	0,31	0,19	22,96	0,37
15/10/2009	Extra	14:00	0,280	0,13	16,28	0,18
	Homogeneizadas	14:00	0,280	0,13	14,56	0,16
22/10/2009	Extra	11:00	0,250	0,08	4,57	0,03
	Homogeneizadas	12:00	0,250	0,08	3,28	0,02

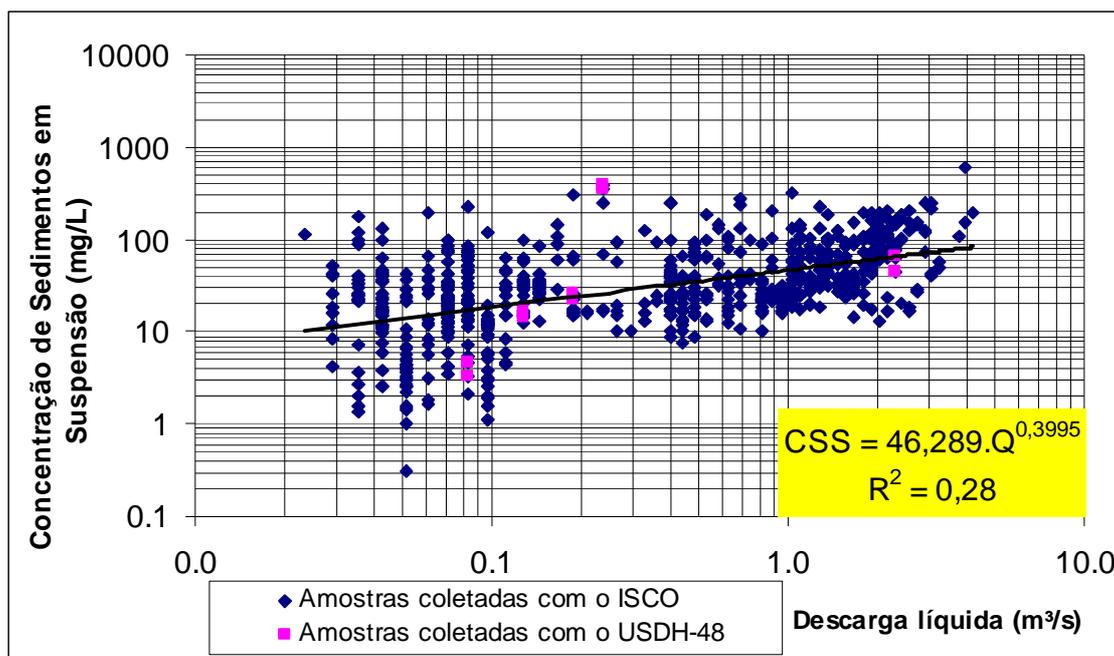


Figura 25 – Dispersão da descarga líquida x descarga sólida da estação Rincão do Soturno.

5.4 - Granulometria do material

5.4.1 - Material coletado no lisímetro e nos amostradores torpedos.

A distribuição granulométrica do sedimento serve para conhecermos a distribuição e tipo de sedimento que está sendo gerado e transportado na área em estudo. A Figura 26 demonstra em linhas vermelhas a granulometria do material coletado pelo lisímetro, durante o período de 12/06/2009 a 14/08/2009, 14/08/2009 a 30/09/2009 e 30/09/2009 a 10/12/2009. O material coletado na estação Rancho do Amaral está representado por linhas azuis, as coletas foram durante o período 29/09/2009 a 03/12/2009, 03/12/2009 a 07/01/2010, e representado por linhas roxas o material coletado na estação Rincão do Soturno, durante o período de 12/06/2009 a 03/09/2009, 03/09/2009 a 03/12/2009.

Constata-se que o material erodido no lisímetro, na coleta durante o período de 12/06/2009 a 14/08/2009 apresenta $d_{50} = 0,089\text{mm}$. A coleta do período de 14/08/2009 a 30/09/2009 apresenta $d_{50} = 0,08\text{mm}$. A amostra coletada no período de 30/09/2009 a 10/12/09 apresenta o $d_{50} = 0,1\text{mm}$.

Observa-se que a amostra coletada no período de 30/09/2009 a 10/12/2009 apresentou uma granulometria maior do que as outras duas amostras do lisímetro.

Para amostra coletada com o amostrador torpedo na estação Rancho do Amaral durante o período de 29/09/2009 a 03/12/2009 apresenta $d_{50} = 0.1\text{mm}$. A amostra coletada no período de 03/12/2009 a 07/01/2010 apresenta $d_{50} = 0.14\text{mm}$. Verifica-se que a amostra coletada no segundo período apresenta uma granulometria maior que a coletada no primeiro período.

Em relação às amostras coletas com o amostrador torpedo na estação Rincão do Soturno realizadas no período de 02/06/2009 a 03/09/2009 esta apresenta $d_{50} = 0.18\text{mm}$. A amostra coletada no período de 03/09/2009 a 03/12/2009 apresenta $d_{50} = 0.1\text{mm}$. Nota-se que a coleta do primeiro período apresenta uma granulometria maior que todas as outras amostras. Já a do segundo período apresenta uma tendência semelhante ao restante das amostras.

Analisando a distribuição granulométrica do lisímetro e do material coletado nos amostradores torpedo observa-se que o material erodido no lisímetro apresenta granulometria mais fina que os torpedos. Com exceção da amostra coletada no período de 14/08/2009 a 30/09/2009 que apresentou granulometria semelhante às amostras coletadas na estação Rancho do Amaral no período de 29/09/2009 a 03/12/2009 e a amostra da estação Rincão do Soturno no período de 03/09/2009 a 03/12/2009.

Para melhor conhecimento da distribuição granulométrica das amostras a tabela 7 apresenta as porcentagens de diâmetros característicos para 20, 35, 50, 65 e 90%, que são denominados de D_{20} , D_{35} , D_{50} , D_{65} e D_{90} .

Tabela 7 – Granulometria do material coletado no lisímetro e nos amostradores torpedos das estações Rancho do Amaral e Rincão do Soturno.

Estação	D20	D35	D50	D65	D90
Período	Diâmetro (mm)				
Rancho do Amaral 29/09/09 a 03/12/09	0,07	0,078	0,1	0,11	0,22
Rancho do Amaral 03/12/09 a 07/01/09	0,078	0,085	0,14	0,18	0,38
Rincão do Soturno 02/06/09 a 03/09/09	0,07	0,08	0,18	0,28	0,48
Rincão do Soturno 03/09/09 a 03/12/09	0,061	0,07	0,1	0,13	0,27
lisímetro 12/06/09 a 14/08/09	0,068	0,07	0,089	0,1	0,18
lisímetro 14/08/09 a 30/09/09			0,08	0,1	0,18
lisímetro 30/09/09 a 10/12/09	0,07	0,078	0,1	0,12	0,26

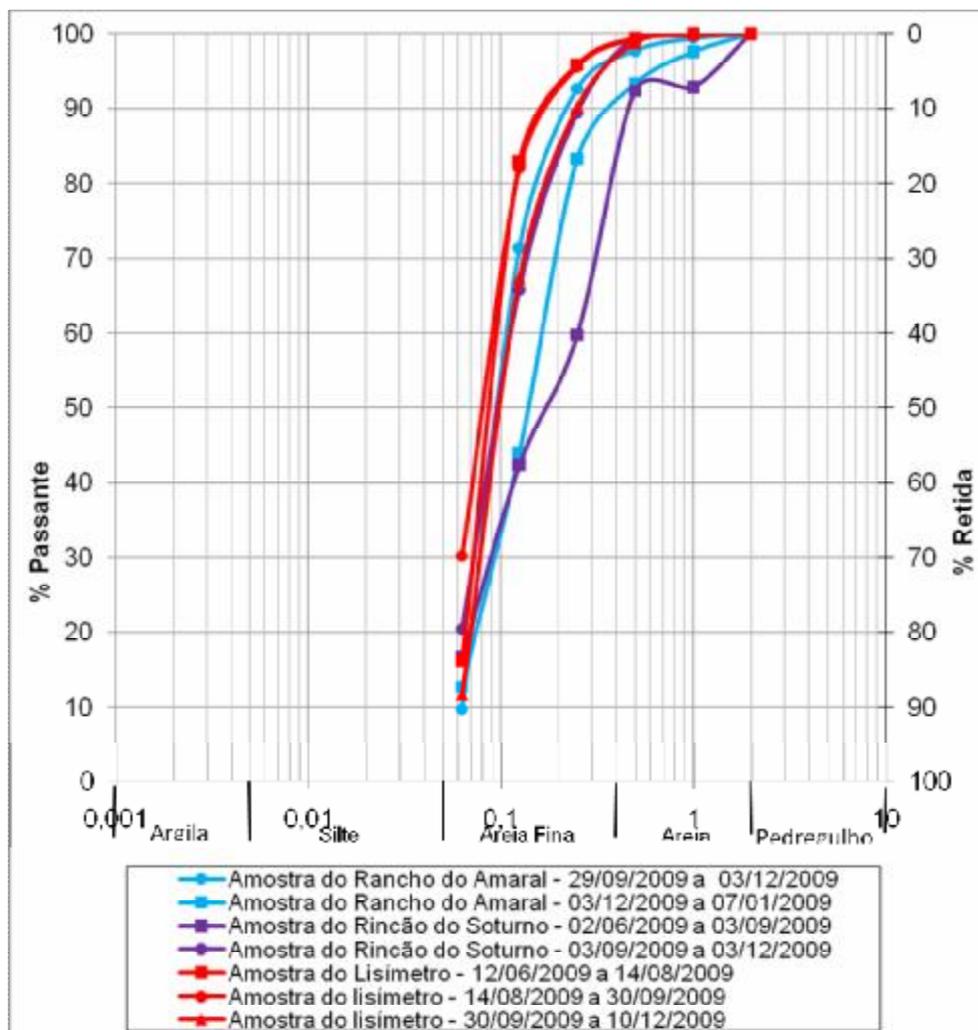


Figura 26. - Granulometria do material coletado no lisímetro e nos torpedos.

Analisando a tabela 7 observa-se que o material que apresentou maior granulometria foi a amostra coletada na estação Rincão do Soturno durante o período de 02/06/2009 a 03/09/2009 e o material que apresentou granulometria mais fina foi a amostra coletada no lisímetro durante o período de 12/06/2009 a 14/08/2009.

5.4.2 - Material coletado com o amostrador ISCO e coletas realizadas em campo.

Do material coletado em campo quando este apresentou concentrações maiores que 300mg/L se realizou a análise pela metodologia do tubo de retirada pela base, conforme descrito no item 4.6.4. Através deste método pode-se determinar a granulometria do material em suspensão, apresentada na Figura 27.

Em virtude do elevado número de amostras, optou-se por fazer uma média, separando-as de acordo com a bacia hidrográfica e em categorias conforme as estações do ano. O anexo 4 apresenta a data das amostras analisadas.

Para melhor conhecimento da distribuição granulométrica das amostras coletadas em campo a tabela 8 apresenta as porcentagens de diâmetros característicos para 20, 35, 50, 65 e 90%, que são denominados de D_{20} , D_{35} , D_{50} , D_{65} e D_{90} .

Tabela 8 – Granulometria do material coletado como amostrador ISCO e coletas em campo.

Estação	D20	D35	D50	D65	D90
Período	Diâmetro (mm)				
Rancho do Amaral		0,0078	0,017	0,038	0,2
Primavera					
Rancho do Amaral	0,004	0,013	0,03	0,084	0,34
Verão					
Rancho do Amaral	0,0045	0,016	0,049	0,18	0,6
Inverno					
Rincão do Soturno		0,007	0,016	0,03	0,2
Primavera					
Rincão do Soturno	0,004	0,015	0,035	0,14	0,38
Inverno					

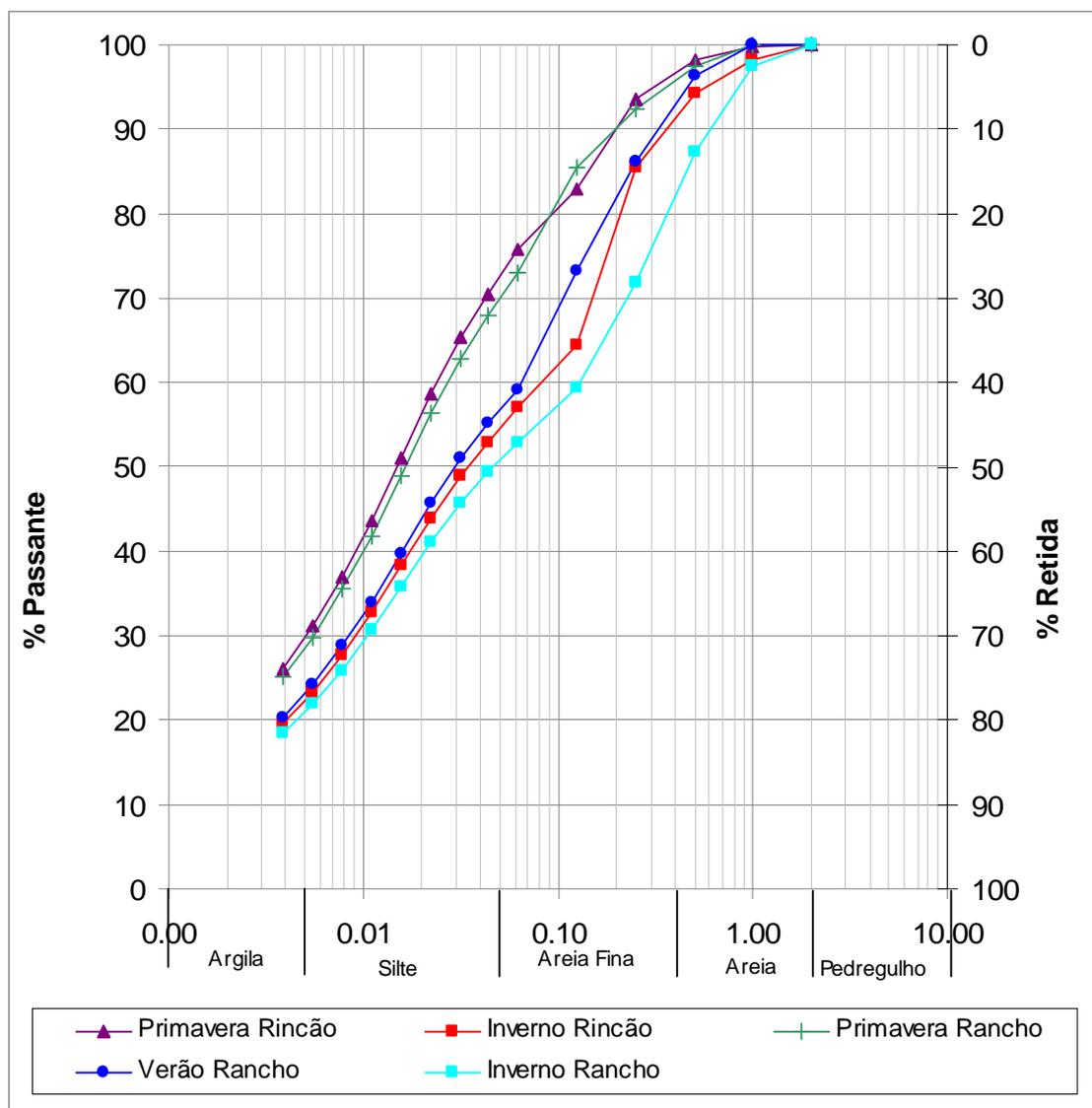


Figura 27 – Granulometria do material em suspensão.

Conclui-se que na tabela 8 o material que apresentou maior granulometria foi a média das amostras coletadas no inverno, na estação Rancho do Amaral, e o material que apresentou granulometria mais fina foi à média das amostras coletadas na primavera da estação Rincão do Soturno. Com as coletas que foram analisadas pela metodologia de Tubo de retirada pela base foi possível determinar a porcentagem de areia, silte e argila em cada amostra. Como descrito anteriormente, em virtude do elevado número de amostras foi realizado uma média aritmética dos resultados das amostragens.

A tabela 9 apresenta a porcentagem de areia, silte e argila encontrada nas coletas das bacias monitoradas.

Tabela 9 – Porcentagem de Areia, Silte e Argila encontrada nas coletas realizadas com o amostrador ISCO nas bacias monitoradas.

Estação	Areia	Silte	Argila
Período	(%)	(%)	(%)
Rancho do Amaral Primavera	50,70	32,25	17,05
Rancho do Amaral Verão	40,80	38,76	20,44
Rancho do Amaral Inverno	47,05	34,57	18,38
Rincão do Soturno Primavera	20,78	51,80	27,42
Rincão do Soturno Inverno	35,41	42,30	22,29

Analisando a tabela 9 as diferenças de granulometria do material podem ser em virtude da bacia Rincão do Soturno ser mais a jusante que a bacia Rancho do Amaral e menos declivosa o que ocasiona a diminuição da velocidade do fluxo. E como consequência as partículas maiores e mais pesadas tendem a se precipitar quando a velocidade e as forças de gravidade não conseguem manter essa partícula suspensa. Respondendo a maior incidência de areia em suspensão na bacia Rancho do Amaral e maior incidência de silte na bacia Rincão do Soturno.

5.5 - Escoamento superficial no lisímetro

Para a determinação do escoamento superficial foi utilizado um lisímetro volumétrico, descrito no item 4.2.

A fim de melhor representar a dinâmica do escoamento superficial dentro do lisímetro, a tabela 10 demonstra as médias e o total do escoamento superficial durante o período de monitoramento.

Tabela 10 – Escoamento superficial ocorrido no lisímetro instalado na bacia Rancho do Amaral.

	Média de cada evento (mm)		Total do período (mm)	
	Escoamento superficial	Precipitação	Escoamento superficial	Precipitação
Todo período (2009)	0.14	2.65	45.75	2353.20
Primavera	0.30	3.79	23.27	879.80
Verão	0.11	3.38	14.58	523.40
Outono	0.01	1.56	0.22	221.80
Inverno	0.09	2.17	7.67	728.20

Os valores da tabela 10 foram adquiridos através do somatório das precipitações e escoamento superficial de todos os eventos durante o período. A média aritmética foi feita dividindo-se o total precipitado e escoado pelo número de dias que ocorreram esses eventos.

Observa-se que a primavera foi o período que apresentou maior média de cada evento pluviométrico e também o de maior média de escoamento superficial, seguido pelo verão, inverno e outono. Constata-se que o escoamento superficial está diretamente vinculado a precipitação, pois os períodos de maiores precipitações médias foram também os de maior escoamento superficial.

