

**XXIII CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA
CARTAGENA DE INDIAS COLOMBIA, SEPTIEMBRE 2008**

**AValiação da Produção de Sedimentos em Eventos Chuvosos na
Bacia Hidrográfica Experimental do Lajeado Grande - São**

MARTINHO DA SERRA-RS

Raniere Gustavo Sangoi¹; João Batista Dias de Paiva²; Deise Caroline Albiero Marçal³; Nadia Bernardi Bonumá⁴; José Antônio de Azevedo Gomes⁵

- 1) Mestre do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil -PPGEC-da Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria/ RS, Brasil- e-mail: ranieresangoi@bol.com.br.
- 2) Pq-CNPq Professor da Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria/RS -Brasil. e-mail: paiva@ct.ufsm.br.
- 3) Bolsista da Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria/RS -Brasil.. e-mail: carolinealbiero@gmail.com.
- 4) Professora da Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria/RS -Brasil.. e-mail: nadiabonuma@gmail.com
- 5) Mestrando do Programa de pos graduação em Engenharia Civil -PPGEC- -Brasil. da Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria/ RS.

RESUMO

A produção de sedimentos é objeto de preocupação nas situações referentes à gestão do uso do solo e da água. O objetivo deste trabalho é avaliar a produção de sedimentos da Bacia Experimental do Lajeado Grande, em São Martinho da Serra-RS-BR. A metodologia utilizada foi o cálculo direto de produção de sedimentos e a utilização de métodos empíricos para comparação e avaliação dos mesmos. Então, foram determinadas as curvas chave de vazão e de sedimentos da bacia em estudo. As amostras de água e as vazões foram monitoradas à jusante (exutório) da Bacia do estudo. Foram selecionados 10 eventos no intervalo do período estudado e assim avaliado os impactos das ações pertinentes a uma Bacia Hidrográfica rural sobre o uso do solo com áreas de atividades mineratórias. Concluiu-se com os resultados, que os métodos empíricos que usaram fatores de uso do solo para cálculo de sedimento produzido não foram satisfatórios, pois esses métodos não prevêem esse tipo de interferência que no caso são as áreas de mineração na bacia do estudo.

Palavras-chave: recursos hídricos, produção de sedimento, bacia hidrográfica.

ABSTRACT

The production of sediments is the object of concern in situations relating to the management of land use and water. The objective of this study is to evaluate the production of the basin sediments of Experimental Lajeado Grande, in Sao Martinho da Serra-RS-BR. The methodology used was the direct calculation of production of sediment and the use of empirical methods for comparison and evaluation of them. So certain were key to the curves and flow of sediments in the basin study. Water samples were monitored and flows to downstream (exutório) of the Basin of the study. We selected 10 events in the range of the study period and thus assessed the impacts of actions relevant to a rural River Basin over the use of land with areas of activities mineratórias. It was concluded with the results, that the methods they used empirical factors of soil use for calculation of sediment produced were not satisfactory, because these methods do not provide this type of interference that in the case are the areas of mining in the basin of the study.

Key words: Water resources, Sediment Yield, Basin hidrografic.

INTRODUÇÃO

A degradação do solo e dos recursos hídricos por vias antrópicas e naturais tem mostrado a importância de quantificar o transporte do sedimento, sua produção e principalmente seu comportamento com relação à deposição nas bacias hidrográficas, sendo conseqüentemente objeto de atenção e estudos situações referentes à gestão do uso e manejo de recursos naturais.

O objetivo principal deste estudo é avaliar e quantificar a produção de sedimentos na Bacia Experimental do Lajeado Grande, no Município de São Martinho da Serra – RS, Com ênfase na determinação do sedimento produzido no trecho da seção do rio principal da Bacia Hidrográfica do presente estudo.

Este tipo de estudo e o conhecimento de fatores responsáveis por perda de solo, seu transporte e a deposição no decorrer do curso do rio são relevantes, pois servem como ponto inicial para determinação e elaboração de medidas mitigadoras e compensatórias para utilização adequada dos recursos naturais ainda disponíveis.

Por mais que a erosão nos leitos dos cursos hídricos seja comprovadamente um processo natural, o uso indevido do solo é altamente negativo sobre o meio ambiente. No caso deste estudo, a Bacia Hidrográfica possui áreas onde se desenvolve atividade de extração de pedras preciosas a céu aberto, ainda em fase incipiente, mas que gera preocupação quanto aos seus impactos no decorrer dos anos, uma vez que permanentemente implementada. Os processos de medição e coleta de informações no campo são de grande importância, pois possibilitam a obtenção de dados reais para a determinação de parâmetros a serem utilizados nos métodos proposto no trabalho. As análises realizadas em laboratório objetivaram a determinação da distribuição granulométrica do material do leito e a concentração do material em suspensão.

Com coletas de dados e amostra de material de leito uma estação fluviográficas instalada no pontos situados à jusante da área submetida a mineração(exutório) e com o uso de um pluviômetro localizado em um ponto intermediário da Bacia Hidrográfica, foi possível coletar dados de precipitação, vazão e sedimentos em suspensão. Com esses dados foram determinadas as curvas chave de vazão e sedimento da Bacia Hidrográfica, na sessão estudada.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O estudo da sedimentologia fluvial tem se tornado a cada dia mais importante na solução de problemas como assoreamento de reservatórios, mudança da seção do rio e diminuição da qualidade da água. Para tanto se torna indispensável a coleta dos dados de campo. Conforme Paiva et al (2000) “o conhecimento do aporte de sedimentos em bacias hidrográficas é extremamente importante no planejamento e gestão dos recursos hídricos”. Tais informações são fundamentais no dimensionamento e operação de obras hidráulicas, interferindo decisivamente nos custos de implantação e manutenção de tais sistemas.

A quantidade de material transportado ou depositado num rio depende de uma série de condições divididas em dois grupos de variáveis (Simons & Sentürk, 1976). No primeiro grupo estão as variáveis que influenciam na quantidade e na qualidade do sedimento transportado. Já no segundo grupo estão as variáveis que influenciam na capacidade do rio de transportar aquele sedimento. Segundo Carvalho (1994), os sedimentos que chegam ao rio têm granulometria variada e terão transporte variado conforme as condições locais e de escoamento.

A utilização e o manuseio do solo estão diretamente relacionados com a perda de solo e esse processo origina geralmente a erosão que ocorre de diferentes formas (Figueredo, 1989).

Conforme Carvalho (1994) os equipamentos para a amostragem de sedimentos (mistura água/sedimento) para medição indireta da descarga em suspensão, se pode utilizar o amostrador US-DH-48, com denominação nacional AMS-1, é integrador na vertical para profundidades de até

1,5 metros, para coleta de amostra em suspensão.

