

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

**A INSUSTENTABILIDADE DO USO DO SOLO COM
FUMICULTURA EM TERRAS DECLIVOSAS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Letícia Sequinatto

**Santa Maria, RS, Brasil
2007**

INSUSTENTABILIDADE DO USO DO SOLO COM FUMICULTURA EM TERRAS DECLIVOSAS

por

Letícia Sequinatto

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Processos Físicos e Morfogenéticos do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência do Solo**

Orientador: Prof. PhD José Miguel Reichert

**Santa Maria, RS, Brasil
2007**

S479i	<p>Sequinatto, Letícia, 1980-</p> <p>A insustentabilidade do uso do solo com fumicultura em terras declivosas / por Letícia Sequinatto ; orientador José Miguel Reichert . – Santa Maria, 2007. 155 f. ; il.</p> <p>Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, RS, 2007.</p> <p>1. Ciência do solo 2. Bacia hidrográfica 3. Uso da terra 4. Erosão do solo 5. Produção de sedimentos 6. Vazão 7. Precipitação 8. Fumicultura I. Reichert, José Miguel, orient. II. Título</p> <p style="text-align: center;">CDU: 631.4:633.71</p>
-------	--

Ficha catalográfica elaborada por
Luiz Marchiotti Fernandes – CRB 10/1160
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

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

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

**A INSUSTENTABILIDADE DO USO DO SOLO COM FUMICULTURA
EM TERRAS DECLIVOSAS**

elaborada por
Letícia Sequinatto

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo

COMISSÃO EXAMINADORA:

José Miguel Reichert, PhD (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Danilo Rheinheimer dos Santos, Dr. (UFSM)

João Alfredo Braidá, Dr. (UTFPR)

Santa Maria, 22 de fevereiro de 2007

Dedico...

Aos meus pais Clóvis e Noeli,
que abriram as portas do meu futuro,
dando-me amor, sabedoria e apoio.

Ao meu irmão Luciano,
pelo carinho existente.

O mérito desta conquista também lhes pertence.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter-me permitido estar aqui;

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo pela oportunidade obtida de realização do curso;

Ao professor e orientador José Miguel Reichert, agradeço por todos os conhecimentos e ensinamentos que me foram passados, durante a graduação e mestrado, pela dedicação na discussão e realização dos trabalhos e pela amizade;

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos;

Ao CNPq, RS-Rural e FAPERGS pelo apoio financeiro;

Ao professor Dalvan José Reinert pela co-orientação, ensinamentos, sugestões e amizade;

Ao professor Gustavo Henrique Merten pela co-orientação, ensinamentos e sugestões, e outras pessoas também ligadas ao IPH da UFRGS, em especial ao doutorando Jean Paolo Gomes Minella, que de alguma forma contribuíram na realização desse trabalho;

Aos demais professores do departamento de solos, em especial ao Danilo Rheinheimer dos Santos, pelas sugestões e ensinamentos;

Ao Antônio Britzke, técnico responsável pelo trabalho de campo durante os dois primeiros anos do monitoramento;

Ao aluno de agronomia e bolsista de iniciação científica André Carlos Cruz Copetti; o qual dedicou tempo, paciência e sabedoria na elaboração dos mapas que fazem parte desse trabalho. Fico muito lisonjeada em poder ter contado com o seu apoio, e também pelos momentos de discussão na análise de temas relacionados à bacia estudada e fundamentalmente pela amizade construída;

Aos colegas, amigos e companheiros de trabalho do laboratório de física do solo, e de forma bastante especial ao Douglas R. Kaiser e Adão L. M. Corcini, e aos demais, Luis E. A. S. Suzuki, Marcelo Mentges, Fabiano Braga, Leandro Dalbianco, Maurício Kunz, Vinícius Hilbig, Olavo G. Santi, Paulo Gubiani, Sidinei Stürmer, Davi Vieira e Fábio Mallmann. A todos vocês, os meus sinceros votos de agradecimento, por todas as vezes que, sem medir esforços, contribuíram na

realização desse trabalho, e por outras vezes que juntos tivemos inesquecíveis momentos de descontração;

A todos os meus amigos e colegas de curso, e de uma maneira muito especial e carinhosa a Andressa Lauermann, Leonir T. Uhde, Marquel J. Holzschuh, Clamarion Maier, André A. Brandt, Everton Poelking, Ricardo B. Steffen, Marcos Stroschein, Elisandra Pokojeski e Federico B. Riquelme; e outros amigos que fazem parte do meu cotidiano, e em especial a Juciéli Simon e a Ana P. Binato; todas pessoas importantes na minha vida acadêmica e pessoal, que estiveram ao meu lado proporcionando-me muitos momentos de alegria, felicidade e descontração;

À aquelas pessoas que já passaram pelo laboratório de física do solo, plantando sabedoria, companheirismo e amizade; pelos quais tenho grande admiração como profissional e ser humano, em especial ao João Alfredo Braidá, ao Milton da Veiga, ao Deonir Secco e ao Vanderlei Rodrigues da Silva;

Ao laboratorista Flávio Fontinelli pela ajuda prestada nos mais diversos trabalhos e pela amizade;

Aos colegas Carlos Arnaldo Streck, André Pellegrini, João Pellegrini e Celso Gonçalves; pelos trabalhos já feitos na área de estudo e que muito contribuíram;

Aos moradores da comunidade de Nova Boêmia do Município de Agudo-RS, que nos acolheram no período de monitoramento;

Aos demais funcionários do Departamento de Solos, em especial ao secretário do PPGCS, Tarcísio Uberti, e ao Luiz Francisco Finamor pelas idas a campo e amizade.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

A INSUSTENTABILIDADE DO USO DO SOLO COM FUMICULTURA EM TERRAS DECLIVOSAS

AUTOR: LETÍCIA SEQUINATTO

ORIENTADOR: JOSÉ MIGUEL REICHERT

Local e data da defesa: Santa Maria, 22 de fevereiro de 2007

Áreas vulneráveis em termos de suscetibilidade à erosão e a forte pressão de uso do solo, como na região Sul do Brasil onde há cultivo de fumo, propiciam a degradação do ambiente. O objetivo foi avaliar a (in)sustentabilidade de agroecossistemas intensamente explorados com a cultura do fumo numa pequena bacia hidrográfica rural de cabeceira com terras declivosas, solos rasos, com ênfase na erosão do solo. A bacia está localizada no distrito de Nova Boêmia, Agudo-RS. A área de captação da bacia corresponde a 332 ha e essa é subdividida, para este estudo, em lados direito (braço direito) e esquerdo (braço esquerdo), em função da rede de drenagem que possui dois córregos, que ao final da secção se juntam em apenas um, formando o braço principal do Arroio Lino Friedlich, afluente do Rio Jacuí. As avaliações foram: 1) quantificação das variáveis de uso e manejo do solo influenciadores da erosão do solo, nos anos de 2003 a 2005; 2) variáveis físico-ambientais influenciadores da erosão do solo, sendo elas a erosividade das chuvas, o fator LS (comprimento do declive L e grau do declive S) da Equação Universal de Perda de Solo, e o tempo de concentração da bacia; 3) medida da produção de sedimentos em suspensão e construção de hietogramas, hidrogramas e sedimentogramas de eventos chuvosos ocorridos no ano de 2005, em seções de controle localizadas no exutório da bacia nos braços esquerdo e principal, nos quais estavam presentes linígrafos que registraram, de forma automática, dados de altura de lâmina de água para posterior determinação da vazão e concentração de sedimentos, a partir de curvas-chave específicas; 4) estimativa da produção de sedimentos anual, a partir da construção de uma curva-chave, sendo avaliados dois modelos, o linear e o polinomial. Dados de precipitação foram obtidos automaticamente numa estação meteorológica situada no centro da bacia e serviram para a determinação do índice de erosividade da chuva. Diversos mapas foram confeccionados, sendo um deles o mapa com as classes de fator de LS. Os resultados mostraram que as áreas de lavouras vêm aumentando no decorrer dos anos e, conseqüentemente, as de vegetação natural estão diminuindo. Em se continuando esse processo, em cem anos não mais haverá vegetação natural. O tempo de concentração da bacia é de 12 minutos, significando que num curto espaço de tempo toda a bacia passa a contribuir para o escoamento e confirmando o aumento súbito da altura de lâmina de água no riacho. As componentes hidrossedimentológicas variaram principalmente com a umidade do solo, características topográficas e da precipitação, intensidade e quantidade. Chuvas mais erosivas se situam no segundo semestre do ano, onde o solo estava revolvido pela ação das práticas de cultivo. O lado direito da bacia contribuiu com 80% da produção de sedimentos e apresentou valores mais elevados das classes do fator LS, maior uso antrópico do solo, presença de estradas e ravinas e menor zona ripária. O modelo polinomial para a obtenção da curva-chave de sedimentos teve o melhor ajuste e foi eficaz na estimativa da produção anual de sedimentos. A quantidade de solo erodida e estimada das áreas de lavouras foi de $0,28 \text{ cm ha}^{-1} \text{ ano}$, enquanto que das áreas de estradas foi de $0,12 \text{ cm ha}^{-1} \text{ ano}$. As perdas por erosão hídrica desses solos da bacia estão muito acima dos valores de suas taxas de formação e também das perdas de solo toleráveis. Isso indica a insustentabilidade perante o atual uso agrícola com a cultura do fumo.

Palavras-chave: bacia hidrográfica, uso da terra, erosão do solo, produção de sedimentos, vazão, precipitação.

ABSTRACT

Master Dissertation in Soil Science
Pós-Graduate Program in Soil Science
Federal University of Santa Maria

THE UNSUSTAINABILITY OF SOIL USE WITH TABACCO CROP ON STEEP SLOPES

AUTHOR: LETÍCIA SEQUINATTO

ADVISER: JOSÉ MIGUEL REICHERT

Place and date of the defense: Santa Maria, February 22, 2007.

Areas susceptibility to water erosion and strong pressure of soil use, as in Southern Brazil, where there is cultivation of tobacco, are prone to degradation of the natural resources. The objective of this dissertation was to evaluate the unsustainability of the natural resources in a watershed under tobacco production, characterized by steep slopes, with intense agricultural exploration and to evaluate the processes related to soil erosion. The watershed is located in the district of Nova Boêmia, Agudo, RS. The watershed has an area of 332 ha, with is subdivided, in right left subbasin, by two streams, forming the main drainage of the Arroio Lino Friedlich, flowing to the Jacuí River. The evaluations were: 1. The evolution of soil use and management, and soil erosion from 2003 to 2005; 2. Physical and environmental factors affecting soil, namely rain erosivity, LS (slope length and steepness) of the Universal Soil Loss Equation, and watershed concentration time; 3. For the quantification of the sediment yield, samples of the suspended sediment were collected during rain events in the year of 2005, in two control sections, using flow meters that quantified the water flow rate for subsequent determination of the flow and sediment concentration, through from specific rating curves; 4. The annual sediment yield estimation was made through sediment rating curves, using lineal and polynomial models. Precipitation data were obtained automatically from a meteorological station located in the center of the watershed and were used for the determination of rainfall erosivity. Several maps were generated, including classes of factor LS index of the USLE. The results showed that the agricultural areas are increasing and natural vegetation is decreasing. Under this rate, there would be no natural vegetation in 100 years. The concentration time of the watershed is of 12 minutes, meaning that in a short time the whole watershed contributes for the runoff, in accordance with the sudden increase of the water height in the creek. The hydro-sedimentologic components varied mainly with soil moisture, topographical characteristics and rainfall intensity and amount. Erosive rainfall occurred mainly in the second semester of the year, when the soil was also plowed. The right side drainage of the watershed contributed with 80% of the sediment yield and presented higher values of LS factor, more intense soil, presence of highways and gullies and smaller riparian zone. The polynomial model for the sediment rating curves had the best adjustment and was effective in estimating the annual sediment yield. Estimated soil erosion rates from cropland was 0.28 cm ha^{-1} year and from unpaved roads was 0.12 cm ha^{-1} year, which are greater than both soil formation and soil loss tolerance rates. These data indicate the unsustainable use of the soils for tobacco growth under current management practices.

Key words: watershed, soil use, erosion soil, sediment yield, water flow, rainfall.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 -	Localização da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS. (Foto: Sequinatto, L.).....	49
FIGURA 2 -	Imagem da paisagem da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.....	50
FIGURA 3 -	Mapa de uso do solo obtido através do programa computacional ArcView, enfatizando os principais usos do solo e Sedes das UPAs da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.....	54
FIGURA 4 -	Imagem da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, identificando a localização da área de captação do Braço Direito e das secções de controle (calhas do Braço Esquerdo - BE e Braço Principal - BP).....	55
FIGURA 5 -	Imagem da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, identificando a localização da área de captação do Braço Esquerdo e das secções de controle (calhas do Braço Esquerdo – BE e Braço Principal - BP).....	55

FIGURA 6 - Molinete para medição de velocidade de fluxos no riacho da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS. (Foto: Sequinatto, L.).....	57
FIGURA 7 - Imagem da seção de controle (calha) localizada no braço principal da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo - RS. (Foto: Sequinatto, L.).....	58
FIGURA 8 - Curva-chave de vazão para a seção de controle do braço principal da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.....	60
FIGURA 9 - Imagem da seção de avaliação (calha) localizada no braço esquerdo da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS. (Foto: Sequinatto, L.).....	61
FIGURA 10 - Detalhe de uma célula de contribuição unitária. A seta indica a direção da maior declividade e a linha dentro da célula é o comprimento efetivo da célula.....	65
FIGURA 11 - Coteta de sedimento em suspensão durante um evento de chuva utilizando o amostrador US DH - 48. (Foto: Stürmer, S.).....	67
FIGURA 12 - Amostrador de sedimento em suspensão US DH-48. (Foto: Sequinatto, L.).....	67
FIGURA 13 - Evolução das áreas com vegetação natural e de lavoura nos anos de 2003/1 a 2005/2 na pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.....	72
FIGURA 14 - Lavoura com alto índice de pedregosidade na pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS. (Foto: Kaiser, D. R.).....	72

FIGURA 15 - Mapa característico de uso das terras identificando os dois braços de captação (BE – braço esquerdo e BD – braço direito) da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.....	74
FIGURA 16 - Evolução da área percentual dos braços direito (BD) e esquerdo (BE) com vegetação natural nos anos de 2003/1 a 2005/2 na pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.....	77
FIGURA 17 - Evolução da área percentual dos braços direito (BD) e esquerdo (BE) com lavoura nos anos de 2003/1 a 2005/2 na pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.....	77
FIGURA 18 - Formação de ravinas ocasionada pela erosão hídrica na pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS. (Foto: Kaiser, D. R.).....	78
FIGURA 19 - Revolvimento intenso do solo nas práticas de manejo do solo na pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS. (Foto: Pellegrini, A.).....	81
FIGURA 20 - Distribuição da precipitação nos meses do ano de 2005.....	82
FIGURA 21 - Relação entre o índice de erosividade da chuva mensal e a precipitação nos meses do ano de 2005.....	83
FIGURA 22 - Vazões máximas e mínimas ocorridas nos meses do ano de 2005.....	85

FIGURA 23 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento de chuva-vazão monitorado no dia 10 de setembro de 2005 e representativo da área de captação da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.....	89
FIGURA 24 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento de chuva-vazão monitorado no dia 11 de setembro de 2005 e representativo da área de captação da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.....	90
FIGURA 25 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento de chuva-vazão monitorado no dia 24 de setembro de 2005 e representativo da área de captação da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.....	92
FIGURA 26 - Hidrograma e sedimentograma do evento de chuva-vazão monitorado no dia 04 de outubro de 2005 e representativo da área de captação da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.....	93
FIGURA 27 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento de chuva-vazão monitorado no dia 24 de novembro de 2005 e representativo da área de captação da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.....	94

FIGURA 28 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento de chuva-vazão monitorado no dia 24 de novembro de 2005 e representativo da área de captação do BE da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.....	95
FIGURA 29 - Turvação da água do arroio da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS. (Foto: Rheinheimer, D. dos S.).....	96
FIGURA 30 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento de chuva-vazão monitorado no dia 24 de novembro de 2005 e representativo da área de captação do BD pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.....	97
FIGURA 31 - MNT (Modelo Numérico do Terreno) da área de captação da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS. (a) braço esquerdo de captação; (b) braço direito de captação.....	101
FIGURA 32 - Mapa com a distribuição do fator LS (comprimento e grau do declive) da área de captação da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS. (a) braço esquerdo de captação; (b) braço direito de captação.....	102
FIGURA 33 - Curva-chave para determinação do fluxo de sedimentos com os ajustes de um modelo linear (linha cheia) e polinomial (linha tracejada).....	104
FIGURA 34 - Estimativa da produção de sedimentos para o ano de 2005 com curva-chave de ajuste polinomial.....	105

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	Simbologia e classificação taxonômica dos solos encontrados na pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS. (Fonte: Dalmolin et al., 2004).....	51
TABELA 2 -	Altura da lâmina de água e vazão correspondente, utilizados na determinação da curva-chave para a vazão do braço principal da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo - RS. Cada linha representa a média de cada evento de chuva-vazão. (Dados coletados pelo Prof. Danilo Rheinheimer dos Santos e equipe no ano de 2001).....	59
TABELA 3 -	Uso das terras nas áreas de captação dos braços direito (BD) e esquerdo (BE) nos anos de 2003/1 a 2005/2 da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.....	75
TABELA 4 -	Manejo do solo nas áreas dos braços de captação (BE – Braço Esquerdo e BD – Braço Direito) da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, nos anos de 2003/1 a 2005/2.....	79

TABELA 5 -	Comprimento do talvegue e desnível do talvegue, dos braços de captação, para a determinação dos tempos de concentração na pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.....	86
TABELA 6 -	Variáveis determinadas para os eventos de chuva-vazão nas seções de controle (BP – Braço Principal, BD – Braço Direito e BE – Braço Esquerdo) na pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia , Agudo – RS.....	87
TABELA 7 -	Fator LS (comprimento e grau do declive) para os braços direito e esquerdo de captação da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.....	100
TABELA 8 -	Resultados de ajuste e coeficiente de determinação (r^2) das curvas-chave de fluxo de sedimentos.....	103
TABELA 9 -	Resultados de descarga sólida calculada (q_{ss_c}) e estimada (q_{ss_e}) com as curvas-chave para as datas de coleta de amostras e as suas estimativas de erros.....	103

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A - Intensidade da chuva nos dias do mês de janeiro de 2005 na pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.....	121
APÊNDICE B - Intensidade da chuva nos dias do mês de fevereiro de 2005 na pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.....	121
APÊNDICE C - Intensidade da chuva nos dias do mês de março de 2005 na pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.....	122
APÊNDICE D - Intensidade da chuva nos dias do mês de abril de 2005 na pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.....	122
APÊNDICE E - Intensidade da chuva nos dias do mês de maio de 2005 na pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.....	123

APÊNDICE F - Intensidade da chuva nos dias do mês de junho de 2005 na pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.....	123
APÊNDICE G - Intensidade da chuva nos dias do mês de julho de 2005 na pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.....	124
APÊNDICE H - Intensidade da chuva nos dias do mês de agosto de 2005 na pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.....	124
APÊNDICE I - Intensidade da chuva nos dias do mês de setembro de 2005 na pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.....	125
APÊNDICE J - Intensidade da chuva nos dias do mês de novembro de 2005 na pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.....	125
APÊNDICE L - Intensidade da chuva nos dias do mês de dezembro de 2005 na pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.....	126

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A -	Mapa com as principais bacias e sub-bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul (Fonte: Atlas sócioeconômico do Rio Grande do Sul, 2006).....	128
ANEXO B -	Mapa da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, identificando as altitudes máximas e mínimas.....	129
ANEXO C -	Mapa indicando os principais municípios produtores de fumo no rio Grande do Sul (Fonte: IBGE, 2005).....	130
ANEXO D -	Mapa com as principais classes de solos no Rio Grande do Sul (Fonte: Streck et al., 2002).....	131
ANEXO E -	Mapa de solos semi-detalhado da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS. (Fonte: Dalmolin et at., 2004).....	132
ANEXO F -	Mapa de declividade da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.....	133

ANEXO G -	Mapa de uso das terras da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, no primeiro e segundo semestre de 2003, respectivamente.....	134
ANEXO H -	Mapa de uso das terras da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, no primeiro e segundo semestre de 2004, respectivamente.....	135
ANEXO I -	Mapa de uso das terras da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, no primeiro e segundo semestre de 2005, respectivamente.....	136
ANEXO J -	Mapa de evolução do uso e ocupação das terras da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, através do cruzamento dos mapas do primeiro semestre de 2003 e do segundo semestre de 2005..	137
ANEXO L -	Mapa de uso do solo nas áreas de cultivo da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, no primeiro semestre de 2003.....	138
ANEXO M -	Mapa de uso do solo nas áreas de cultivo da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, no segundo semestre de 2003.....	139
ANEXO N -	Mapa de uso do solo nas áreas de cultivo da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, no primeiro semestre de 2004.....	140
ANEXO O -	Mapa de uso do solo nas áreas de cultivo da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, no segundo semestre de 2004.....	141

ANEXO P -	Mapa de uso do solo nas áreas de cultivo da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, no primeiro semestre de 2005.	142
ANEXO Q -	Mapa de uso do solo nas áreas de cultivo da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, no segundo semestre de 2005.....	143
ANEXO R -	Mapa da área total da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, que deveria estar sendo utilizada como preservação permanente (APP).....	144
ANEXO S -	Mapa de uso das terras na área de captação da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, no primeiro e segundo semestre de 2003, respectivamente.....	145
ANEXO T -	Mapa de uso das terras na área de captação da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, no primeiro e segundo semestre de 2004, respectivamente.....	146
ANEXO U -	Mapa de uso das terras na área de captação da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, no primeiro e segundo semestre de 2005, respectivamente.....	147
ANEXO V -	Mapa de sobreposição das áreas de lavoura da área de captação da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, do primeiro e segundo semestre de 2003.....	148

ANEXO W-	Mapa de sobreposição das áreas de lavoura da área de captação da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, do segundo semestre de 2003 e primeiro semestre de 2004.....	149
ANEXO X-	Mapa de sobreposição das áreas de lavoura da área de captação da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, do primeiro e segundo semestre de 2004.....	150
ANEXO Y -	Mapa de sobreposição das áreas de lavoura da área de captação da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, do segundo semestre de 2004 e primeiro semestre de 2005.....	151
ANEXO Z -	Mapa de sobreposição das áreas de lavoura da área de captação da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, do primeiro e segundo semestre de 2005.....	152
ANEXO AA -	Mapa de manejo do solo na área de captação da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, no primeiro e segundo semestre de 2003, respectivamente.....	153
ANEXO AB -	Mapa de manejo do solo na área de captação da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, no primeiro e segundo semestre de 2004, respectivamente.....	154

ANEXO AC - Mapa de manejo do solo na área de captação da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, no primeiro e segundo semestre de 2005, respectivamente.....	155
--	-----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	26
2 OBJETIVO GERAL.....	29
2.1 Objetivos específicos.....	29
3 HIPÓTESES.....	30
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	31
4.1 Contextualização.....	31
4.2 A cultura do fumo no Sul do Brasil e a degradação dos recursos naturais gerando a insustentabilidade dos agroecossistemas.....	32
4.3 Erosão hídrica do solo	34
4.4 Produção de sedimentos.....	36
4.5 Predição da erosão.....	40
4.6 Curva-chave para a determinação do fluxo de sedimentos.....	43
4.7 Fonte de sedimentos.....	44
4.8 Monitoramento hidrossedimentométrico.....	46
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	47
5.1 Contextualização do estudo.....	47
5.2 Características da área de estudo.....	48
5.3 Uso das terras e manejo do solo da Pequena Bacia Hidrográfica Rural.....	53
5.4 Caracterização física da área de captação da bacia de drenagem.....	55
5.5 Monitoramento hidrológico.....	56

5.1.1 Medição da velocidade e estimativa da vazão do braço principal.....	57
5.5.1.1 Curva-chave de vazão do braço principal.....	58
5.5.2 Determinação da vazão do braço esquerdo.....	60
5.6 Monitoramento metereológico.....	61
5.7 Tempo de concentração.....	62
5.8 Determinação de componentes da Equação Universal de Perdas de Solo – USLE.....	62
5.8.1 Erosividade da chuva (R).....	62
5.8.2 Fator topográfico (LS).....	65
5.9 Monitoramento dos eventos de chuva-vazão.....	66
5.10 Produção de sedimentos.....	67
5.11 Hidrogramas e sedimentogramas.....	68
5.12 Curva-chave para determinação do fluxo de sedimentos.....	68
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	71
6.1 Uso das terras, uso e cobertura do solo e manejo do solo na Pequena Bacia Hidrográfica Rural.....	71
6.1.1 Uso das terras.....	71
6.1.2 Uso, cobertura e manejo do solo nas áreas de cultivo da Pequena Bacia Hidrográfica Rural.....	73
6.2 Uso das terras, uso e cobertura do solo e manejo do solo na área de captação da Pequena Bacia Hidrográfica Rural.....	74
6.3 Dados pluviométricos.....	81
6.4 Erosividade da chuva (R).....	83
6.5 Vazões máximas e mínimas.....	84
6.6 Tempo de concentração.....	85
6.7 Produção de sedimentos dos eventos monitorados e a caracterização dos seus Hietogramas, hidrogramas e sedimentogramas.....	86
6.8 Fator topográfico (LS) da Equação Universal de Perdas de Solo (USLE).....	98
6.8.1 Mapa do Modelo Numérico (MNT).....	98
6.8.2 Fator Topográfico (LS).....	99
6.9 Curva-chave para estimativa do fluxo de sedimentos.....	103

CONCLUSÕES.....	107
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	109
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	111
APÊNDICES.....	120
ANEXOS.....	127

1 INTRODUÇÃO

O fumo é cultivado principalmente por pequenos produtores. No Sul do Brasil, essa cultura ocupa em média 2 (dois) ha por propriedade familiar. O ciclo produtivo do fumo é curto, o que permite a utilização do solo com outras culturas no mesmo ano. Além disso, a mão-de-obra é essencialmente familiar, o que aumenta a lucratividade e o faturamento com a produção do fumo, podendo contribuir para a permanência das famílias no meio rural.