Também se constata que o inverno apesar de ter sido o segundo período com maior precipitação total não foi o segundo período com maior precipitação média e escoamento superficial. Isso se deve ao fato de que no inverno as precipitações foram menos intensas e mais contínuas, típico de precipitações ciclônicas. Já no verão as precipitações foram mais intensas gerando maiores escoamentos, típico de precipitações convectivas.

Em virtude de problemas encontrados na operação do lisímetro, no decorrer da pesquisa, foi possível separar apenas alguns eventos que pudessem representar quantitativamente e qualitativamente o escoamento superficial gerado por precipitações ocorridas na bacia.

Para efeito de estudo definiu-se como início do evento o momento em que iniciou a precipitação e como fim, o momento em que cessou o escoamento ou fim da precipitação (aquele que ocorrer por último).

As Figuras 28 à 39 apresentam os eventos selecionados, em escala horária, capazes de gerar escoamento superficial, ocorridos durante o ano de 2009.

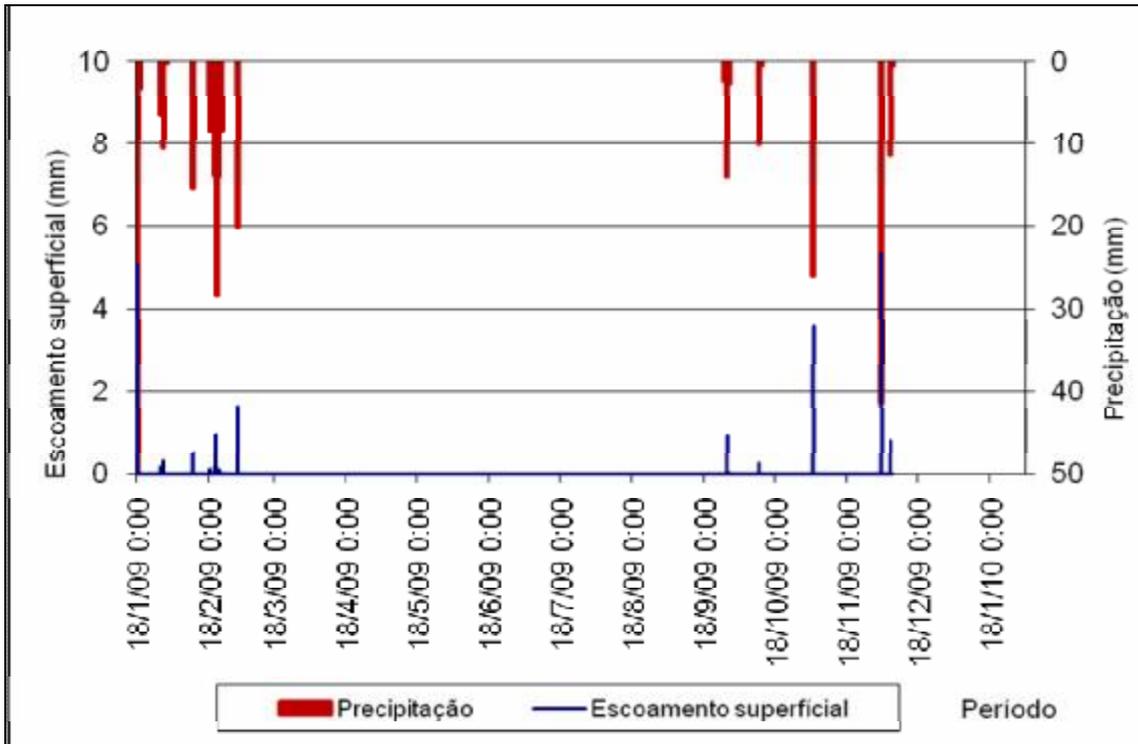


Figura 28 – Precipitação e escoamento superficial em eventos selecionados durante o ano de 2009.

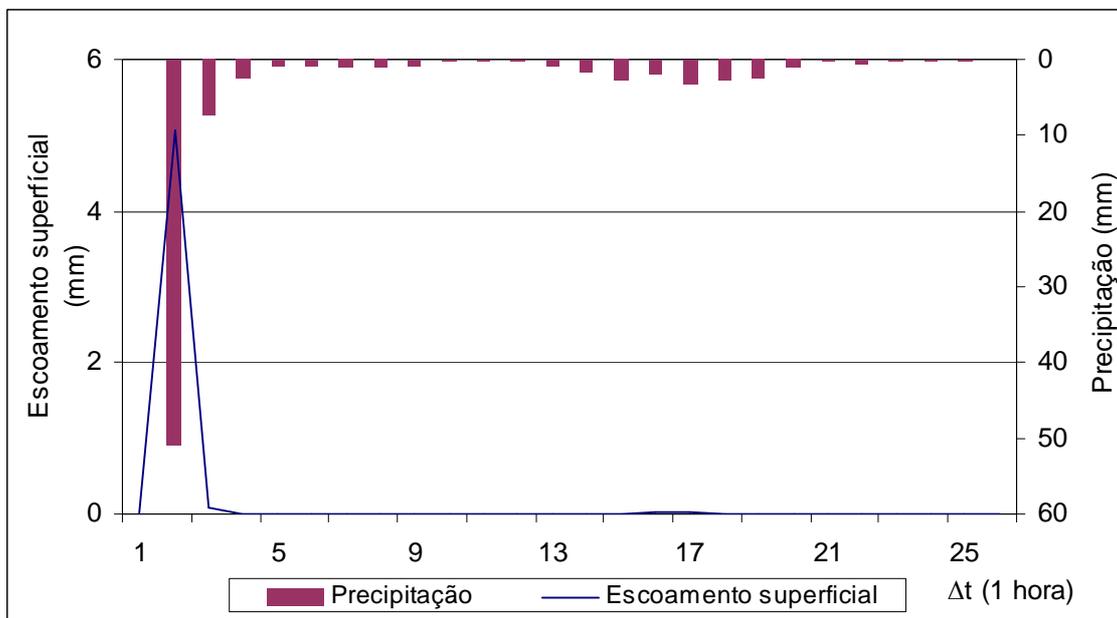


Figura 29 – Evento ocorrido em 18/01/09 às 19h a 19/01/09 às 20h.

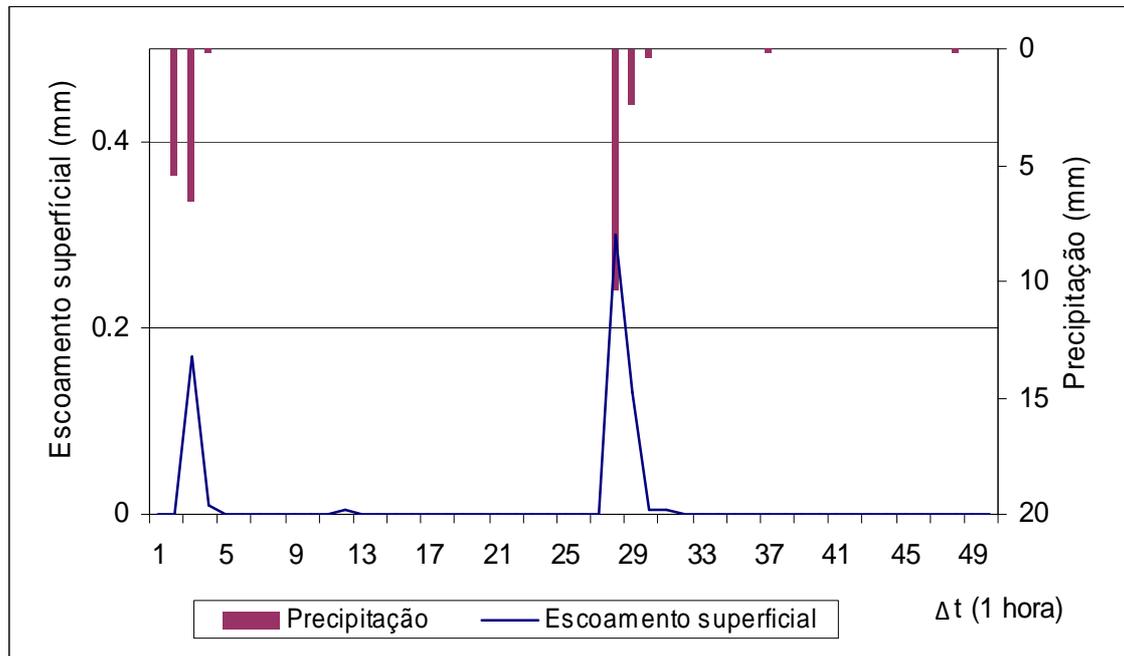


Figura 30 - Evento ocorrido em 28/01/09 às 13h a 30/01/09 às 14h.

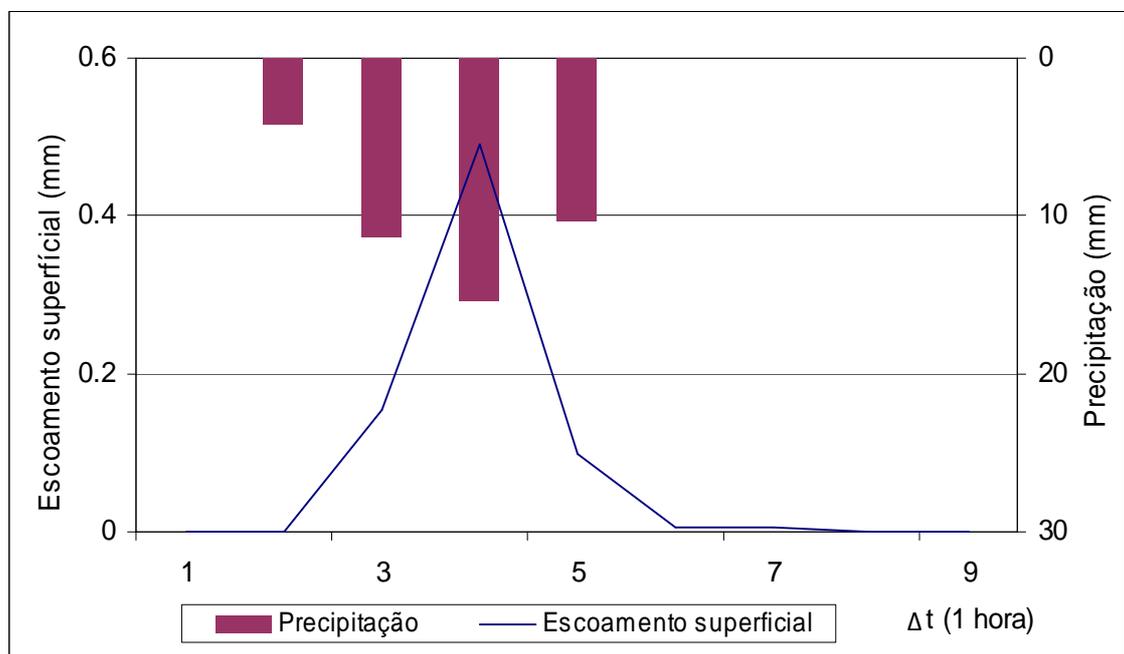


Figura 31 - Evento ocorrido em 11/02/09 das 04h às 12h.

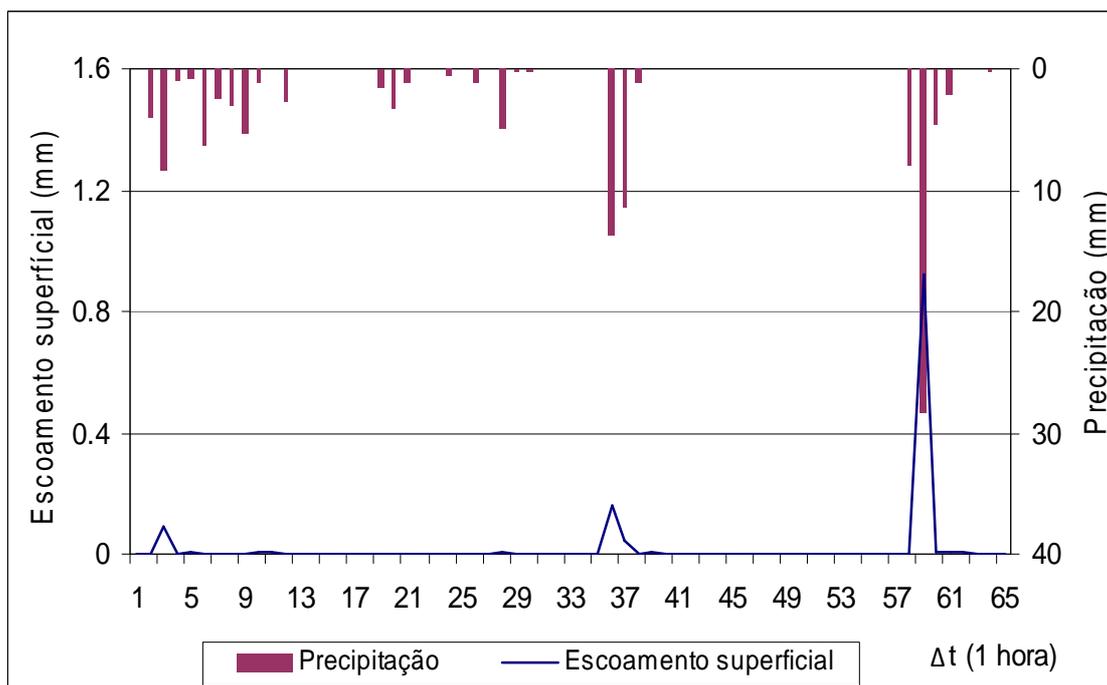


Figura 32 - Evento ocorrido em 18/02/09 às 16h a 21/02/09 às 18h.

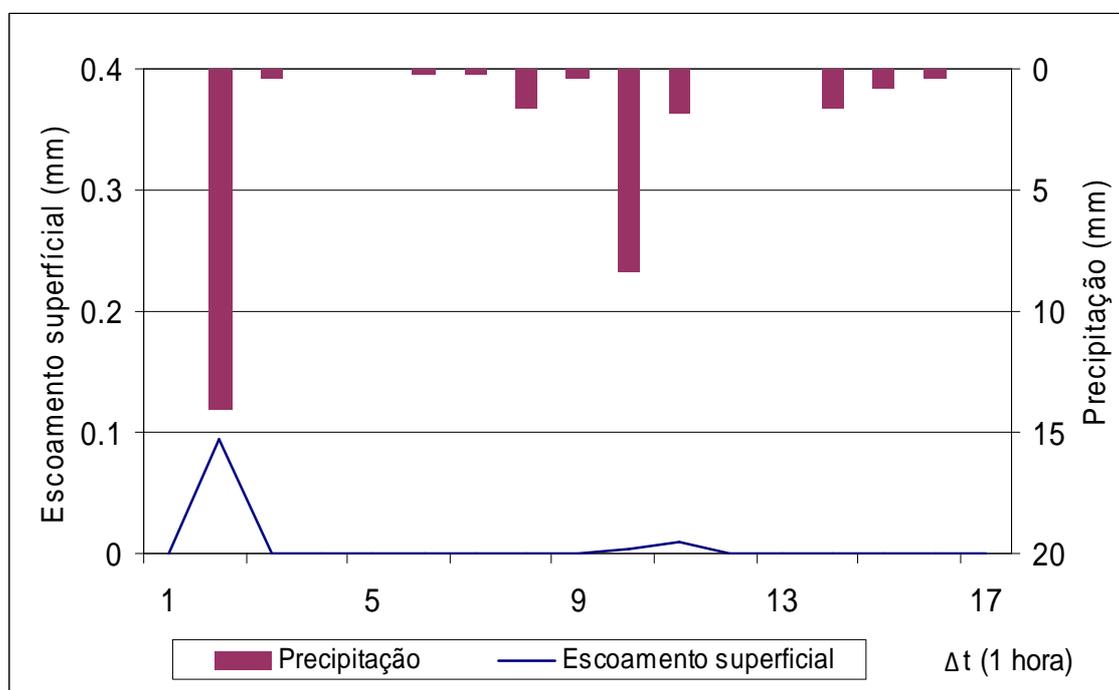


Figura 33- Evento ocorrido em 22/02/09 às 22h a 23/02/09 às 14h.

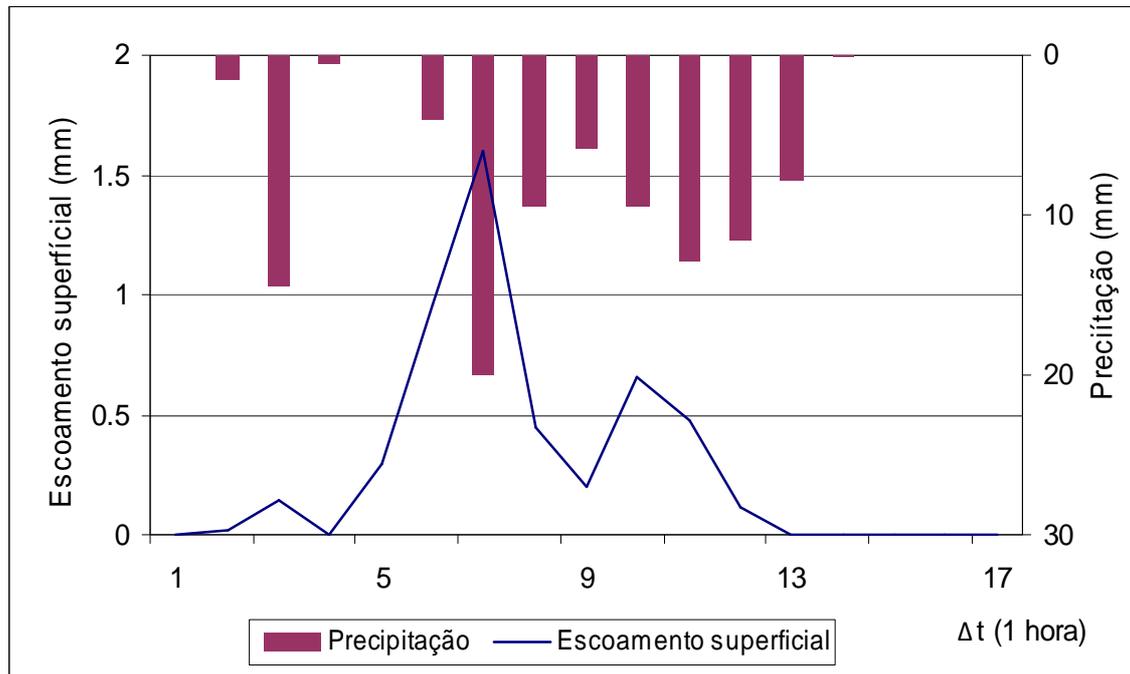


Figura 34 - Evento ocorrido em 02/03/09 das 2h às 18h.