Dois métodos são utilizados para avaliar o transporte de sólidos dos leitos dos rios: O primeiro é usando fórmulas empíricas para o cálculo de sedimentos transportados, onde se relaciona os parâmetros dos fluidos com a carga sólida, do material transportado e do escoamento (Branco, 1998). O segundo é medindo vazões líquidas e concentrações de sedimento em uma seção de medida no curso do rio. (Branco, 1998).

De acordo com Paiva (2001) os modelos de perda de solo mais utilizados em pequenas bacias são modelos globais, que necessitam de poucas informações. A maior parte deles tem origem na Equação Universal de Perda de Solo - USLE (Wischmeier & Smith, 1961),.

A Equação Universal Modificada de Perda de Solo (MUSLE) baseada na USLE, desenvolvida pelo U.S.D.A, é apresentada na equação [1].

$$s = a(Qs.qp)^b K.LC.C.P \quad [1]$$

Onde:

Y = perda de solo ton, Qs = volume do escoamento superficial(m³); a e b = coeficientes calibrados para a bacia qp = vazão de pico do escoamento (m³/s), K = fator de erodibilidade do solo (t.h⁻¹.Mj.mm⁻¹), LS = fator topográfico, C = fator de cobertura e P = fator de práticas conservacionistas.

O fator de erodibilidade do solo pode ser calculado usando a equação [2]

$$K=[2,1M^{1,14}.10^{-4}.(12-Ka)+3,25(Kb-2)+2,5(Kc-3)].1,313/100 \quad [2]$$

Onde:

M = (% silte + % de areia muito fina) × (100 -% de argila) ka é a porcentagem de matéria orgânica; kb é o coeficiente relativo a estrutura do solo; kc é a classe de permeabilidade.

O fator topográfico do solo pode ser calculado com a equação [3]

$$LS=(L/22,1)^m.(0,065+0,0454+.S+0,0065.S^2) \quad [3]$$

Onde:

m = 0,2 para S<0,5; m = 0,3 para 0,5≤S<3,5; m = 0,5 para S≥3,5; S é a declividade da rampa em %;

L é o comprimento da rampa em metros, que representa a distância entre o início do escoamento superficial e a mudança de inclinação do terreno.

Devido o fator R de USLE apresentar problemas para sua determinação, (Williams, 1975) propôs uma equação modificada substituindo o fator R da USLE por um fator de escoamento superficial, que inclui o volume escoado superficialmente e a vazão de pico do hidrograma de cheia, dando uma nova fórmula. Esta rotina apresentou bons resultados para duas pequenas bacias de TREYNES, IOWA (Williams, 1975).

O fator R pode ser calculado usando a equação [4]:

$$R = 89,6 . (Qs . qp)^{0,56} \quad [4]$$

Onde:

Qs – volume de escoamento superficial, em m³; qp – vazão de pico, em m³/s.

Assumindo uma distribuições uniformes para os parâmetros K, LS, C, P e D50 para a bacia em estudo, com um evento de chuva, para se determinar o coeficiente de propagação B a taxa de perdas é dependente da velocidade de trânsito da partícula, do tamanho da partícula em suspensão, da quantidade de partículas em suspensão, do comprimento e tempo de percurso

Método do número da curva de escoamento superficial ou método do CN: O método do número da curva de escoamento superficial ou simplesmente método do CN permite estimar a precipitação excedente resultante de uma determinada chuva para uma área conhecida de drenagem. O total de sedimentos produzido pela bacia inteira é o somatório do sedimento produzido nas n sub-bacias menos a taxa de perdas que ocorrem no percurso entre cada sub-bacia e o exutório da bacia, devido a deposição de sedimentos, Paranhos (2003). No entanto, a aplicação do método em áreas superiores a 250 km², sem subdividi-las não é recomendado (Ponce e Hawkins, 1996).

Segundo Rosa (2003) a expressão "uso do solo" pode ser entendida como sendo a forma pela qual o espaço esta sendo ocupado pelo homem. O levantamento do uso do solo é de grande

Figura 1 – Localização do Município de São Martinho da Serra e da Bacia estudada

Para a caracterização do uso do solo e de cobertura vegetal da bacia (figura 3), foi utilizado imagem de satélite IKONOS II (Figura 2). Os dados de distribuição do uso do solo são mostrados nas tabela 1.

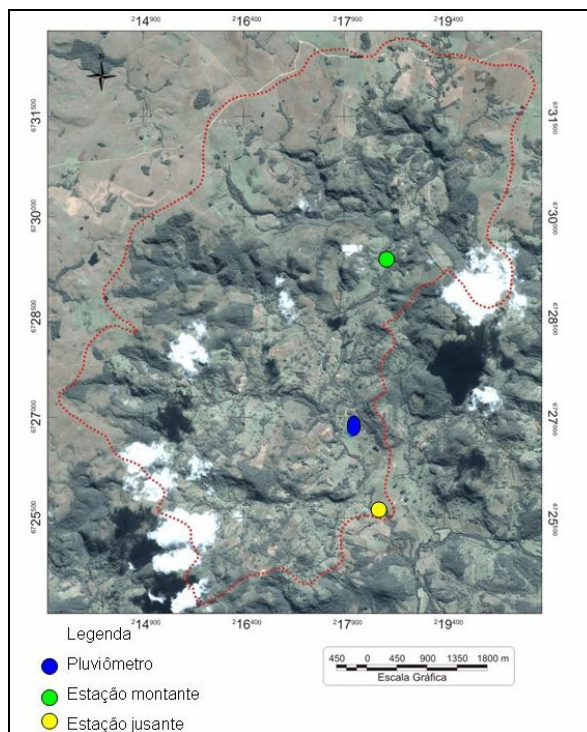


Figura 2 – Imagem IKONOS II com o divisor d'água a identificando as estações

No momento essa região é sustentada por atividades agrícolas de subsistência, com presença de atividade pecuária e leiteira. A cobertura vegetal predominante é de mata, tendo uma pequena porcentagem de agricultura e urbanização.