Contudo, atrelado ao pacote agroindustrial, o cultivo do fumo é responsável pela degradação do ecossistema natural através do uso intensivo do solo. As áreas onde o fumo é produzido no Rio Grande do Sul, na sua maioria, estão inseridas em regiões com solos pedogeneticamente jovens, rasos e restritivos ao uso com culturas anuais. Então, problemas de erosão, de manutenção da capacidade produtiva e de armazenamento da água por esses solos marginais são bastante comuns e conflitantes com a preservação do ambiente em escala de microbacia de cabeceira.

São nesses ambientes de pequenas bacias hidrográficas rurais de cabeceira onde estão as nascentes de rios importantes que abastecem centros urbanos. A legislação estabelece que essas áreas deveriam ser de preservação permanente, porém dificilmente o são. Ainda que impróprias ao cultivo devido às altas declividades predominantes e suscetibilidade do solo ao processo erosivo, essas áreas são fortemente exploradas em busca de incrementos na produção agrícola.

A principal causa da degradação das terras agrícolas em bacias hidrográficas é a erosão hídrica pluvial, ocasionada pela água da chuva, sendo afetada por um grande número de agentes naturais e antrópicos. Os processos hidrológicos afetam a erosão do solo. Dentre os processos hidrológicos o que mais interfere no processo erosivo é o balanço entre a infiltração de água no solo e o escoamento superficial. A erosão se dá pela desagregação do solo pelo impacto das gotas de chuva, pelo transporte dos sedimentos erodidos e a sua deposição em baixadas ou para a calha fluvial.

É complexa a gama de fatores que envolvem a dinâmica entre a produção de sedimentos na bacia vertente e seu transporte fluvial. Nesse sentido, muitos estudos têm sido feitos relacionando os prejuízos ambientais e econômicos causados pela

erosão hídrica. Entre esses, estão incluídos o assoreamento, que aumenta a possibilidade de enchentes; a diminuição da capacidade armazenadora dos reservatórios de água e açudes; o aumento dos custos com o tratamento de água para o abastecimento urbano; os danos à vida aquática; a minimização da fertilidade dos solos e a perda da capacidade produtiva do solo.

Entre os principais poluentes do meio rural, estão os sedimentos. Os sedimentos levados aos rios e reservatórios têm sua origem na superfície da bacia, de onde, pelos processos de erosão laminar e erosão em sulcos, são produzidos e transferidos aos cursos d'água. Entre as fontes potenciais da produção de sedimentos, nessas áreas, estão as áreas agricultáveis e a malha viária. Esta é representada pelas estradas rurais e caminhos internos das propriedades que, em geral, são construídas e conservadas de modo inadequado, contribuindo de forma significativa para a erosão. A importância da obtenção de informação sobre fontes potenciais de sedimentos, em pequena bacia hidrográfica rural, está em que isso facilita o estudo da dinâmica dos sedimentos carregados até o sistema fluvial e a remediação das áreas mais degradadas e afetadas pela erosão hídrica.

O uso inadequado do solo, com grande revolvimento, desloca grande quantidade de solo das áreas agricultáveis para o sistema fluvial, durante eventos de chuva. Paralelamente ao maior escoamento, haverá menor infiltração, redução no armazenamento de água para as plantas e recarga freática. Além disso, agroquímicos aplicados às culturas são carregados das áreas agrícolas até os mananciais hídricos via o escoamento superficial. Inúmeros agroquímicos são considerados poluentes do meio ambiente e afetam a saúde humana.

Portanto, o manejo adotado está pondo em risco a sobrevivência dos agricultores no meio rural e comprometendo também a sua saúde e a das populações urbanas. Notoriamente, a erosão hídrica e a contaminação de águas são reflexos da interferência do homem no meio ambiente.

Com base nisso, a (in)sustentabilidade do agroecossistema de uma bacia pode ser estudada e melhor detalhada através da medição de algumas variáveis. Entre essas, pode-se citar a quantificação da produção de sedimentos na malha fluvial, resultado do uso e manejo antrópico do solo.

A produção de sedimentos em suspensão e a sua estimativa, para pequenas bacias hidrográficas podem ser realizadas, principalmente, com base nos riscos

erosionais climáticos, suscetibilidade do solo e características topográficas. Nesse caso, o estudo da hidrossedimentologia quantifica e estima a produção de sedimentos e relaciona o seu comportamento com eventos climáticos e ou alterações em determinado local. Então, a presença de sedimentos e a regularidade da vazão de água na rede de drenagem são excelentes indicadores de natureza ambiental da qualidade do manejo da bacia hidrográfica.

Portanto, o estudo com enfoque no manejo dos recursos naturais em escala de microbacias no sistema de produção de fumo é uma necessidade premente. Assim, buscar-se-á um melhor equilíbrio entre os aspectos econômicos, sociais e ambientais da produção no meio rural.

Nesse sentido, buscou-se com o presente trabalho um melhor entendimento dos fatores ligados à degradação do uso do solo e a (in)sustentabilidade de agroecossistemas, incluindo a cultura do fumo, numa pequena bacia hidrográfica rural com terras declivosas, solos rasos e monocultivo, com ênfase na erosão do solo, produção de sedimentos e escoamento.

2 OBJETIVO GERAL

Avaliar a (in)sustentabilidade de agroecossistemas com fumo numa pequena bacia hidrográfica rural (PBHR) com terras declivosas, solos rasos e monocultivo, com ênfase na erosão do solo, produção de sedimentos e escoamento.

2.1 Objetivos específicos

(i) Quantificar variáveis de uso e manejo do solo influenciadores da erosão do solo, tais como a evolução do uso do solo e das terras, o manejo do solo e das culturas e a cobertura do solo na PBHR;

(ii) Quantificar variáveis físico-ambientais influenciadores da erosão do solo, tais como a erosividade das chuvas, o fator LS (comprimento do declive L e grau do declive S) da Equação Universal de Perda de Solo, e o tempo de concentração da PBHR;

(iii) Definir variáveis hidrossedimentológicas, incluindo hietogramas, hidrogramas e sedimentogramas dos eventos de chuva monitorados, para a análise das alterações dos processos hidrossedimentológicos na PBHR, relacionando-os com as variáveis constantes nos objetivos anteriores;

(vi) Com base na taxa de produção de sedimentos e escoamento e taxa de formação do solo, estabelecer o grau de (in)sustentabilidade da PBHR sob as óticas ambiental e agronômica.

3 HIPÓTESES

O uso de solos rasos em terras declivosas para a fumicultura contribui para a insustentabilidade de agroecossistemas fortemente influenciados pelo monocultivo continuado dessa cultura. Assim, a taxa de produção de sedimentos é bem superior à taxa de formação do solo, com conseqüências ambientais, agronômicas e sócio-econômicas.

O impacto ambiental e agronômico do uso do solo é quantificável pela produção de sedimentos e geração de escoamento fluvial. Assim, a produção de sedimentos e a vazão de água no riacho serão maiores quando: (i) o volume total e a intensidade da chuva e a umidade antecedente do solo forem altos, pois esses condicionam e elevam a magnitude da erosão hídrica, desagregando e transportando os sedimentos das áreas de lavouras; (ii) a bacia hidrográfica apresentar maior área sob lavoura, solo descoberto, ausência de mata ripária e áreas de convergência de escoamento superficial, favorecendo a desagregação e o transporte de sedimentos e diminuindo a deposição ou filtragem do sedimento transportado.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Contextualização

As forças sócio-econômicas, o uso da terra e a cobertura do solo determinam predominantemente o funcionamento, a estrutura e a dinâmica da maioria das paisagens ao longo do planeta e representa uma das áreas mais importantes e desafiadoras na pesquisa em paisagem ecológica e em ecologia global (Wu & Hobbs, 2002). A erosão acelerada, promovida principalmente de forma antrópica, degrada o sistema, já que, em muitas das situações, as perdas de solo processam-se em uma taxa acima das toleráveis, que se refere às taxas aceitáveis de erosão frente ao intemperismo e a pedogênese (Minella, 2003).

O processo hidrossedimentológico em bacias hidrográficas envolve a produção de sedimentos e a sua transferência para a calha fluvial. São inúmeros os fatores que interferem no processo, sendo a erosão hídrica o fator desencadeador. A solução dos problemas relacionados à hidrossedimentologia, mobiliza pesquisadores da área, pois envolve um amplo conhecimento. Nesse sentido, Merten & Minella (2002) mostram que o entendimento das causas e das conseqüências está nas interfaces dos conhecimentos da engenharia, agronomia e ecologia e que o controle eficaz, principalmente no que se refere à erosão hídrica, se dá na união desses conhecimentos, seja ele conceitual ou que apresente aplicabilidade em bacias hidrográficas.

O monitoramento na rede de drenagem da descarga líquida e sólida de sedimentos no exutório da bacia é a forma mais viável para a medição dos impactos ocorridos no ambiente de bacias hidrográficas. É importante, também, qualificar e quantificar as fontes dominantes de sedimentos que são levados aos riachos, como salientado por Walling (2003), pois assim fica fácil de estudar a dinâmica dos sedimentos e mesmo trabalhar na remediação das áreas mais degradadas e afetadas pela erosão hídrica.

4.2 A cultura do fumo no Sul do Brasil e a degradação dos recursos naturais gerando a insustentabilidade dos agroecossistemas

Palco da expansão da fronteira agrícola brasileira, os solos da região Sul do Brasil são intensamente utilizados com a agricultura, estando o plantio de fumo inserido nesse cenário. O desmatamento realizado de forma indiscriminada, o uso abusivo do solo através das práticas convencionais de manejo, a utilização em larga escala de agroquímicos, entre outros, afetam os recursos naturais (solo e água). Os ecossistemas fluviais recebem o produto da degradação agrícola, a qual garante a perda do potencial produtivo das terras através da retirada do solo das lavouras e de fertilizantes aplicados às culturas. Associados aos sedimentos, são transferidos para os mananciais hídricos contaminantes potenciais da água e que, quando ingerida, afetam a saúde humana.

A região Sul do Brasil é responsável por 96% da produção nacional do fumo (IBGE, 2006). A AFUBRA (2005) explicita que a região Sul do Brasil possui 198.040 famílias produtoras de fumo e dessas 72.848 têm entre 1 e 10 ha. O cultivo é feito principalmente por pequenos agricultores e a mão-de-obra é basicamente familiar, o que aumenta o faturamento com a cultura por parte desses. Nas últimas décadas, houve aumento gradativo do número de famílias produtoras de fumo, do número de hectares plantados e da produção.

O sistema integrado entre as empresas fumageiras e os produtores de fumo foi implementado a partir da década de 20 e contribuiu para a expansão do setor fumageiro, tal como a transferência da produção dos Estados Unidos e países Africanos para o Brasil. Isso se deu devida à carência de produtores no cultivo do fumo nos Estados Unidos e a problemas sócio-políticos que geram grande instabilidade política nos países Africanos. Dados da AFUBRA (2005) mostram que, na safra de 1979/1980, havia 94.840 famílias produtoras de fumo no Sul do Brasil, com 171.080 ha plantados e uma produção de 286.090 toneladas da cultura. Na safra 2004/2005, o número de famílias produtoras passou para 198.040, com 439.220 ha plantados e 842.990 toneladas de fumo produzidos.

Os pacotes tecnológicos impostos aos agricultores, através da integração com as indústrias fumageiras, prevêm a intensa exploração do solo e a utilização de altas quantidades de agroquímicos para a obtenção de altas produtividades e

excelente qualidade, necessária à exportação para os países ricos. A maioria das áreas produtoras de fumo está localizada em solos predominantemente jovens, do ponto de vista pedogenético, e em declividades acentuadas, sem suporte ao seu uso indiscriminado; nesses locais também se concentra a pobreza rural. O sistema produtivo do fumo vem degradando esses ecossistemas de forma alarmante. Além disso, nessas regiões nascem muitos rios e ocorre formação de pequenas bacias hidrográficas de cabeceira, sendo outra fonte de preocupação (Merten & Minella, 2002; Gonçalves, 2003).

Impróprios ao cultivo, esses locais contribuem diretamente para a contaminação difusa de águas superficiais e subsuperficiais, seja através de sedimentos que são retirados das lavouras, seja por contaminantes orgânicos e/ou inorgânicos aplicados às lavouras de fumo. As perdas de solo e água atingem níveis críticos, reflexo da ação antrópica dentro do ciclo hidrológico natural e o uso do solo fora de sua aptidão agrícola. O plantio com intensa mobilização do solo, a falta de práticas conservacionistas e as chuvas, principalmente de verão, que geralmente apresentam alta intensidade e erosividade, diminuem a taxa de infiltração da água favorecendo o escoamento superficial, sendo o solo desagregado depositado em outros locais ou então carregado para o sistema fluvial.

No município de Agudo-RS, a produção de fumo ocorre em muitas propriedades. Na pequena bacia hidrográfica rural (PBHR) do Arroio Lino Friedrich, localidade de Nova Boêmia e distante 30 km da sede municipal de Agudo, a alta declividade do meio, que em situações da paisagem é superior a 45°, e os solos frágeis, jovens e pouco profundos tornam o meio suscetível à erosão (Dalmolin, 2004). Os declives íngremes associados com a alta intensidade de chuva são fatores que auxiliam o processo erosivo do solo, tendo como conseqüências ambientais a diminuição da fertilidade do solo e produtividade, a redução irreversível da camada de solo cultivável, o aumento de inundações por eventos de chuva e a poluição difusa de redes de rios (Vezina et al., 2006).

Apesar de todos esses problemas existentes em locais onde se cultiva o fumo e, em especial, na PBHR de Agudo-RS, para a implantação da cultura o sistema de preparo convencional, feito com arado de aivecas sob tração animal, é o predominante. O objetivo de tal sistema de manejo é a eliminação de plantas daninhas e a construção de camalhões, fundamental para o crescimento radicular do fumo e para incorporação da adubação de base e plantio das mudas de fumo, além

de novos revolvimentos serem feitos para incorporação da adubação de cobertura, tornando o solo suscetível à erosão (Pellegrini, 2006). A camada explorável do solo é diminuída em função do manejo do solo adotado, podendo resultar em sua retirada das lavouras, migrando através da erosão laminar e em sulcos para as áreas mais baixas ou então para rios, lagos ou reservatórios. Assim, impróprias para a agricultura, essas áreas mal manejadas podem acabar sendo abandonadas pelos agricultores, que, para compensar, desmatam outras, aumentando o impacto sobre o ambiente. O plantio direto e o cultivo mínimo, sistemas de manejo pouco difundidos entre os fumicultores, podem reduzir as perdas de solo, nutrientes e pesticidas aplicados (Pellegrini, 2006).

Além da degradação do solo e a sua retirada do leito natural, o armazenamento de água pelo solo é minimizado e as culturas ficam facilmente expostas ao estresse hídrico. No sistema convencional, as perdas da água da chuva também são maiores via evaporação, em função do maior revolvimento do solo. Salton & Mielniczuk (1995) afirmam que o plantio direto e o preparo reduzido são eficientes em reduzir as perdas de água do solo por evaporação, em virtude do efeito isolante térmico da cobertura morta depositada sobre o solo.

O solo, quando manejado de forma correta e conservacionista, é dito renovável. No entanto, nessas áreas de bacias de cabeceira declivosas, onde se cultiva o fumo, as taxas de perdas de solo, via erosão hídrica, podem ser maiores do que a taxa de formação do solo. Nessa condição, torna-se não renovável e ecologicamente insustentável a longo prazo.

4.3 Erosão hídrica do solo

O desenvolvimento agrícola não planejado de forma sustentável nas sociedades faz com que o uso das terras se eleve a patamares contrastantes com a preservação do meio ambiente. Nesse sentido, o homem tem sido o mais ativo agente ligado à destruição do solo, através de práticas agrícolas inadequadas, sem considerar as fragilidades naturais do terreno (Simões & Coiado, 2001). Isso gera um aumento do escoamento ativado pela erosão hídrica, ampliando a taxa de

degradação do solo e sendo esta a forma mais nefasta da perda da produtividade agrícola (Gouveia, 1991).

O manejo atualmente dado ao solo em PBHR com cultivo de fumo é abusivo e altamente degradativo ao agroecossistema. O plantio convencional, com revolvimento do solo, é o manejo preferencialmente adotado pelos fumicultores, tendo gerado a degradação dos recursos naturais. Nesse contexto está a erosão do solo, que atua gerando e transferindo quantidades elevadas de sedimento.

A hidrossedimentologia relacionada à erosão do solo é o principal modelador de paisagens, principalmente em se tratando de PBHRs de cabeceira. Nas condições naturais, geralmente, a modelagem da paisagem resulta de um longo e lento processo que envolve o intemperismo das rochas e a formação e erosão do solo. Entretanto, por ocasião da erosão acelerada, principalmente de origem antrópica, as perdas de solo processam-se em uma taxa acima das perdas toleráveis, que se refere às taxas aceitáveis de erosão frente ao intemperismo e pedogênese, resultando na degradação do sistema. Entre as atividades que mais afetam o ciclo hidrossedimentológico, destacam-se o desmatamento, a agropecuária, a urbanização, a mineração, a construção de estradas e a retificação e o barramento dos cursos de água (Bordas & Semmelmann, 1997; Minella, 2003).

As áreas cultivadas são, portanto, as grandes responsáveis pelo deflúvio superficial, principalmente se o modelo de agricultura for baseado no preparo intensivo do solo, como ocorreu no Rio Grande do Sul a partir dos anos 50. A conversão de áreas de vegetação natural permanente, especialmente de florestas, em áreas de lavoura, deixa o solo vulnerável ao impacto da gota da chuva, favorecendo o processo de degradação do solo, diminuindo sua porosidade e provocando selamento da camada superficial, conseqüentemente, reduzindo sua capacidade de infiltração e retenção de água, condicionando um aumento do deflúvio superficial e a erosão hídrica, levando a uma rápida e intensa degradação do solo (Reichert et al., 2001; Gonçalves, 2003).

A erosão hídrica é o processo que desencadeia, através do impacto da gota de chuva, o desprendimento e o transporte das partículas de solo, constituindo, juntamente com o uso do solo fora de sua aptidão agrícola, em uma das principais causas de deterioração acelerada das terras agrícolas e o seu carreamento até os mananciais superficiais (Sequinatto et al., 2006a). O material erodido apresenta-se disperso, em suspensão ou na forma de agregados de vários tamanhos, que são

transportados pelo escoamento superficial. O aumento do transporte desses dá-se com o aumento da velocidade e com a espessura da lâmina de água. A velocidade da água, por sua vez, aumenta com o aumento da declividade e com a redução da rugosidade da superfície do solo (Parker et al., 1995; Volk et al., 2006).

Solos possuem uma tolerância de perda por erosão hídrica, ou seja, um limite de perda de solo que ainda mantenha alto nível de produtividade das culturas (Wischmeier & Smith, 1978). Os métodos atualmente empregados na definição de valores estimados da tolerância perda de solo, para diferentes classes de solos, são empíricos, embora utilizem atributos e características que influenciam na erosão. No intuito de estabelecer valores estimados de tolerância de perda de solo, para os principais tipos de solos do estado de Santa Catarina - Brasil, Bertol & Almeida (2000) encontraram que os valores variaram de 0,015 a 0,11 cm ano⁻¹. Para as classes de solos pouco desenvolvidos, com pequena espessura e contato lítico, como é o caso da maioria das classes de solos encontrados na PBHR de agudo - RS, que incluem Chernossolos e Neossolos, os valores foram os menores, ou seja, em média 0,02 cm ano⁻¹. Então, caso a perda anual de solo medida ou estimada ultrapasse esse valor empírico, a degradação desses solos é alta, assim como a perda da capacidade produtiva.

4.4 Produção de sedimentos

A produção de sedimentos em uma bacia hidrográfica rural pode ser definida como a quantidade de sedimentos que é removida para fora de uma determinada área de drenagem. Ela é função da desagregação do solo ocasionada principalmente pela ação da precipitação e dos processos de transferência e propagação desses sedimentos até a calha fluvial (Carvalho, 1994). Essa produção ocorre ou varia principalmente em função do clima, das características fisiográficas da bacia e do uso do solo. Outrossim, a interferência da atividade humana pode modificar a produção de sedimentos em várias ordens de magnitude em comparação com uma área não perturbada (UNESCO, 1985).

A regularidade da vazão de água e a presença de sedimentos na rede de drenagem de uma PBHR é um excelente indicador ambiental da qualidade do

manejo na mesma. Sendo assim, é uma necessidade premente o estudo com enfoque no manejo dos recursos naturais em escala de microbacia, no sistema de produção de fumo, pois, assim, irá se buscar um melhor equilíbrio entre os aspectos econômicos, sociais e ambientais da produção no meio rural.

Segundo Carvalho (1994), o comportamento de uma bacia em relação ao sedimento é altamente variável desde as partes mais altas até as planícies. Isso é dependente de características da bacia, tais como rochas e solos, cobertura vegetal, declividades, regime das chuvas, bem como de diversos outros fatores. De um modo geral, a maior taxa erosiva se dá no alto da bacia e a menor taxa de erosão, normalmente, se dá nas áreas de baixadas, ocorrendo a formação de depósitos de sedimentos. Entretanto, Machado (2002) encontrou que, nas partes mais baixas, houve um aumento da produção de sedimentos, em relação à parte média do declive. Isso se deve principalmente à intensificação do uso do solo nessas áreas, refletindo a importância do manejo adequado do solo.