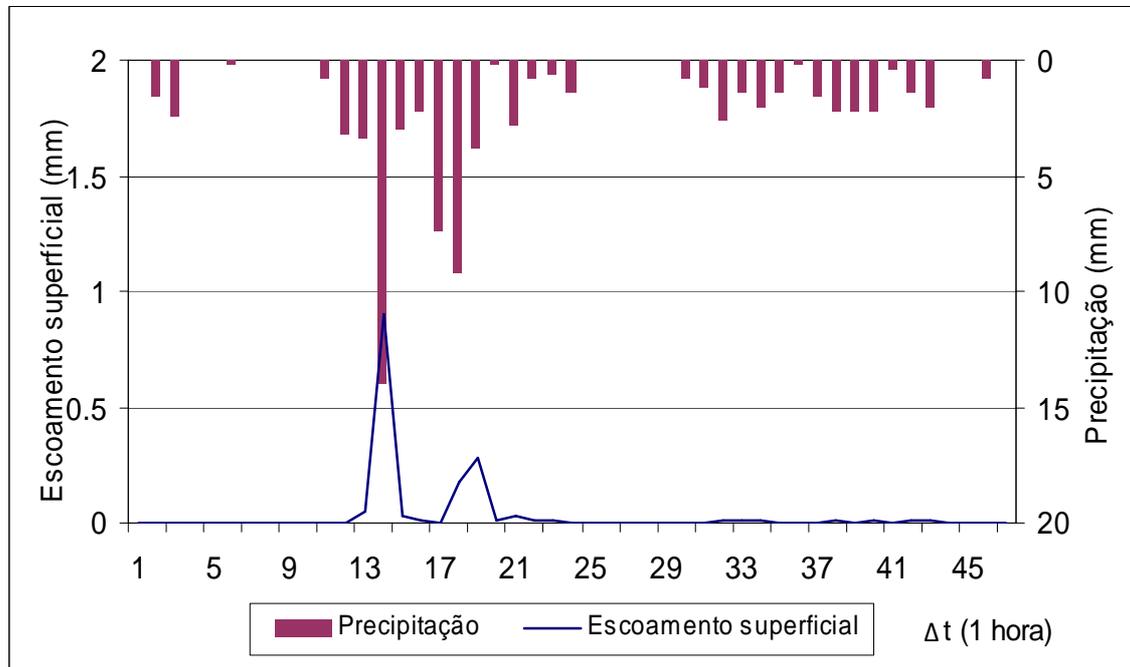


Figura 35 - Evento ocorrido em 26/09/09 às 17h a 28/09/09 às 15h.

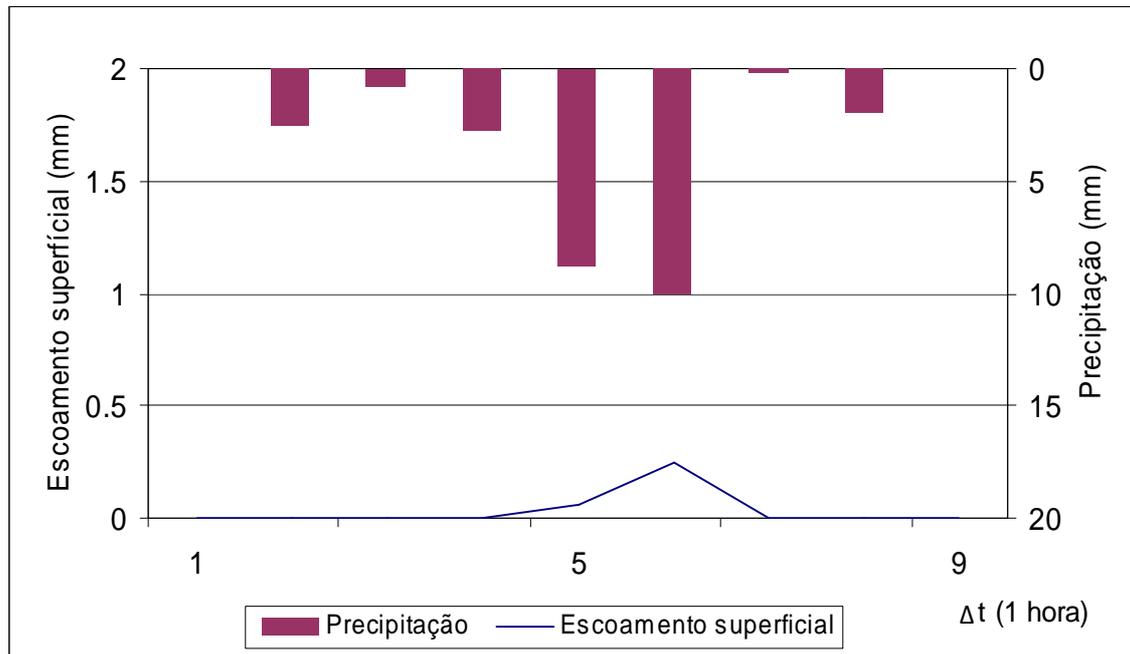


Figura 36 - Evento ocorrido em 11/10/09 das 11h às 20h.

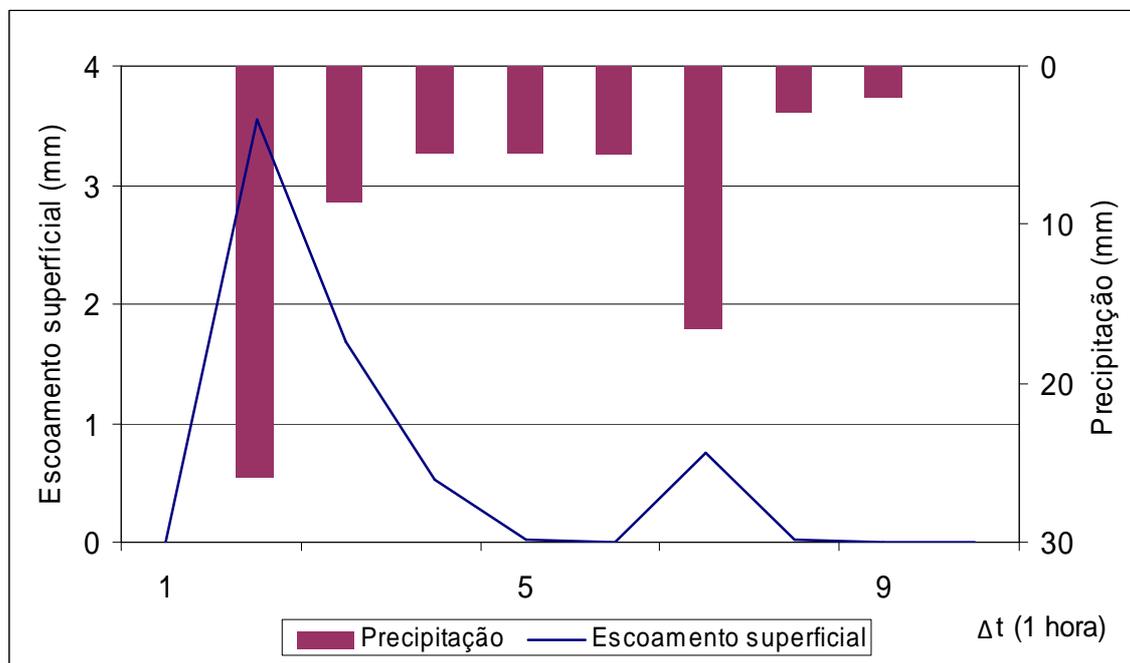


Figura 37 - Evento ocorrido em 03/11/09 das 08h às 17h.

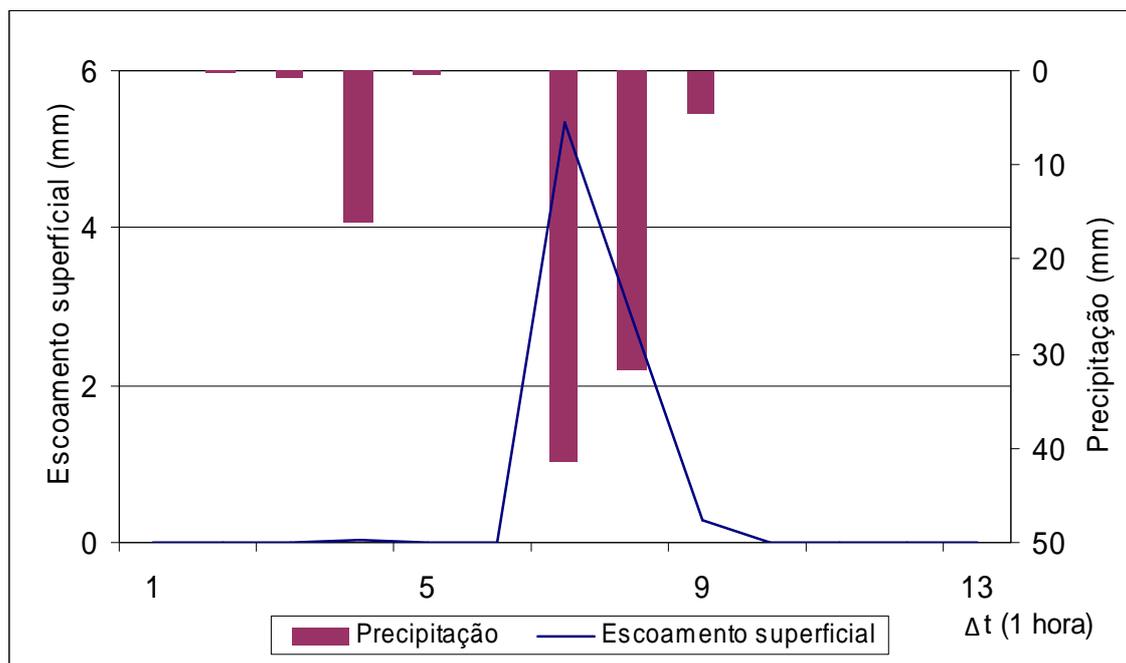


Figura 38 - Evento ocorrido em 02/12/09 das 05h às 17h.

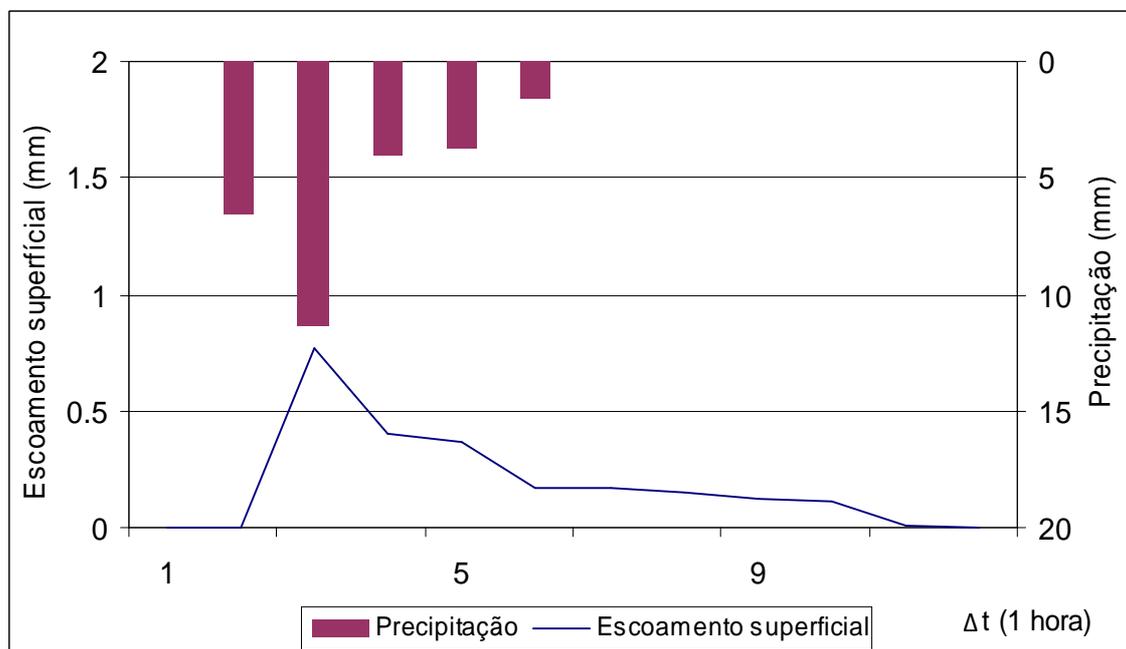


Figura 39 - Evento ocorrido em 06/12/09 das 00h às 11h.

Analisando-se as figuras Figura 28 à Figura 39, de forma geral, observa-se que as precipitações que geram maior escoamento são as mais concentradas e intensas. Também se observa que geralmente o escoamento

superficial ocorre quando as precipitações são maiores que 10mm h^{-1} , ou quando ocorrem precipitações de no mínimo 6mm num período antecedente de 15min . Seguindo as mesmas tendências dos trabalhos apresentados por Wischmeier e Smith (1978).

Verifica-se que na maioria dos casos as chuvas ocorridas apresentam padrão avançado, ou seja, são mais intensas no início, seguindo os padrões encontrados por Mehl (2000).

Para se ter uma melhor compreensão da dinâmica de cada evento a tabela 11, apresenta o total precipitado, o total escoado e a percentagem escoada.

Tabela 11 – Total precipitado, total escoado e percentagem escoada de cada evento.

Eventos selecionados	Total Precipitado	Total escoado no Lisímetro	Percentagem escoada no Lisímetro	Vazão específica escoada na bacia Rancho do Amaral (Por evento)	Vazão específica escoada na bacia Rincão do Soturno (Por evento)	Índice de Precipitação Antecedente (5 dias)
	(mm)	(mm)	(%)	L/s.Km ²	L/s.Km ²	(mm)
18/01/09 às 19h a 19/01/09 às 20h	84,60	5,21	6,16	20,31	22,30	4,40
28/01/09 às 13h a 30/01/09 às 14h	25,80	0,61	2,38	8,41	9,28	11,20
11/02/09 das 04 às 12h	41,40	0,75	1,82	8,47	5,65	0,40
18/02/09 das 16h a 21/02/09 às 18h	117,80	1,27	1,07	236,51	145,02	0,40
22/02/09 às 22h a 23/02/09 às 14h	29,80	0,11	0,06	42,06	26,34	117,80
02/03/09 das 2h às 18h	97,60	4,95	2,27	568,71	637,77	33,80
26/09/09 às 17h a 28/09/09 às 15h	79,40	1,64	2,06	406,02	437,75	10,00
11/10/09 das 11h às 20h	27,20	0,31	1,12	30,80	29,07	0,80
03/11/09 das 08h às 17h	72,60	6,53	9,00	98,82	78,94	0,00
02/12/09 das 05h às 17h	94,80	8,54	9,00	893,35	404,84	130,00
06/12/09 das 00h às 11h	27,40	2,26	8,26	24,87	16,84	94,80

Observa-se que a precipitação do evento da figura 32 é a de maior precipitação total, porém, não é o maior escoamento gerado. Fato que pode ser explicado pela baixa intensidade da chuva e sua maior durabilidade. Mais uma vez se observa que as chuvas mais intensas e mais concentradas são as que geram maiores escoamentos. Geralmente isto ocorre quando a precipitação é maior que a capacidade de infiltração do solo.

Verifica-se também que as precipitações que geraram maiores escoamentos foram os eventos das Figura 29, Figura 34 (verão) e Figura 37, Figura 38 e Figura 39, ocorridas na primavera.

5.6 - Aferição das sondas de turbidez.

Para as sondas de turbidez instaladas nas seções de medições das bacias Rancho do Amaral e Rincão do Soturno aferiu-se as mesmas dentre as possibilidades de concentração de sedimentos em suspensão transportados no curso d'água. Este procedimento foi realizado diretamente em campo, onde se instalou a sonda na seção de medição, suas leituras foram programadas para serem realizadas com intervalos de 10 minutos. Concomitantemente as medidas da sonda foram coletadas com o equipamento ISCO, amostras durante os eventos, na subida e descida da onda de cheia, com intervalo de tempo de 1 hora entre cada amostra.

Para a sonda SL200 - TS instalada na seção de medição da bacia Rincão do Soturno, como esta não tinha uma equação definida que expressasse diretamente a correlação entre turbidez (NTU) e CSS foi utilizada uma correlação direta de 1:1 entre os parâmetros. Após as análises de laboratório das amostras coletadas em campo foi possível fazer uma correlação entre o sinal em NTU e a concentração de sedimentos em suspensão (mg/L).

Minella (*et al.*, 2008), afirma que a calibração que determina a melhor relação entre o sinal de turbidez (NTU) e a CSS (mg/L) foi aquela que utiliza amostras coletadas durante os eventos de chuva. Se comparada com a calibração feita em laboratório com amostras provenientes de solos da bacia e em relação às amostras coletadas pelo amostrador torpedo.

O gráfico da figura 40 demonstra a relação obtida entre a concentração de sedimentos em suspensão (mg/L) e a turbidez (NTU).

Com os dados de turbidez x CSS foi possível estabelecer a equação que correlaciona as duas variáveis, para a estação Rincão do Soturno obteve-se a equação a seguir apresentada:

$$\text{CSS} = 0,7278 \cdot T - 19,98 \quad (6)$$
$$R^2 = 0,71$$

Onde

CSS – Concentração de Sedimentos em Suspensão (mg/L) e

T – Turbidez (NTU).

Destes dados foi encontrado desvio padrão de 101,87.