Tabela 3 – Estudo da utilização do solo em toda a bacia estudada

Água	0,032 km ²	0,096 (%)
Solo exposto	2,288 km ²	6,895 (%)
Culturas	1,372 km ²	4,13 (%)
Mata	15,983 km ²	48,15 (%)
campo_sujo	9,373 km ²	28,23 (%)
campo_limpo	2,878 km ²	8,670 (%)
Nuvens	1,282 km ²	3,863 (%)
Construções	0,007 km ²	0,022 (%)
Área total das classes	33,194 km²	100 (%)

Para o estudo também se utilizou o mapa da rede de drenagem, mapa de solos e mapa topográfico, mapa clinográfico e o mapa das sub-bacias que estão representadas nas figuras 4, 5, 6, 7 e 8 (Sangoi,2007)

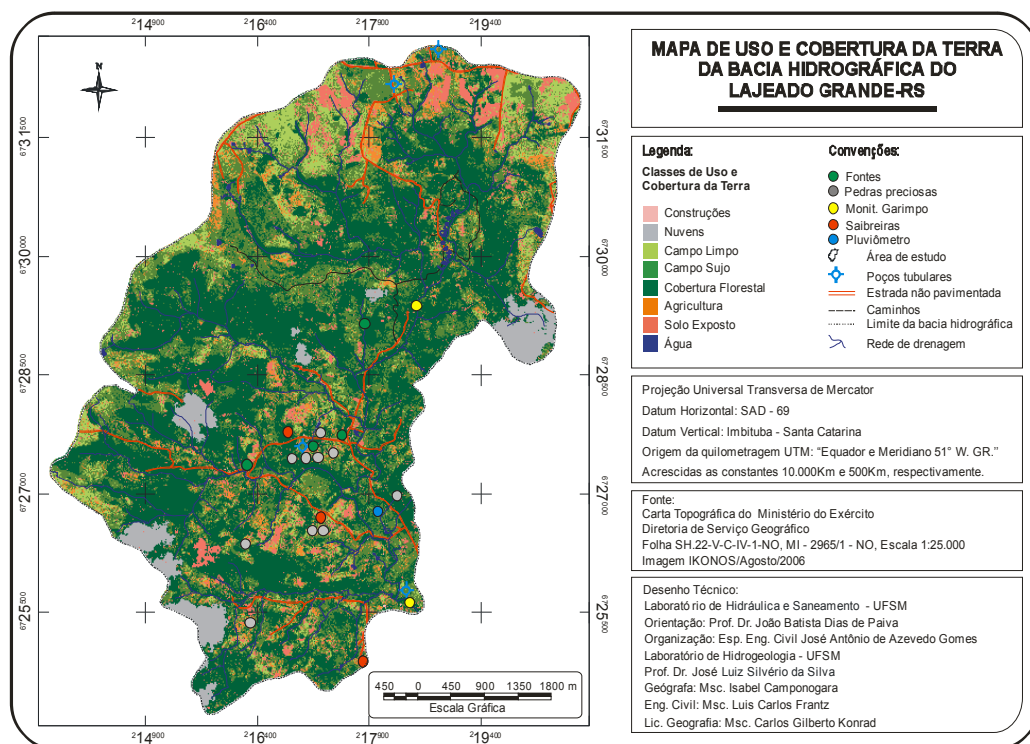


Figura 3 – Mapa de uso e cobertura do solo

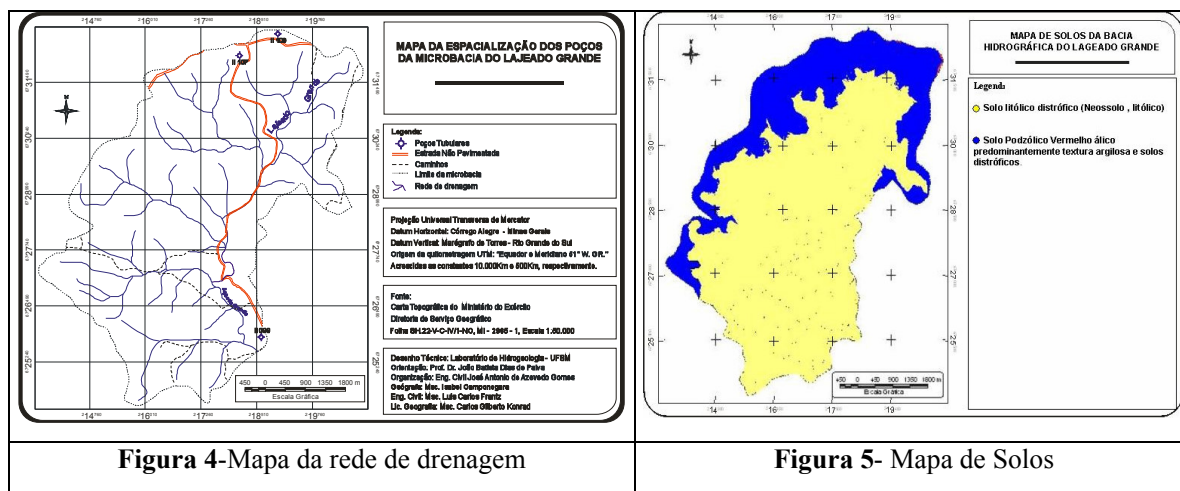


Figura 4-Mapa da rede de drenagem

Figura 5- Mapa de Solos

O solo da bacia hidrográfica do estudo é compreendida de 24,19 km² de NEOSSOLO LITÓLICO DISTROFICO E 8,98 Km² de ARGISSOLO PODZOLICO VERMELHO.

Um dos métodos utilizados para cálculo de sedimentos necessitou a divisão da bacia do estudo em sub-bacias (figura 8) e este mapa foi produzido em cima do mapa da rede de drenagem e do mapa topográfico.

O monitoramento foi realizado através de uma estação pluviográfica e uma estações fluviográficas, localizada à jusante da área de garimpo, monitoradas pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (GHIDROS) da UFSM. A estação pluviográfica (figura 9) localiza-se na região central da bacia, sendo composta de um pluviógrafo digital.