A paisagem apresenta sensibilidade aos processos de influências externas, principalmente as de origem antropogenéticas. O manejo dado ao solo resulta em degradação das terras agrícolas e na modificação da paisagem em uma escala de tempo relativamente rápida. Atividades humanas, como as queimadas e o preparo intensivo do solo para o cultivo, influenciam diretamente o escoamento superficial, a erosão do solo e a sedimentação. Knox (2001) explicita que o uso do solo aumenta o escoamento superficial e a erosão do solo por várias razões, sendo uma delas que o cultivo do solo o expõe às forças destrutivas de impacto da gota de chuva e destrói sua agregação, ocorrendo com mais facilidade o selamento superficial, minimizando a infiltração de água no solo e, conseqüentemente, aumentando a erosão do solo. Tal processo é ampliado durante chuvas de altas intensidades. Em solo protegido por cobertura vegetal, o escoamento e a erosão do solo são diminuídos consideravelmente.

Analisando a influência do manejo do solo e da permanência de resíduos vegetais no plantio de milho sobre o escoamento superficial e erosão do solo, em uma microbacia altamente degradada e declivosa localizada em Michoacan - México, Tapia-Vargas et al. (2006) encontraram que, à medida que aumenta a cobertura do solo, o escoamento e a produção de sedimentos são minimizados. Esses autores encontraram que a infiltração de água no solo teve um acréscimo de

10,9% onde não houve revolvimento e havia a presença resíduos vegetais, comparando com o plantio convencional.

Nesse mesmo sentido, estudando as perdas de solo e água em parcelas com diferentes manejos do solo para o plantio do fumo, em microbacia com uso do solo intensificado e gradientes elevados de declividade, Pellegrini (2006) encontrou que tratamentos com menores coberturas do solo produziram mais sedimentos e aumentaram o escoamento de água. As perdas de solo foram influenciadas pela quantidade precipitada e, principalmente, pelo aumento da intensidade da chuva e da umidade do solo, sendo que esta eleva o coeficiente de escoamento.

Durante a época de preparo do solo quando praticamente não existe cobertura vegetal nas áreas de lavouras, estima-se que ocorram as maiores perdas de solo e de água das lavouras. A camada superficial de solo revolvida e sua pulverização pelo uso abusivo de grades de disco e a queima ou incorporação de resíduos culturais, embora exerça um efeito momentâneo na melhoria da capacidade de infiltração, expõem o solo ao efeito desagregador do impacto das gotas de chuva e o torna suscetível ao selamento superficial, que reduz a infiltração de água (Cabeda, 1984; Denardim, 1984). As partículas dispersas, ocasionadas pelo impacto da gota de chuva sobre o solo, são transportadas via escoamento. Tanto o transporte dessas partículas quanto o seu acúmulo, evidenciam o potencial erosivo do evento de chuva.

Pode ocorrer que, em função da forte pressão do uso do solo e aliado aos fatores topográficos e de clima, toda a camada superficial do solo seja erodida das lavouras. Quando o solo se encontra protegido por cobertura vegetal, presume-se que apenas a argila dispersa na superfície acompanhe o escoamento superficial e cause turvação na água, pois a energia da gota da chuva é interrompida ou neutralizada, dificultando a primeira fase do processo erosivo. Além disso, a cultura funciona como barreira para o escoamento superficial e suas raízes, como agregador das partículas do solo.

O escoamento superficial é um importante processo que leva à degradação do solo causando a erosão e influenciando no balanço de água no solo. Há diversos fatores que influenciam a magnitude do escoamento superficial. Descheemaeker et al. (2006), analisando os fatores que afetam o escoamento superficial, em três tratamentos diferenciados quanto ao uso do solo, cobertura vegetal e gradiente de declive, em Tigray Highlands – Etiópia, encontraram que o escoamento superficial

é significativamente dependente das variáveis do evento de chuva, tais como a quantidade, intensidade e duração, bem como a cobertura vegetal, umidade antecedente do solo e a declividade do meio. A cobertura vegetal foi o fator mais determinante para o escoamento superficial; quando atingiu 65% do solo, o escoamento superficial passou a ser desprezível. Em solo seco, a infiltração de água foi maior, o que diminui o escoamento superficial.

A umidade do solo é um fator importante em se tratando das respostas de um evento de chuva no escoamento superficial e na produção de sedimentos. Nesse sentido, vários estudos têm sido feitos identificando o efeito da umidade antecedente do solo sobre a geração do escoamento superficial (Kim et al., 2005) e produção de sedimentos (Minella et al., 2006). A umidade antecedente pode ser definida como a água que ocupa os micro e macroporos do solo em determinado momento. García-Ruiz et al. (2005) mostraram que o volume escoado e a descarga líquida dependem, fundamentalmente, da umidade antecedente do solo à chuva e da intensidade da chuva. A umidade do solo altera a estabilidade dos agregados e a energia da gota de chuva atua desagregando as partículas de solo (Watung et al., 1996) bem como as características de infiltração de água no solo (Torri et al., 1999). O impacto da gota de chuva atua ampliando a descarga líquida, pois a infiltração de água é minimizada, principalmente pela formação do selamento superficial que é facilitado em solo manejado e descoberto.

Estudando as relações entre a umidade antecedente do solo e a produção de sedimentos em uma PBHR de cabeceira, em Arvorezinha-RS, Minella et al. (2006) encontraram que a umidade do solo a partir de 75% da capacidade de campo afeta a produção de sedimentos. Na bacia em questão, a umidade na capacidade de campo se dá quando o solo armazena 52 mm de água até a profundidade de 10 cm.

Em eventos pluviais monitorados pode-se construir e analisar os hidrogramas, que relacionam a descarga líquida com o tempo. Em estudo conduzido em um tributário do Rio Aragon, região Central da Espanha, García-Ruiz et al. (2005) enfatizam as características desses hidrogramas. Os autores afirmam que eles servem para mostrar a variabilidade dos mesmos e tendem a reproduzir os eventos de chuva. Nesses, observa-se que os picos de precipitação dos hietogramas antecedem aos de descarga líquida. Nos hidrogramas é nítido o aumento súbito da descarga líquida, em resposta à precipitação, no ramo ascendente da hidrógrafa. O ramo descendente da hidrógrafa também diminui abruptamente. Em um determinado

evento, o hidrograma apresentou dois picos, o segundo mais alto do que o primeiro. Isso, no entanto, os autores relacionaram aos efeitos da saturação por água no solo, que era maior no segundo pico.

Os sedimentos em suspensão transportados durante a onda de cheia e representados em um sedimentograma, que relaciona a concentração de sedimentos com o tempo, têm comportamento diferenciado em relação ao pico de vazão dos hidrogramas. Carvalho (1994) cita que a quantidade de sedimentos que é transportada no curso de água forma uma onda que acompanha a onda de cheia de três maneiras diferentes: o pico de concentração de sedimentos se antecipa ao pico de vazão; simultaneidade do pico da concentração de sedimentos e da vazão ou o pico da concentração de sedimentos se atrasa em relação ao pico de vazão. Belló (2004) afirma que esse comportamento diferenciado ocorre devido a fatores externos que atuam nas componentes de sustentação da partícula em suspensão.

4.5 Predição da erosão

A erosão acentuada dos solos é um problema global. A magnitude das perdas erosionais causa sérias conseqüências no ecossistema e também gera problemas de ordem econômica. Dessa forma, a determinação do risco de erosão e a previsão da perda de solo são subsídios importantes para um melhor planejamento agrícola, já que as áreas de lavouras são as grandes responsáveis pela contribuição de sedimentos, e ambiental de uma região (Lima et al., 1992).

A estimativa da produção de sedimentos para PBHRs pode ser realizada com base nos riscos erosionais climáticos, suscetibilidade do solo e características topográficas. Muitos dos sedimentos levados aos rios e reservatórios são originários de áreas elevadas, de onde, pelos processos de erosão laminar e erosão em sulcos, são produzidos e transferidos aos cursos d'água. O estudo da hidrossedimentologia em uma PBHR estima, entre outros, a produção de sedimentos da bacia vertente e o seu transporte para a calha fluvial, e relaciona o seu comportamento com eventos climáticos ou alterações em determinado local.

O aumento dos impactos ambientais da erosão do solo nos recursos hídricos levou alguns cientistas a desenvolverem modelos computacionais para avaliar os

efeitos da erosão do solo em bacias agrícolas (Ahmadi et al., 2006). Geralmente, esses modelos descrevem e distinguem diferentes fases da erosão do solo, por exemplo, desagregação, transporte e deposição dos materiais (Meyer & Wischmeier, 1969). Uma vez desagregada a partícula de solo, estará disponível ao transporte através da enxurrada, caso contrário, esta partícula ficará depositada. Essa energia de transporte é chamada capacidade de transporte de sedimento por fluxo superficial, que é por definição a carga de sedimento máxima que o fluxo é capaz de transportar (Li & Abrahams, 1999). A deposição ocorre quando a concentração de sedimentos é maior do que a capacidade de transporte por fluxo. Então, a estimativa da capacidade de transporte de sedimentos de fluxo de superfície é um componente fundamental de qualquer modelo de determinação de sedimentos em bacias agrícolas.

Ahmadi et al. (2006) compararam a concentração de sedimentos simulada com valores observados, usando dois modelos de capacidade de transporte. Eles afirmam que a capacidade de transporte num modelo de quantificação de sedimentos é, provavelmente, o componente mais crítico. Os resultados mostraram que a concentração de sedimentos da bacia, varia conforme a declividade, características do solo, porosidade, umidade, capacidade de campo, capacidade de infiltração, erodibilidade do solo, rugosidade, cobertura do solo, culturas, etc. Os modelos aplicados subestimaram a concentração de sedimentos. Isso mostra que modificações devem ser feitas nos modelos para melhorar a simulação da concentração de sedimentos de uma bacia. Os resultados revelaram que a umidade inicial do solo é um fator fundamental em simulação de concentração de sedimentos.

O advento, desde 1980, de observação da terra por imagens de satélite e a utilização de sistemas de informação geográfica (SIG), oferecem capacidades de extrapolação para os modelos de perda de solo em bacia. Esses examinam processos importantes que ocorrem em determinados locais da bacia. Na última década, foram bastante focados, na literatura mundial, os fatores da paisagem, físicos e antrópicos, que conduzem às perdas aceleradas de solo. Isso foi integrado em modelos empíricos de erosão e para criar cenários agrícolas.

O SIG é combinado com modelos empíricos de erosão e, em particular, a Equação Universal de Perda de Solo (USLE). São gerados parâmetros requeridos para o modelo de erosão usando dados providos de fontes diferentes como o

sensoriamento remoto, inclinação, dados cartográficos, dados meteorológicos e levantamento de solo.

A USLE e sua versão revisada RUSLE foram usadas em muitos países tropicais para prever a perda de solo em diferentes cenários agrícolas (Vezina, 2006). A USLE e a RUSLE compreendem os fatores principais que afetam a erosão hídrica, requerendo a determinação de valores apropriados para os diferentes fatores (Renard & Freimund, 1994 apud VEZINA, 2006). A USLE é um modelo de erosão projetada para computar, a longo prazo, a perda de solo por unidade de área por unidade de tempo (A , $\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), ou seja, a taxa média anual de erosão, através de seis fatores principais: erosividade da chuva (R , $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), erodibilidade do solo (K , $\text{Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), comprimento do declive (L , adimensional) e declividade (S , adimensional), cobertura do solo (C , adimensional) e práticas conservacionistas (P , adimensional) (Wischmeier & Smith, 1981), conforme descrito a seguir:

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

O produto dos componentes dimensionais da USLE computa as perdas de solo para uma parcela padrão em um determinado solo sob condições locais específicas.

Amore et al. (2004) estudaram modelos para quantificar a erosão em três bacias Sicilianas. Os modelos utilizados (USLE - Universal Soil Loss Equation e WEPP - Water Erosion Prediction Project) tiveram os resultados comparados com a perda real de sedimento medido no campo. Cada modelo foi aplicado em sub-bacias distintas quanto à topografia dentro da bacia em questão. Os resultados sugerem que uma melhor subdivisão das sub-bacias não é necessária para uma melhor estimativa do sedimento erodido. Considerando os resultados de quantidade de sedimento perdido, os resultados obtidos com o modelo WEPP foram sempre maiores do que os obtidos pela USLE e ambos maiores do que os dados reais. O modelo WEPP, em alguns casos, mostrou valores mais aproximados de perda de sedimento em comparação com valores reais.

4.6 Curva-chave para a determinação do fluxo de sedimentos

A erosão hídrica, que ocorre na bacia vertente, é o processo desencadeador de suprimento de sedimentos em suspensão nos riachos. As grandes quantidades de sedimentos transportadas pelos cursos de água provocam a degradação dos corpos de água e prejuízos significativos à população, ao desenvolvimento sócio-econômico e ao meio ambiente.

Os processos de produção e deposição de sedimentos ao longo de uma bacia são fenômenos naturais, mas que têm seus efeitos potencializados pela influência antrópica, por meio de desmatamentos desordenados e atividades agrícolas sem critérios conservacionistas (Bicalho et al., 2006). Sobre esse aspecto, a estimativa da descarga sólida de sedimentos em suspensão em rios é de fundamental importância para o gerenciamento adequado dos recursos hídricos em escala de bacias hidrográficas, pois possibilita estimar a produção de sedimentos e suas implicações quanto à degradação ambiental.

Os sedimentos são transportados, no sistema fluvial, principalmente em suspensão (Asselman, 2000). O autor cita que, em média, 85% da carga de sedimentos transportada aos rios está em suspensão. Essa carga de sedimentos pode ser estimada de formas empíricas utilizando-se, por exemplo, a curva-chave de sedimentos.

Estudando a eficácia da curva-chave de sedimentos, Merten et al. (2006) encontraram que essa é dependente da frequência de amostragens dos parâmetros hidrológicos, vazão e concentração de sedimentos. Então, para a elaboração de uma curva-chave de sedimentos é necessária a medição das variáveis vazão e concentração de sedimentos. A vazão é uma variável relativamente fácil de ser obtida através de observações diárias de altura da lâmina de água em réguas limimétricas ou através de linígrafos e posterior transformação em vazões pelo uso de curva-chave. A determinação da concentração de sedimentos, normalmente, é feita de forma esporádica através de medições realizadas manualmente com o uso de amostradores. Outra forma de obtenção da concentração de sedimentos é via turbidímetros, que mede constantemente a turbidez da água.

Segundo Julien (1998), dois aspectos devem ser levados em consideração para a obtenção da curva-chave de sedimentos, já que a sua utilização introduz

algumas incertezas quanto à carga média de sedimentos transportada (Clarke & Merten, 2006). O primeiro ponto destacado é de que pares de dados de vazão e de concentração de sedimentos devem ser coletados durante um longo período, e o segundo ponto mencionado destaca que dados devem ser coletados especialmente durante o período de cheias do rio. Isso é devido ao fato de que é durante as cheias que ocorre o maior fluxo de sedimentos nos rios.

Existem diferentes técnicas para a estimativa da descarga sólida em rios a partir da curva-chave de sedimentos. Normalmente, os métodos subestimam os valores de descarga de sedimentos, como enfatizado por Merten et al. (2006). Os mesmos autores explicam que isso é devido aos pares de dados na curva-chave, concentração de sedimentos e vazão, quanto à sua dispersão.

Estudando a relação entre a frequência de amostragens e os erros, Merten et al. (2006) encontraram que, à medida que aumenta a frequência de amostragens, o erro diminui. Os mesmos autores não encontraram diferença em relação à estimativa de fluxo de sedimentos quando a curva-chave de sedimentos é elaborada com valores de concentração de sedimentos ou descarga sólida.

4.7 Fonte de sedimentos

Além da quantificação dos sedimentos erodidos e da sua previsão através de modelos, a significação da importância ambiental da carga de sedimentos transportada para rios, lagos e reservatórios tem mobilizado a comunidade científica em pesquisas que identifiquem as fontes potenciais de sedimentos. Isso também inclui o fato que adsorvido aos sedimentos são transportados nutrientes e contaminantes, como fósforo (Pellegrini, 2005), pesticidas (Bortoluzzi et al., 2005), metais pesados, entre outros, para o sistema fluvial (Walling, 2005). A carga de sedimentos transportada e em suspensão em um fluxo de água representa o sedimento retirado de diferentes áreas de uma determinada região. A identificação dessas fontes potenciais de sedimentos é de fundamental importância para o controle e busca de estratégias que minimizem a retirada do sedimento e o seu transporte.

A técnica *fingerprinting* tem se mostrado promissora na identificação das fontes potenciais de sedimentos (Walling, 2005). Determinar a variabilidade espacial e temporal das fontes de sedimentos e selecionar um grupo de variáveis corretamente é importante, já que cada bacia apresenta variáveis distintas (Collins & Walling 2002).

Nesse sentido, Minella (2003) e Minella et al. (2007) aplicaram a técnica *fingerprinting* em duas PBHRs, para o estudo de fontes de sedimentos. São localizadas em regiões montanhosas do RS, no município de Arvorezinha, centro-norte do estado, e no município de Agudo, centro do estado. Para a utilização da técnica, os autores basearam-se em variáveis geoquímicas como traçadores naturais, discriminando as fontes de sedimentos e classificando os sedimentos em suspensão. Discriminaram em seu estudo três fontes de sedimentos: lavouras, estradas e drenagens. Considerando como preponderantes na contribuição relativa de sedimentos, as lavouras e estradas, o autor encontrou que a contribuição destas é variável no tempo. Contudo, baseado na análise de classificação, as contribuições relativas de cada fonte nas bacias de Agudo e Arvorezinha foram, respectivamente, de 68,33 e 55,49%, para as lavouras; 28,10 e 37,58%, para as estradas; e 3,57 e 6,93%, para a drenagem. Em Agudo, as lavouras possuem uma maior contribuição para o processo erosivo. Isso foi atribuído, possivelmente, à maior declividade das áreas de lavouras e, conseqüentemente, maior capacidade de transferência dos sedimentos erodidos para a calha, já que ambas são intensamente utilizadas e as épocas de coletas das amostras para a análise coincidiram com a permanência do fumo nas lavouras.

Os resultados da contribuição das estradas são extremamente importantes nesse estudo. As estradas, que em Agudo, ocupam uma área 25 vezes menor do que as lavouras contribuem com um terço da produção de sedimentos, e isso pode ser facilmente observado durante os eventos de chuva nas bacias. As principais causas para esse alto impacto são enumeradas pelos autores: (i) falta de planejamento da alocação das estradas na bacia (alta declividade e comprimento); (ii) composição inadequada do material, (iii) baixa frequência de manutenção, e (iv) ligação direta entre estrada e calha fluvial. Os sedimentos erodidos são facilmente transportados para dentro da rede de drenagem maximizando os impactos ambientais.

As drenagens determinam a transferência do material das margens para o sistema fluvial, durante as ondas de cheia. Para a minimização do processo seria necessária a implementação de matas ciliares de preservação permanente.

4.8 Monitoramento hidrossedimentométrico

Uma proporção significativa do sedimento transportado até os rios provém das áreas agrícolas e a magnitude do processo é reflexo da degradação do solo (Walling, 2003). Contudo, esse processo numa bacia hidrográfica tem comportamento dinâmico, complexo e depende de diversas variáveis que o monitoramento poderá elucidar. Dessa forma, as informações hidrológicas são úteis para o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos de uma bacia e a magnitude quali-quantitativa dos recursos hídricos está diretamente ligada ao seu monitoramento (Paiva, 2001).

No monitoramento de PBHRs, é logística e financeiramente inacessível a medição de todos os processos pontuais que ocorrem e que geram o escoamento e a produção de sedimentos. Por esse motivo, a maioria das medições situa-se na rede de drenagem, em postos fluviométricos, pois considera-se que todo o sedimento originado de uma bacia de drenagem é conduzido para o curso d'água (Carvalho, 1991).

O conhecimento da concentração de sedimentos em suspensão é um dado importante na avaliação das conseqüências das ações antrópicas em PBHRs (Pinto & Bandeira, 1991). Quanto maior a intervenção humana em uma área, maior é a movimentação de solo (Caiado, 1994) e, assim, a erosão hídrica torna-se mais acentuada, com maior concentração de sedimentos na calha fluvial.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Contextualização do estudo

O trabalho busca avaliar a (in)sustentabilidade do agroecossistema cultivado com fumo numa pequena bacia hidrográfica rural (PBHR) que apresenta terras declivosas, solos rasos e frágeis. Serão enfatizados na discussão os fatores desencadeadores da erosão do solo e que geram o escoamento e a produção de sedimentos.

Esse estudo é parte de um projeto maior, inicializado no ano de 2000, intitulado de Monitoramento Ambiental do Programa de Manejo dos Recursos Naturais e Combate a Pobreza Rural (RS-Rural). O programa, que contempla microbacias hidrográficas, localizadas nas mais diversas regiões do Rio Grande do Sul, objetiva ampliar e desenvolver projetos de infra-estrutura no meio rural, manejo dos recursos naturais (solo e água), bem como a (in)sustentabilidade dos recursos hídricos e geração de renda aos produtores e, inicialmente, contou com o apoio financeiro do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BIRD) e do Governo do Estado do Rio Grande do Sul. A Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), através do Departamento de Solos (DS), responsabilizou-se pelo monitoramento ambiental da PBHR do Arroio Lino, em Agudo - RS.

Também tiveram participação ativa para o desenvolvimento desse, o Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH-UFRGS), a Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER) e a Fundação de Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FEPAGRO).

A avaliação da (in)sustentabilidade do meio à que pertence a PBHR em questão, iniciou-se com o objetivo de quantificar o solo erodido até a calha fluvial da bacia durante os eventos de cheia e fazer associações, principalmente, com o uso e manejo do solo para o cultivo, as características topográficas e do evento de chuva.

O monitoramento da PBHR foi parcialmente financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e pela Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS).

5.2 Características da área de estudo

O estudo foi desenvolvido em uma PBHR de cabeceira com 4,8 km² de área, situada no município de Agudo-RS, distrito de Nova Boêmia, Arroio Lino-Friedrich, entre as coordenadas UTM 6.733.500 – 6.737.000N e 280.000 – 283.500E (Figura 1). Pertence à região central do Estado do Rio Grande do Sul, na transição entre o Planalto e a Depressão Central, distante 90 km de Santa Maria-RS.

O município de Agudo faz parte da bacia do Rio Jacuí (Anexo A), apresentando microbacias com padrão de drenagem dentrítico. A PBHR do Arroio Lino caracteriza-se pelos seus cursos de água perenes e inúmeros outros coletores de água das chuvas. O relevo do local é fortemente ondulado (Figura 2) a escarpado e com altitudes que variam de 120 a 480 m (Dalmolin et al., 2004), (Anexo B).

Observando os Anexos C e D, dos quais o primeiro apresenta os municípios produtores de fumo no RS e o segundo o mapa de solos do RS, percebe-se que as regiões produtoras de fumo estão inseridas onde os solos apresentam maior fragilidade, rasos e altamente susceptíveis à erosão.