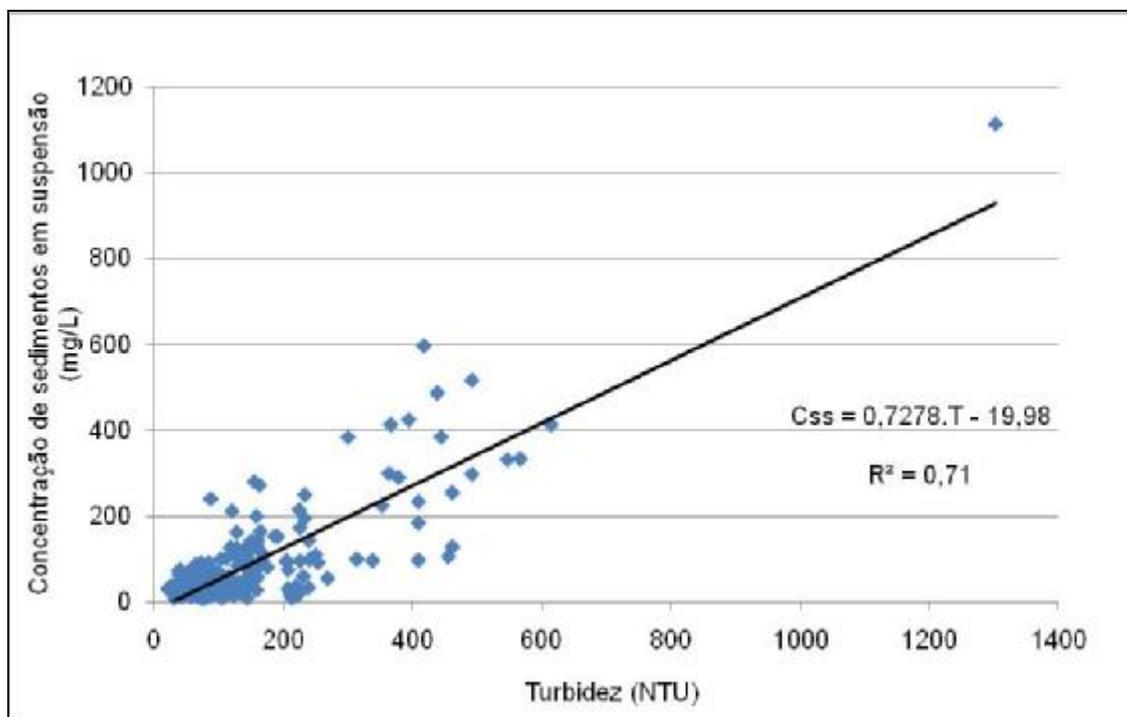


Figura 40 – Gráfico de concentração x turbidez da estação Rincão do Soturno.

Na Figura 41, visualiza-se o comportamento da concentração de sedimentos em suspensão e a turbidez durante o período de monitoramento, podendo-se observar uma similaridade entre a turbidez e a CSS, porém observa-se que a turbidez apresenta valores maiores que a CSS, principalmente nos picos, com exceção de dois picos.

Para a sonda DTS 12 instalada na seção de medição da bacia Rancho do Amaral, em virtude do equipamento já vir calibrado pelo fabricante as suas leituras foram feitas diretamente. Após as análises de concentração de sedimentos em suspensão realizadas nas amostras coletadas pelo ISCO, foi possível correlacionar à concentração de sedimentos em suspensão e a turbidez do fluxo, conforme apresentado na Figura 42.

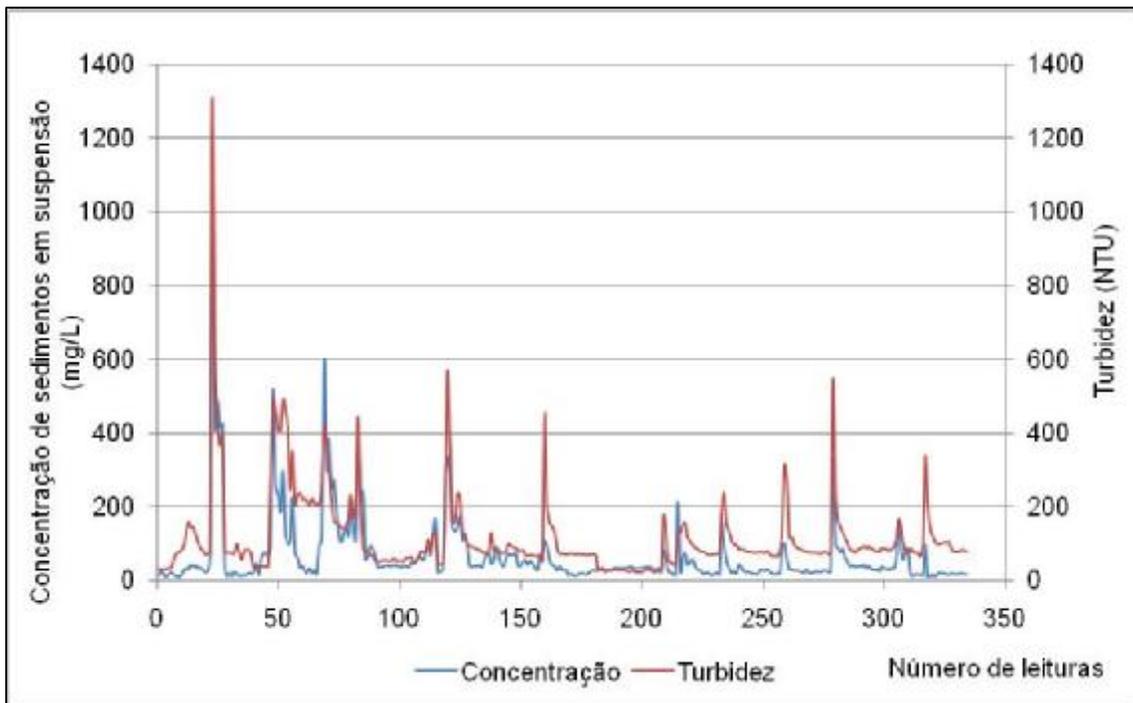


Figura 41 – Comportamento da concentração de sedimentos em suspensão e turbidez da estação Rincão do Soturno.

Com os dados de turbidez x CSS foi possível estabelecer a equação que correlaciona as duas variáveis, para a estação Rancho do Amaral obteve-se a equação a seguir apresentada:

$$\text{CSS} = 0,5602 \cdot T + 4,1413 \quad (7)$$

$$R^2 = 0,76$$

Onde

CSS – Concentração de Sedimentos em Suspensão (mg/L) e

T – Turbidez (NTU).

Destes dados foi encontrado desvio padrão de 101,54.

Na figura 43, visualiza-se o comportamento da concentração de sedimentos em suspensão e a turbidez durante o período de monitoramento, podendo-se observar uma similaridade entre os parâmetros. Entretanto ocorreram períodos em que a turbidez apresentou valores maiores que a concentração

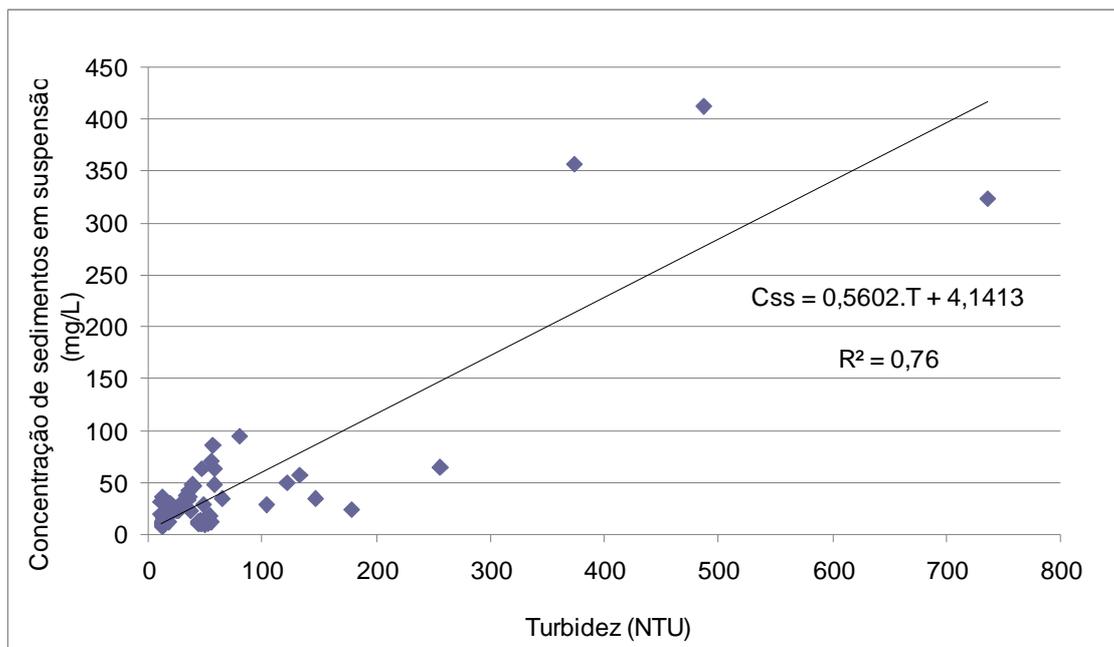


Figura 42 – Gráfico de concentração x turbidez da estação Rancho do Amaral.

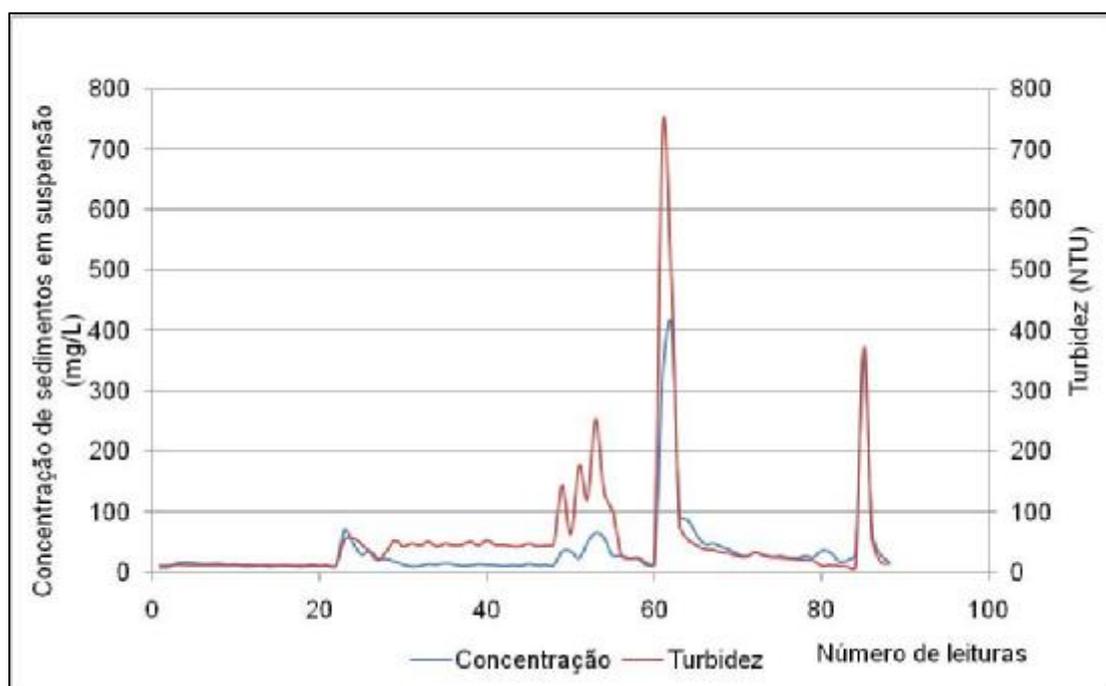


Figura 43 – Correlação do comportamento da concentração de sedimentos em suspensão e turbidez da estação Rancho do Amaral.

5.7 – Comparação da produção de sedimentos das bacias monitoradas

Como as figuras Figura 44 e Figura 45 apresentam a correlação entre turbidez e CSS, encontrados em cada seção de medição, para saber o aporte de sedimentos em suspensão gerado em cada bacia faz-se necessário conhecer a relação de CSS entre as duas bacias. Assim sendo as figuras 44 a 48 demonstram as precipitações registradas em cada bacia com suas respectivas concentrações geradas. Estas amostras de sedimentos em suspensão foram coletadas com o amostrador ISCO, com intervalo de uma e duas horas entre cada coleta.

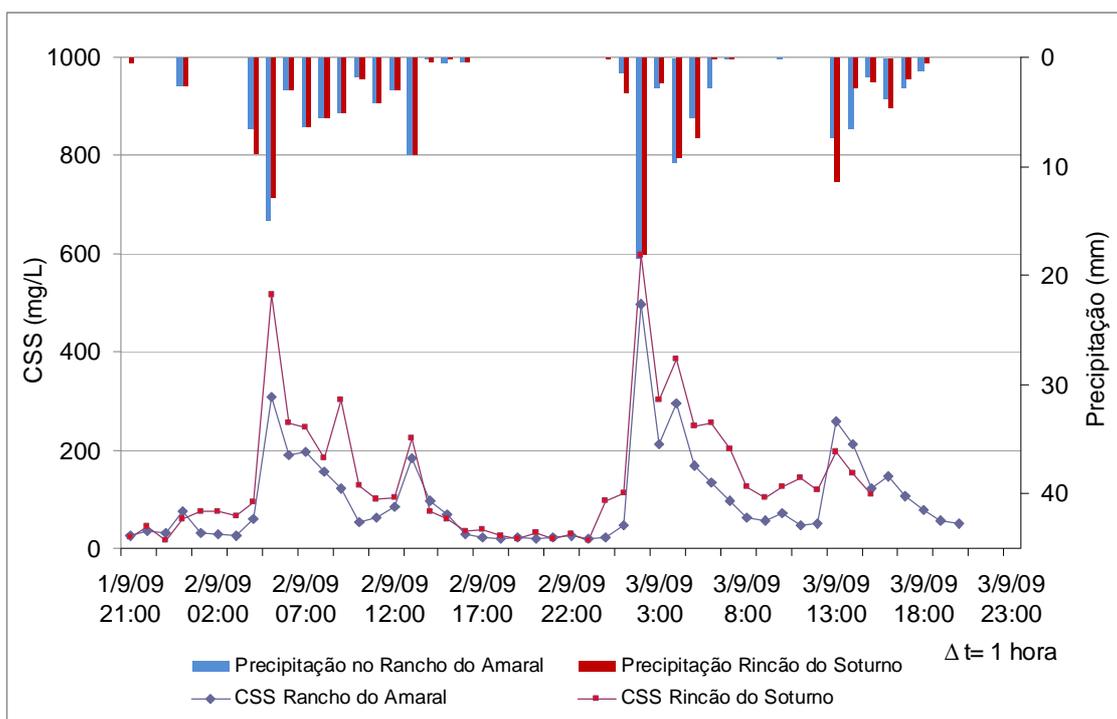


Figura 44 – Precipitação e CSS ocorrido de 01/09/09 a 03/09/09.

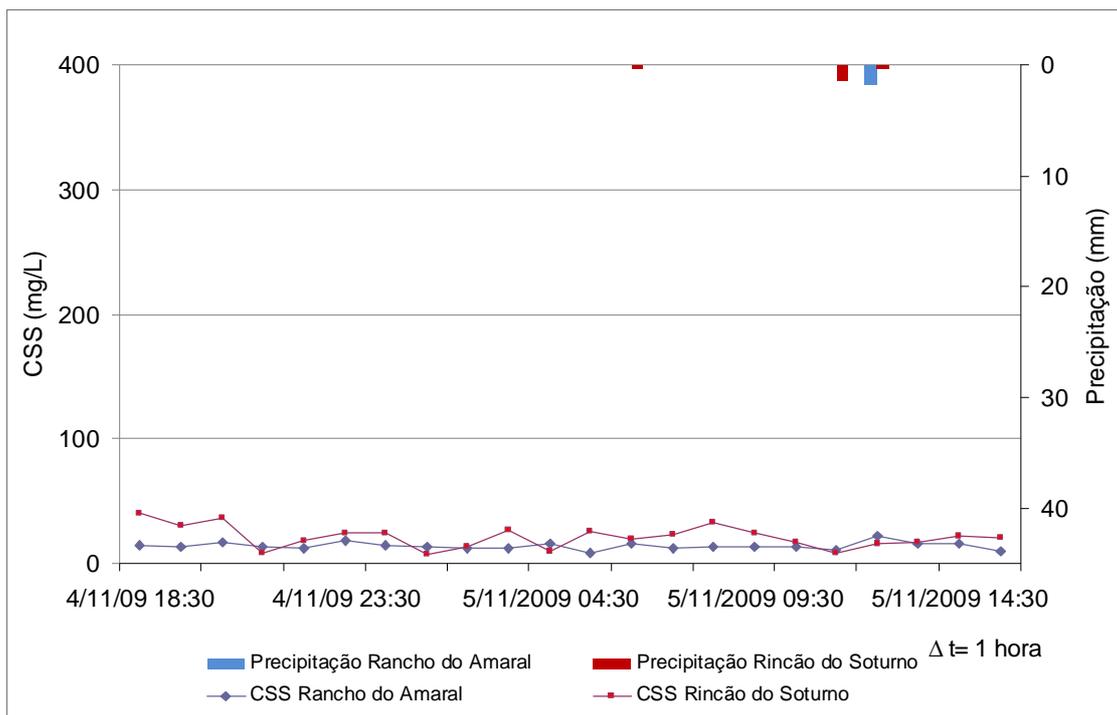


Figura 45 – Precipitação e CSS ocorrido de 04/11/09 a 05/11/09.

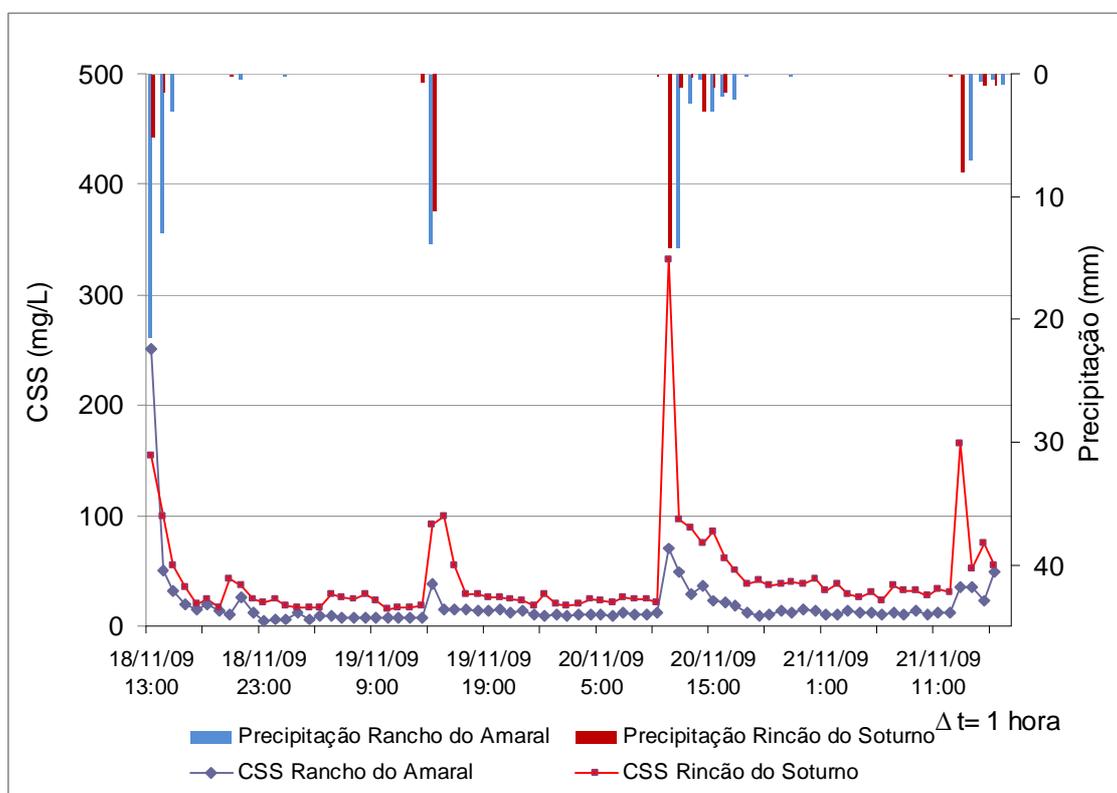


Figura 46 – Precipitação e CSS ocorrido de 18/11/09 a 21/11/09.