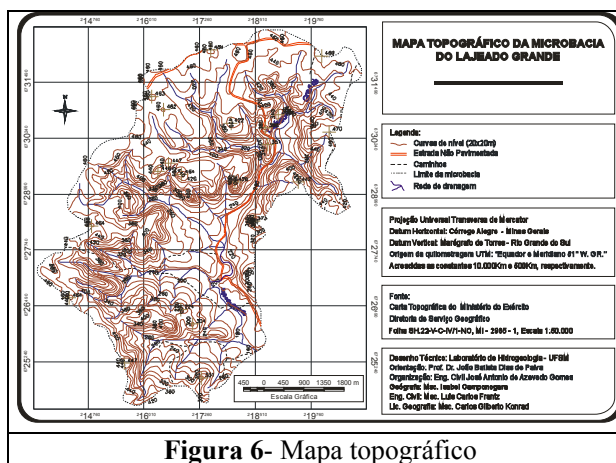


Figura 6- Mapa topográfico

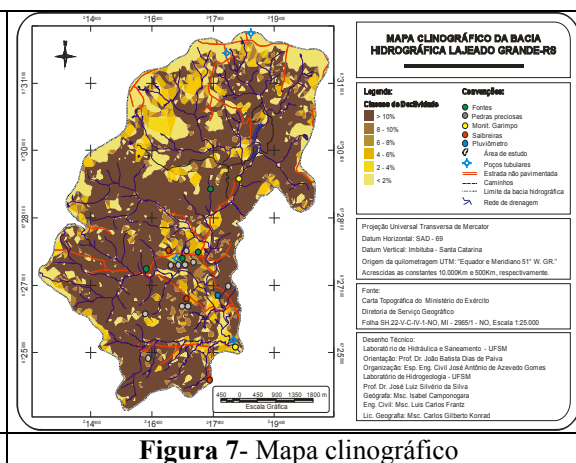


Figura 7- Mapa clinográfico

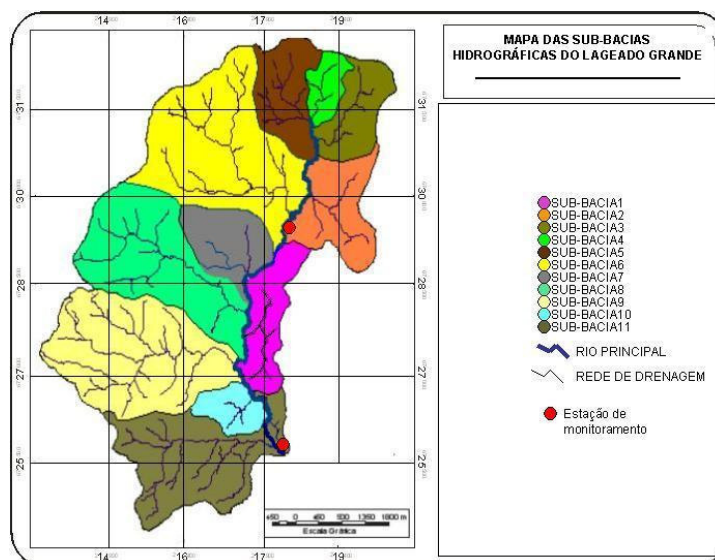


Figura 8 –Mapa das 11 Sub-Bacias

A estação fluviométrica de jusante localiza-se no exutório da bacia e é equipada com um vertedor triangular de soleira curta (figura 10) (V Notched weir), uma ponte para auxiliar nas medições de vazão, uma régua linimétrica, um registrador eletrônico figura 10 do tipo “data logger” (Thalimedes-A-OTT), com sensor de nível do tipo bóia e contrapeso, um amostrador de nível ascendente (ANA) localizado a esquerda da sessão e um amostrador de nível descendente (AND) localizado a direita da sessão. O AND foi construído segundo modelo desenvolvido no laboratório de sedimentos da UFSM, por Paranhos (2003), com base em Umesawa (1979), para permitir a amostragem de sedimentos na subida e na descida da onda de cheia, durante a ocorrência de eventos chuvosos.

Para determinação das vazões durante o período de observação foi determinada a curva “cota x descarga” desenvolvida por Bonumá (2006), para a seção do vertedor no ponto de jusante. O desenvolvimento da curva foi necessária uma vez que o referido vertedor com largura da soleira menor que a especificada para a estrutura pré-calibrada pelo “U.S. Soil Conservation Service”, para uso em bacias rurais (Brakensiek & Osborn 1979).

A curva-chave obtida através das medições está apresentada nas equações 5, 6 e 7.

Para $0,06 < H \leq 0,47$ m:

$$Q = 7,438435.H^{2,5} \quad [5]$$

Para $0,47 < H \leq 1,11$ m:

$$Q = 7,702248.H^{2,5} \quad [6]$$

Para $1,11 < H \leq 1,15$ m:

$$Q = 7,659451.H^{2,5} \quad [7]$$

Para $H > 1,15$ m o vertedor funciona como um vertedor misto (triangular e retangular) e a vazão adotada é mostrada na equação 8:

$$Q = 10,862811 + (16,6383 - 0,342.H).(H - 1,15)^{\frac{3}{2}} \quad [8]$$

onde:

Q = vazão (m³/s);

H = cota (m).

Com o objetivo de levantar a curva-chave de sedimentos e a curva de relação vazão x concentração de sedimento em suspensão foram realizadas campanhas de medição, em nível de rotina e durante períodos de maior frequência de ocorrência de eventos chuvosos. Durante essas campanhas foram feitas medições de descargas líquidas, amostragem de sedimentos em suspensão para a obtenção da descarga sólida em suspensão, medições diretas de descarga de fundo e coleta do material do leito para caracterização granulométrica do material depositado.

Para a determinação da granulometria do material em suspensão são realizados ensaios para a confecção da curva conforme descrito por Lutkemeyer et al (2002). Já para determinação da granulometria do material do leito foi utilizado o método de peneiramento, conforme norma da ABNT, a NBR 7181.

A determinação da quantidade de sais solúveis, é feita pela retirada de duas pipetagens de 50ml da parte isenta de sedimento (água sobrenadante após 24 horas de repouso), reduz-se a amostra deixando entre 120mL a 200mL chamado de remanescente, e logo é encaminhada para secagem em estufa e é obtido o valor médio e valor de sólidos totais.

Os equipamentos instalados na estação de jusante e que eram utilizados para coleta de amostras de sedimentos na subida e na descida do nível do rio estão ilustrados nas figuras 11 e 12 e tem como características dimensionais mostradas nas tabelas 4 e 5.



Figura 9- Pluviômetro



Figura 10 –Vertedor da estação



Figura 11-ANA

Figura 12-AND

Tabela 4-Relação Nível garrafa do ANA			Tabela 5-Relação Nível garrafa do AND		
Garrafa	Cota (m)	Q (m³/s)	Garrafa	Cota (m)	Q (m³/s)
G1	0,28	0,3086	G1	1,65	16,5458
G2	0,43	0,9019	G2	1,50	14,2018
G3	0,58	1,9733	G3	1,35	12,3097
G4	0,73	3,5069	G4	1,20	11,0442
G5	0,88	5,5953	G5	1,05	8,7014
G6	1,03	8,2930	G6	0,90	5,9186
G7	1,18	10,9472	G7	0,75	3,7521
G8	1,33	12,0987	G8	0,60	2,1478
G9	1,48	13,9210	G9	0,45	1,0104
G10	1,63	16,2106	G10	0,30	0,3667
G11	1,78	18,8783			
G12	1,93	21,8699			

As cotas foram verificadas através do Thalimedes, as concentrações de sedimentos foram obtidas através de ensaios laboratoriais e as velocidades para obtenção das vazões, foram medidas com o molinete fluviométrico universal.