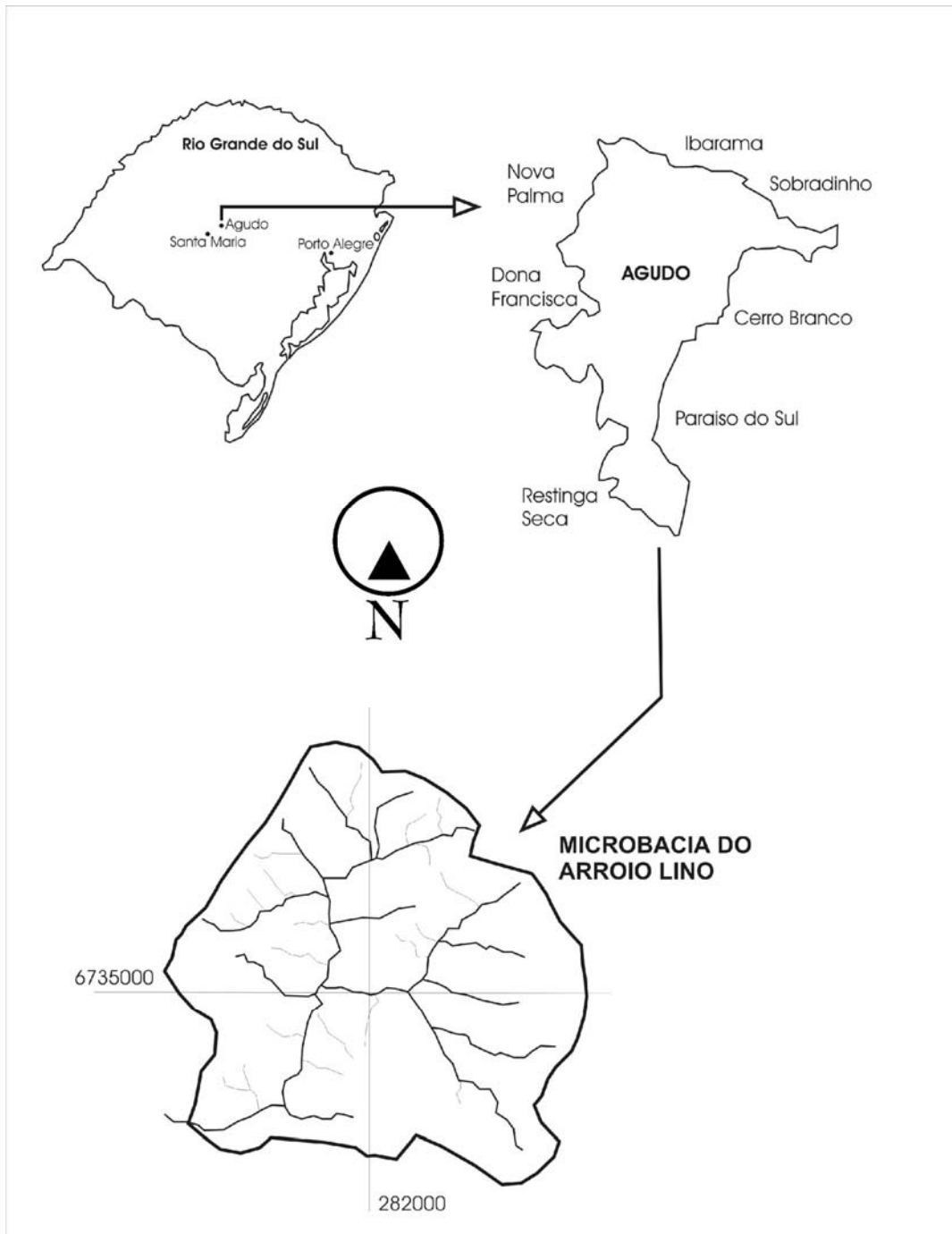


Figura 1 - Localização da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS. (Fonte: Dalmolin et al., 2004).



Figura 2 - Imagem da paisagem da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS. (Foto: Sequinatto, L.).

A classificação dos solos encontrados na PBHR foi feita por Dalmolin et al. (2004), conforme EMBRAPA (1999), e pode ser contemplada na Tabela 1.

Contemplando a Tabela 1, percebe-se que a maioria dos solos encontrados na PBHR é classificada como Neossolos e associação Chernossolo-Neossolos, sendo que ambos perdem facilmente sua camada superficial, por erosão, tornando-se impróprios para agricultura (Pedron et al., 2002). O Anexo E mostra o mapa de solos da PBHR do Arroio Lino.

Tabela 1 - Simbologia e classificação taxonômica dos solos encontrados na pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS. (Fonte: Dalmolin et al., 2004).

Símbolo da Classe	Classificação do solo
RLe ₀	Neossolo Litólico eutrófico chernossólico fase epipedregosa relevo montanhoso
RLe1	Neossolo Litólico eutrófico típico horizonte A moderado relevo forte ondulado
RLe2	
RLe3	
RQo	Neossolo Quartzarênico órtico típico A moderado relevo suave ondulado
MTo1	Chernossolo Argilúvico órtico típico relevo suave ondulado
MTo2	Chernossolo Argilúvico órtico léptico relevo suave ondulado
MTo3	Chernossolo Argilúvico órtico léptico fase epipedregosa relevo suave ondulado
MTo4	Chernossolo Argilúvico órtico epiáquico relevo suave ondulado
MXo	Chernossolo Háplico órtico típico fase epipedregosa relevo ondulado
CXVd	Cambissolo Háplico Ta distrófico típico A moderado relevo forte ondulado
PAe	Argissolo Amarelo eutrófico típico A moderado relevo suave ondulado
SXe	Planossolo Háplico eutrófico típico A proeminente relevo plano a suave ondulado

Segundo a classificação climática de Köppen, o clima é Cfa - subtropical úmido. A temperatura média anual é de 19,4 °C. As temperaturas médias, no verão, atingem aproximadamente 30 °C e, no inverno, ficam em torno de 18 °C. A precipitação normal varia de 1.300 a 1.800 mm ano⁻¹, com maiores valores em maio e junho e com maiores intensidades nos meses da primavera.

A PBHR apresenta 36 Unidades de Produção Agropecuária (UPA), sendo que cada uma delas possui em média 10 ha (Gonçalves, 2003; Corcini et al., 2006), e dependem economicamente da lucratividade obtida com o cultivo do fumo. Na safra

2005/06, 75 ha foram cultivados com fumo com predominância do preparo convencional do solo, com alto grau de revolvimento (Sequinatto et al., 2006c).

A região apresenta um alto índice de pobreza rural dentro do estado do RS. Isso está vinculado ao sistema produtivo em áreas íngremes e impróprias ao cultivo de culturas anuais, onde o fumo é a cultura predominante. Uma característica do sistema produtivo é a alta tecnologia, onde o uso intensivo do solo é feito basicamente pela mão-de-obra familiar, desrespeitando a capacidade de uso das condições locais, trazendo prejuízos devastadores ao meio ambiente em termos de contaminação da água por sedimentos erodidos e insumos agrícolas que são aplicados às culturas.

A retirada da vegetação natural permanente é foco dos desequilíbrios dos ecossistemas. Essa se dá no momento da conversão de áreas de florestas para as áreas agrícolas, causando devastação da flora e da fauna de ambientes como o da PBHR em estudo, impróprios ao cultivo continuado, devido principalmente à fragilidade dos solos e declividade do meio. Ano após ano, a busca por altas produtividades com o cultivo do fumo, nessas áreas, torna o uso do solo exacerbado, assim como a utilização de insumos agrícolas, ocasionando a contaminação dos recursos hídricos, pois os contaminantes são carregados pela água com as partículas de solo depositando-se nos mananciais hídricos.

A análise integrada das condições de solo e de água da PBHR auxiliam no entendimento do grau de (in)sustentabilidade e manejo dos recursos hídricos da PBHR. Nesse sentido, Gonçalves (2003) avaliou a qualidade da água do ambiente e relacionou os resultados com a utilização de nutrientes aplicados no solo para o cultivo do fumo. O autor encontrou altos teores de fósforo na água do arroio e nas fontes de consumo, onde que os teores estão acima do estabelecido pelo CONAMA (1986) e caracterizando um ambiente aquático eutroficado. Os altos teores de fósforo encontrados na água foram condizentes com a alta disponibilidade desse elemento no solo. Rheinheimer et al. (2001 e 2003) encontraram que a maioria das áreas cultivadas da PBHR apresenta teores de fósforo muito alto, representando duas a cinco vezes o nível crítico. Isso se dá em função dos pacotes tecnológicos oriundos das empresas fumageiras que consolidou um sistema de adubação baseado em sua segurança sem pensar na preservação dos recursos hídricos naturais, garantindo produtividade elevada e alta qualidade industrial do tabaco. Gonçalves (2003) encontrou também elevados níveis, na água analisada, de cálcio,

magnésio, potássio e sódio. O autor associou isso aos altos teores dos nutrientes no solo. Rheinheimer et al. (2001 e 2003) constataram que os teores de cálcio, magnésio, potássio e sódio estão muitas vezes acima do nível crítico, inclusive não havendo a necessidade de adição de cálcio e de magnésio pelos próximos 15 anos.

5.3 Uso das terras e manejo do solo da Pequena Bacia Hidrográfica Rural

Durante os anos de 2003 a 2005 (Anexos G, H e I), foi monitorado o uso das terras da PBHR. Sobre esse aspecto, são consideradas a vegetação, as áreas de pousio, as estradas, as áreas que sofreram processo de queimada (prática comum entre os agricultores para a abertura de novas lavouras de fumo) e as lavouras abandonadas (em função do uso intensivo do solo, onde a camada de solo trabalhada foi erodida e depositada em áreas de baixadas ou no sistema fluvial).

Os usos foram classificados em seis tipos: Vegetação Natural (VN - mata nativa, mata secundária, capoeiras e capoeirões); Lavouras (LV - culturas anuais); Pastagem Perene (PP - basicamente poteiros e gramados); Reflorestamento (RF - eucalipto); Sedes das unidades de produção agrícola (SD - UPAs); Queimadas (QM - áreas em transição de cobertura florestal para lavouras, ou lavouras itinerantes).

O manejo do solo inclui as práticas culturais aplicadas aos plantios bem como a rotação de culturas. Na PBHR em estudo, o manejo do solo para as práticas agrícolas é feito, quase na sua totalidade, por cultivo convencional e mínimo. Isso condiciona um alto grau de revolvimento do solo a que o solo é submetido, o que potencializa os processos erosionais com grande produção de sedimentos, já que os plantios são feitos em áreas íngremes, com solo que apresenta fragilidade natural que é agravada pelo manejo aplicado.

O uso do solo (Figura 3) e a evolução do mesmo, assim como o manejo do solo, foram monitorados semestralmente, através de caminhamentos na área da PBHR, demarcando as glebas e o seu respectivo uso e manejo. O monitoramento aqui apresentado refere-se aos anos de 2003 a 2005. De 2000 a 2003, o monitoramento foi coordenado pelo professor Danilo Rheinheimer dos Santos, e no período 2004 a 2005, pelo professor José Miguel Reichert, e suas equipes, ambos do DS-UFSM.

Com isso, foram confeccionados os mapas de uso e manejo do solo, bem como outros mapas resultantes dos levantamentos realizados na bacia em questão, utilizando um Sistema de Informação Geográfica (SIG - ArcView®). Para a manipulação do SIG - ArcView®, contou-se com a ajuda do estudante do Curso de Graduação em agronomia e bolsista do Departamento de Solos da UFSM – André Carlos Cruz Copetti.

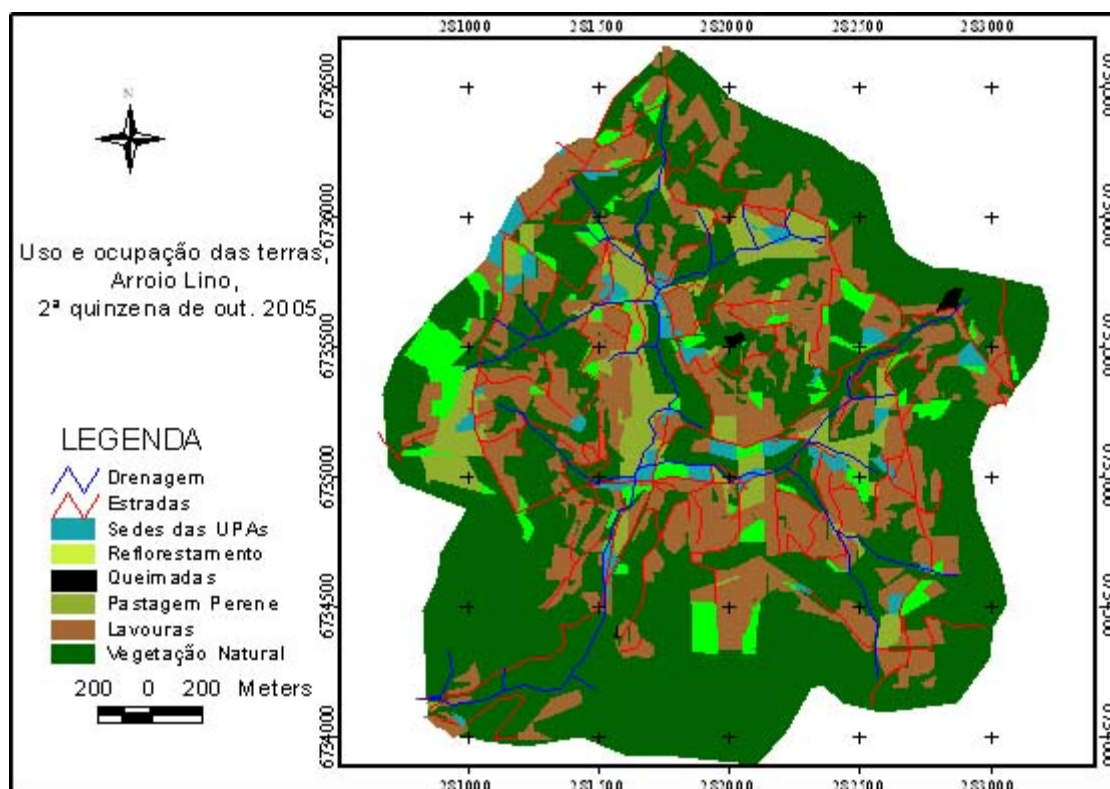


Figura 3 - Mapa de uso do solo obtido através do programa computacional ArcView, enfatizando os principais usos do solo e Sedes das UPAs da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.

Com a finalidade de estudar detalhadamente os processos que geram e transmitem a produção de sedimentos, a discussão enfatizando o uso e manejo do solo e se dá sobre a área de captação da bacia (Figuras 4 e 5), ou seja, a área que contribui na produção de sedimentos e monitorada na secção no riacho que concentra o escoamento total. A área de captação corresponde a 3,32 km² da área total (4,8 km²) da PBHR.

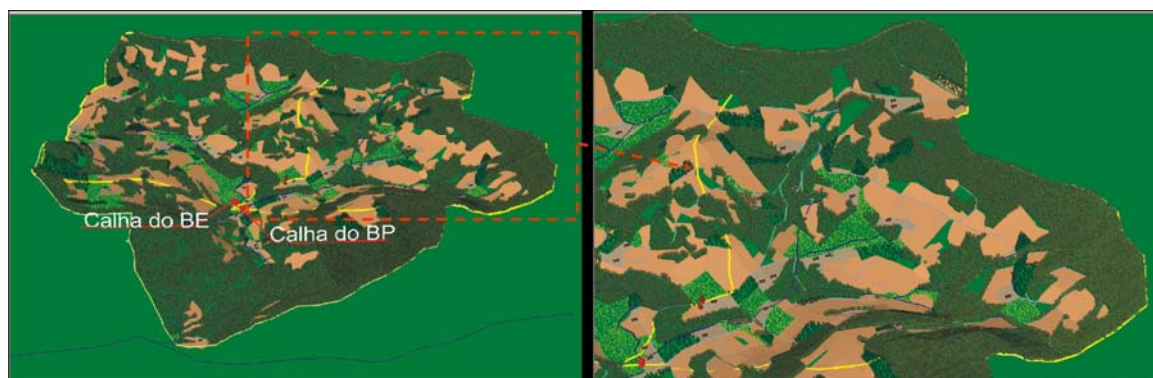


Figura 4 - Imagem da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, identificando a localização da área de captação do Braço Direito e das seções de controle (calhas do Braço Esquerdo - BE e Braço Principal - BP).

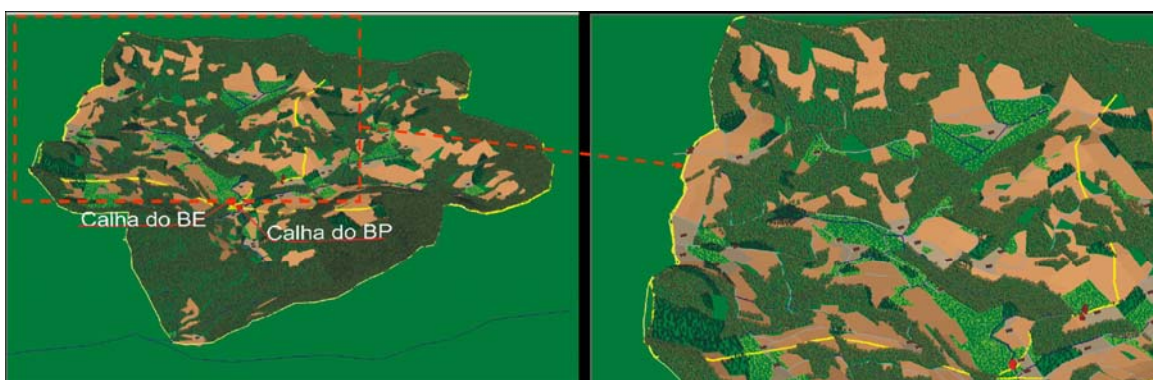


Figura 5 - Imagem da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, identificando a localização da área de captação do Braço Esquerdo e das seções de controle (calhas do Braço Esquerdo – BE e Braço Principal - BP).

5.4 Caracterização física da área de captação da bacia de drenagem

A área de captação da PBHR, até os pontos de monitoramento no riacho, corresponde a 3,32 km². Está ocupada pelas sedes das unidades de produção agropecuária, lavouras, cobertura florestal, pastagem, reflorestamento, áreas queimadas e estradas. Na bacia, existem abundantes fontes de água superficiais

que formam os (eventuais) afluentes do Arroio Lino, que por sua vez é afluente do Rio Jacuí.

O Arroio Lino possui dois braços principais de fluxo contínuo de água (Figuras 4 e 5), denominados aqui de braço direito (BD) e o braço esquerdo (BE), respectivamente com 1.670 e 1.626 metros de extensão. Esses drenam a água precipitada sobre dois lados opostos da PBHR e, no final da secção, juntam-se em apenas um, o braço principal (BP).

O BD e o BE possuem uma área de captação de água, respectivamente, de 1,64 km² e 1,68 km². Nos BE e BP estão localizadas as secções de controle, denominadas de calha do BE e calha do BP (Figuras 4 e 5). Nessas calhas estavam instalados linígrafos de pressão para monitoramento da vazão, e lá se faziam as coletas de sedimento durante os eventos de chuva, para a determinação da produção de sedimentos.

5.5 Monitoramento hidrológico

O monitoramento hidrológico foi feito para determinar a vazão do arroio. A vazão representa o volume de água que passa através de uma secção transversal na unidade de tempo (em geral um segundo) e é associada a uma cota linimétrica.

A vazão do Arroio Lino foi monitorada através de linígrafos de pressão. Os linígrafos estavam instalados nas calhas dos BP e BE (Figuras 4 e 5). O nível de água medido foi armazenado em um *datalogger* em intervalos fixos de 10 minutos. Após, o nível de água foi convertido em vazão, com o uso de curva-chave específica para cada secção de controle (calha).

Na PBHR havia duas secções de controle. No BP a secção de controle necessitou da construção de uma curva-chave de vazão específica, através do monitoramento de vários eventos de chuva-vazão. No BE, a secção de controle é uma calha Parshall, que possui uma equação específica para a determinação da vazão, não necessitando a construção da curva-chave, exceto para uma eventual aferição.

5.1.1 Medição da velocidade e estimativa da vazão do braço principal

As vazões foram inicialmente determinadas com o auxílio de um medidor de velocidade de fluxo, conhecido por molinete (Figura 6). Esse foi o primeiro passo para a confecção da curva-chave (relação entre a altura de lâmina de água e vazão correspondente). O monitoramento para tal foi feito durante vários eventos de chuva e em diferentes alturas de lâmina de água.



Figura 6 - Molinete para medição de velocidade de fluxos no riacho da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS. (Foto: Sequinatto, L.).

Os molinetes são equipamentos que contêm uma hélice que gira quando é colocada no sentido do fluxo da água. O princípio utilizado foi o da contagem do número de rotações de sua hélice em um dado período de tempo, obtendo-se assim uma relação entre a velocidade do fluxo e a rotação da hélice, do tipo:

$$V = aN + b \quad (2)$$

onde: V é a velocidade do fluxo (m s^{-1}); N é a rotação da hélice (rpm); e a (0,271653941) e b (0,009650236) são constantes características da hélice e

fornecidas pelo fabricante do molinete, e/ou determinadas por calibração, que deve ser realizada periodicamente (Chevallier, 2003).

As velocidades do fluxo de água permitiram o cálculo de vazão, utilizada na construção da curva-chave do braço principal. Por fim, a vazão foi estimada através da relação:

$$Q = V * A_s \quad (3)$$

onde: Q é a vazão, V é a velocidade do fluxo ($m s^{-1}$) e A_s é a área de secção transversal ao fluxo de água.

5.5.1.1 Curva-chave de vazão do braço principal

A calha ou secção de controle do braço principal (BP) (Figura 7), como já mencionado anteriormente, necessitou a construção de uma curva-chave (Figura 8). Essa é a relação entre os níveis de água (h) com as respectivas vazões (Q).



Figura 7 - Imagem da seção de controle (calha) localizada no braço principal da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo - RS. (Foto: Sequinatto, L.).

A determinação da curva-chave foi feita graficamente, obtendo-se uma relação matemática entre a vazão (obtida a partir da velocidade de fluxo e medida com o molinete) e a altura da lâmina de água. A curva-chave ajustou-se à curva do tipo potencial, conforme a equação:

$$Q = a(h)^b \quad (4)$$

onde: Q é a vazão ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), a e b são constantes e h é a leitura do nível de água (m).

Tabela 2 - Altura da lâmina de água e vazão correspondente, utilizados na determinação da curva-chave para a vazão do braço principal da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo - RS. Cada linha representa a média de cada evento de chuva-vazão. (Dados coletados pelo Prof. Danilo Rheinheimer dos Santos e equipe no ano de 2001).

Pares de dados	
Altura de lâmina de água	Vazão
-----m-----	----- $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ -----
0,27	2,20
0,22	1,57
0,17	1,09
0,36	2,82
0,31	2,16
0,31	2,18
0,30	2,04
0,35	30,9
0,33	2,87
0,48	4,18
0,45	3,91
0,60	5,58
0,66	6,15
0,57	5,01
0,53	4,88

Então, através da relação potencial e conforme a Figura 8, a curva-chave de vazão utilizada na calha do BP é a seguinte equação:

$$y = 10,544 x^{1,2666} \quad (5)$$

onde: y representa a vazão em $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ e x a altura de lâmina de água em m. O coeficiente de determinação (r^2) foi de 0,9816.

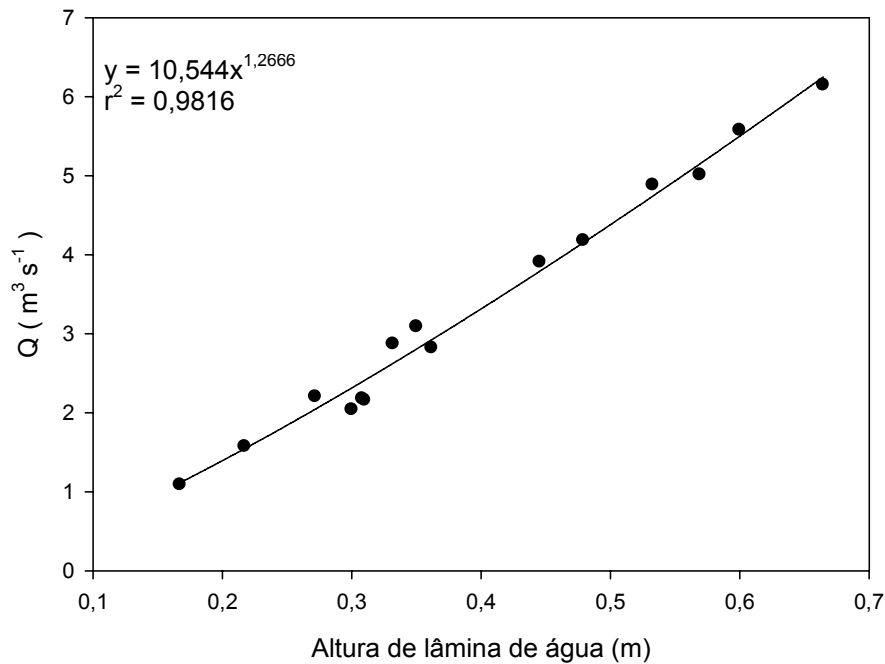


Figura 8 - Curva-chave de vazão para a secção de controle do braço principal da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.