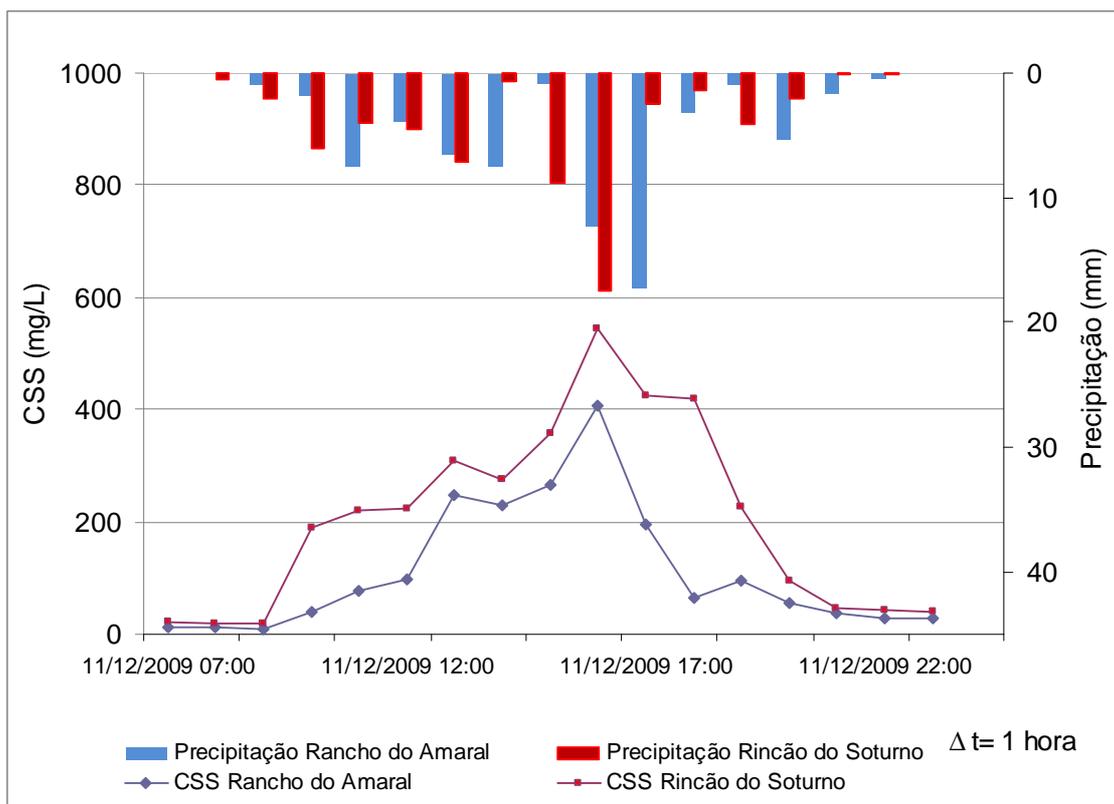


Figura 47 – Precipitação e CSS ocorrido em 11/12/09.

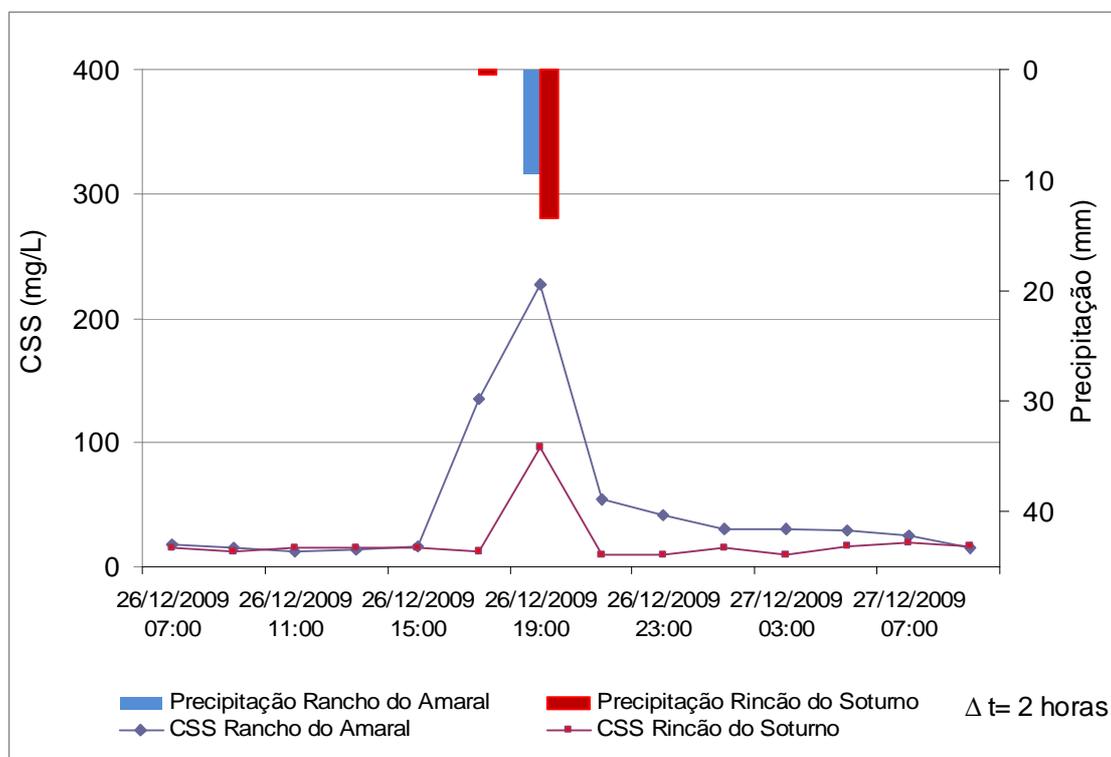


Figura 48 – Precipitação e CSS ocorrido em 26/12/09 e 27/12/09.

Analisando as figuras 44 a 48 observa-se que a bacia Rincão do Soturno apresenta maior concentração de sedimentos em suspensão em períodos com chuva e sem chuva que a bacia Rancho do Amaral. Com exceção do evento ocorrido em 26 e 27/12/09. Nos restantes dos eventos a superioridade da CSS da bacia Rincão do Soturno é notória chegando a picos de 596,53mg/L contra 497,26mg/L na bacia Rancho do Amaral. Nos eventos selecionados constata-se que em média a bacia Rincão do Soturno apresenta 52,58mg/L de sedimentos em suspensão, equivalente a 67% a mais que a bacia Rancho do Amaral, quando há a ocorrência de precipitação. Quando não há precipitação a superioridade fica em 7,29mg/L, equivalente a 34%.

5.7.1 – Resumo dos dados adquiridos nas bacias monitoradas

Sendo o objetivo principal deste trabalho, quantificar a produção de sedimentos em diferentes escalas espaço temporais, fez-se necessário separar as áreas monitoradas e o período monitorado para poder analisar suas diferenças no decorrer do tempo e do espaço. Assim compilando os dados adquiridos foi possível elaborar a tabela 12, que apresenta de forma resumida os valores médios destes dados.

Tabela 12 - Resumo dos dados adquiridos.

Resumo dos dados	Todo período (2009)	Primavera	Verão	Outono	Inverno
Precipitação média do Rancho (mm)	2,65	3,79	3,38	1,56	2,17
Precipitação média do Rincão (mm)	1,87	2,54	2,25	0,77	1,37
Escoamento superficial do lisímetro(mm)	0,14	0,3	0,11	0,01	0,09
Vazão específica do Rancho (L/s.Km ²)	17,98	44,94	4,49	4,49	31,46
Vazão específica do Rincão (L/s.Km ²)	13,36	35,89	6,68	3,34	23,37
Descarga líquida do Rancho (m ³ /s)	0,08	0,2	0,02	0,02	0,14
Descarga líquida do Rincão (m ³ /s)	0,16	0,43	0,08	0,04	0,28
Descarga sólida do Rancho (ton/dia)	0,09	0,36	0,01	0,01	0,21
Descarga sólida do Rincão (ton/dia)	0,16	0,53	0,06	0,03	0,31
CSS do Rancho (mg/L) (29/09/09 a 11/01/10)	31,01				
CSS do Rincão (mg/L) (07/08/09 a 29/12/09)	59,50				
Produção de sedimento no lisímetro (mg/L) (14/08/09 a 10/12/09)	131,31				

Analisando a tabela 12 podem-se tirar algumas conclusões: Como colocado anteriormente no item 5.1, verifica-se que a precipitação média da

estação Rancho do Amaral é superior à precipitação média da estação Rincão do Soturno. Consta-se que o escoamento superficial ocorrido no lisímetro teve maiores significâncias nos períodos da primavera, seguido pelo verão, inverno e outono. Podendo-se adotar a mesma explicação colocada no item 5.5.

Para a descarga líquida da estação Rancho do Amaral obteve-se uma vazão média anual de $0,078\text{m}^3/\text{s}$, equivalente a vazão específica de $17,98\text{L}/\text{s.Km}^2$, o período que teve maior vazão média e vazão específica foi à primavera, seguida pelo inverno, outono e verão. Destaca-se uma particularidade, mesmo o verão apresentando uma precipitação média de $3,38\text{mm}$ em seus eventos, este apresentou uma vazão média semelhante ao outono, com $1,56\text{mm}$ de média, em cada evento. Isto pode ser explicado pela intensidade e durabilidade das chuvas. Pois como colocado anteriormente no verão ocorreram chuvas torrenciais que gera um evento de alta amplitude em curto espaço de tempo, assim a cota do rio elevava-se subitamente e decresce na mesma proporção. Explicando que mesmo tendo maiores precipitações nesse período a cota não ficava elevada por períodos longos.

E no outono tendo uma precipitação menor ocorreu maior número de dias com chuva. As mesmas considerações podem ser adotadas para a descarga sólida, pois esta está diretamente ligada à precipitação e a descarga líquida.

Outra variável importante não abordada neste trabalho é a evapotranspiração, pois é sabido que a evapotranspiração é responsável pelo retorno à atmosfera de cerca de 70% da precipitação anual na superfície terrestre (RAUDKIVI,1979). Sendo a evapotranspiração dependente da radiação solar, umidade do solo, latitude, região, topografia e da época do ano. Pode-se partir da premissa que as estações do ano que apresentam maior incidência solar e ou maiores precipitações terão maiores evapotranspirações, podendo interferir na quantidade de água disponível para o fluxo de base.

Para a estação Rincão do Soturno obteve-se uma vazão média anual de $0,164\text{m}^3/\text{s}$, equivalente a vazão específica de $13,36\text{L}/\text{s.Km}^2$, o período que teve maior vazão média e vazão específica foi à primavera, seguida pelo inverno, verão e outono. Também se constata que mesmo tendo o verão a segunda maior precipitação média, não foi o período que obteve maior vazão média. Fato explicado pelas mesmas considerações descritas anteriormente. A

descarga sólida da estação teve as mesmas variações temporais que a descarga líquida.

Vale ressaltar que mesmo tendo a bacia Rancho do Amaral descargas líquidas e sólidas menores que a bacia Rincão do Soturno, esta apresenta vazões específicas maiores. Com exceção do verão que apresentou vazão específica 32% menor que a vazão específica da bacia do Rincão do Soturno. A vazão específica determina a disponibilidade de água por km² em uma bacia. Assim a vazão específica da bacia Rancho do Amaral é em média 25% superior à vazão específica do Rincão do Soturno para todo período monitorado. Para o período da primavera, outono e inverno as vazões específicas são maiores em cerca de 20%, 26%, e 25%, respectivamente.

Para descarga sólida, a bacia Rancho do Amaral produziu em média 43% menos sedimentos em suspensão que a bacia Rincão do Soturno, para todo período monitorado. Para os períodos de primavera, verão, outono e inverno, a produção foi em média 32%, 83%, 66% e 32% inferiores. Essa diferença do aporte de produção de sedimentos em suspensão para a estação Rincão do Soturno pode ser explicada tanto pela diferença de área, pelo uso e ocupação do solo e pela maior incidência de estradas rurais. MINELLA *et al.* (2009), citam que as estradas rurais apresentam contribuições significativas para a produção de sedimentos em uma bacia hidrográfica. No caso das bacias em estudo a bacia Rincão do Soturno apresenta 43.927m de extensão de estradas rurais, enquanto a bacia Rancho do Amaral apresenta 22.660m. Também na parte inferior da bacia Rincão do Soturno o entorno da rede drenagem apresenta pastagem nativa, fato que também proporciona maior disponibilidade de sedimentos, conforme apresenta a figura 8, mapa de uso e ocupação do solo.

Objetivando analisar a concentração de sedimentos em suspensão através da correlação da turbidez versus refletância, foram utilizadas as sondas SL200 – TS instalada na estação Rancho do Amaral, no período de 29/09/2009 a 11/01/2010 e a sonda DTS 12 instalada na estação Rincão do Soturno no período de 07/08/2009 a 29/12/2009. Para quantificar a CSS na escala espacial foram realizadas leituras em intervalos de tempo de 10, 30, 60, 120, 240 e 1440min.

Analisando as leituras realizadas em diferentes intervalos de tempo pode-se tirar algumas conclusões. Tanto para a estação Rancho do Amaral quanto à

estação Rincão do Soturno, quanto menor o intervalo de tempo maior à concentração medida. Essa constatação evidencia que as leituras realizadas com intervalo de tempo menor são capazes de mensurar a CSS com maior fidedignidade, pois abrange a ocorrência do evento desde o seu início até seu término, enquanto as leituras com intervalo de tempo maior pode não abranger todo o evento, principalmente em seus picos. A tabela 13 apresenta de forma resumida a média dos dados medidos em seus respectivos intervalos de tempo.

Tabela 13 – Leituras de concentração de sedimentos em suspensão em intervalos de tempo de 10, 20, 30, 60, 120, 240 e 1440min.

Tempo	Rancho do Amaral		Rincão do Soturno	
	mg/L	% de erro em relação a leitura de 10min.	mg/L	% de erro em relação a leitura de 10min.
10min	30,01	0	59,5	0
30min	27,84	7,23	59,25	0,42
60min	27,18	9,43	58,5	1,68
120min	24,3	19,02	57,44	3,46
240min	25,58	14,76	57,57	3,24
1440min	27,59	8,06	56,66	4,77

Analisando a tabela 13 constata-se que para a estação Rancho do Amaral e Rincão do Soturno à medida que se aumenta o intervalo de tempo entre as leituras ocorre um decréscimo nas concentrações, tendendo a se estabilizar com o aumento do intervalo de tempo.

A maior percentagem de erros entre as leituras de 10min e as demais leituras foram observadas na estação Rancho do Amaral, chegando a 19,02% na leitura com intervalo de tempo de 120min, enquanto na estação Rincão do Soturno para este mesmo período o erro ficou em apenas 3,46%. No intervalo de tempo de 1440min (1 dia) com leituras realizadas às 17:00h, a percentagem de erro para a estação Rancho do Amaral apresentou 8,06%, enquanto a estação Rincão do Soturno ficou em 4,77%.

Essa tendência de maior percentagem de erro encontrada na estação Rancho do Amaral pode ser explicada em virtude da área da bacia (4,45Km²), pois as menores áreas apresentam uma vazão específica maior e um tempo de

concentração menor.

Com os dados de turbidez adquiridos, com intervalo de leitura a cada 10min, foi possível determinar a correlação do pique de concentração de sedimentos em suspensão com o pique de descarga líquida para a bacia Rancho do Amaral e Rincão do Soturno, sendo que para a primeira bacia o pique de CSS é anterior ao pique de vazão, cerca de 50min, na segunda bacia o pique de CSS é posterior ao pique de vazão, cerca de 10min. As figuras 49 e 50 demonstram em forma gráfica a correlação do pique de CSS e descarga líquida nas referidas bacias. Essa diferença do pique de concentração ser antes do pique de vazão na bacia Rancho do Amaral pode ser explicada em virtude do tamanho da bacia, sendo uma pequena bacia seus processos hidrossedimentológicos atuam diferentemente do que em escalas maiores. Na bacia Rincão do Soturno em virtude de sua área ser o dobro da bacia do Rancho do Amaral o pique de concentração tende a ser posterior ao pique de vazão.

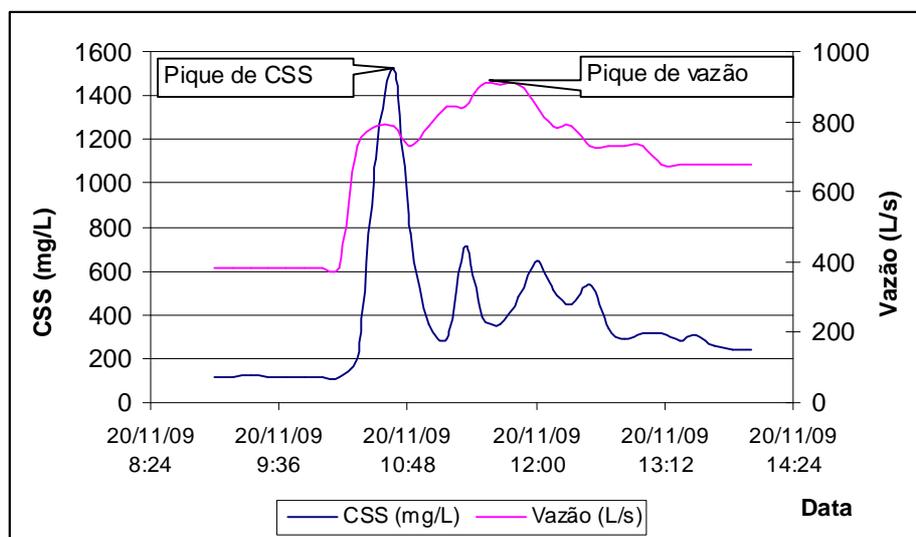


Figura 49 – Correlação do pique de CSS e o pique de descarga líquida para a bacia Rancho do Amaral.