Os Métodos utilizados no trabalho para cálculo de produção de sedimento nos eventos estudados são listadas a seguir e ilustradas na figura 14 :

- Produção de sedimentos utilizando a MUSLE calculada para a bacia apresentada na figura 13.
- Produção de sedimentos utilizando o MUSLE para cada sub-bacia, a duração da chuva efetiva (horas) calculada, e a altura total da chuva (mm) apresentada na figura 14.
- Produção de sedimentos utilizando o MUSLE para cada sub-bacia, a duração da chuva efetiva (horas) calculada, e a altura efetiva (mm) apresentada na figura 14.
- Produção de sedimento utilizando o MUSLE para cada sub-bacia, a duração da chuva efetiva (horas) observada, e a altura total da chuva (mm) apresentada na figura 14.
- Produção de sedimento utilizando o MUSLE para cada sub-bacia, duração da chuva efetiva observada(horas) e a altura efetiva (mm) apresentada na figura 14.

-Produção de sedimento medida, pelo cálculo da integração utilizando os dados de concentração de sedimento e os dados de chuva adquiridos no método da separação de escoamento superficial (Sangoi, 2007)

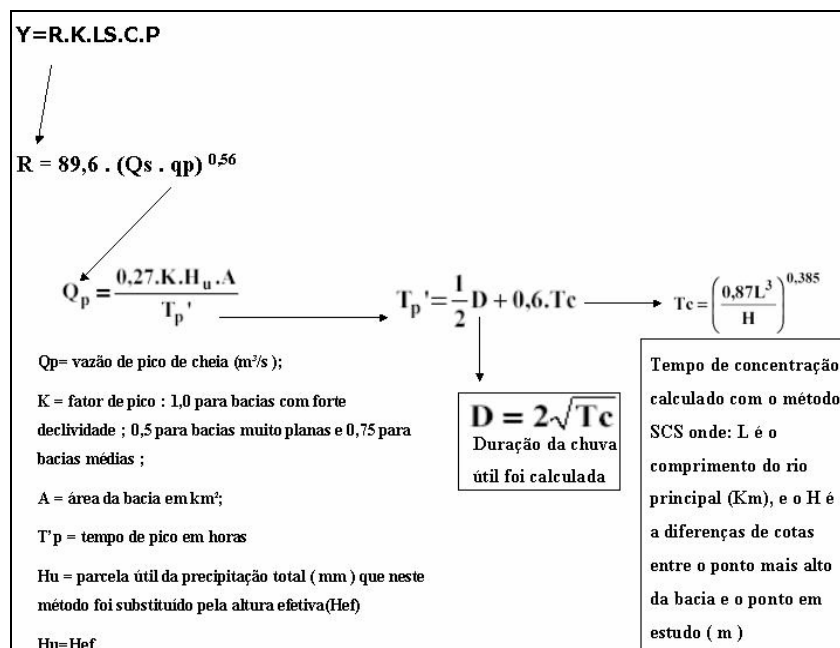


Figura 13- Produção de sedimentos com a utilização da MUSLE calculada para a bacia

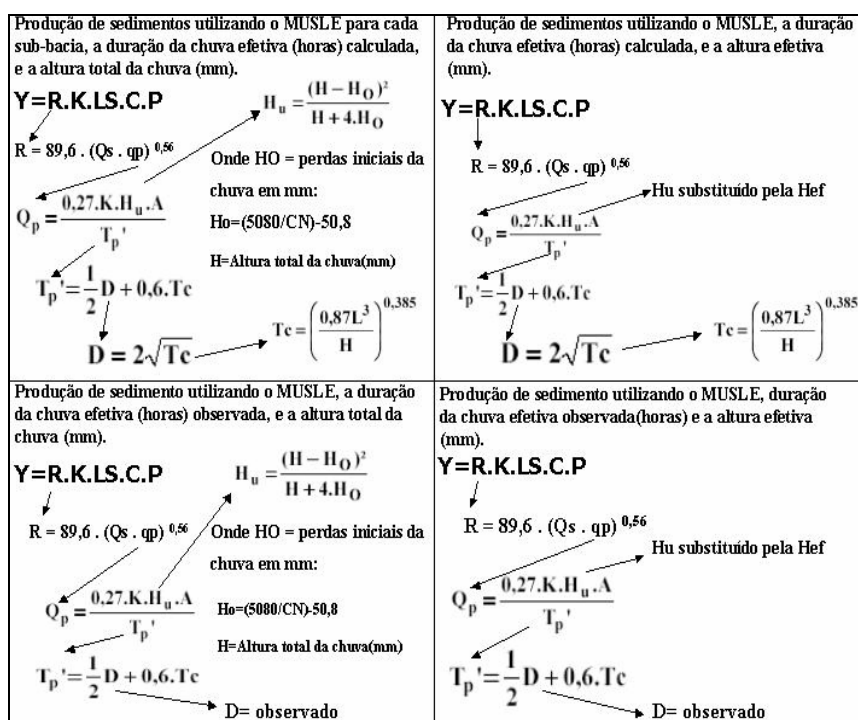


Figura 14- ilustração dos métodos aplicados nas sub-bacias

RESULTADOS E CONCLUSÕES

O Pluviômetro situado nas coordenadas geográficas 53°54'39.2" W (longitude) e 29°33'23.3" S (latitude) informou uma precipitação total de 1447mm da data de 22/12/2005 a 17/12/2006 referentes ao tempo de estudo do presente trabalho esta apresentada na figura 15 que mostra a distribuição mensal do precipitado.

Para definir a curva chave (figura 16) para todas as cotas de água observadas, foi feita a extrapolação da curva chave de vazão para cotas registradas na estação de jusante que possui uma ponte hidrométrica de 9 metros e também foi selecionado os eventos e as velocidades transformadas para vazão, resultando nos valores mostrados na tabela 6. Quanto a distribuição e classificação dos tamanhos do material foram feitas segundo a norma NBR 7181, (1983), tabela 7 mostra o resultado da análise do material do leito no ponto de jusante e a figura 17 apresenta a curva granulométrica do material do leito na estação de jusante.