5.5.2 Determinação da vazão do braço esquerdo

O medidor de vazão construído no braço esquerdo (BE), no exutório da bacia, foi o Parshall (Figura 9). Esses são condutos abertos, de escoamento livre e construídos com dimensões pré-determinadas de forma que as suas laterais

promovam um adequado estrangulamento de seção (Martins & Paiva, 2001). Nesse caso, a vazão foi calculada por:

$$Q = 2,2 * L_c * H_m^{3/2} \quad (6)$$

onde: Q é a vazão em $m^3 s^{-1}$; L_c é a largura da garganta da calha, que nesse caso específico, em função das dimensões da calha, é de 1,52 m; e H_m é a altura da lâmina d'água determinada pelo linígrafo de pressão.



Figura 9 - Imagem da secção de avaliação (calha) localizada no braço esquerdo da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS. (Foto: Sequinatto, L.).

Então, para o cálculo da vazão da calha do BE, a equação utilizada foi:

$$Q = 2,2 * 1,52 * H_m^{3/2} \quad (7)$$

5.6 Monitoramento meteorológico

A precipitação foi monitorada com o auxílio de cinco pluviômetros, instalados em diferentes pontos da PBHR e de uma estação meteorológica Davis, localizada num ponto central da bacia. Dados de precipitação oriundos da estação meteorológica eram armazenados em *datalogger*, em intervalos de dez minutos, contabilizando o acumulado de chuva nesses minutos. Com isso foram construídos os hietogramas dos eventos de chuva, ou seja, a plotagem num eixo de coordenadas entre a precipitação (mm) e o tempo transcorrido (minutos).

5.7 Tempo de concentração

O tempo de concentração corresponde ao tempo que a gota que cai no ponto mais distante da bacia leva para atingir a seção em estudo, contando a partir do início da chuva (Genovez, 2001). Ou seja, o instante em que toda a bacia passa a contribuir para o escoamento.

O tempo de concentração foi determinado pela fórmula “Califórnia Culverts Practice” (Tucci, 1993). Essa é recomendada pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) do estado de São Paulo e é escrita da seguinte forma:

$$t_c = 57 (L^3 / \Delta H)^{0,385} \quad (8)$$

onde: t_c é o tempo de concentração (min); L é o comprimento do talvegue (km) e ΔH é o desnível em metros do talvegue entre a seção e o ponto mais alto.

5.8 Determinação de componentes da Equação Universal de Perdas de Solo – USLE

5.8.1 Erosividade da chuva (R)

O índice de erosividade da chuva EI_{30} (Wischmeier & Smith, 1978) foi utilizado para o estudo do potencial erosivo das chuvas ocorridas no ano de 2005 na PBHR. Segundo os mesmos autores, mantendo os outros fatores da EUPS (K – erodibilidade do solo, LS – comprimento e grau do declive, C – cobertura do solo e P – práticas conservacionistas) constantes, as perdas de solo pelas chuvas são diretamente proporcionais ao valor do parâmetro EI_{30} . Esse índice leva em consideração a intensidade da chuva e a energia cinética da chuva e representa o efeito do impacto das gotas de chuva que golpeiam o solo, desprendendo as partículas pelo salpicamento e pela turbulência combinados com a enxurrada para transportar as partículas desprendidas.

Os dados de precipitação foram obtidos a partir da estação meteorológica Davis, localizada num ponto central da bacia em estudo, com amplitude de registro de 10 minutos.

Foram selecionadas as chuvas individuais erosivas (Peñalva Bazzano et al., 2006). Essas são aquelas separadas de outras chuvas por um intervalo de no mínimo 6 horas com precipitação inferior a 1 mm, e erosivas quando a precipitação total foi igual ou superior a 10 mm ou quando a precipitação foi igual ou superior a 6 mm em 15 minutos ou menos de chuva.

Uma planilha de cálculo no *Microsoft Office Excel* foi confeccionada para a estimativa da erosividade das chuvas individuais, mensais e anual pelo índice EI_{30} (Wischmeier e Smith, 1978) no Sistema Internacional de Unidades (Foster et al., 1981).

A energia cinética de cada segmento uniforme (contido nos 10 minutos registrados) de uma chuva erosiva individual determina-se por:

$$EC_s = EC h \quad (9)$$

onde: EC_s é a energia cinética no segmento de chuva, em $MJ ha^{-1}$; EC é a unidade de energia cinética; e h é a quantidade de chuva no segmento uniforme, em mm.

Para o cálculo da energia cinética, utilizou-se a seguinte equação (Wischmeier & Smith, 1978):

$$EC = 0,119 + 0,0873 \log I \quad (10)$$

onde: EC é a energia cinética por mm de chuva, em $\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$; e I é a intensidade da chuva no segmento uniforme, em mm h^{-1} .

A energia cinética total da chuva erosiva individual foi calculada da seguinte forma:

$$EC_t = \sum EC_s \quad (11)$$

onde: EC_t é a energia cinética total da chuva erosiva individual, em MJ ha^{-1} , e $\sum EC_s$ é o somatório da energia cinética de cada segmento da chuva, em MJ ha^{-1} .

O índice de erosividade de cada chuva foi calculado pela equação:

$$EI_{30} = EC_t I_{30} \quad (12)$$

onde: EI_{30} é o índice de erosividade da chuva erosiva individual, em $\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1}$, EC_t é a energia cinética total da chuva erosiva individual, em MJ ha^{-1} , e I_{30} é a intensidade máxima da chuva em um período de 30 minutos, em mm h^{-1} .

O valor mensal dos índices de erosividade EI_{30} é o somatório dos valores do índice para cada chuva individual erosiva. O valor anual da erosividade da chuva (E) é o somatório de todos os índices EI_{30} obtidos durante o ano e a unidade principal é $MJ\ ha^{-1}\ h^{-1}\ mm^{-1}\ ano$.

5.8.2 Fator topográfico (LS)

O fator LS (comprimento e grau do declive) da USLE foi inicialmente proposto para considerar rampas uniformes, com 22 m de comprimento e 9% de declive. Em bacias hidrográficas, como a do presente estudo, esse é o fato da grande limitação da USLE, devido à desuniformidade que geralmente ocorre no perfil longitudinal de declividade presente.

Em função disso, para a determinação do LS foi utilizado um módulo do programa ArcView® (Terrain Analysis/Slope-Length-Factor) (Wilson & Gallant, 1996), baseado no Modelo Numérico do Terreno (MNT). No MNT a superfície é dividida em uma grade de células, cujo tamanho é denominado de pixel, e na PBHR em questão o pixel foi de 10m.

Desmet & Govers (1996) substituíram o comprimento do segmento de rampa por uma área de contribuição unitária calculada em cada pixel do MNT, que é por definição a área acumulada na célula dividida por um comprimento efetivo ao longo da célula (Moore & Burch, 1986), como exemplificado pela Figura a seguir:

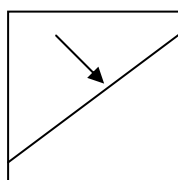


Figura 10 - Detalhe de uma célula de contribuição unitária. A seta indica a direção da maior declividade e a linha dentro da célula é o comprimento efetivo da célula.

Os resultados obtidos são considerados satisfatórios pelos pesquisadores na área, já que o programa considera, além da declividade e comprimento de rampa, as formas de declive côncava e convexa e as regiões de convergência e divergência de fluxo de água, o que é importante na determinação da perda de solo. Nesse sentido, Moore & Burch (1986) relatam que uma área com a forma de declive côncava concentra o fluxo de escoamento, aumentando a velocidade, e com isso aumenta a capacidade de transporte de sedimentos. Uma área com a forma de declive convexa tem menores impactos na erosão.

5.9 Monitoramento dos eventos de chuva-vazão

A maior transferência de sedimentos aos corpos de água ocorre durante os eventos de cheia. Os sedimentos de granulometria fina são transportados em suspensão dentro da coluna de água e apresenta pouco ou inexistente contato com o leito do canal (Minella, 2003).

Assim, avaliações hidrossedimentológicas foram realizadas através do monitoramento nas duas seções de avaliações (calhas) (Figuras 7 e 9) localizadas respectivamente no BP e no BE, durante cinco eventos chuvosos que ocorreram no ano agrícola de 2005. Dados hidrossedimentológicos do BD foram obtidos a partir da diferença entre as variáveis obtidas no BP e BE, já que o BP é a junção dos outros dois.

As coletas de sedimento em suspensão foram realizadas manualmente (Figura 11) a cada variação de 1 cm na altura da lâmina de água, durante o evento de chuva-vazão, com o auxílio de um amostrador do tipo US DH-48 (Figura 12).

O amostrador US DH-48 (Figura 12) é do tipo integrador na vertical e é uma das séries norte-americanas utilizadas no Brasil (Carvalho et al., 2000). A constituição do amostrador é alumínio com corpo de forma hidrodinâmica, tendo uma haste para a operação, em profundidades baixas, até 2,7 m. Utiliza bico de 1/4" e garrafa de 1 L. Por ser leve, só pode ser usado em condições de baixa velocidade pelo processo de integração na vertical .



Figura 11 - Cota de sedimento em suspensão durante um evento de chuva utilizando o amostrador US DH - 48. (Foto: Stürmer, S.).



Figura 12 - Amostrador de sedimento em suspensão US DH-48. (Foto: Sequinatto, L.).

A concentração de sedimentos em suspensão foi quantificada pelo método da evaporação e pesagem, no laboratório de Física do Solo da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

5.10 Produção de sedimentos

A produção de sedimentos foi determinada através do monitoramento da concentração de sedimentos em suspensão durante eventos de chuva-vazão. A produção de sedimentos foi calculada para cada evento através do somatório da multiplicação da concentração de sedimentos instantânea (g L^{-1}) pela vazão instantânea (L s^{-1}) monitorada pelo linígrafo (Walling & Collings 2000 apud MINELLA et al., 2006):

$$PS = K \sum_{i=1}^n (C_{si} * Q_i) \quad (13)$$

onde: *PS* é a produção de sedimentos (ton), *C_s* é a concentração de sedimentos (g/l), *Q* é a vazão (l/s) e *K* um fator de conversão de unidades e quantidade de tempo.

5.11 Hidrogramas e Sedimentogramas

Os hidrogramas foram construídos através da plotagem num eixo de coordenadas os valores de vazão (L s^{-1}) e integrado com o tempo (minutos). Os sedimentogramas foram obtidos através da plotagem da seqüência de concentração de sedimentos em suspensão (g L^{-1}) e, também, integrado no tempo (minutos). Após isso, foram analisadas as características dos hidrogramas e sedimentogramas de cada evento de chuva.

5.12 Curva-chave para determinação do fluxo de sedimentos

A curva-chave de sedimentos é de fundamental importância para a estimativa da produção de sedimentos em bacias hidrográficas. A estimativa é feita através de uma relação empírica (curva-chave) que relaciona a concentração de sedimentos com a vazão (Asselmann, 2000; Minella et al., 2006).

Para a obtenção da curva-chave de sedimentos, foram utilizados os dados hidrossedimentométricos obtidos durante as cheias ocorridas durante o ano de 2005. Foram utilizados dados de concentração de sedimentos e de vazão dos cinco eventos monitorados. Desses, obteve-se um total de 301 pares de amostragens (concentração de sedimentos e vazão).

As curvas-chaves foram elaboradas a partir dos logaritmos dos dados de descarga sólida e vazão medidos. Foram adotados ajustes de regressão linear e polinomial para as curvas-chave. Com base nos modelos de ajuste, determinou-se o coeficiente de determinação (r^2).

O cálculo da descarga sólida foi realizado através da equação:

$$Q_{ss} = Q * C_{ss} * 0,0864 \quad (14)$$

onde: Q é a vazão ($m^3 s^{-1}$), C_{ss} é a concentração de sedimentos em suspensão ($mg L^{-1}$) e $0,0864$ é a constante de transformação para valores de descarga em toneladas por dia.

Foram ajustados dois modelos de regressão, o linear e o polinomial. Após foram comparados os erros estimados ou porcentagem das diferenças (D_i) entre o somatório das descargas sólidas calculadas através dos modelos ($(q_{ss})_c$) e o somatório de descarga sólida obtida pela equação do ajuste ($(q_{ss})_A$) (Walling & Web, 1988 apud MERTEN et al., 2006), conforme a equação:

$$D_i = \frac{\sum_i^N (q_{ss})_c - \sum_i^N (q_{ss})_A}{\sum_i^N (q_{ss})_c} \quad (15)$$

A concentração de sedimentos foi estimada através das curvas-chaves geradas com as regressões, linear e polinomial, utilizando como variável independente os dados de vazão de todo o período de monitoramento.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Uso das terras, uso e cobertura do solo e manejo do solo na Pequena Bacia Hidrográfica Rural

6.1.1 Uso das terras

Os levantamentos realizados indicaram que houve um crescimento na área de lavoura de 4% (112 para 129 ha) e uma conseqüente diminuição da vegetação natural de 3 % (294 para 278 ha) (Figura 13) (Anexo J) nas áreas da pequena bacia hidrográfica rural (PBHR). Durante os anos monitorados, também ocorreu abandono de algumas áreas de lavoura que passaram a ser usadas com reflorestamento ou pastagem perene. Isso ocorreu principalmente devido à perda da capacidade produtiva desses solos, ocasionada, quase na sua totalidade, pela erosão hídrica do solo.

Em algumas áreas de lavouras, o índice de pedregosidade ultrapassa os 70% da superfície do solo (Figura 14). A alta pedregosidade nesse ambiente está associada a áreas com alta declividade e, portanto, foram e estão submetidas a altas taxas de erosão, tornando a maioria dos solos marginais para cultivos anuais (Rheinheimer et al., 2001 e 2003), não sendo indicados para a exploração agrícola, levando ao possível abandono. Esse fato é preocupante em termos da sustentabilidade do meio onde os produtores vivem. A degradação ocorrida de forma alarmante, ano após ano, minimiza a capacidade produtiva dos solos, de modo que as gerações futuras encontrarão dificuldades de sobrevivência e permanência nesses ambientes.

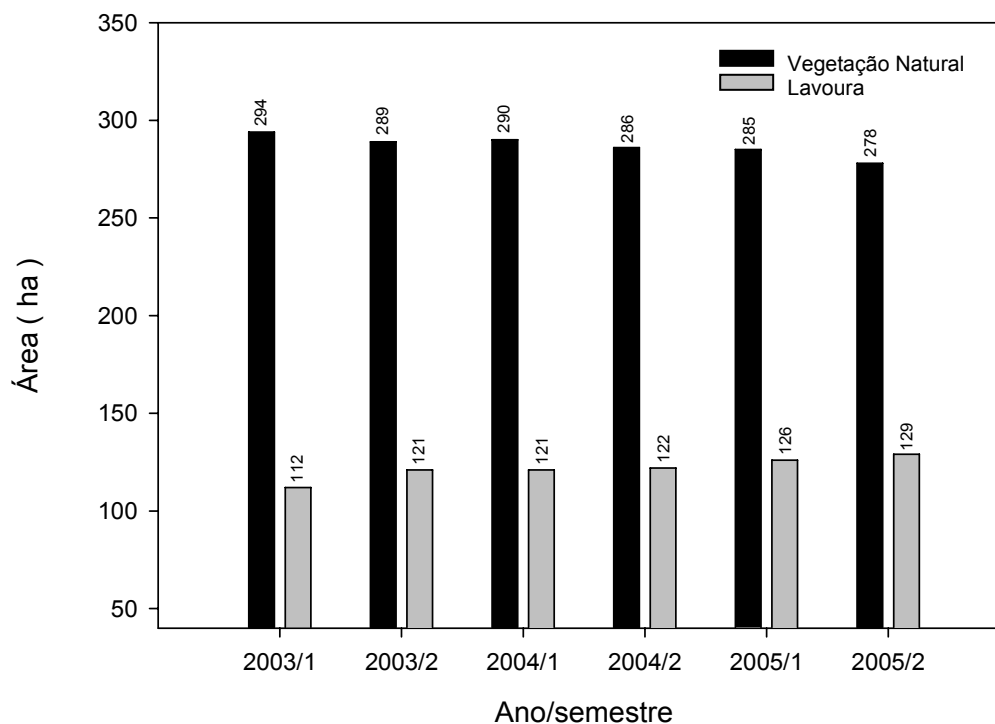


Figura 13 - Evolução das áreas com vegetação natural e de lavoura nos anos de 2003/1 a 2005/2 na pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.



Figura 14 - Lavoura com alto índice de pedregosidade na pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS. (Foto: Kaiser, D. R.).

6.1.2 Uso, cobertura e manejo do solo nas áreas de cultivo da Pequena Bacia Hidrográfica Rural

A PBHR possui uma área de 4,8 km², sendo 25,4% da área utilizada com lavouras para o cultivo anual. O cultivo principal nas áreas de lavouras é o fumo, abrangendo, em média, 70% no período de verão. A cultura do milho atinge o mesmo percentual após a colheita do fumo, que se dá em meados de janeiro e fevereiro. As áreas de pousio antecedendo o plantio do fumo são significativas, atingindo em média 47%. As plantas de cobertura do solo e as culturas de subsistência como o feijão têm pouca representatividade nessas áreas, variando de 4 a 7% (Gonçalves, 2003).

O uso do solo varia conforme o semestre do ano, mas mantém similaridade entre os mesmos semestres de diferentes anos e isso pode ser contemplado nos Anexos L, M, N, O, P e Q. Os Anexos L, N e P são mapas de uso do solo nos primeiros semestres de cada um dos anos monitorados, ou seja, 2003, 2004 e 2005, ao passo que, os Anexos M, O e Q representam os mapas de uso do solo nos segundos semestres dos mesmos anos.

O manejo habitualmente utilizado pelos agricultores é o convencional (solo mobilizado). Foram também encontrados manejos do solo parcialmente mobilizado e não mobilizado, em menores proporções. O solo parcialmente mobilizado é revolvido quando se faz o aterro dos fertilizantes de reposição para a cultura do fumo e o solo não mobilizado ocorre apenas em áreas onde não há condições de mobilização, como nas pedreiras (Figura 14), ou onde houve queimada para abertura de novas lavouras.

O uso abusivo dos solos agrícolas, associados com manejos inadequados, torna-os suscetíveis à erosão hídrica. O processo de erosão é também acelerado nesse ambiente devido à alocação das estradas principais e das secundárias (nas lavouras). Na PBHR, as estradas principais têm aproximadamente 23 km de extensão e uma área correspondente a 8 ha. Muitas dessas cortam as curvas de nível, modificando o divisor de águas e alterando os processos de produção de sedimentos. Minella (2003) encontrou que 28,10% dos sedimentos levados ao riacho são oriundos das estradas desses locais. Os sulcos e ravinas (cursos de água

temporários) são ativados durante os eventos de chuva de maiores intensidades, o que também provoca o arraste de grande quantidade de solo.

6.2 Uso das terras, uso e cobertura do solo e manejo do solo na área de captação da Pequena Bacia Hidrográfica Rural

A área de captação inserida na PBHR corresponde a 3,32 km². Para fins de estudo, foi dividida em braços direito e esquerdo conforme os dois braços principais de drenagens presente no ambiente. (Figura 15) O braço direito (BD), que corresponde ao lado direito de contribuição do escoamento da bacia, tem uma área de captação de 1,64 km². O braço esquerdo (BE) possui uma área de captação de 1,68 km².

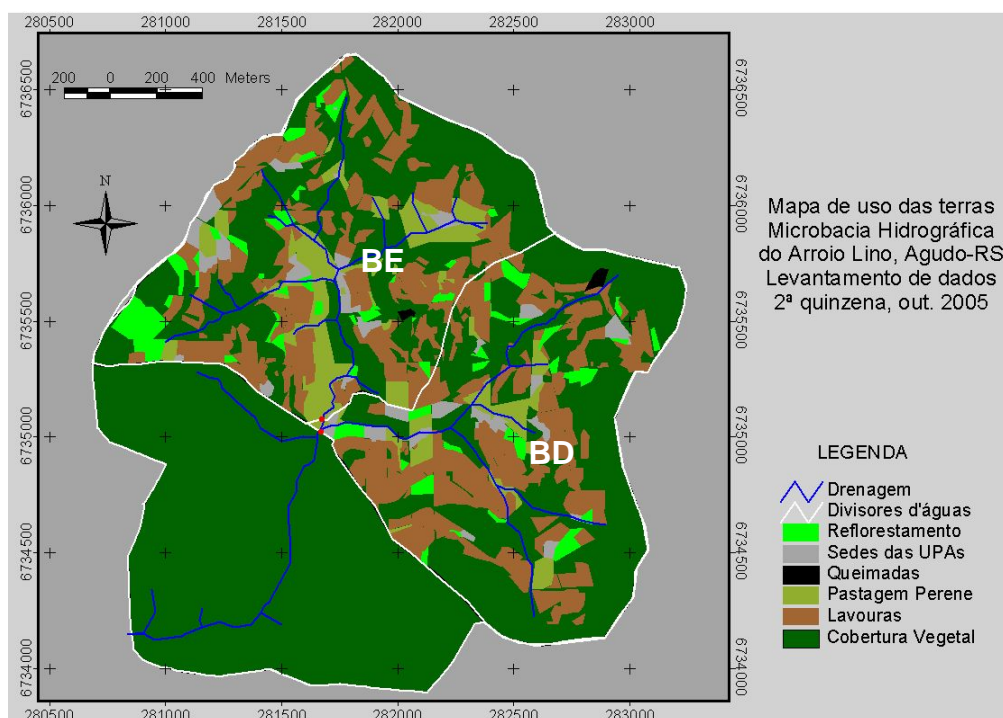


Figura 15 - Mapa característico de uso das terras identificando os dois braços de captação (BE – braço esquerdo e BD – braço direito) da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.

O objetivo dessa subdivisão é analisar as variações existentes no tratamento dado aos solos em cada um dos braços da bacia, quanto ao seu uso e manejo, e relacionar com a produção de sedimentos monitorada numa secção de controle do riacho.

Tabela 3 - Uso das terras nas áreas de captação dos braços direito (BD) e esquerdo (BE) nos anos de 2003/1 a 2005/2 da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.

Ano/semestre	Braço de Captação	Uso das terras						Total
		VN ¹	LV ²	PP ³	RF ⁴	SD ⁵	QM ⁶	
		-----ha-----						
2003/1	BE	83,53	45,16	21,49	8,27	6,96	2,84	168,25
	BD	93,66	45,76	8,24	6,35	6,27	3,78	164,07
2003/2	BE	81,46	48,76	21,49	9,05	6,51	0,99	168,25
	BD	92,06	50,03	8,24	6,72	6,27	0,74	164,07
2004/1	BE	81,30	48,80	21,50	9,20	6,50	1,00	168,25
	BD	91,85	50,51	8,24	6,99	6,27	0,21	164,07
2004/2	BE	79,98	49,59	21,25	8,91	6,51	2,01	168,25
	BD	90,00	50,73	8,24	6,99	6,27	1,83	164,07
2005/1	BE	79,44	51,64	21,25	9,41	6,51	0,00	168,25
	BD	89,68	52,56	8,24	7,32	6,27	0,00	164,07
2005/2	BE	78,18	53,33	21,09	9,98	6,48	0,19	168,25
	BD	88,41	53,31	8,21	7,59	6,09	0,47	164,07

¹ Vegetação natural; ² Lavoura; ³ Pastagem perene; ⁴ Reflorestamento; ⁵ Sedes das propriedades; ⁶ Queimadas.