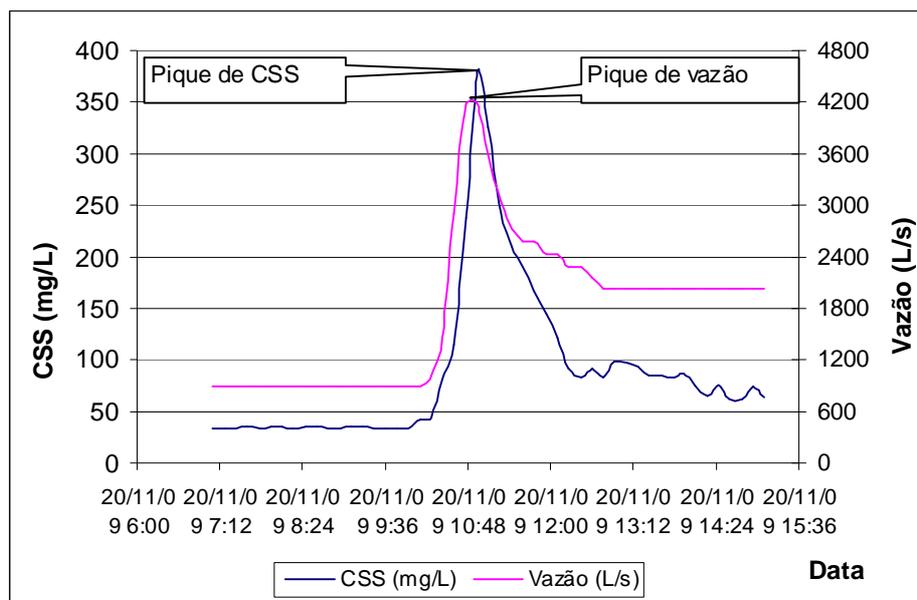


Figura 50 – Correlação do pique de CSS e o pique de descarga líquida para a bacia Rincão do Soturno.

Para demonstrar mais detalhadamente a comparação da produção de sedimentos nas bacias embutidas Rancho do Amaral e Rincão do Soturno foram selecionados eventos com dados simultâneos das duas estações instaladas na foz de cada bacia. Assim as figuras 51 a 55 apresentam as respectivas comparações.

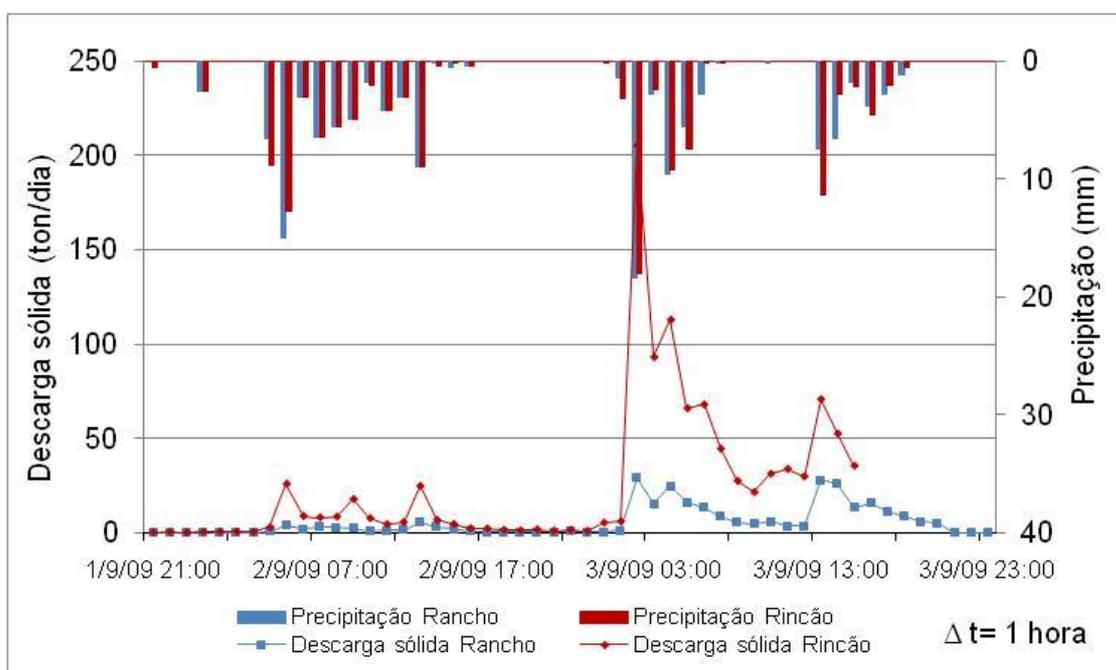


Figura 51 – Descarga sólida de 01/09/2009 a 03/09/2009.

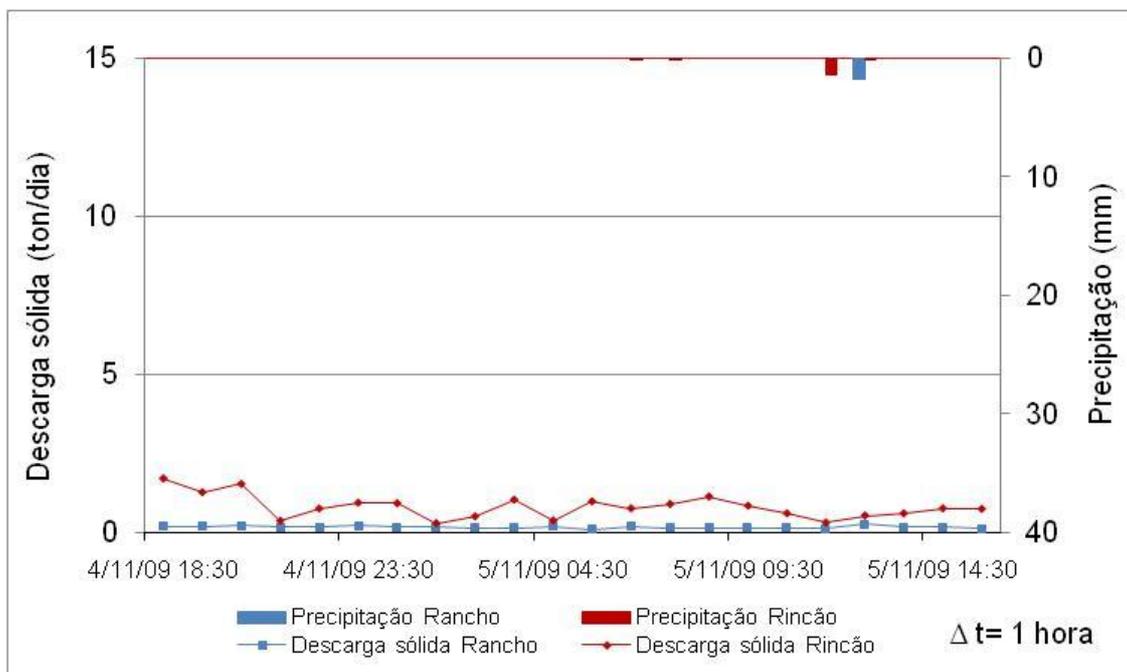


Figura 52 – Descarga sólida de 04/11/2009 a 05/11/2009.

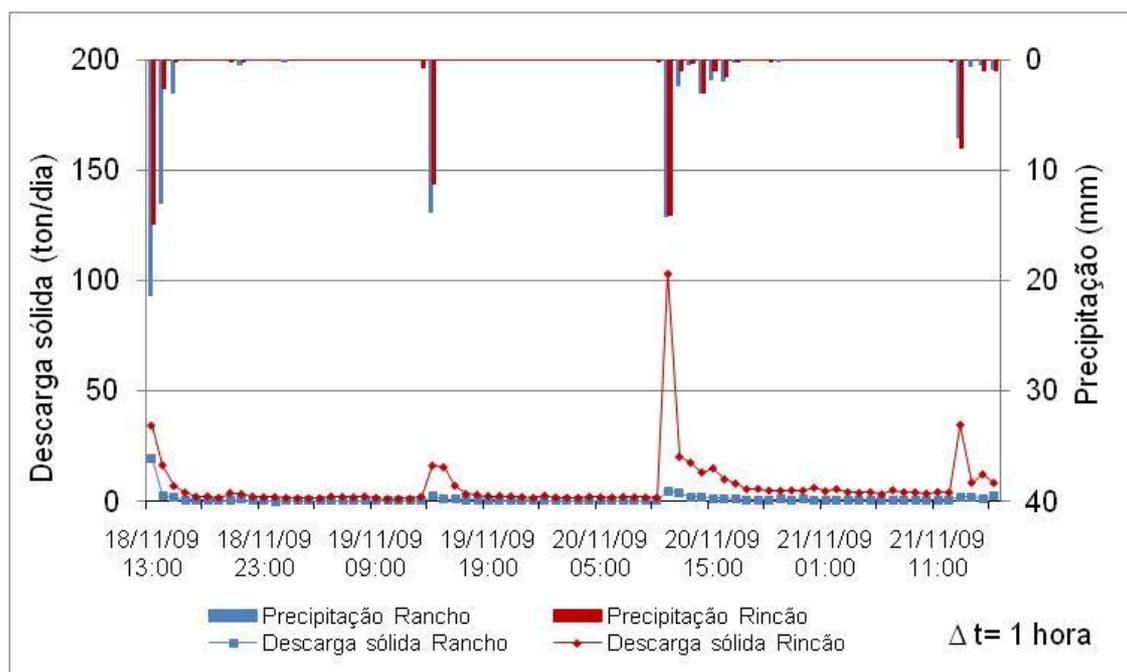


Figura 53 - Descarga sólida de 18/11/2009 a 22/11/09.

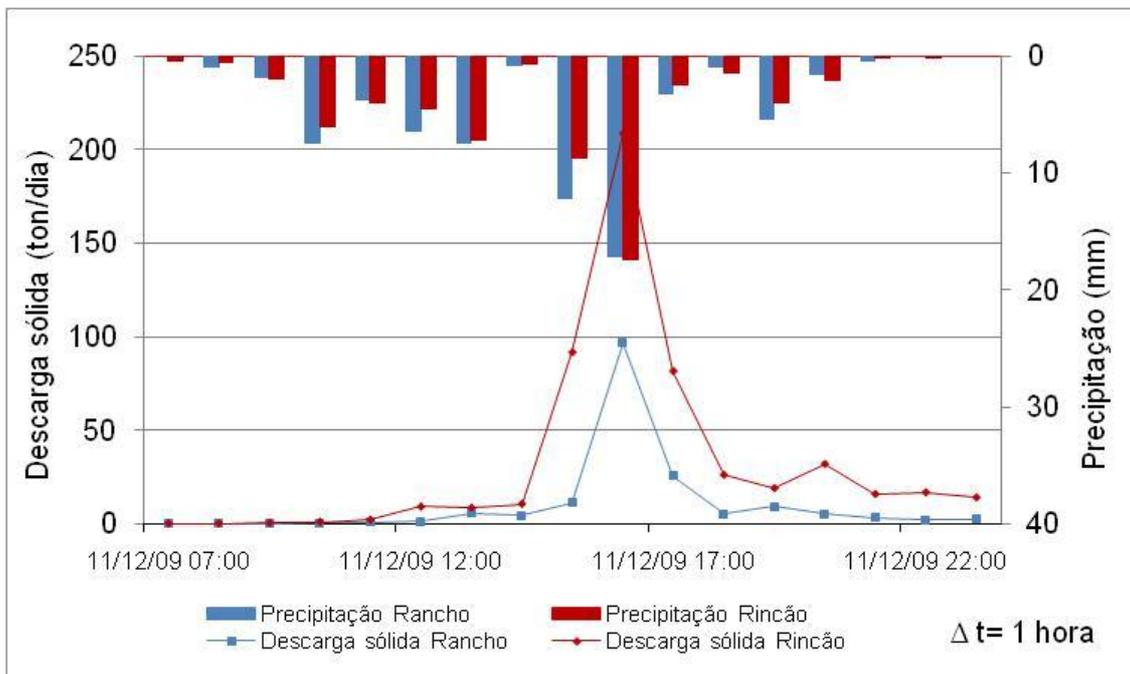


Figura 54 – Descarga sólida de 11/12/2009.

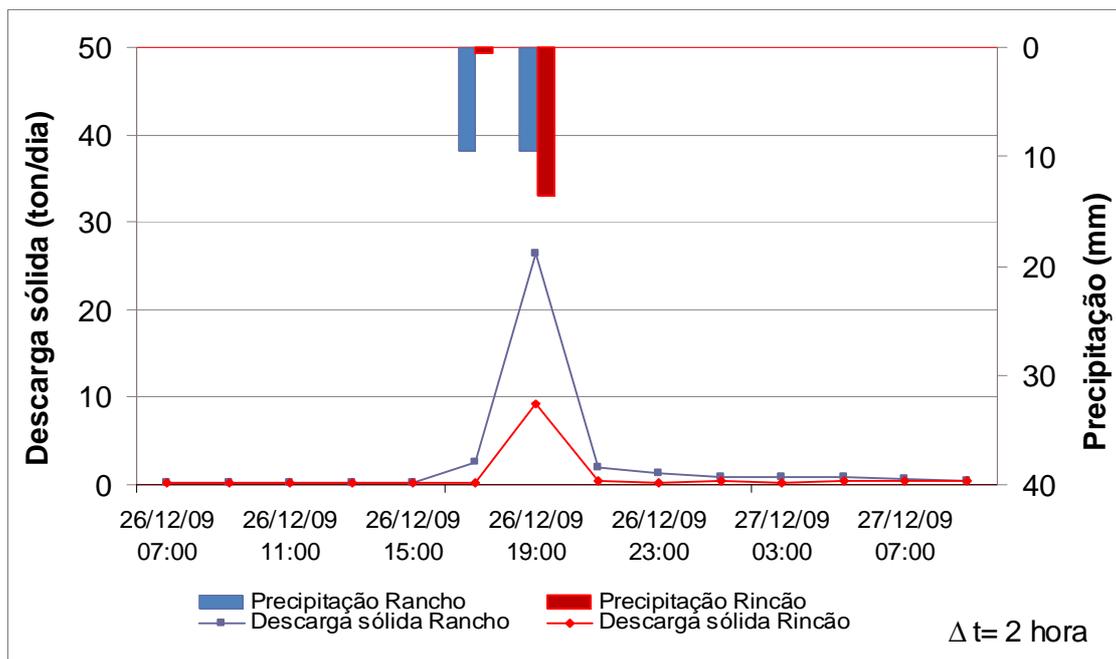


Figura 55 - Descarga sólida de 26/12/2009 e 27/12/2009.

Dos eventos apresentados nas figuras 51 a 55, com exceção da figura 55 todos os eventos foram maiores na estação Rincão do Soturno. Observa-se que as precipitações apresentam certa similaridade na ocorrência e na quantidade precipitada, também se observa que a descarga sólida tem uma

resposta quase que imediata à ocorrência das precipitações, sendo o tempo de resposta de 29 min. para a bacia do Rancho do Amaral e 41 min. para a bacia Rincão do Soturno.

O evento que apresentou maior aporte de sedimentos foi em 11/12/2009 com 208,28 ton/dia para a bacia Rincão do Soturno e 96,49 ton/dia para a bacia Rancho do Amaral, com uma precipitação de 17,45 e 17,20mm, respectivamente. O evento que apresentou menor aporte de sedimentos foi em 04 e 05/11/2009 com 0,81ton/dia para estação Rincão do Soturno e 0,17ton/dia para estação Rancho do Amaral, sem precipitação efetiva para o período.

5.7.2 - Comparação com outras bacias na mesma região.

As bacias embutidas Rancho do Amaral e Rincão do Soturno pertencentes à bacia hidrográfica do Vacacaí Mirim, localizadas no interflúvio desta bacia e afluentes ao reservatório do Vacacaí Mirim são bacias representativas e experimentais. Como em outros trabalhos realizados anteriormente em sub-bacias na cabeceira do Vacacaí Mirim quem tinham o intuito de conhecer os processos erosivos ocorridos em tais bacias faz-se necessário saber a produção de sedimentos de cada bacia. Para então podermos fazer uma analogia da produção de sedimentos das respectivas bacias.

Assim a tabela 14 apresenta algumas bacias já estudadas com seus respectivos resultados.

Tabela 14 – Resumo dos resultados encontrados em sub-bacias já monitorada da bacia do Vacacaí Mirim.

Autor	Paiva e Costas	Carvalho	Gomes e Paiva	Bellinaso e Paiva	Branco	Paranhos e Paiva	Bacia Rancho do Amaral	Bacia Rincão do Soturno
Ano de publicação	2002	2003	2008	2007	1998	2008		
Bacia	Alto da Colina	Alto da Colina II	Arroio Cancela	Sítio do tio Pedro	Menino Deus I	Menino Deus II		
Área (Km²)	1,80	1,36	0,012	0,53	18	5,03	4,45	11,98
Uso e ocupação do solo	Semi-urbana	Semi-urbana	Urbana	Semi-urbana	rural	rural	rural	rural
Porcentagem de urbanização (%)	~34	~25	100	~30	Não apresentou	-3	0	0
Declividade (%)	4,98	5,84	Não apresentou	26,8	22	28,92	29,7	21,5
Período monitorado	09/2000 a 04/2001	06/2001 a 05/2002	12/2006 a 11/2007	04/2001a 12/2001	08/1996 a 06/1997	10/2001 a 11/2002	2009	2009
Precipitações	27,9 a 58,76	4,7 a 41,21	Não apresentou	19,12 a 73,63	20,4 a 52,2	24,67 a 39,71	0 a 17,20	0 a 17,45
Amostrador ISCO (mg/L)			3,48 a 6205				14,08 a 407,20	21,38 a 596,53
Amostrador ANA (mg/L)	2596	854,13		Não apresentou	10,42 a 948	Não apresentou		
Amostrador US-DH-48 (mg/L)	1350	544,78		Não apresentou		Não apresentou		
Produção de sedimentos (ton/evento)	2,82 a 90,12	1,08 a 33,1	0,14 a 0,79	0,99 a 23,53	0,04 a 79,66	0,41 a 19,41	0,17 a 96,49	0,81 a 208,28
Produção de sedimentos (g/m²)	15,66 a 500,66	7,94 a 243,38	116,66 a 658,33	18,67 a 443,38	0,02 a 44,25	0,81 a 38,58	0,38 a 216,83	0,67 a 173,85

Percebe-se que a bacia que apresentou maior produção de sedimentos por m^2 foi à bacia Arroio Cancela com $658.33g/m^2$, em segundo a Alto da Colina com $500,66g/m^2$, seguido pela Sitio do tio Pedro com $443,38g/m^2$, Alto da Colina II com $243,38g/m^2$, Rancho do Amaral com $216,83g/m^2$, Rincão do Soturno com $173,85g/m^2$ e Menino Deus II com $38,58g/m^2$. Observa-se que as três bacias semi-urbanas são as que produzem mais sedimentos. A bacia Rancho do Amaral produz mais sedimentos por m^2 que a bacia Rincão do Soturno, mesmo estando as duas bacias numa área de fornecimento de sedimentos. A bacia do Rancho do Amaral apresenta maior declividade, a sua vazão específica é maior e há uma diferença de predominância de solo entre as duas bacias, pois o solo da bacia Rancho do Amaral é mais arenoso, mais susceptível ao processo erosivo.