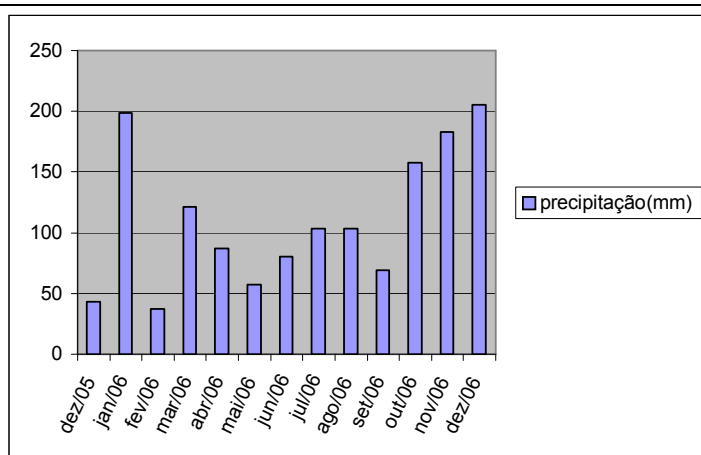


Figura 15-Gráfico da precipitação referente ao período do estudo para o calculo de sedimentos produzidos.

Data	Hora da coleta (inicio)	Cota (m)	Q (m³/s)
14.08.06	14:25	0,320	0,431
13.09.06	12:00	0,380	0,662
13.09.06	13:30	0,385	0,684
15.09.06	10:10	1,270	11,536
15.09.06	12:19	1,157	10,872
15.09.06	14:40	1,072	9,164
15.09.06	16:15	1,024	8,173
05.10.06	11:30	0,494	1,321
05.10.06	12:56	0,492	1,308
06.11.06	11:00	0,784	4,192
06.11.06	12:43	0,789	4,259
17.11.06	12:14	0,480	1,229
15.06.07	11:00	0,571	1,898
15.06.07	12:30	0,680	2,937
15.06.07	13:30	0,645	2,573
15.06.07	14:37	0,600	2,148
15.06.07	15:00	0,603	2,175

Tabela 6- Análise do material do leito no ponto de jusante.

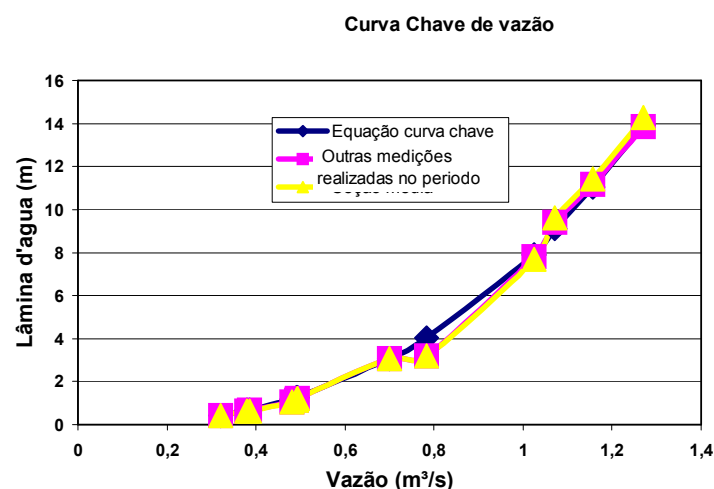


Figura 16- Curva chave de vazão

Porcentagens (%)	
Argila:	0
Silte:	0
Areia Fina:	1
Areia Média:	4
Areia Grossa:	6
Pedregulho:	89
Soma	100

Tabela 7-Dados das cotas, vazões, horários e datas das coletas .

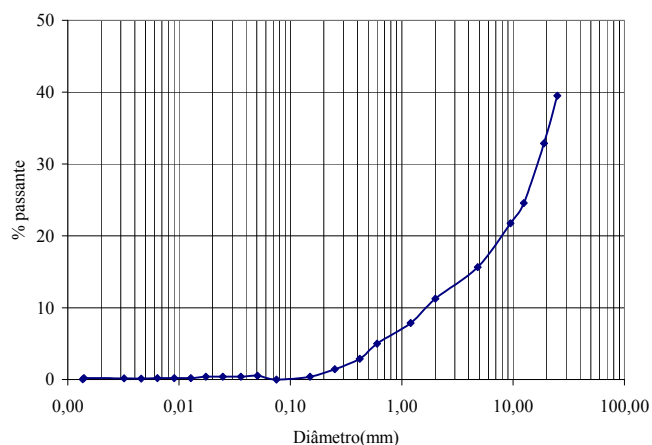


Figura 17-curva granulométrica do material do leito na estação de jusante.

A tabela 8 apresenta os resultados de vazão efetiva (Q_e (mm)), precipitação efetiva (P (mm)), armazenamento potencial máximo (S), coeficiente (CN), índice de infiltração (I), abstração inicial (I_a), escoamento superficial (Q (mm)), encontrados com a aplicação do método SCS-CN nas respectivas datas dos eventos estudados, utilizando os dados de vazões observadas.

Dia do evento	Q_e (mm)	P_t (mm)	S	CN	I_a	I (mm/h)	Q (mm)
23.12.05	0,72	8,17	19,99	92,70	4,00	0,76	0,72
23.01.06	0,65	41,63	156,22	61,92	31,24	1,34	0,65
03.02.06	0,01	2,60	11,07	95,82	2,21	0,90	0,01
27.03.06	0,06	7,70	31,59	88,94	6,32	1,32	0,06
29.03.06	0,22	10,44	37,24	87,21	7,45	1,24	0,22
23.03.06	2,46	17,56	34,88	87,93	6,98	0,26	2,46
19.05.06	0,15	14,56	57,80	81,46	11,56	0,11	0,15
25.06.06	0,76	24,68	82,07	75,58	16,41	0,47	0,76
14.09.06	20,80	41,87	27,32	90,29	5,46	0,17	20,80
05.11.06	15,88	26,51	12,36	95,36	2,47	0,62	15,88

Tabela 8-Dados dos parâmetros do método SCS e datas das coletas .