O uso das terras nessas áreas é apresentado na Tabela 3 e exemplificado no mapa da Figura 15.

A Tabela 3 e os Anexos S, T e U representam o uso e ocupação das terras da PBHR nas áreas dos BE e BD, nos anos agrícolas compreendidos entre o primeiro semestre de 2003 e o segundo semestre de 2005. A evolução indicou que aumentaram as áreas de lavouras ao mesmo tempo em que diminuíram as áreas de vegetação natural nos dois braços de captação da PBHR. As Figuras 16 e 17 ilustram o fato percentualmente.

No ano de 2003, no primeiro semestre, as áreas de queimadas, contabilizando os dois braços, somavam 6,62 ha. No segundo semestre de 2005, esse valor passou a 0,66 ha (Tabela 3). Isso indica que ocorreu uma redução significativa (aproximadamente 90%) entre os períodos analisados. Isso pode ter ocorrido em função da diminuição do preço pago pela arroba de fumo por parte das empresas fumageiras. Outrossim, pode ter ocorrido a diminuição das áreas de queimadas, devida à conscientização por parte dos fumicultores pela questão ambiental, influenciados pelo programa de combate a pobreza rural (RS-Rural), imposto no ano de 2000 nessa área, e trabalhado pelo Departamento de Solos da UFSM e pela EMATER-RS.

Não houve variação significativa das áreas de pastagem perene (Tabela 3). Contudo, o BE possui aproximadamente, 72% a mais de áreas com pastagem perene quando comparado com o BD de captação e essas se localizam preferencialmente nas proximidades do arroio e das nascentes.

As áreas com sedes das propriedades permaneceram constantes entre os anos de 2003, no segundo semestre, e em 2005, no primeiro semestre (Tabela 3). Entre o primeiro e segundo semestre de 2003, houve uma diminuição de 0,45 ha pertencente às sedes no BE. No segundo semestre de 2005, a área de sedes diminuiu nos dois braços de captação, sendo que, respectivamente, para os BE e BD, a redução foi de 0,03 ha e 0,18 ha. As reduções ocorridas nas áreas ocupadas com sedes foram atribuídas à ocupação dessas áreas com o uso de lavouras.

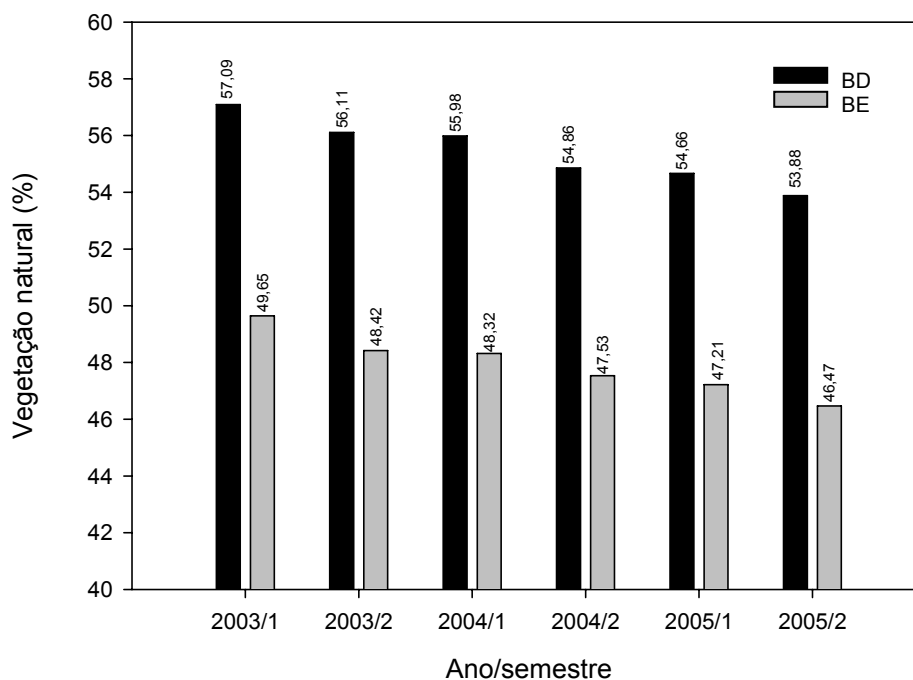


Figura 16 - Evolução da área percentual dos braços direito (BD) e esquerdo (BE) com vegetação natural nos anos de 2003/1 a 2005/2 na pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.

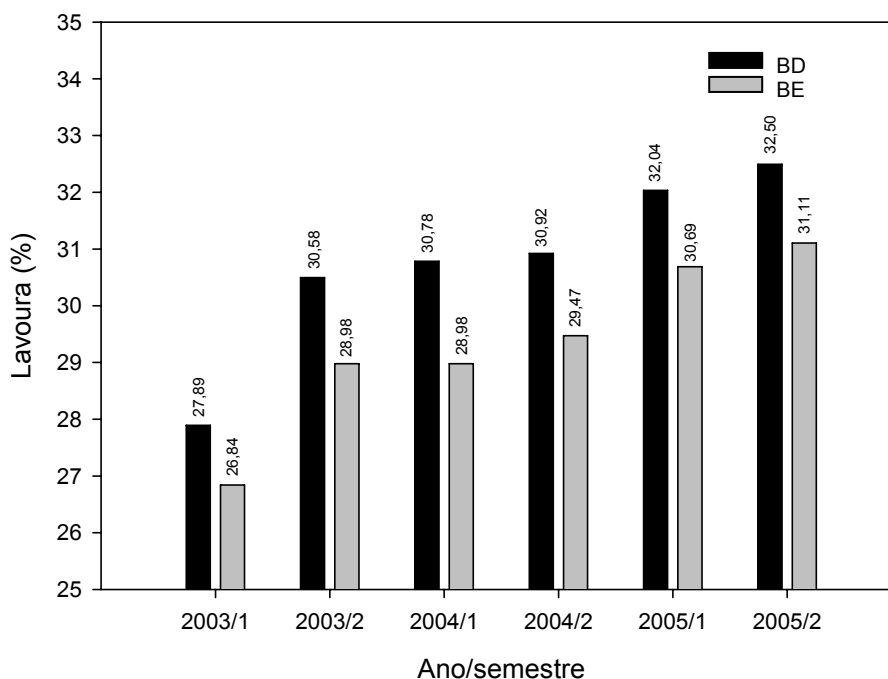


Figura 17 - Evolução da área percentual dos braços direito (BD) e esquerdo (BE) com lavoura nos anos de 2003/1 a 2005/2 na pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.

Analisando as áreas de lavouras do BE e BD de captação da PBHR, a partir da Tabela 3, e ilustrado nos mapas dos Anexos V, W, X, Y e Z, de sobreposição das lavouras entre um semestre e outro, percebe-se que numericamente as áreas de lavouras aumentaram nos segundos semestres de cada ano. Isso decorre do fato que, nesse período, são instaladas as lavouras para o cultivo de fumo, aquelas que já existiam e outras de áreas novas. Nos primeiros semestres de 2003, 2004 e 2005, as áreas de lavouras eram de, respectivamente, 90,92 ha, 99,31 ha e 104,20 ha. Nos segundos semestres dos mesmos anos, as áreas de lavouras eram de, respectivamente, 98,79 ha, 100,32 ha e 106,64 ha.

O BD apresentou em todos os anos analisados uma maior área de lavoura, como mostra a Tabela 3 e a Figura 17. Em média, o BD possui 10 ha a mais de lavoura do que o BE. No entanto, cabe ressaltar que a área de captação desses dois braços é semelhante. Isso indica que o BD possui maior quantidade de solo exposto. Não bastasse, a quantidade de estradas e ravinas (Figura 18) nesse mesmo braço é maior, o que potencializa as perdas por escoamento superficial nos eventos chuvosos.



Figura 18 - Formação de ravinas ocasionada pela erosão hídrica na pequena bacia hidrográfica rural pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS. (Foto: Kaiser, D. R.).

O segundo semestre de 2005, como mostra a Tabela 4, foi o período em que o BD apresentou a maior área de solo totalmente revolvido (mobilizado), o que

coincidiu com um período de chuvas de alta quantidade, duração e intensidade. Nessa mesma Tabela e também nos anexos AA, AB e AC estão apresentados os manejos adotados na área de captação da PBHR nos anos agrícolas compreendidos de 2003 a 2005.

Tabela 4 - Manejo do solo nas áreas dos braços de captação (BE – Braço Esquerdo e BD – Braço Direito) da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, nos anos de 2003/1 a 2005/2.

Ano/semestre	Braço de Captação	Manejo do solo				Total
		TM ¹	NM ²	PM ³	P ⁴	
-----ha-----						
2003/01	BE	17,21	0,64	8,31	19,00	45,16
	BD	23,99	0,00	8,45	13,32	45,76
2003/02	BE	17,21	4,21	24,62	2,72	48,76
	BD	15,45	3,92	25,52	5,14	50,03
2004/01	BE	3,90	33,25	0,98	10,63	48,76
	BD	2,64	37,10	1,14	9,63	50,51
2004/02	BE	18,00	2,71	27,26	1,62	49,59
	BD	9,39	5,15	30,76	5,43	50,73
2005/01	BE	6,87	22,03	0,00	22,74	51,64
	BD	3,98	22,82	0,00	25,76	52,56
2005/02	BE	19,36	6,71	15,28	10,98	52,33
	BD	32,28	4,10	9,31	7,62	53,31

¹ Totalmente mobilizado; ² Não mobilizado; ³ Parcialmente mobilizado; ⁴ Pousio.

A zona ripária, ocupada por pastagem perene e cobertura vegetal nas laterais do riacho são maiores no BE da PBHR e isso pode ser contemplado nos mapas de

uso da terra dos Anexos G, H e I. Esse fato é importante, pois a zona ripária atua na atenuação e barreira aos sedimentos erodidos das lavouras.

Fazendo uma análise da magnitude do impacto do crescimento da área de lavouras em detrimento daquelas com vegetal natural, os resultados são alarmantes. Em se continuando esse processo, nas mesmas proporções encontradas nesses três anos mostrados no monitoramento, num período de aproximadamente 100 anos, não mais haveria cobertura vegetal nas áreas da PBHR. O fato é que, não havendo cobertura vegetal, as áreas de lavouras inseridas em locais não propícios aos cultivos anuais estariam, ano após ano, perdendo camadas de solo, promovendo a minimização e esgotamento da capacidade produtiva, levando assim ao abandono das áreas, o que já é bem nítido como acontecimento passado e presente.

Mesmo levando-se em consideração o fato de que muitas das áreas de lavouras degradadas com o uso agrícola são abandonadas (Anexo J), pela perda da camada de solo trabalhada e produtividade, transformando-se em áreas de reflorestamento, em áreas de capoeirões ou mesmo em áreas para outros fins agrícolas que não a exploração com a cultura do fumo, as propriedades iniciais do solo não são recuperadas. Assim, os custos ambientais do uso e manejo dos solos dessas áreas da pequena bacia é claramente visível e constrangedor quando projetado não somente para o local mencionado, e tampouco visualizando apenas os custos econômicos com a perda de produtividade, mas sim num contexto global. Nesse cenário encontram-se inseridos a flora, a fauna, os reservatórios hídricos, a qualidade de vida do homem nas zonas rurais e urbanas, a própria permanência do homem nessas áreas, entre outros.

A degradação exacerbada das terras agrícolas nesses locais ocorre, principalmente, em função da sua baixa capacidade de suporte ao uso agrícola. Os solos são na sua maioria classificados como Chernossolos e Neossolos (Dalmolin et al., 2004), que apresentam altas restrições ao uso devido à alta pedregosidade e pouca espessura. Atrelado a esse fato, a declividade do meio é alta, o que aumenta os problemas decorrentes da erosão hídrica, gerando e transferindo quantidades elevadas de sedimentos aos cursos de água ou para áreas de baixadas. Aliado a isso, o manejo do solo dito convencional, com revolvimento intenso do solo (Figura 19), é o preferido pelos agricultores. Assim, o solo fica exposto e totalmente desprotegido da força erosiva das gotas de chuva.



Figura 19 - Revolvimento intenso do solo nas práticas de manejo do solo na pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS. (Foto: Pellegrini, A.).

6.3 Dados pluviométricos

Os dados pluviométricos além de garantir o acesso a informações como a precipitação ocorrida, permitiram a análise dos períodos do ano de 2005 como maiores frequência, duração e intensidades de chuva bem como o cálculo da erosividade da chuva e diversas comparações com períodos do ano em que a produção de sedimentos foi maior ou menor.

Durante o ano de 2005, a precipitação anual ocorrida foi de 1.507,98 mm, sendo que para a região a média fica entre 1.300 a 1.800 mm ano⁻¹. A Figura 20 apresenta a distribuição dessa precipitação nos meses do ano de 2005. Observa-se que o mês que apresentou a menor precipitação foi fevereiro, que totalizou 47,50 mm, e o de maior precipitação foi o mês de outubro, com 268,30 mm de chuva. O maior volume de precipitação ocorreu entre os meses de setembro e de outubro. Cabe salientar que a precipitação anotada no mês de outubro foi obtida a partir de pluviômetros instalados na PBHR, diferentemente para os demais meses, onde os dados de precipitação são de uma estação meteorológica Davis.

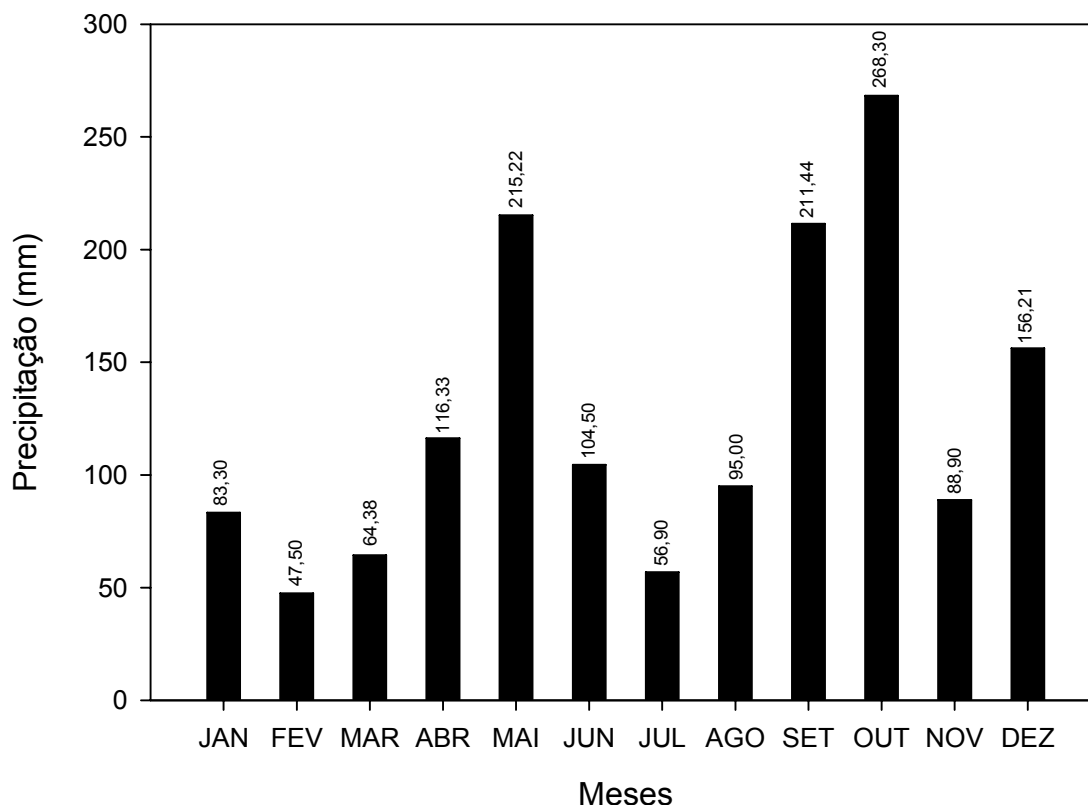


Figura 20 - Distribuição da precipitação nos meses do ano de 2005.

Os apêndices A a L apresentam as distribuições das intensidades das chuvas ocorridas nos dias em que houve precipitação nos meses de 2005. Percebe-se que as chuvas com maior intensidade ocorreram no segundo semestre, na primavera, concordando com a classificação climática de Köppen. Esse período coincide com a época de plantio da cultura do fumo que ocorre entre os meses de agosto e setembro. Nesse período, o solo encontra-se exposto e favorável às perdas por erosão hídrica, pois está revolvido (devido ao preparo para o plantio) e sem ou pouca cobertura vegetal. Isso é responsável pela alta produção de sedimentos do período, como veremos adiante.

O mês de novembro (Apêndice J) foi o que apresentou a maior intensidade de chuva registrada e que correspondeu a 76 mm h^{-1} , seguido do mês de setembro (Apêndice I) em que a maior intensidade da chuva foi de 65 mm h^{-1} . É possível que, no mês de outubro (não mencionado em Apêndices), tenham ocorrido chuvas mais intensas, uma vez que nesse mês ocorreu a maior lâmina precipitada. Entretanto, devido a problemas técnicos na estação meteorológica Davis, que não registrou as

chuvas ocorridas durante todo o mês, isso não foi registrado. Assim, para a medição da quantidade precipitada nesse mês, foram utilizados dados de cinco pluviômetros instalados em diferentes pontos da PBHR.

6.4 Erosividade da chuva (R)

O valor do fator R da USLE para a PBHR, no ano de 2005, foi de 3.436,33 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Esse valor está subestimado em função de que, no mês de outubro, como já ressaltado no item 6.3, segundo dados de chuva coletados com os pluviômetros, a chuva foi de 268,30 mm, sendo a maior precipitação ocorrida no ano. Ao que tudo indica, o mês de outubro deveria ser de alta erosividade com número semelhante ao de setembro.

A Figura 21 mostra a distribuição mensal do índice de erosividade da chuva. A linha tracejada representa a precipitação ocorrida no mês.

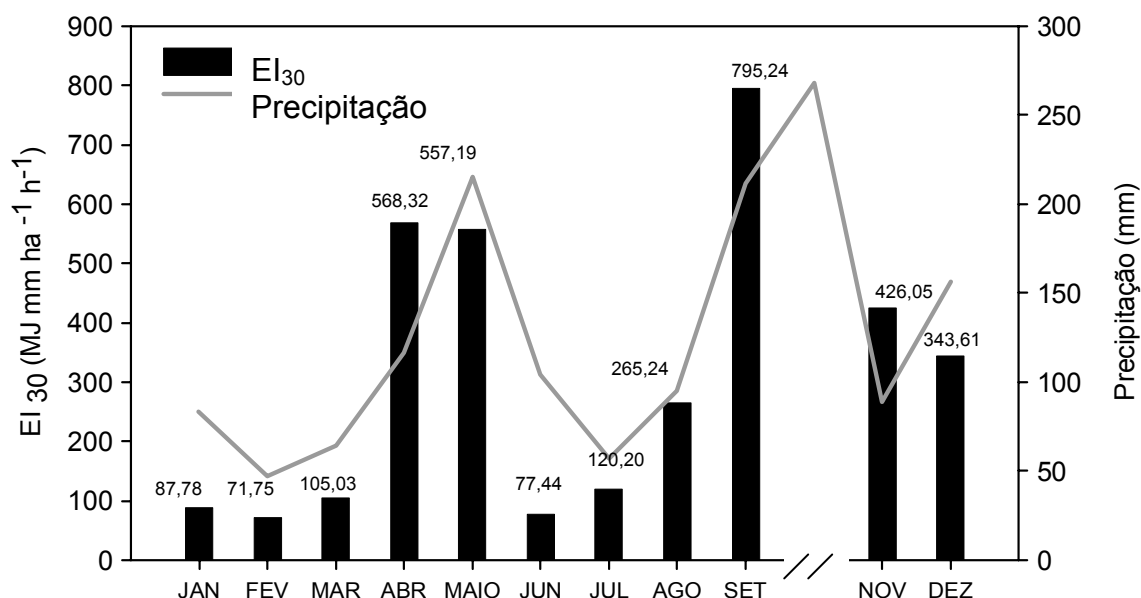


Figura 21 - Relação entre o índice de erosividade da chuva mensal e a precipitação nos meses do ano de 2005.

O mês de setembro apresentou no ano de 2005 o maior EI_{30} (Figura 21). As chuvas ocorridas nesse mês foram de alta intensidade, chegando a valores de aproximadamente 70 mm h^{-1} (Apêndice I), com alta produção de sedimentos, como será visto posteriormente.

As características da chuva é que determinam o seu potencial erosivo, principalmente intensidade e quantidade (Buckman & Brady, 1976). As características da chuva estudadas são bastante variáveis entre os meses e também entre os anos, como encontrado por Penãlva Bazzano et al. (2006), analisando a erosividade da chuva no município de Quaraí – RS, no período de 1666 a 2003. Dentro desse período a erosividade anual teve valor máximo de $22.828 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, em 2002, e mínimo de $2.239 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, no ano de 1995.

Pode-se afirmar que os meses com o maior EI_{30} são compreendidos no segundo semestre do ano, como observado pela Figura 21. O gráfico também segue a mesma tendência do gráfico de produção anual de sedimentos estimada pela curva-chave, que será apresentada logo adiante.

Para a utilização do fator R na USLE, necessita-se de um período maior de monitoramento, para encontrar a média anual, já que ele é bastante variável de um ano para outro. Roncato et al. (2004) determinaram para Santa Maria – RS, município distante 90 km de Agudo – RS, o índice de EI_{30} anual, média entre os anos correspondidos entre 1996 e 2004, de $9.026 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, embora a precipitação média anual seja maior (1.750 mm) do que a de Agudo (1.500 mm).

6.5 Vazões máximas e mínimas

Observando a Figura 22, vê-se que o mês que apresentou a vazão máxima foi setembro, com 6.833 L s^{-1} . Esse pico de vazão ocorrido no mês de setembro coincide com o pico de intensidade da chuva ocorrida no dia 11 de setembro (Apêndice I) e foi um mês que apresentou alta precipitação. As vazões mínimas (13 L s^{-1}) ocorreram nos meses de fevereiro, março, novembro e dezembro. A vazão média e máxima dos eventos monitorados no ano de 2005, no BP, foi de 1,64 e $3,63 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

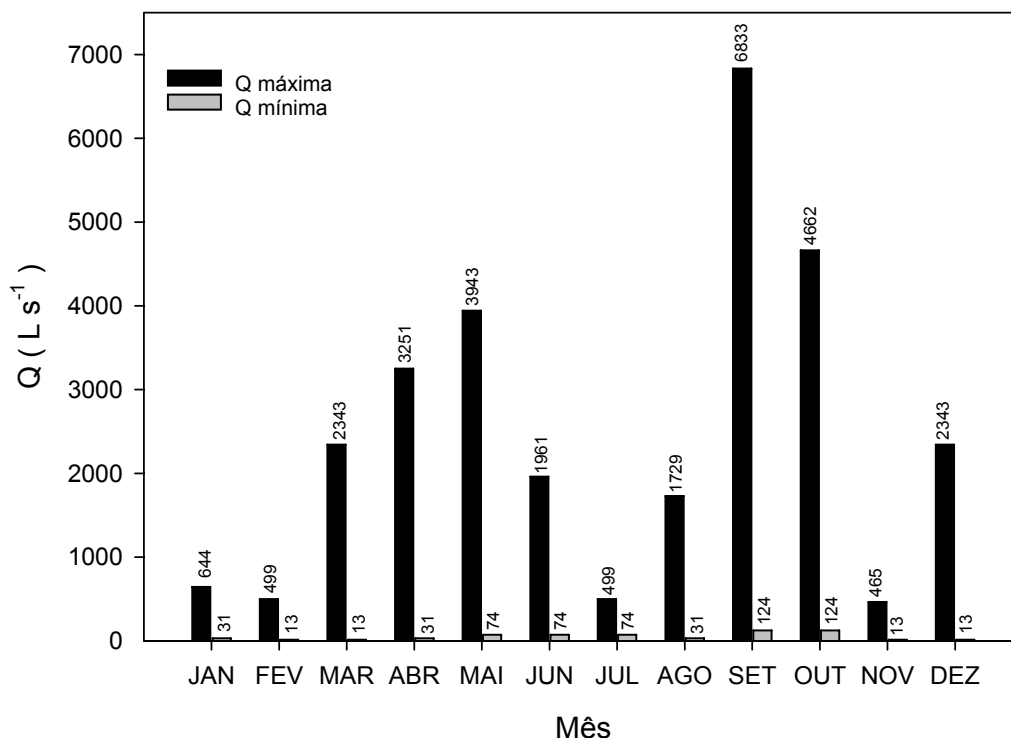


Figura 22 - Vazões máximas e mínimas ocorridas nos meses do ano de 2005.