A bacia Menino Deus II apresentou menor produção de sedimentos de todas as bacias, pois é uma bacia rural e de declividade não tão acentuada.

O mapa da figura 56 apresenta a localização das bacias analisadas na tabela 14, com as respectivas produções de sedimentos por m^2 , nos maiores eventos.

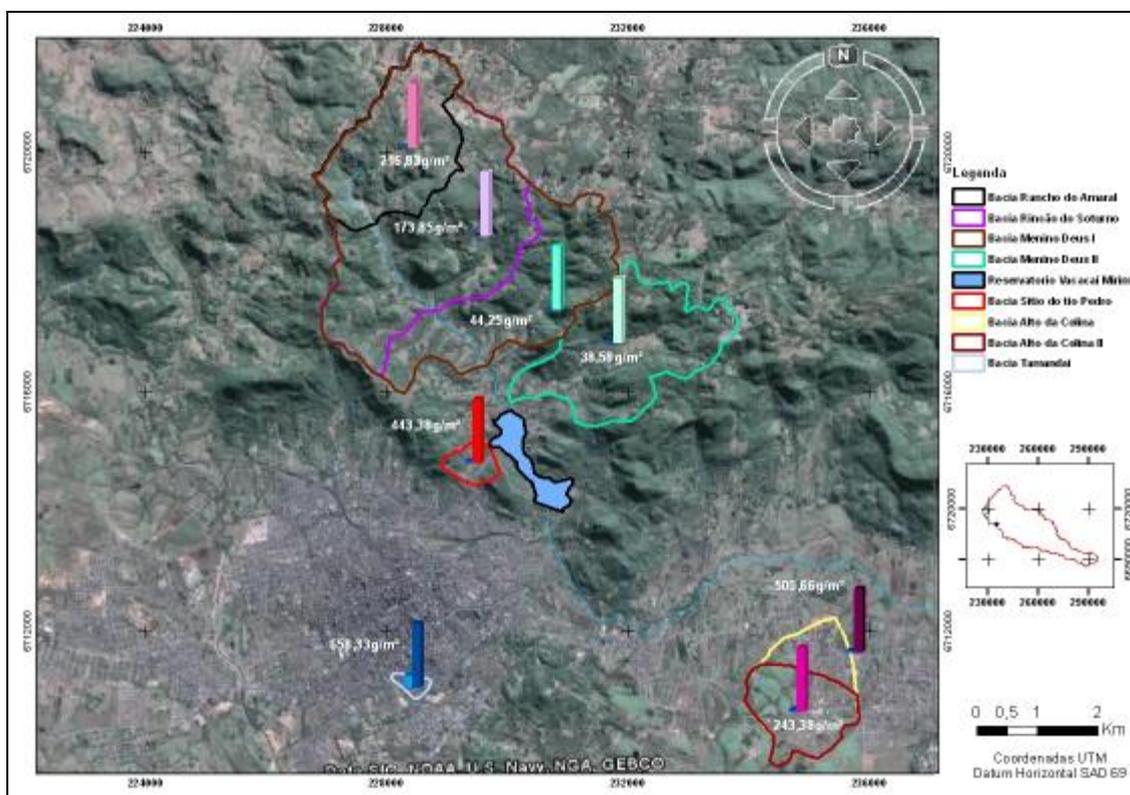


Figura 56 – Mapa de produção de sedimento por m^2 em cada bacia.

6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Sendo o objetivo deste trabalho identificar os processos hidrossedimentológicos em diferentes escalas espaço temporais foi necessário conhecer a dinâmica de algumas variáveis envolvidas no processo. Para alcançar tais objetivos foi avaliada a curva chave de descarga líquida e sólida, a correlação entre turbidez e concentração de sedimentos em suspensão e comparado métodos de monitoramento de produção de sedimentos num lisímetro volumétrico e nas bacias hidrográficas embutidas Rancho do Amaral e Rincão do Soturno. O monitoramento dessas variáveis foi realizado no decorrer do ano de 2009.

Como ferramenta para a determinação dos processos hidrossedimentológicos foram utilizados alguns equipamentos de monitoramento, no qual, se pode tirar algumas conclusões: Para a amostragem de sedimentos em suspensão foram utilizados o amostrador USDH-48, paralelamente foram realizadas amostragens com o amostrador pontual ISCO, o amostrador pontual e integrador no tempo (Torpedo) e coletados dados de turbidez com sondas específicas. Analisando as quatro metodologias de amostragem concluí-se que a amostragem manual apesar de ser mais trabalhosa e onerosa faz-se necessário realizá-la, para termos parâmetros de comparação. Tanto o amostrador ISCO quanto a sonda de turbidez apresentam bons resultados, desde que estejam posicionados em locais significativos da seção de medição e seus intervalos de coleta sejam representativos. As sondas de turbidez mediante calibração e possibilidade de limpeza automática de sua lente se mostram bons equipamentos para o acompanhamento contínuo da concentração de sedimentos em suspensão. O amostrador torpedo em virtude da passagem continua do fluxo no seu interior se adéqua para análise de granulometria do material em suspensão.

Para o acompanhamento do transporte inicial da partícula o lisímetro é uma ferramenta muito útil para quantificar algumas variáveis envolvidas no processo hidrosedimentológico, que afetam diretamente a produção de

sedimentos. Como o armazenamento de água no solo, infiltração, escoamento superficial a lixiviação e a granulometria do material.

A utilização de ferramentas que possibilitem o monitoramento contínuo e aquisição de dados confiáveis são de suma importância para o entendimento das variáveis envolvidas nos processos, servindo como auxílio para tomadas de decisões. Assim a continuidade do monitoramento faz-se necessário, pois um período determinado de tempo pode não abranger toda a variação de produção numa escala temporal maior. Sendo a automatização dos equipamentos um caminho a ser seguido para o registro contínuo das variáveis.

Comparando as bacias Rancho do Amaral e Rincão do Soturno por produção de sedimentos por m^2 constata-se que a produção de sedimentos na bacia Rancho do Amaral é maior que na bacia Rincão do Soturno em 20%. Pois esta apresenta maior precipitação em seus eventos, também apresenta maior declividade e vazão específica, e seu solo é mais susceptível a desagregação e início do transporte.

A comparação com bacias da região mostrou que as bacias urbanas e em fase de urbanização apresentam maior produção de sedimentos que bacias rurais, ocasionadas por ações antrópicas como a impermeabilização do solo.

Finalizando, conclui-se que os processos hidrossedimentológicos em diferentes escalas espaço temporais são determinados por diversos fatores, podendo ter diferenças tanto no tempo, quanto no espaço. Esses fatores podem ser de ações antrópicas, como o uso inadequado do solo em plantios convencionais, desmatamento de matas ciliares, construção de estradas rurais, impermeabilização do solo, entre outros. Como também por fatores naturais como a susceptibilidade de um solo ser erodido em virtude de sua idade e de sua rocha matriz, das precipitações ocorridas sobre ele, sua topografia, sua rede de drenagem. Portanto, a ação conjunta dos fatores naturais e antrópicos irão determinar os processos hidrossedimentológicos em escalas espaço temporais.

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRAWAL, Y. C.; POTTSMITH, H. C. Instruments for particle size and settling velocity observations in sediment transport. **Marine Geology** **168**, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 2000, p. 89-114. Consultado em www.scopus.com em 15/03/2010.

AKSOY, H.; KAVVAS, M. L. A review of hillslope and watershed scale erosion and sediment transport models. In: **Catena** **64**, 2005, p. 247–271. Consultado em www.scopus.com em 10/02/2010.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Stander methods for the examination of water and wastewater**. 19.Ed. Washington, 1995.

AYOADE, J. O. **Introdução a climatologia para os trópicos**, 5^o edição, Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 1998, 332 p.

AZOLIN, M.A.D.; MUTTI, L.S.M. **Solos da bacia hidrográfica do Vacacai Mirim**. Relatório Técnico, Porto Alegre: 1988. 20p. (Não publicado).

BACELAR, L. de A. P. **O papel das florestas no regime hidrológico de Bacias hidrográficas**. 39p, 2005. Consultado em www.degeo.ufop.br/geobr em 12/09/2009.

BACK, A. J. **Medidas de vazão com molinete hidrométrico e coleta de sedimentos em suspensão**, EPAGRI, Florianópolis, 2006.

BRANCO, N. **Avaliação da produção de sedimentos de eventos chuvosos em uma pequena bacia hidrográfica rural de encosta**. Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola - Área de concentração em Irrigação e Drenagem, da Universidade Federal de Santa Maria (RS), 1998, 135p.

BELLÓ, S. L. **Avaliação do impacto da ocupação urbana sobre as características hidrosedimentométricas de uma pequena bacia hidrográfica de encosta**. Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), 2004, 161p.

BENITO, E. *et al.*, Deforestation of ater repellent soils in Galicia (NW Spain): Effects on surface runoff and erosion under simulated rainfall. In: **Earth Surf. Process. Landforms** **28**, 145–155 pg., 2003. Consultado em www.interscience.com em 12/04/2010.

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

BERTOL, I. et al., Erosividade das chuvas e sua distribuição entre 1989 e 1998 no município de Lages (SC). In: **Revista Brasileira Ciência do Solo**, n. 26, 2002. p.455-464.

BIGARELLA, J. J. (organizador). **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2003, p.877-1436.

BORDAS e SEMMELMANN. Elementos de Engenharia de Sedimentos (Capítulo 24): In: **Hidrologia/ Ciência e Aplicação** , 2º ed , 2ºreimpr. ed. Universidade / UFRGS ABRH, Porto Alegre: 2001, 943 p.

BORTOLUZZI, C.A. **Contribuição à geologia da região de Santa Maria**. Porto Alegre. 1971, p. 7-86.

BRASIL. Lei nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1 da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989**

BRASIL. Lei nº 10.350 de 30 de dezembro de 1994. **Institui o Sistema estadual de Recursos Hídricos, regulamentando o art. 171 da Constituição do Estado do Rio Grande do Sul.**

CALIARI, P. C. **Relação entre Turbidez e concentração de sólidos suspensos em rios: Avaliação de fatores que influenciam a relação e proposição de modelos de estimativa**. Dissertação de mestrado submetida ao Programa de Pós graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Ciências em Engenharia Ambiental. 2004, 125p.

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

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. 2ª edição; revisada; atual e ampliada, Rio de Janeiro – RJ: interciência, 2008, 599 p.

CARVALHO, K. S. de; **Monitoramento e caracterização hidrossedimentométrica de uma pequena bacia hidrográfica periurbana**. Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, RS, 2003. 160 p.

CARVALHO, K. S. de; PARANHOS, R. M.; PAIVA, J.B.D. de. Limitações ao uso da relação entre turbidez e concentração de sedimentos em suspensão em duas pequenas bacias em Santa Maria, RS. In, **XXI Congresso Latino Americano de Hidráulica**, SP, 2004.

CASAGRANDE, L. **Avaliação do parâmetro de propagação de sedimentos do modelo de Williams (1975) na Bacia do rio Vacacaí-Mirim com o auxílio de técnicas de geoprocessamento**. Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria, 2004. 150p.

CECCHIA, T. **Avaliação de perda de solo por erosão hídrica e estudo de energia na bacia do rio Caeté, Alfredo Wagner, Alfredo Wagner – Santa Catarina**. Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Ambiental. 2005, 166p.

CESP; Ensaio Sedimentométrico, Roteiro passo a passo. In: ENCONTRO NACIONAL DE SEDIMENTOS, 8.;2008, Campo Grande. **Anais...**Campo Grande: Associação Brasileira de recursos Hídricos, 2008.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T.; Degradação Ambiental (capítulo 7): In, **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2º ed 1998. 394 p.

DIAS, J. R. **Aplicação do modelo hidrológico AGNPS2001 utilizando dados observados na bacia do Arroio Vacacaí-Mirim**. Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, RS, 2003. 118 p.

DILL, P. R. J.; PAIVA, E. M. C. D. ; PAIVA, J. B. DIAS.; ROCHA, J. S. M. . Assoreamento do Reservatório do Vacacaí Mirim / Santa Maria e sua Relação com a Deterioração da Bacia Hidrográfica Contribuinte. In: **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, RS, v. 9, n. 1, 2004. p. 7-15.

DEPINÉ, H.; *et al.*, Avaliação da concentração de sedimentos em suspensão em diferentes escalas espaciais. In: **XVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**; 2009, Campo Grande. MS **Anais**: Associação Brasileira de Recursos Hídricos.

ELLIOT, W. J.; WARD, A. D.; Soil Erosion and Control Practices (Capítulo 6). In: **Environmental Hydrology**. Lewis / CRC Press, Boca Raton, Florida: 1995, 462 p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Embrapa, Brasília. 2005. 412 p. FAO. **Expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements**. Roma: FAO, 1990. (Irrigation and Drainage).

FALCÃO, S. C. M.; REIS, R. S.; SOUZA, V. C. B. de. Avaliação da produção de sedimentos em parcelas de erosão na bacia experimental do riacho Gravatá, Semi-árido alagoano. In: **XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Campo Grande. MS: 2009.

FALK, M. G., DENHAM, R. J., MENGERSEN, K. L. Estimating Uncertainty in the Revised Universal Soil Loss Equation via Bayesian Melding. In: **Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics**, Brisbane, Austrália, 2010. Consultado em www.scopus.com em 23/02/2010.

FARIAS, T. R. L. **Produção de Sedimentos em Bacias Hidrográficas Sob Diferentes Contextos Geoambientais: Medida e Modelagem**. Dissertação submetida à coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, 2008. 126p.

FELTRIN, R. M. **Comportamento das variáveis hidrológicas envolvidas no balanço hídrico em uma bacia hidrográfica experimental de Mata Atlântica no sul do Brasil**. Dissertação submetida a coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria. 2009. 100p.

GARTNER, J.W. Estimation of suspended solids concentrations based on acoustic backscatter intensity: theoretical background. In: **Turbidity and Other Sediment Surrogates Workshop**, April 30-May 2, 2002, Reno, NV, 4 pp. www.interscience.com em 16/04/2010.

GERALDES, S.R. **Medidas de concentração de partículas suspensas por meio de absorção da luz**. Dissertação submetida a coordenação de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal de São Paulo, São Carlos, 1984., 100p.

GIPPEL, C. J. Potential of turbidity monitoring for measuring the transport of suspended solids in streams. In: **Hidrological Processes**. Volume 9. 2006, p. 83-97. Consultado em www.scopus.com em 12/04/2010.

GOLDEFUM, J. A. Pequenas Bacias Hidrológicas: Conceitos Básicos (Capítulo 1): In: **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. PAIVA, J. B.D.de/ PAIVA, E. M. C. D.de (Organizadores). Porto Alegre, ABRH, 2003, 628p.

GOMES, A. P. **Acumulação e transporte de sedimentos na microdrenagem: Monitoramento e modelagem**. Dissertação submetida a coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria. 2008. 146p.

GRAY, J., R.; GLYSSON, G. D. **Proceedings of the Federal Interagency workshop on turbidity and other Sediment Surrogates**. Reno, NV, 2002, 56p. Consultado em www.scopus.com em 12/04/2010.

GRAY, J. R.; GARTNER, J., W.; U.S. Geological Survey Synopsis of selected surrogate technologies for continuous suspended-sediment monitoring in rivers. In: **Produção de sedimentos e seus impactos ambientais, sociais e econômicos**. IDE, C., N.; VAL, L., A., A., do; RIBEIRO, M., L. (organizadores).

Campo Grande, MS: 2009, 796p. Consultado em www.scopus.com em 15/03/2010.

GRIMALDI, C. (2004). "Hydrochimie de petits bassins versants: Apports à La connaissance du fonctionnement géochimique du sol et de la qualité de l'eau des cours d'eau". **Memoire HDR. UMR INRA-Agrocampus Sol Agronomie Spatialisation**, Rennes, 2004, 80 p.

HERRMANN, M. L. de P.; ROSA, R. de O. Relevô. In: IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geografia do Brasil: Região Sul**. Rio de Janeiro: 1990. p.55-84.

ISAIA. T. **Planejamento de uso da terra para o município de Santa Maria-RS, através do diagnóstico físico conservacionista das microbacias hidrográficas**. Santa Maria: 1992. 60 p.

KAUL, P. F. T. Geologia. In: IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geografia do Brasil: Região Sul**. Rio de Janeiro: 1990. p.29-54

KOBIYAMA, M. *et al.*, **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Curitiba: Organic Trading, 2006. 109 p.

LANE, L. J.; HERNANDEZ, M.; NICHOLS, M.; Processes controlling sediment yield from watersheds as functions of spatial scale. In: **Environmental Modelling & Software**. Vol. 12, No. 4, 1997, pp. 355-369. Consultado em www.scopus.com em 10/02/2010.

LENZI, M. A.; MARCHI. L.; Suspended sediment load during floods in a small stream of the dolomites. In: **Catena**, 39, 2000, pp 267-282.

LOPES, V. L. **Um estudo da erosão e produção de sedimentos pelas chuvas**. Universidade Federal da Paraíba, Outubro, 1980.

LOPES, G. R. ; *et al.* ; Estudo sobre a correlação entre turbidez e sólidos em suspensão para a estimativa da vazão sólida em uma pequena bacia. In: **XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Campo Grande. MS: 2009

MEHL, H. U. **Caracterização de padrões de chuvas ocorrentes em Santa Maria (RS) e sua relação com as perdas de solo e água em entressulcos**. Dissertação submetida à coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria. 2009. 53p.