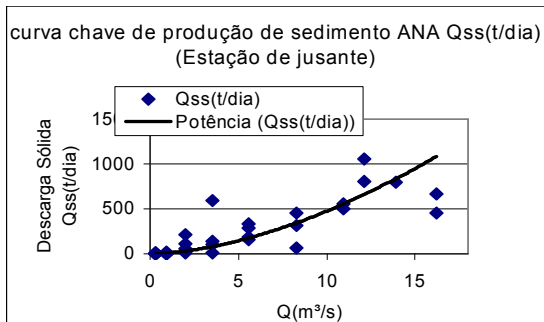


Figura 18- Curva chave de sedimento ANA

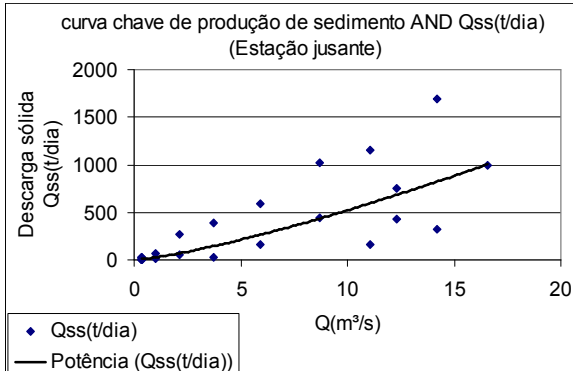


Figura 19-Curva chave de sedimento AND

As figuras 18 e 19 ilustram as curvas chaves de produção de sedimento obtidas com os

amostradores de sedimento das estações de monitoramento da bacia no ponto de jusante.

Os Resultados dos métodos utilizados para obtenção da produção de sedimentos nos 10 eventos analisados estão apresentados na tabela 9.

Data do evento	Perda de solo(TON) MUSLE (hef(mm))	Perda de solo Medida (TON)	D=calculado	D=calculado	D=observado	D=observado
			hu e cn	hef	hu e cn	hef
23.12.05	12,609	13,280	42,953	65,644	49,402	76,031
23.01.06	11,010	7,853	980,718	57,488	776,310	45,308
03.02.06	0,839	0,444	31,057	0,104	57,575	0,194
27.03.06	2,575	1,507	52,393	3,963	55,039	4,196
29.03.06	4,826	23,427	13,541	17,864	12,868	17,312
23.03.06	23,138	32,635	18,722	263,995	37,540	527,520
19.05.06	5,451	50,221	1,818	11,315	3,471	21,818
25.06.06	12,388	8,944	153,347	68,421	148,945	66,056
14.09.06	67,535	296,136	1026,083	2878,345	1541,854	4317,605
05.11.06	43,436	535,582	225,755	2211,916	396,736	3886,941

Tabela 9- Resultados dos métodos utilizados para obtenção da produção de sedimentos

As comparações entre os resultados de produção de sedimentos entre o método de medição direta e os métodos do modelo e os valores do coeficiente de propagação de sedimento (B1, método calculado tendo como base a produção de sedimentos obtida pela MUSLE para toda a bacia) e (B2, método calculado tendo como base a produção de sedimentos medida) estão apresentadas nas tabelas 10, 11, 12, 13. e a tabela 14 mostra os resultados da produção de sedimentos calculada pelo método da medição direta e o método da MUSLE para toda a Bacia Hidrográfica

Data do evento	Perda de solo medida (ton)	MUSLE (hef) (ton)	Somatório das 11 Sub-bacias, D=observado (hef(mm)) (ton)	(B1)	(B2)	Data do evento	Perda de solo medida (ton)	MUSLE (hef) (ton)	Somatório das 11 Sub-bacias, D=observado, hu e cn (ton)	(B1)	(B2)
23.12.05	13,28	12,61	76,0	6,5	6,2	23.12.05	13,28	12,61	49,4	4,3	4,1
23.01.06	7,85	11,01	45,31	4,5	6,4	23.01.06	7,85	11,01	776,3	54,8	64,2
03.02.06	0,44	0,84	0,1	-2,8	-1,7	03.02.06	0,44	0,84	57,5	59,9	77,9
27.03.06	1,51	2,57	4,2	1,1	2,7	27.03.06	1,51	2,57	55,0	24,5	38,2
29.03.06	23,43	4,83	17,3	3,7	-0,6	29.03.06	23,43	4,83	12,8	2,8	-1,2
23.03.06	32,64	23,14	527,5	23,5	16,7	23.03.06	32,64	23,14	37,5	1,0	0,2
19.05.06	50,22	5,45	21,8	4,1	-1,5	19.05.06	50,22	5,45	3,4	-0,7	-4,2
25.06.06	8,94	12,39	66,06	5,9	8,2	25.06.06	8,94	12,39	148,9	12,2	16,8
14.09.06	296,14	67,54	4317,6	51,1	15,3	14.09.06	296,14	67,54	1541,8	22,9	5,3
05.11.06	535,58	43,44	3886,9	60,0	7,5	05.11.06	535,58	43,44	396,7	8,8	-0,5

Tabela 10- Método D=observado (hef(mm))

Tabela 11- Método D=observado, hu e cn

Data do evento	Perda de solo medida (ton)	MUSLE (hef) (ton)	Somatório das 11 Sub-bacias D=2raiz(tc), (hef(mm)) (ton)	(B1)	(B2)	Data do evento	Perda de solo medida (ton)	MUSLE (hef) (ton)	Somatório das 11 Sub-bacias, D=2raiz(tc), hu e cn (ton)	(B1)	(B2)
23.12.05	13,28	12,61	65,6	5,4	5,1	23.12.05	13,28	12,61	42,9	3,6	3,4
23.01.06	7,85	11,01	57,4	5,5	7,8	23.01.06	7,85	11,01	980,7	58,7	68,1
03.02.06	0,44	0,84	0,1	-4,0	-2,9	03.02.06	0,44	0,84	31,0	44,8	62,5
27.03.06	1,51	2,57	3,9	0,9	2,5	27.03.06	1,51	2,57	52,3	21,8	34,7
29.03.06	23,43	4,83	17,8	3,7	-0,5	29.03.06	23,43	4,83	13,5	2,8	-1,1
23.03.06	32,64	23,14	264,0	11,6	8,3	23.03.06	32,64	23,14	18,7	-0,4	-1,0
19.05.06	50,22	5,45	11,3	1,7	-2,6	19.05.06	50,22	5,45	1,8	-1,8	-5,1
25.06.06	8,94	12,39	68,4	5,8	8,1	25.06.06	8,94	12,39	153,3	11,9	16,2
14.09.06	296,14	67,54	2878,3	38,6	10,1	14.09.06	296,14	67,54	1026,0	14,7	3,4
05.11.06	535,58	43,44	2211,9	42,4	4,1	05.11.06	535,58	43,44	225,7	4,9	-1,5

Tabela 12- Método D=2raiz(tc), (hef(mm))