O comportamento dos picos do gráfico da Figura 22 foi semelhante com os picos do gráfico da Figura 20, ou seja, os meses em que a precipitação foi maior coincidiram com os meses em que aconteceram as maiores vazões, enquanto os meses com menores precipitações coincidiram com as vazões mínimas.

6.6 Tempo de concentração

Como pode ser visto pela Tabela 5, o tempo de concentração (t_c) médio da bacia é de aproximadamente 12 minutos. Esse curto tempo, em que toda a bacia passa a contribuir para o escoamento, foi atribuído principalmente à alta declividade da bacia que potencializa a velocidade do fluxo de água precipitada. Minella et al. (2007) encontraram para uma pequena bacia localizada em Arvorezinha – RS, um t_c aproximadamente de 30 minutos. O maior t_c dessa bacia deve-se, provavelmente,

devido às menores declividades (em média 7%) do que aquelas encontradas na bacia do presente estudo (em média 15%).

Tabela 5 - Comprimento do talvegue e desnível do talvegue, dos braços de captação, para a determinação dos tempos de concentração na pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.

Braço de captação	Comprimento do talvegue (L)	Desnível do talvegue (ΔH)	Tempo de concentração (t_c)
	-----km-----	-----m-----	-----min-----
BE	1,626	260	11,75
BD	1,670	277	11,82
BP	1,680	278	11,89

6.7 Produção de sedimentos dos eventos monitorados e a caracterização dos seus Hietogramas, hidrogramas e sedimentogramas

A Tabela 6 traz as principais características de cada evento de chuva-vazão analisado na PBHR do Arroio Lino em Agudo-RS.

A coleta de sedimentos em suspensão foi feita nos BP e BD no dia 24 de novembro de 2005, sendo que os dados referentes ao BD foram obtidos pela diferença entre aqueles observados no BE e no BP, já que este último é a junção dos outros dois.

Para melhor analisar cada evento de chuva-vazão e relacionar com as características das áreas de captação da PBHR, foram construídos os respectivos hietogramas, hidrogramas e sedimentogramas, apresentados após a tabela que segue. Nesses, estão representados graficamente os dados encontrados na Tabela 6 com a sua variação no tempo, ou seja, no decorrer do evento de chuva-vazão.

Tabela 6 - Variáveis determinadas para os eventos de chuva-vazão nas seções de controle (BP – Braço Principal, BD – Braço Direito e BE – Braço Esquerdo) na pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia , Agudo – RS.

Braço	Variável						
	DC ¹	P ²	Qp ³	Css _p ⁴	PS ⁵	E ⁶	I ⁷
	dd/m/aa	mm	m ³ s ⁻¹	g L ⁻¹	Mg/evento	mm	mm
	10/09/2005	50	3,15	10,82	81,60	6	44
	11/09/2005	65	7,39	16,09	604,98	60	5
BP	24/09/2005	39	3,57	6,45	46,31	10	29
	04/10/2005	-	3,46	5,63	61,55	-	-
	24/11/2005	34	0,61	5,01	8,50	2	32
BD	24/11/2005	34	0,42	2,42	7,000	5	29
BE	24/11/2005	34	0,13	4,73	1,501	2	32

¹ Dia da coleta de sedimentos em suspensão/durante o evento de cheia; ² Precipitação; ³ Pico da concentração de sedimentos em suspensão; ⁴ Produção de sedimentos do evento de chuva-vazão; ⁵Total do precipitado que foi escoado na forma de vazão; ⁶ Total do precipitado que foi infiltrado no solo.

Analisando os hietogramas, hidrogramas e sedimentogramas apresentados na seqüência, percebe-se que em todos os eventos de chuva-vazão analisados, os picos de precipitação dos hietogramas (tempo vs precipitação) antecedem os picos de descarga líquida dos hidrogramas (tempo vs vazão). No entanto, observa-se uma relação direta entre o comportamento dos hietogramas e dos hidrogramas, concordando com García-Ruiz et al. (2005). O atraso observado nos hidrogramas em relação aos hietogramas é devido ao tempo de concentração do hidrograma unitário e é variável devido ao tempo necessário para umedecer o solo (Kim et al., 2005) e posterior escoamento superficial e drenagem no perfil, para que ocorra a transferência do volume de água até a calha. No entanto, o tempo varia entre um evento e outro, principalmente devido a variações na umidade inicial do solo e na intensidade da chuva.

Os eventos analisados apresentam padrões complexos, conforme critérios de García-Ruiz et al. (2005), ou seja, dois picos de descarga líquida e sólida, como

podem ser observados pelas Figuras representativas dos hidrogramas e sedimentogramas e representados nas Figuras 23 a 28 e pela Figura 30. Ocorreu aumento súbito da descarga líquida em resposta à precipitação, no ramo ascendente da hidrógrafa; similarmente, o ramo descendente da hidrógrafa também diminui abruptamente.

A carga de sedimentos em suspensão presente na água que passa pelas calhas no exutório e a vazão do arroio da bacia apresentaram relação direta com a condição de umidade do solo no início da chuva, duração quantidade e intensidade da precipitação. Descheemaeker et al. (2006) também encontraram essas mesmas observações em seus estudos.

Durante os eventos de chuva monitorados, pôde-se estimar a parcela da chuva precipitada sobre a bacia que escoou até a seção de monitoramento e a quantidade de chuva que foi infiltrada (Tabela 6) no solo. Para isso, levou-se em consideração a área de captação da bacia, dados de vazão do arroio e a quantidade precipitada. Com isso, obteve-se uma relação entre o comportamento do escoamento e da produção de sedimentos quando a chuva iniciava e o solo já estava com alguma condição de umidade, ocasionada por um evento anterior.

Entre os dias 10 e 11 de setembro de 2005, houve dois eventos pluviais. O primeiro deles é apresentado na Figura 23 e ocorreu no dia 10 de setembro. O segundo evento ocorreu no dia 11 de setembro (Figura 24). A Figura 23 representa o primeiro evento de chuva que totalizou 50,0 mm, num período de tempo de aproximadamente 5 horas (Tabela 6). A produção de sedimentos dessa foi de 81.601 Mg (245 kg ha^{-1}) e o pico de vazão ocorreu a $3.147 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, enquanto que, no evento do dia 11 de setembro (Figura 24), a quantidade precipitada foi de 65,0 mm, em um intervalo de tempo de aproximadamente 20 horas, com uma descarga sólida de 604,98 Mg (1.822 kg ha^{-1}) e com pico de vazão de $3.386 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

A infiltração de água no solo foi, respectivamente, de 44 mm e de 5 mm para os eventos de chuva do dia 10 e 11 de setembro (Tabela 6). Isso reflete o efeito da umidade inicial do solo no início de um evento de chuva. Quando o solo se encontrava com baixa umidade, apenas 6 mm escoaram (Tabela 6, Figura 23). No evento seguinte (11 de setembro), ocorrido horas após ter cessada a chuva anterior (10 de setembro), o solo estava úmido (Tabela 6, Figura 24) e assim pouca água ficou retida no corpo do solo, havendo um escoamento de 60 mm e uma grande produção de sedimentos (604,98 Mg).

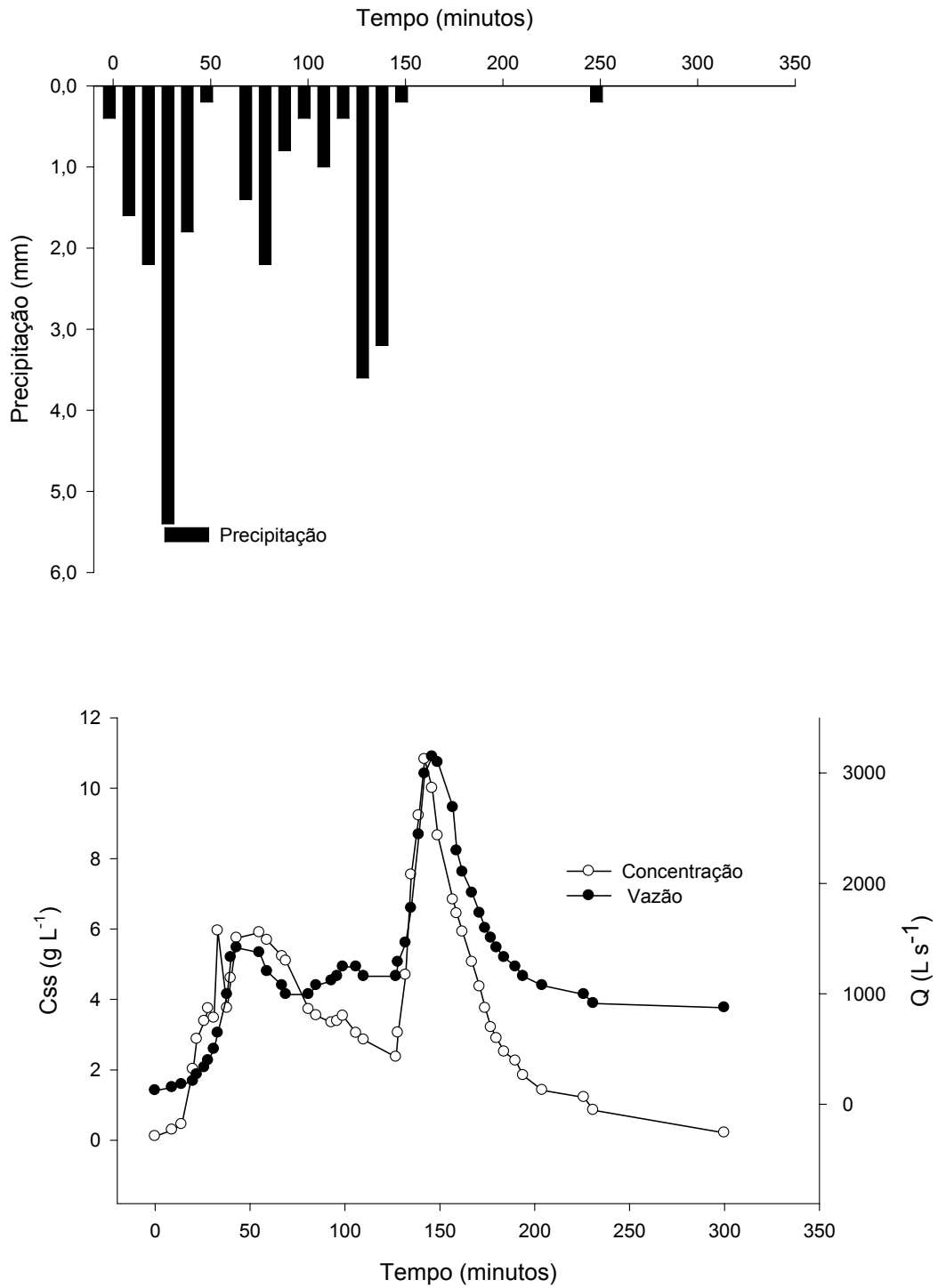


Figura 23 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento de chuva-vazão monitorado no dia 10 de setembro de 2005 e representativo da área de captação da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.

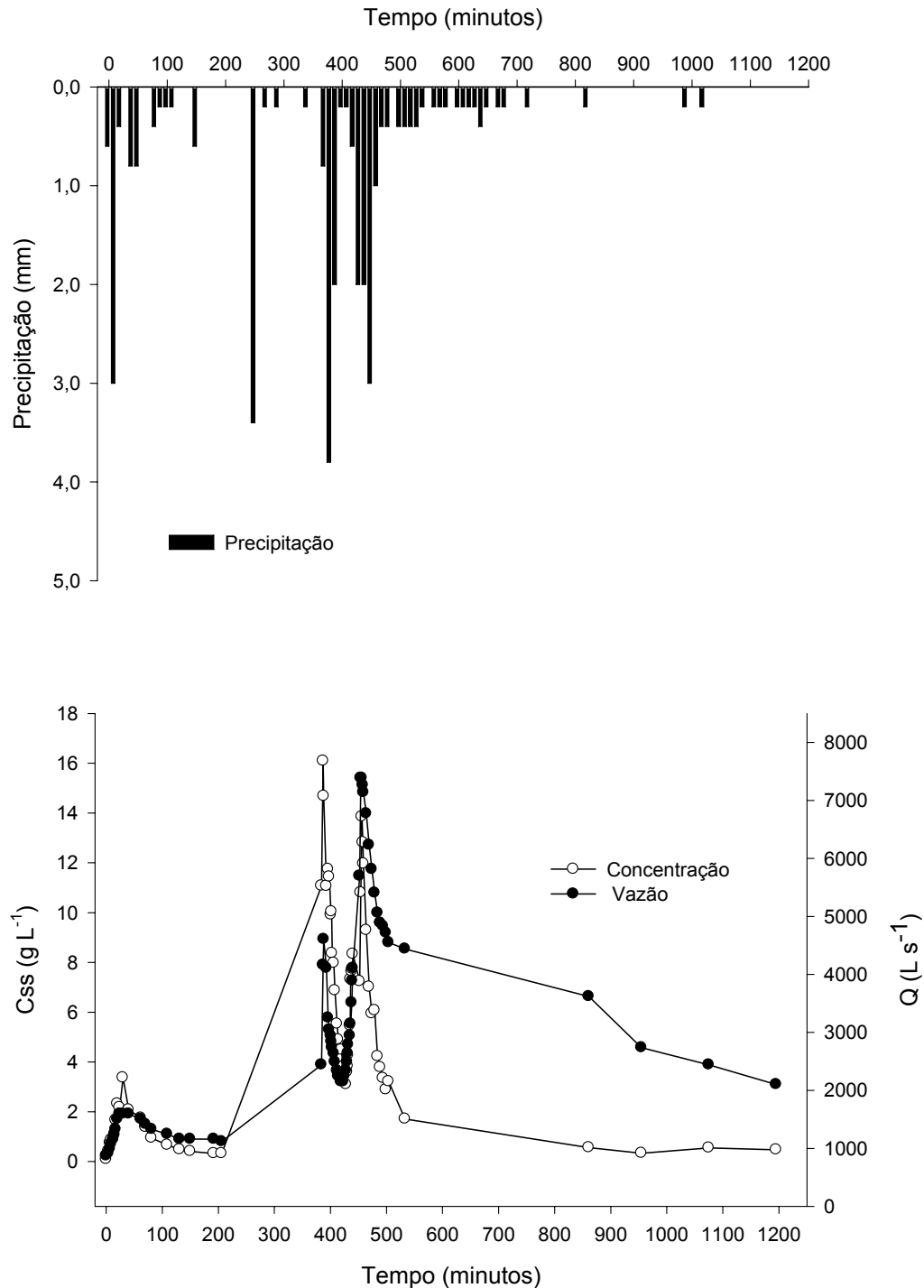


Figura 24 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento de chuva-vazão monitorado no dia 11 de setembro de 2005 e representativo da área de captação da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.

A alta intensidade da chuva, em curtos espaços de tempo, é um dos motivos da rápida descarga de água do sistema, como pode ser observado pelos picos de vazão e concentração das Figuras 23 a 28 e 30, em rápida ascensão, pois o solo

apresenta uma capacidade limitada de infiltração e, quando ultrapassada, a tendência é o escoamento superficial (Kim et al., 2005).

Outro comportamento que se pode observar é o rápido declínio da vazão com inclinação similar à subida. Torri et al. (1999) explicam que isso pode ser atribuído ao fato de grande parte da chuva ser escoada superficialmente. Chuvas sucessivas em períodos curtos de tempo podem alcançar altas vazões rapidamente e conter alta energia de transporte de sedimentos, como exposto por Watung et al. (1996). A alta intensidade (em determinados momentos) e duração longa da chuva (Figura 24) intensificam o processo de desagregação das partículas de solo e posterior carreamento com a enxurrada até o sistema fluvial. Pode também ter ocorrido a saturação do solo pela chuva do dia 10 de setembro, motivo esse da alta vazão (Figura 24) e produção de sedimentos, pois o solo, por ser raso, possui baixa capacidade de armazenamento de água.

Segundo mapeamento feito por Dalmolin et al. (2004), grande parte dos solos são assentados sobre a rocha ou horizontes C ou Cr. Pelo monitoramento obtido, confirma-se então que, mesmo em quantidades similares, a forma de distribuição da chuva e a umidade do solo no início da precipitação interferem diretamente na vazão e concentração de sedimentos.

Outro aspecto relevante a ser mencionado é o uso do solo, além dos fatores já citados e que influenciaram nas perdas hidrossedimentológicas que ocorreram. Nos dias 10 e 11 de setembro, o solo estava preparado com lavragens para o transplante das mudas de fumo, com pouca ou nenhuma cobertura vegetal. Sendo assim, extremamente apto à ocorrência de perdas de solo pela fácil desagregação do sistema fragilizado e utilizado fora de sua aptidão agrícola. Isso também possibilita o selamento superficial do solo (Cabeda, 1984; Denardim, 1984), potencializando o escoamento e carreamento de solo.

Outro fator é com relação à declividade do terreno, já que os locais de cultivo de fumo no RS são, na sua grande maioria, em áreas íngremes; na PBHR de Agudo, não é diferente. O relevo fortemente inclinado auxilia enormemente os processos de perdas hidrossedimentológicas por eventos pluviais, refletindo-se em problemas ambientais de várias naturezas, tais como o assoreamento de rios e o carreamento de agrotóxicos para fontes de consumo e águas superficiais (Sequinatto et al., 2006b).

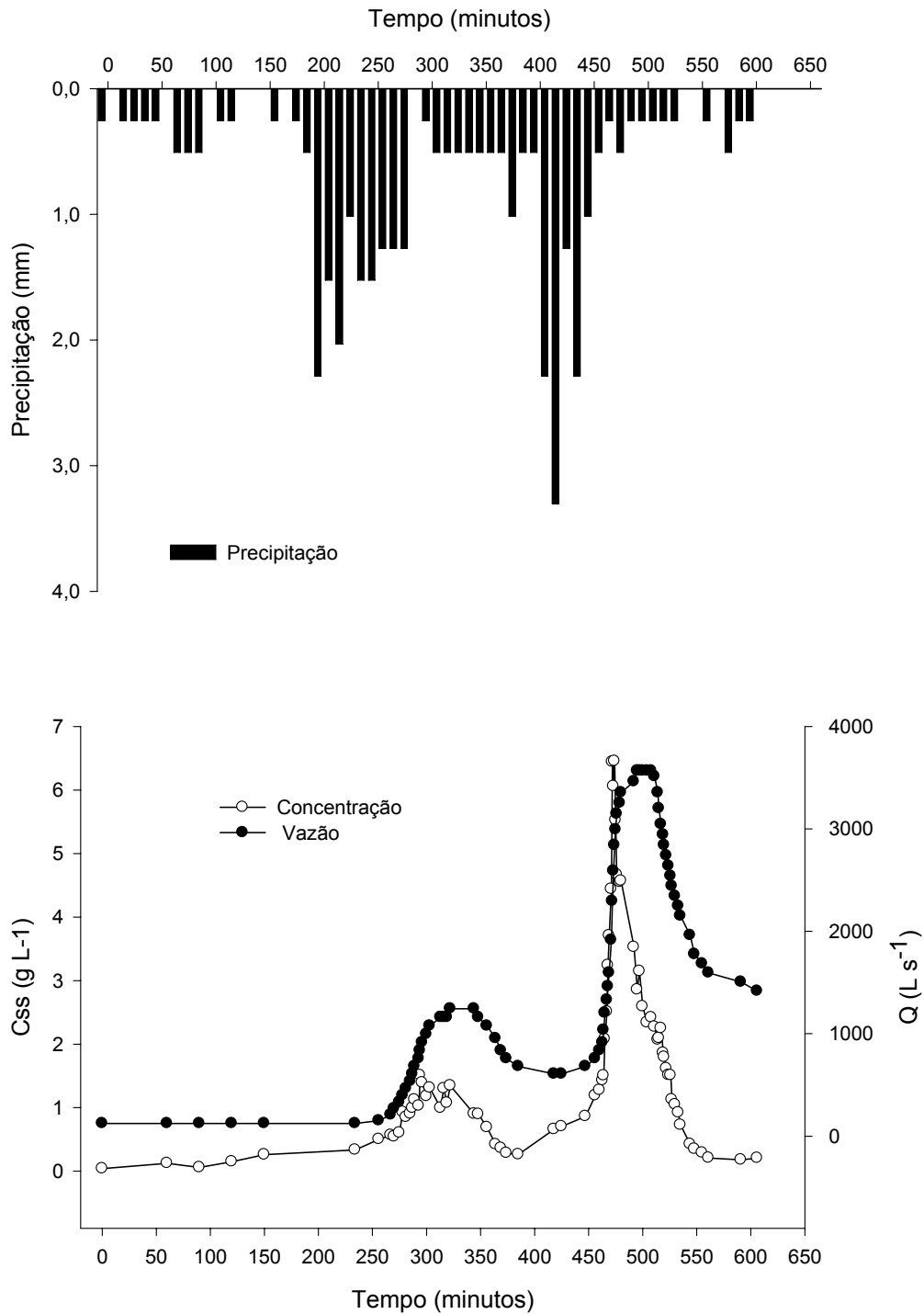


Figura 25 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento de chuva-vazão monitorado no dia 24 de setembro de 2005 e representativo da área de captação da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.

A Figura 25 apresenta o comportamento do hidrograma e sedimentograma do dia 24 de setembro de 2005. Os segundos picos de descarga líquida e sólidas são maiores do que os primeiros picos, seguindo, no entanto, a tendência dos picos da

intensidade de precipitação com um atraso cronológico, como já salientado anteriormente (Tabela 6). A precipitação ocorrida nesse dia teve 39 mm, produzindo 46,31 Mg de sedimento, ou seja 139 kg ha^{-1} .

O próximo evento monitorado foi do dia 4 de outubro de 2005 e está representado na Figura 26. Devido à falta de dados da estação meteorológica para este período, não foi possível a construção do hietograma. No entanto, foi calculada a produção de sedimentos do evento que foi de 61,55 Mg de solo, o equivalente a $185,39 \text{ kg ha}^{-1}$.