MENDIONDO, E. M.; TUCCI, C. E. M. (1997). "Escalas Hidrológicas I: Conceitos". In: **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v, 02, n.02, p. 21-44.

MERRITT, W.S.; LETCHER, R.A.; JAKEMAN, A.J. A review of erosion and sediment transport models. In: **Environmental Modelling & Software 18**, 2003, p.761–799. Consultado em www.scopus.com em 10/02/2010

MINELLA, J. P. G. Avaliação parâmetros hidrossedimentométricos numa bacia do Rio Grande do Sul. **Revista Eletrônica de Recursos Hídricos/ Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS – Vol. 1 n. 1 (2004)**

MINELLA, J.P.G. *et al.*, Aspectos da calibração de turbidímetros para a estimativa da concentração de sedimentos em suspensão In: **ENCONTRO NACIONAL DE SEDIMENTOS**, 8.; Campo Grande. **Anais...**Campo Grande: Associação Brasileira de recursos Hídricos, 2008.

MINELLA, J.P.G. *et al.*, Turbidimetria e a estimativa da concentração de sedimentos em suspensão. In: **Produção de sedimentos e seus impactos ambientais, sociais e econômicos**. IDE, C., N.; VAL, L., A., A., do; RIBEIRO, M., L. (organizadores). Campo Grande, MS, 2009, 796p.

MINELLA, J.P.G. *et al.* Método “fingerprinting” para identificação de fontes de sedimentos em bacia hidrográfica rural. In: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.13, n.5, 2009, p.633–638.

MOHAMMAD, A. G. ; ADAM, A. M.; The impact of vegetative cover type on runoff and soil erosion under different land uses. In: **Catena** **81**, 2010, p. 97-103. Consultado em www.sciencedirect.com em 12/04/2010.

MORAES, *et al.*, Propriedade físicas dos solos na parametrização de um modelo hidrológico. In: **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Vol.8 n.1. 2003. P. 61-70.

NETTO, A. *et al.*, **Manual de hidráulica**. 8º edição, Ed. Edgard Blucher LTDA, 1998, 669p.

PAIVA, J. B. D. de; Padrão das precipitações em Santa Maria – RS. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**, XII, Vitória, **Anais...**Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1997, p. 221-229.

PAIVA, E. M. C. D. de; Métodos de Estimativa da produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas. (capítulo 13), In: **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. PAIVA, J. B.D.de/ PAIVA, E. M. C. D.de (Organizadores). Porto Alegre, ABRH, 2003, 628p.

PAIVA, E. M. C. D. de; COSTAS, M. F. T.; Produção de sedimento em bacia urbana. In: **5 Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos**, São Paulo. ABRH, 2002. v. 1, p. 423-432.

PAIVA, F. M. de L. *et al.*, Estudo dos parâmetros regionais de um modelo hidrossedimentológico em duas bacias experimentais na região do Cariri paraibano. In: **Produção de sedimentos e seus impactos ambientais, sociais e econômicos**. IDE, C., N.; VAL, L., A., A., do; RIBEIRO, M., L. (organizadores). Campo Grande, MS, 2009, 796p.

PANDEY, A.; CHOWDARY, V. M.; MAL, B. C. **Sediment yield modelling of an agricultural watershed using MUSLE, remote sensing and GIS**. Paddy Water Environ 7: 2009, p. 105–113. www.scopus.com em 23/02/2010.

PARANHOS, R. M.; PAIVA. J. B. D. de; Avaliação de metodologia de estimativa de produção de sedimentos em uma pequena bacia rural de encosta. In: **Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 13 n.1** Jan/Mar 2008, p. 07-18.

PETER, J. R.; SELLERS. A.H. **Contemporary Climatology**, Second Edition, Ed. British, England, 1999, 317p.

RAUDKIVI, A.J. **Hydrology: an advanced introduction to hydrological processes and modelling**. New York: Pergamon, 1979. 479p.

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

SANTOS, G. G.; GRIEBELER. N. P.; OLIVEIRA, L. F. C de; Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica In: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.14, n.2**, p.115–123, 2010. Consultado em www.agriambi.com.br em 27/04/2010

SATO, A. M. ; AVELAR. A. de S.; NETTO. A. L.C. ; Hidrologia de encosta numa cabeceira de drenagem com cobertura de eucalipto na bacia do rio Sesmarias: médio vale do rio Paraíba do Sul. In: **I Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: o Eucalipto e o Ciclo Hidrológico**, Taubaté - SP, 2007, 147-154 p.

SIMPSON, M. R. Discharge Measurements Using a Broad-Band Acoustic Doppler Current Profiler. In: **United States Geological Survey OPEN-FILE REPORT 01-**, Sacramento, California, 2001, 123 p. www.interscience.com em 16/04/2010.

SOUZA, C. F. *et al.*; Comparação dentre estimativas de produção de sedimentos na bacia do rio Potiribu. In: **VII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos**, Porto Alegre, 2006, 20p.

SIMÕES, S. J. C.; Coiado, E. M. Processo Erosivos (Capítulo 10): In: **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. PAIVA, J. B.D.de/ PAIVA, E. M. C. D.de (Organizadores). Porto Alegre, ABRH, 2003, 628p.

SCHOELLHAMER, D.H. Use of optical properties to monitor turbidity and suspended-sediment concentration, In: **Proceedings of the Federal Interagency workshop on turbidity and other Sediment Surrogates**. Reno, NV, 2002, p. 15-16. Consultado em www.scopus.com em 15/03/2010.

SUN, H.; CORNISH, P.S.; DANIELL, T. M. Turbidity-based erosion estimation in a catchment in South Australia. In: **Journal of Hydrology**, 253, 2001, p.227-238. www.elsevir.com em 12/04/2010.

TUCCI, C. E. M. (organizador). **Hidrologia/ Ciência e Aplicação** , 2° ed , 2°reimpr. ed. Universidade / UFRGS ABRH, Porto Alegre, 2001, 943 p.

TUCCI, C.E.M. **Impactos da variabilidade climática sobre os recursos hídricos do Brasil**.Brasília, ANA, 2002. 70p

TUCCI, C.E.M; MENDES, C. A.; **Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica**. Brasília, Ministério de Meio Ambiente, 2006. 319p.

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

WARD, A. D.; ELLIOT, W. J. **Environmental Hydrology**. Lewis / CRC Press, Boca Raton, Florida, 1995, 462 p.

WANIELISTA, M. P.; KERSTEN, R.; EALGIN, R. **Hidrology: Water quantity and quality control**. Ed. John Wiley & Sons, 2 ed. United States, 1997. 567p.

WASS, P. D.; LEEKS, G. J. L. Suspended sediment fluxes in the Humber catchment, UK. In: **Hydrological processes**. 13, 1999. p. 935-953. Consultado em www.scopus.com em 15/03/2010.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting Rainfall Erosion Losses: a Guide to Conservation Planning. In: **Agriculture Handbook, no 537**. Washigton, U.S.D.A. Departament of Agriculture, 1978.

YANG, C. T. **Sediment Transport, Theory and Practice**, New York, Ed. Krieger, 1996, 396p.

ZIEGLER, A. C. Definition of optical methods for turbidity and data reporting. In: **Proceedings of the Federal Interagency workshop on turbidity and other Sediment Surrogates**. Reno, NV, 2002, p. 9 – 13. Consultado em www.scopus.com em 15/03/2010.

8 - ANEXOS

Anexo1 - Tabela de Evaporação

<u>Evaporação</u>					
Rio:	Método de medição:			1 2	
Local:	Tipo:				
	Medição:				
	Coleta:				
	Amostragem:				
	Data:	Op.:			
<u>Controle de recepção</u>					
frasco	água+sedim.+tara (g)	sulf. cobre (ml)	tara (g) (g)	água + sedim. total (g)	
<u>Decantações, reduções e volume</u>					
<u>1ª decantação</u>		<u>1ª redução</u>	<u>2ª decantação</u>		<u>volume reduzido - vr</u>
frasco:	-	(béquer 4000ml n°)	béquer 1000 ml n°:		(ml)
início:			início:		
final:			final:		
tempo (dias):			tempo (dias):		
<u>Sólidos dissolvidos inicial - sd (50 ml)</u>					
cápsula	água+sól.dís.+tara (g)	tara (g)	água + sólidos dissolvidos (g)	conc. sól. dissolvidos (mg/l)	
Sólidos dissolvidos média - sdg:			#DIV/0!	(sdg*1000)/(50/1000)	
<u>Colóide</u>					
béquer (1000 ml)	água+colóide+tara (g)	tara (g)	água + colóide - (ác) (g)	colóide total (clg) (g)	
				ásed*clp / ácl	
cadinho	colóide + tara (g)	tara (g)	colóide - (clp) (g)	conc. de colóide (mg/l)	
				(clp*1000)/(ác/1000)	
<u>Evaporação</u>					
béquer n.º	béquer + sedimento (g)	tara do béquer (g)	sedimento (g)	sedim. total (sed) (g)	
				0,0000	
<p>Concentração = #VALOR! mg/l</p> <p>Filtração: $sed+clg-(clg*vr/ásed)ásed*1000.000$ Evaporação: $sed+clg-(clg*vr/ásed)-(sdg*vr/50)ásed*1000.000$</p>					

Anexo 2 – Planilha de Tubo de retirada pela base

Planilha para ensaio – TUBO DE RETIRADA PELO FUNDO

Data da coleta: ___/___/___

Garrafa nº: _____

Data do ensaio: ___/___/___

Tara: _____

Peso : _____

Peneiramento (#230)

Cápsula	Tara	Peso

Concentração

Bécker	Tara	Peso
(25ml)		
(50ml)		
(50ml)		

Temperatura inicial: _____

Marcação inicial: _____

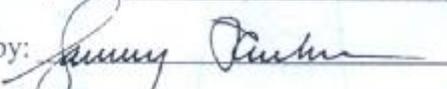
Tempo	Hora	Bécker	Tara	Peso	h	T (°C)
0		--	--	--		
30"						
1'						
2'						
5'						
13'						
32'						
1:20'						
2:40'						
7:30'						
7:31'						
Final						

Peneiramento

N° - mm	Peso seco + tara (g)	Tara (g)
10 – 2		
18 – 1		
35 – 0,5		
60 – 0,25		
120 – 0,125		
230 – 0,062		

Observações: _____

Anexo 3 – Calibração da sonda de turbidez DTS 12.

       		
CALIBRATION CERTIFICATE		
Model:	DTS 12 Digital Turbidity Sensor	
Serial Number:	34367	
<u>Calibration Temperature</u>	<u>Allowed Variance</u>	<u>Sensor Reading</u>
20.96C	+/- 0.2 °C	21.0C
<u>Formazin Concentration</u>	<u>Allowed Variance</u>	<u>Sensor Reading</u>
4000 NTU	> 1500 NTU	1587.21NTU
1600 NTU	1536 - 1664 NTU	1587.21NTU
500 NTU	480 - 520 NTU	495.82NTU
80 NTU	78.2 – 81.8 NTU	80.07NTU
30 NTU	29.2 – 30.8 NTU	30.04NTU
2 NTU	1.76 – 2.24 NTU	1.89NTU
Mix water	+/- .2 NTU	0.00NTU
Calibration date: 29 January 2009		
Calibration completed by: 		
<i>Please consult the instruction manual for information regarding preventative maintenance procedures and intervals.</i>		
..... FTS FOREST TECHNOLOGY SYSTEMS LTD. www.ftsinc.com 1065 Henry Eng Place Victoria, British Columbia Canada V9B 6B2 Tel: 800-548-4264 or 250-478-5561 Fax: 800-905-7004 or 250-478-8579		
       		
ISO-MA-C-060	Rev 10 Feb 15, 2007	Approved by: P Jones

Anexo 4 – Tabela de granulometria das amostras coletadas em campo.

Primavera do Rincão do Soturno	27/9/2009 6h		27/09/2009 7h		20/11/2009 11h			
	2.00	100.00	2.0	100.0	2.00	100.00		
	1.00	100.00	1.0	100.0	1.00	99.60		
	0.50	99.50	0.5	98.0	0.50	96.90		
	0.25	94.50	0.3	93.5	0.25	92.70		
	0.13	78.10	0.1	84.5	0.13	86.10		
	0.06	69.50	0.1	80.2	0.06	77.30		
	0.04	65.05	0.0	74.9	0.04	71.56		
	0.03	60.47	0.0	69.5	0.03	66.06		
	0.02	54.29	0.0	62.4	0.02	58.98		
	0.02	47.38	0.0	54.4	0.02	51.23		
	0.01	40.56	0.0	46.5	0.01	43.73		
	0.01	34.42	0.0	39.5	0.01	37.06		
0.01	28.97	0.0	33.3	0.01	31.19			
0.00	24.38	0.0	28.0	0.00	26.23			
Inverno do Rincão do Soturno	23/6/2009 12h		8/8/2009 18h		8/8/2009 19h		8/8/2009 20h	
	2	100.0	2.00	100.00	2.00	100.00	2.00	100.00
	1	91.7	1.00	100.00	1.00	100.00	1.00	100.00
	0.5	83.2	0.50	99.00	0.50	100.00	0.50	100.00
	0.25	71.9	0.25	94.20	0.25	97.50	0.25	97.50
	0.125	54.7	0.13	89.20	0.13	92.40	0.13	92.40
	0.0625	39.1	0.06	81.80	0.06	84.10	0.06	84.10
	0.0442	36.3	0.04	76.02	0.04	78.01	0.04	78.30
	0.0312	33.5	0.03	70.31	0.03	72.05	0.03	72.54
	0.0221	30.0	0.02	62.94	0.02	64.42	0.02	64.97
	0.0156	26.0	0.02	54.74	0.02	56.01	0.02	56.55
	0.011	22.2	0.01	46.77	0.01	47.83	0.01	48.35
	0.0078	18.9	0.01	39.69	0.01	40.58	0.01	41.00
0.0055	15.9	0.01	33.37	0.01	34.15	0.01	34.51	
0.0039	13.3	0.00	28.08	0.00	28.71	0.00	29.03	
Inverno do Rincão do Soturno	8/8/2009 22h		2/9/2009 5h		02/09/2009 - 9:00h		3/9/2009 2h	
	2.00	100.00	2.00	100.00	2.00	100.00	2	100.0
	1.00	100.00	1.00	100.00	1.00	100.00	1	98.1
	0.50	100.00	0.50	98.30	0.50	100.00	0.5	95.3
	0.25	99.90	0.25	87.40	0.25	100.00	0.25	89.2
	0.13	99.60	0.13	67.40	0.13	2.50	0.125	69.8
	0.06	99.20	0.06	60.90	0.06	2.30	0.0625	56.7
	0.04	92.02	0.04	56.90	0.04	2.15	0.0442	52.7
	0.03	84.99	0.03	52.80	0.03	2.00	0.0312	48.7
	0.02	75.99	0.02	47.40	0.02	1.80	0.0221	43.6
	0.02	66.06	0.02	41.33	0.02	1.57	0.0156	37.9
	0.01	56.42	0.01	35.33	0.01	1.34	0.011	32.4
	0.01	47.86	0.01	30.01	0.01	1.14	0.0078	27.5
0.01	40.28	0.01	25.25	0.01	0.96	0.0055	23.1	
0.00	33.87	0.00	21.25	0.00	0.81	0.0039	19.5	

Inverno do Rincão do Soturno	3/9/2009-3h		3/9/2009-4h		16/9/2009 13h		16/9/2009 14h	
	2.00	100.00	2.00	100.00	2.00	100.00	2.00	100.00
	1.00	92.80	1.00	96.60	1.00	98.10	1.00	99.50
	0.50	78.10	0.50	85.70	0.50	93.60	0.50	96.60
	0.25	53.40	0.25	65.90	0.25	83.50	0.25	84.70
	0.13	31.50	0.13	43.90	0.13	71.10	0.13	57.80
	0.06	24.20	0.06	34.90	0.06	69.10	0.06	46.80
	0.04	22.57	0.04	32.37	0.04	64.78	0.04	43.81
	0.03	20.93	0.03	29.90	0.03	60.28	0.03	40.72
	0.02	18.76	0.02	26.73	0.02	54.17	0.02	36.56
	0.02	16.35	0.02	23.24	0.02	47.31	0.02	31.90
	0.01	13.99	0.01	19.85	0.01	40.48	0.01	27.31
	0.01	11.87	0.01	16.84	0.01	34.40	0.01	23.18
	0.01	9.98	0.01	14.17	0.01	28.95	0.01	19.51
0.00	8.40	0.00	11.91	0.00	24.37	0.00	16.42	
Primavera do Rancho do Amaral	22/11/09 1h		22/11/09 2 h		11/12/2009 16h			
	2	100.0	2.00	100.00	2	100.0		
	1	100.0	1.00	100.00	1	99.9		
	0.5	100.0	0.50	95.70	0.5	96.7		
	0.25	99.4	0.25	89.20	0.25	88.7		
	0.125	97.6	0.13	84.30	0.125	74.6		
	0.0625	92.2	0.06	79.30	0.0625	47.7		
	0.0442	85.8	0.04	73.70	0.0442	44.3		
	0.0312	79.5	0.03	68.17	0.0312	41.0		
	0.0221	71.2	0.02	61.02	0.0221	36.7		
	0.0156	62.0	0.02	53.07	0.0156	31.9		
	0.011	53.0	0.01	45.34	0.011	27.3		
	0.0078	44.9	0.01	38.47	0.0078	23.1		
	0.0055	37.8	0.01	32.35	0.0055	19.5		
0.0039	31.8	0.00	27.22	0.0039	16.4			
Verão do Rancho do Amaral	04/01/10 7h				2/9/2009 5h		3/9/2009 2h	
	2.00	100.0			2.00	99.90	2.00	100.00
	1.00	100.0			1.00	94.80	1.00	100.00
	0.50	96.3			0.50	74.40	0.50	100.00
	0.25	86.1			0.25	55.50	0.25	88.10
	0.125	73.2			0.13	54.70	0.13	63.90
	0.0625	59.2			0.06	53.10	0.06	52.80
	0.0442	55.1			0.04	49.52	0.04	49.24
	0.0312	51.1			0.03	45.92	0.03	45.66
	0.0221	45.7			0.02	41.16	0.02	40.93
	0.0156	39.8			0.02	35.87	0.02	35.67
	0.0110	34.0			0.01	30.69	0.01	30.52
	0.0078	28.9			0.01	26.04	0.01	25.89
	0.0055	24.3			0.01	21.91	0.01	21.78
0.0039	20.4			0.00	18.43	0.00	18.33	
		Inverno do Rancho do Amaral						