Tabela 13- Método D=2raiz(tc), hu e cn

Data do evento	Perda de solo medida (ton)	MUSLE (hef) (ton)	Somatório das 11 Sub-bacias, D=observado (hef(mm)) (ton)	(B1)	(B2)
23.12.05	13,28	12,61	76,0	6,5	6,2
23.01.06	7,85	11,01	45,31	4,5	6,4
03.02.06	0,44	0,84	0,1	-2,8	-1,7
27.03.06	1,51	2,57	4,2	1,1	2,7
29.03.06	23,43	4,83	17,3	3,7	-0,6
23.03.06	32,64	23,14	527,5	23,5	16,7
19.05.06	50,22	5,45	21,8	4,1	-1,5
25.06.06	8,94	12,39	66,06	5,9	8,2
14.09.06	296,14	67,54	4317,6	51,1	15,3
05.11.06	535,58	43,44	3886,9	60,0	7,5

Tabela 14- Resultados da produção de sedimentos calculada pelo método da medição direta e o método da MUSLE para toda a Bacia Hidrográfica

Comparando os métodos utilizados para calcular os sedimentos produzidos nos eventos chuvosos selecionados para o presente estudo, observou-se que no cálculo da produção de sedimentos, os métodos em que utilizaram-se as alturas efetivas (Hef(mm)), apresentaram resultados mais aproximados, em comparação com a produção de sedimentos medida. Já em relação aos demais métodos empíricos apresentados neste trabalho, numericamente não se obteve bons resultados. Isso porque, as precipitações totais dos eventos não mantêm uma relação com o fator de solo (CN) para cálculo do escoamento superficial, pois este possui uma desuniformidade na sua desagregação, transporte e sedimentação, ocasionados pela alteração desordena do solo nas áreas de mineração, o que não é previsto no método utilizando as alturas úteis (Hu(mm)) dos eventos, satisfazendo as expectativas, já que no estudo foram utilizado 6 métodos para determinação dos sedimentos produzidos.

Concluiu-se que a quantidade de dados e métodos aplicados e trabalhados neste estudo foi de fundamental importância, pois devido a área do estudo sofrer um ação antrópica e um curto tempo de coleta de dados no campo se observou uma gama de fatores responsáveis pelo fenômeno da perda de solo o que levou a concluir também a importância de detalhar os dados referentes aos tipo de solos, classes de uso do solo e ponderação de índices, já que a produção de sedimentos é diretamente proporcional a quantidade, intensidade da chuva e material disponível para transporte.

A partir da comparação entre os métodos utilizados para calcular a produção de sedimento e o método de cálculo direto de produção de sedimento se concluiu que existe uma diferença significativa dos dados obtidos da determinação de fatores para aplicação do modelo, devido a Bacia Hidrográfica possuir, em pontos específicos, áreas de mineração onde existe um constante movimento, modificação e transporte de solo.

Os valores negativos dos parâmetros de propagação de sedimento(B) se atribuem ao mesmo motivo citado anteriormente, ou seja, existem áreas de mineração na bacia que geram grandes quantidades de sedimentos, que ficam disponíveis para transporte por ocasião dos eventos chuvosos.

Através da análise da produção de sedimentos calculada usando a classificação hidrológica do solo de acordo com o método original do SCS, com as adaptações às condições de cálculo de tempo de duração da chuva efetiva e com os dados observados, percebe-se que a classificação hidrológica adaptada apresenta melhores resultados. O método de cálculo utilizado para as sub-bacias que melhor se ajustou com os dados observados de produção de sedimento foi a utilização da MUSLE usando a altura efetiva(Hef) e a duração da chuva útil (D) observada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT** (1983) Associação Brasileira de Normas Técnicas - *Análise Granulométrica*. NBR 7181.
- Bonumá, N.** *AValiação DA QUALIDADE DA ÁGUA SOB IMPACTO DAS ATIVIDADES DE IMPLANTAÇÃO DE GARIMPO NO MUNICÍPIO DE SÃO MARTINHO DA SERRA*. 2006. Dissertação de Mestrado. PPGEA - UFSM.
- Brakensiek, D.L.; Osborn, H.B.; Rawls, W.J.** *Field Manual for Research in Agricultural Hydrology*. Beltsville: United States Department of Agriculture, 1979.
- Branco, N.** *Avaliação de metodologias para a estimativa da produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas*. 1998. Dissertação de Mestrado. PPGEA - UFSM.
- Carvalho, N.O.** Hidrossedimentologia Prática, 1994 CPRM, ELETROBRÁS, Rio de Janeiro, RJ.
- Figueredo, A. G.** *Análise da produção e transporte de sedimento nas bacias do rio Peixe e rio Aguapei*. Anais do Simpósio Recursos Hídricos. São Paulo ABRH, 2v, 1989.
- Lutkemeyer, F.; Paranhos, R.M.; Paiva, J.B.D.** *Análise Granulométrica de Material em Suspensão pelo Método do Tubo de Retirada pelo Fundo*. In: XVII CRICTE CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA, 2002, UPF, Passo Fundo.
- Paiva, E.M.C.D.** *Métodos de estimativa de produção de sedimentos em Pequenas Bacias Hidrográficas*. Hidrologia Aplicada a Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas. 2001, cap. 13, p. 379-408.
- Paiva, E.M.C.D.; Paiva, J.B.D.; Paranhos, R.M.** *Produção de Sedimentos em Pequenas Bacias Hidrográficas Rurais. Caracterização Quali-Quantitativa da Produção de Sedimentos*, 2000.
- Paranhos R. M.** *Avaliação de metodologia para estimativa de produção de sedimentos em uma pequena bacia rural de encosta*, 2003. Dissertação de Mestrado. PPGEA - UFSM. nta Maria; 2003.
- Rosa, R.** *Introdução ao sensoriamento remoto*, 5ª edição. Uberlândia. Ed. Da Universidade Federal de Uberlândia, 2003. 238 p.
- Sangoi, R.G.** *AValiação DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS EM EVENTOS CHUVOSOS NA BACIA HIDROGRÁFICA EXPERIMENTAL DE SÃO MARTINHO DA SERRA-RS.*; 2007. Dissertação de Mestrado. PPGEA - UFSM.
- Simons, D.B. & Sentürk, F.** *Sediment transport technology Fort collins*. USA Water Resources Publications, 1976.
- Umezawa, P.K.** *Previsão de deplúvio (washload) em rios de áreas elevadas*. 1979. 217 p. Dissertação (Mestrado em Hidrologia Aplicada). Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1979.
- Williams, J.R.** Sediment routing for agricultural watersheds. *Water Resources Bulletin*. 1975. v. 11, no 5, p. 965-974.
- Wischmeier, W.H., Smith, D.D.**, 1961. *Predicting Rainfall-Erosion Losses from Cropland East of Rocky Mountains*, USDA Agricultural Handbook No. 282, Washington, DC.