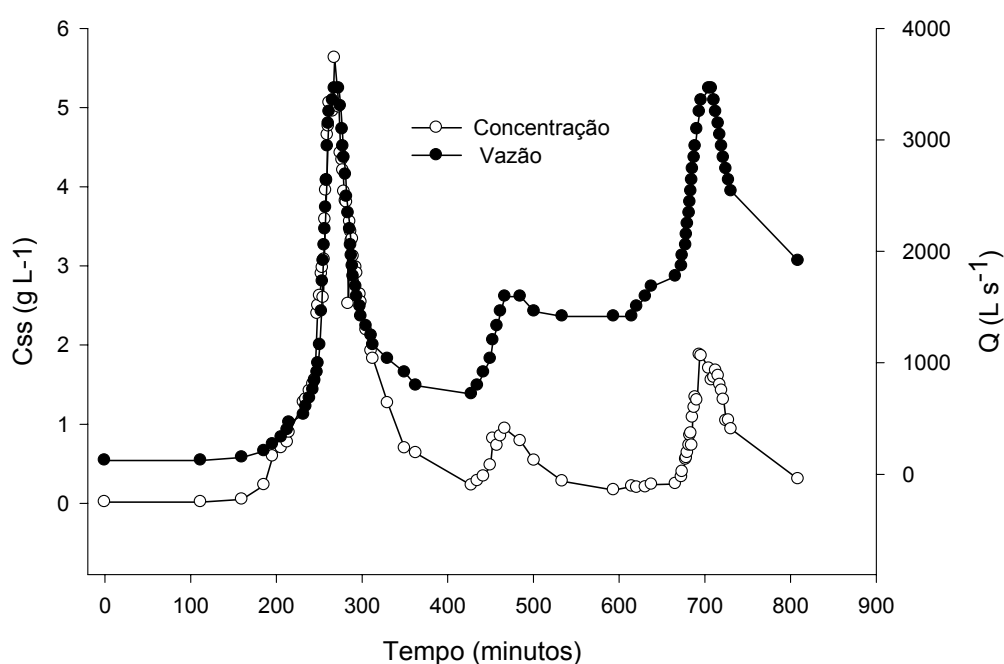


Figura 26 - Hidrograma e sedimentograma do evento de chuva-vazão monitorado no dia 04 de outubro de 2005 e representativo da área de captação da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.

As Figuras 27, 28 e 30 representam o evento ocorrido no dia 24 de novembro de 2005. Nesse dia a precipitação atingiu 34 mm e a produção de sedimentos 8,50 Mg, ou seja, $25,60 \text{ kg há}^{-1}$. A Figura 27 representa a produção de sedimentos da área de captação total da PBHR, assim como as Figuras 23 a 26.

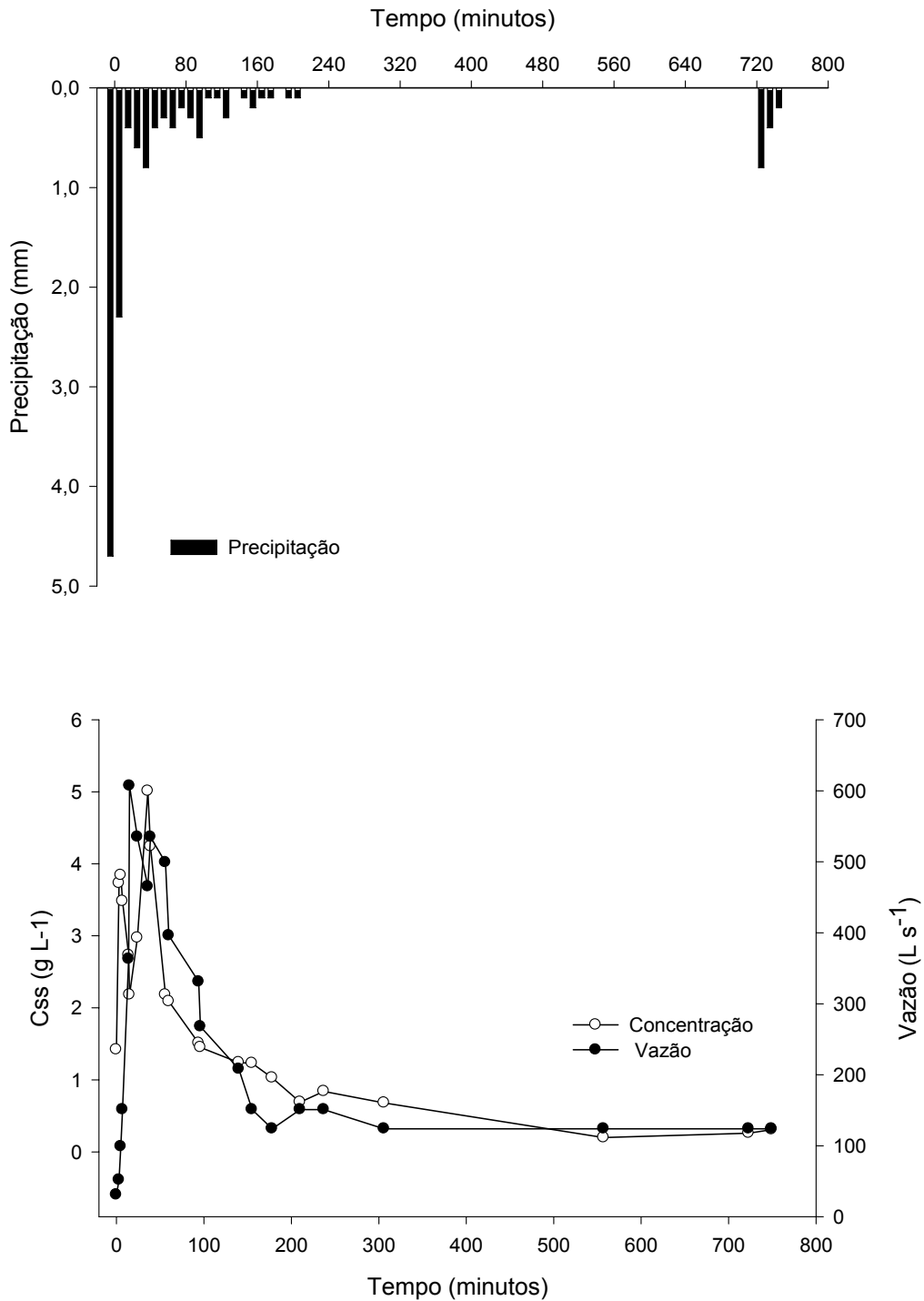


Figura 27 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento de chuva-vazão monitorado no dia 24 de novembro de 2005 e representativo da área de captação da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.

A Figura 28 representa o comportamento da vazão e da produção de sedimentos somente do BE da PBHR, ou seja, o lado esquerdo da bacia e que tem 168 ha, e foi obtida a partir da coleta de dados na secção de controle que havia

naquele local. A Figura 30 representa o comportamento da vazão e da produção de sedimentos somente do BD da PBHR, ou seja, o lado direito da bacia que possui área de 164 ha. Os dados do BD foram obtidos pela diferença entre os dados observados no BE e BP.

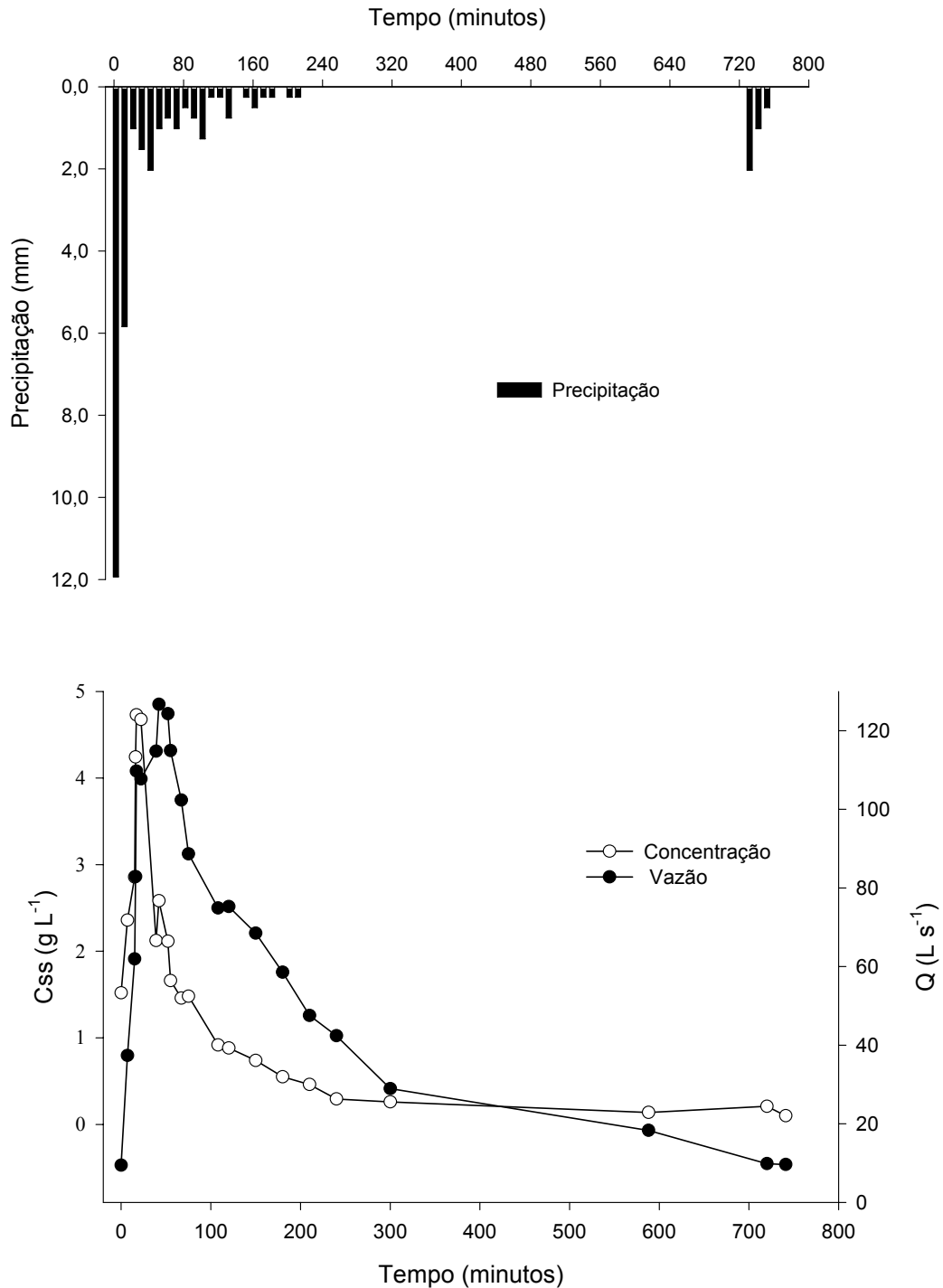


Figura 28 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento de chuva-vazão monitorado no dia 24 de novembro de 2005 e representativo da área de captação do BE da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.

Nessa época, a cobertura do solo era maior devido à proteção da cultura do fumo que já estava estabelecida, deixando uma menor área de interceptação direta da chuva sobre o solo, resultando em maior infiltração de água e uma menor perda de solo (Cabeda, 1984; Denardim, 1984). Isso indica que, em épocas do ano onde a cobertura do solo é maior, as perdas por erosão são minimizadas e agridem em menor escala o meio ambiente e fatores a ele ligados.

A Q_p (Tabela 6) no BE foi de $0,130 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, no BD foi de $0,420 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, e ocorrem no momento de maior intensidade da chuva. A descarga total de sedimentos foi na ordem de 1.501 Mg ($8,93 \text{ kg ha}^{-1}$) no BE, ao mesmo tempo em que o BD totalizou com 7.000 Mg de solo ($42,68 \text{ kg ha}^{-1}$). A maior produção de sedimentos ocorre no BD, ainda que os dois braços (BE e BD) possuem áreas de captação semelhantes.



Figura 29 - Turvação da água do arroio da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS. (Foto: Rheinheimer, D. dos S.).

Na Figura 29 é possível observar que nos BE e BD, no início da precipitação, a turvação da água no BD é maior do que no BE, corroborando a resultados de maiores perdas de sedimentos neste braço.

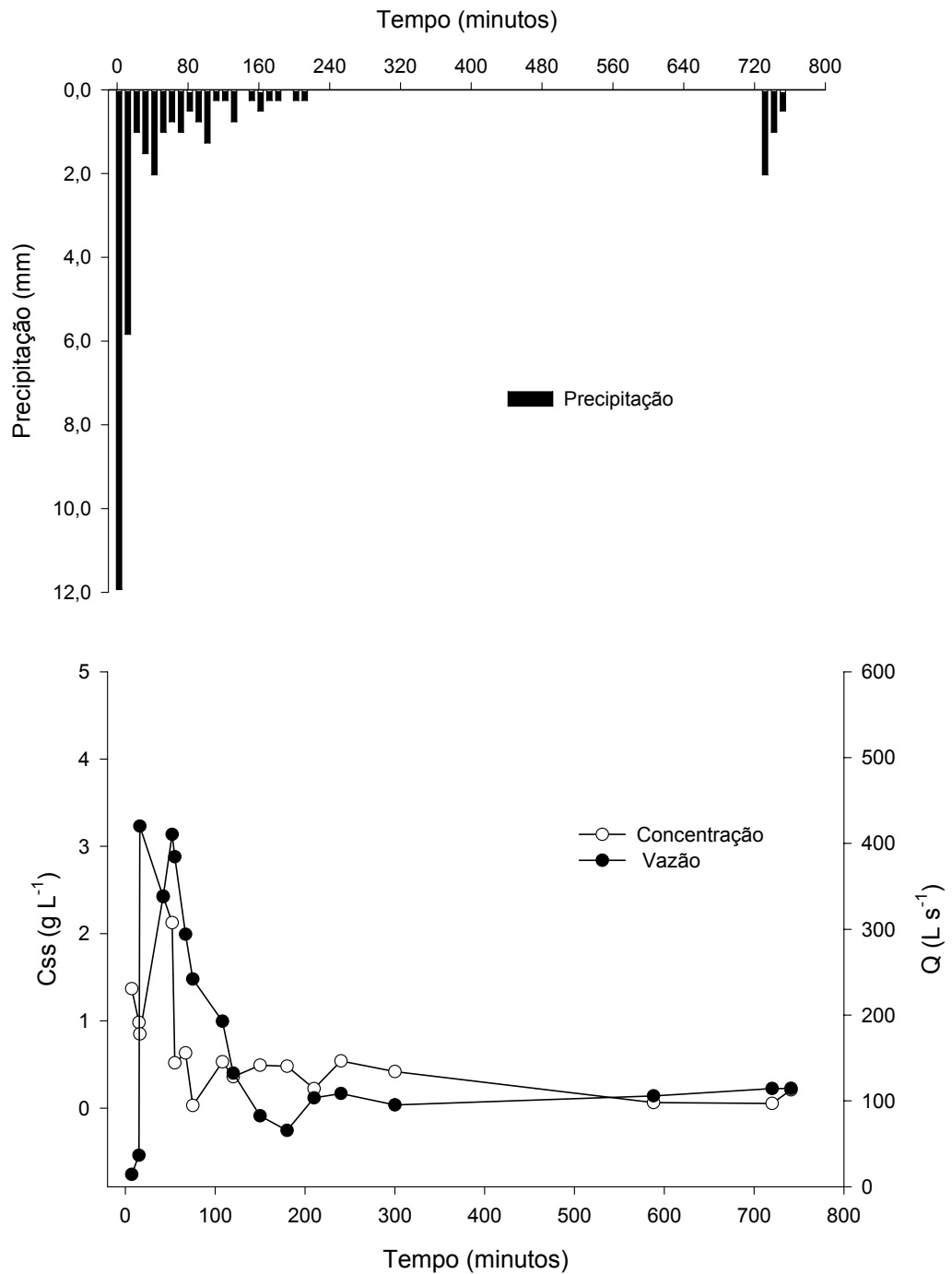


Figura 30 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento de chuva-vazão monitorado no dia 24 de novembro de 2005 e representativo da área de captação do BD da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.

A razão de emissão de sedimentos, que envolve a erosão bruta e a produção de sedimentos, é influenciada por uma larga quantidade de fatores geomorfológicos, hidrológicos e ambientais, incluindo a natureza, extensão e localização das fontes de sedimentos (Minella, 2003). Presume-se que, na PBHR em questão, a maior carga de sedimentos em suspensão no BD seja em função da área explorada com lavouras para o cultivo do fumo. Muitas delas têm grande proximidade com o riacho, diminuindo, assim, o percurso do material desagregado que chega mais rapidamente até a água fluvial, pois não encontra nenhuma barreira vegetal. O mesmo braço tem muitos fluxos preferenciais de água, especialmente ravinas e estradas, que se estendem ao longo das lavouras e são perpendiculares ao riacho. Isso potencializa o transporte superficial de água e solo, pois não encontram nenhuma barreira vegetal de estocagem do material que é retirado de suas fontes. Em percentual maior, o BE possui a área ripária com proteção vegetal (fundamentalmente, gramados e poteiros) ou mesmo mata nativa ou reflorestamento, que atuam estocando a água precipitada e também sedimentos que vem das lavouras.

Dessa forma, através do monitoramento dos eventos chuva-vazão, estima-se que, em média, 80% dos sedimentos erodidos na bacia provêm das áreas drenadas pelo BD e apenas 20% das áreas do BE. Esses números podem estar sendo superestimados e subestimados, respectivamente para os BD e BE. Isso porque se levou em consideração apenas um evento para essa análise simplificada da contribuição de cada braço, durante o que foi possível medir as variáveis simultaneamente, nas duas secções de controle. Entretanto, essas diferenças são confirmadas pelas observações visuais e pelas condições ambientais em cada área da bacia. O próximo item mostrará através de mapas de fator topográfico as áreas dos dois braços da PBHR mais ou menos propensas as perdas por erosão hídrica, somente através da sua declividade e comprimento de rampa que gera as classes de LS, sem estar levando em consideração os usos de solo.

6.8 Fator topográfico (LS) da Equação Universal de Perdas de Solo (USLE)

6.8.1 Mapa do Modelo Numérico (MNT)

O MNT foi gerado para os dois braços de captação da PBHR, esquerdo (a) e direito (b) e representado através da Figura 31. A altitude variou de 120 a 480 m, sendo uma grande variação em uma pequena área, onde que o BE possui 1,68 ha e o direito 1,64 ha.

A resolução do MNT é de 20 m. Quin et al. (1981) apontaram que uma resolução acima de 50 m pode levar a resultados errôneos. Quanto maior a resolução, melhor é o detalhamento da área.

6.8.2 Fator Topográfico (LS)

A Tabela 7 mostra os valores encontrados para o fator LS para a área de captação da PBHR. Percentualmente, os maiores valores de LS estavam na faixa de 3 a 10.

No BD, na classe de LS entre 5–10 está num percentual de 30%, sendo que para essa mesma classe, no BE é de 20%, indicando apresentar maiores declividades, já que o comprimento do pixel utilizado no estudo é de 10 m.

A Figura 32 apresenta o mapa de fator LS para os braços de captação da PBHR. Os valores de área acumulada são mais elevados próximos às drenagens em relação aos divisores, o que gera valores altos de LS próximo às drenagens. Isso acaba superestimando o valor do fator LS nessas áreas, que geralmente são depósitos de sedimentos e não locais de erosão.

Fazendo uma análise geral da Figura 32, percebe-se que os maiores valores de LS encontram-se no BD de captação da PBHR. Isso pode ser visualizado na mesma figura, através da maior concentração de áreas escuras em relação ao BE. Quanto maior é o valor do fator LS, maior a declividade e assim acredita-se que maiores são as perdas erosionais.

Então, o fato de que a maior concentração de sedimentos na água, oriunda do monitoramento dos eventos de chuva-vazão, foi provida do BD de captação, está relacionada também ao fato de que neste braço a declividade é maior além do aspecto de uso do solo.

Tabela 7 - Fator LS (comprimento e grau do declive) para os braços direito e esquerdo de captação da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.

Classe do fator LS	BE	BD
	-----%-----	
0 – 0,2	0,00	0,65
0,2 - 0,4	0,97	2,00
0,4 – 0,6	1,19	2,01
0,6 – 0,8	1,88	1,92
0,8 – 1,0	2,81	1,73
1,0 – 1,2	3,10	1,67
1,2 – 1,4	3,43	2,13
1,4 – 1,6	3,70	2,42
1,6 – 1,8	4,16	2,86
1,8 – 2,0	4,17	3,29
2,0 – 2,4	7,77	6,30
2,4 – 2,8	8,36	5,84
2,8 – 3,0	4,09	3,13
3,0 – 4,0	18,25	16,60
4,0 – 5,0	14,13	14,78
5,0 – 10,0	20,00	30,76
10,0 – 20,0	1,99	1,92
20,0 – 30,0	0,00	0,00

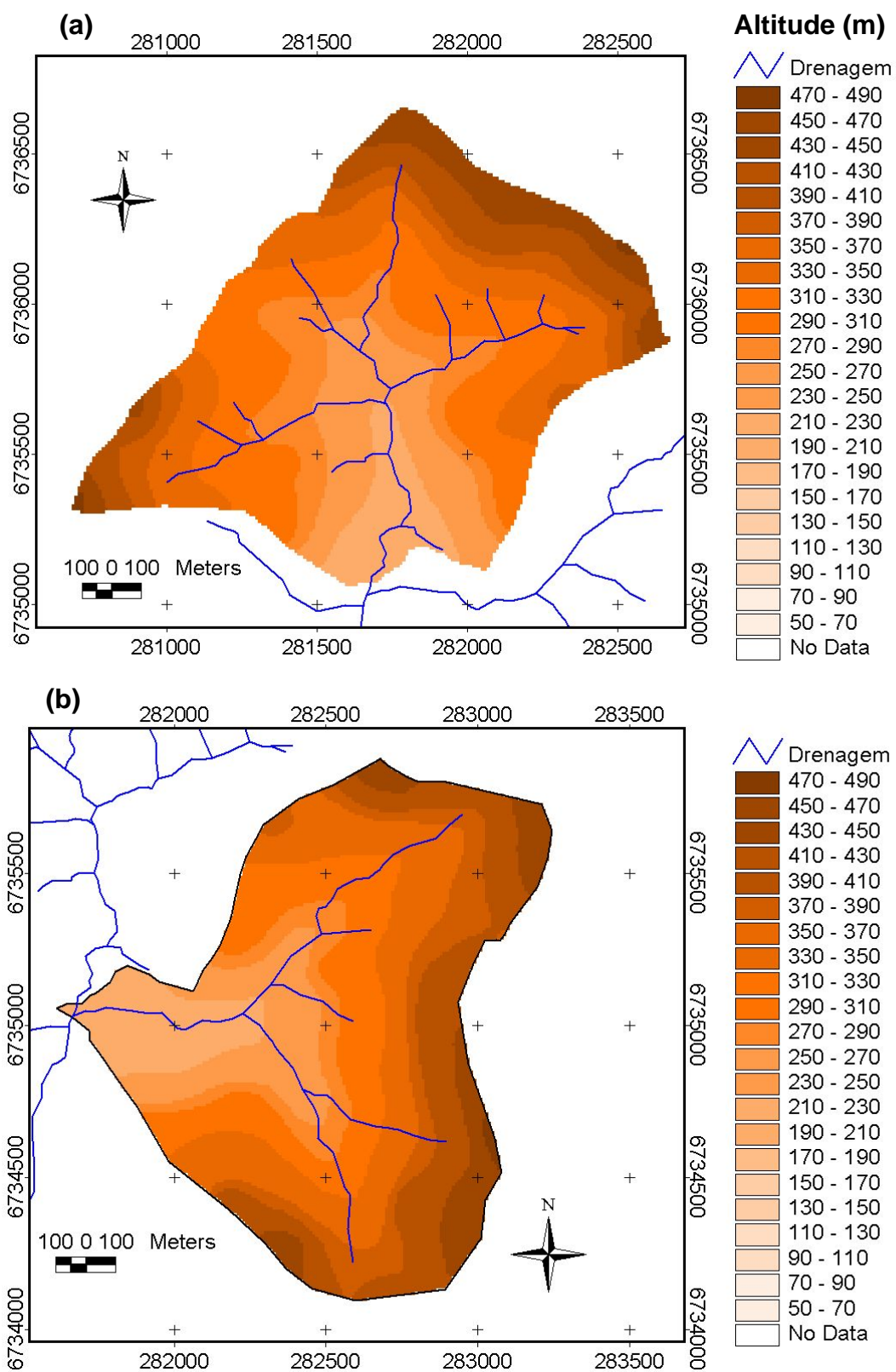


Figura 31 - MNT (Modelo Numérico do Terreno) da área de captação da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS. (a) braço esquerdo de captação; (b) braço direito de captação.

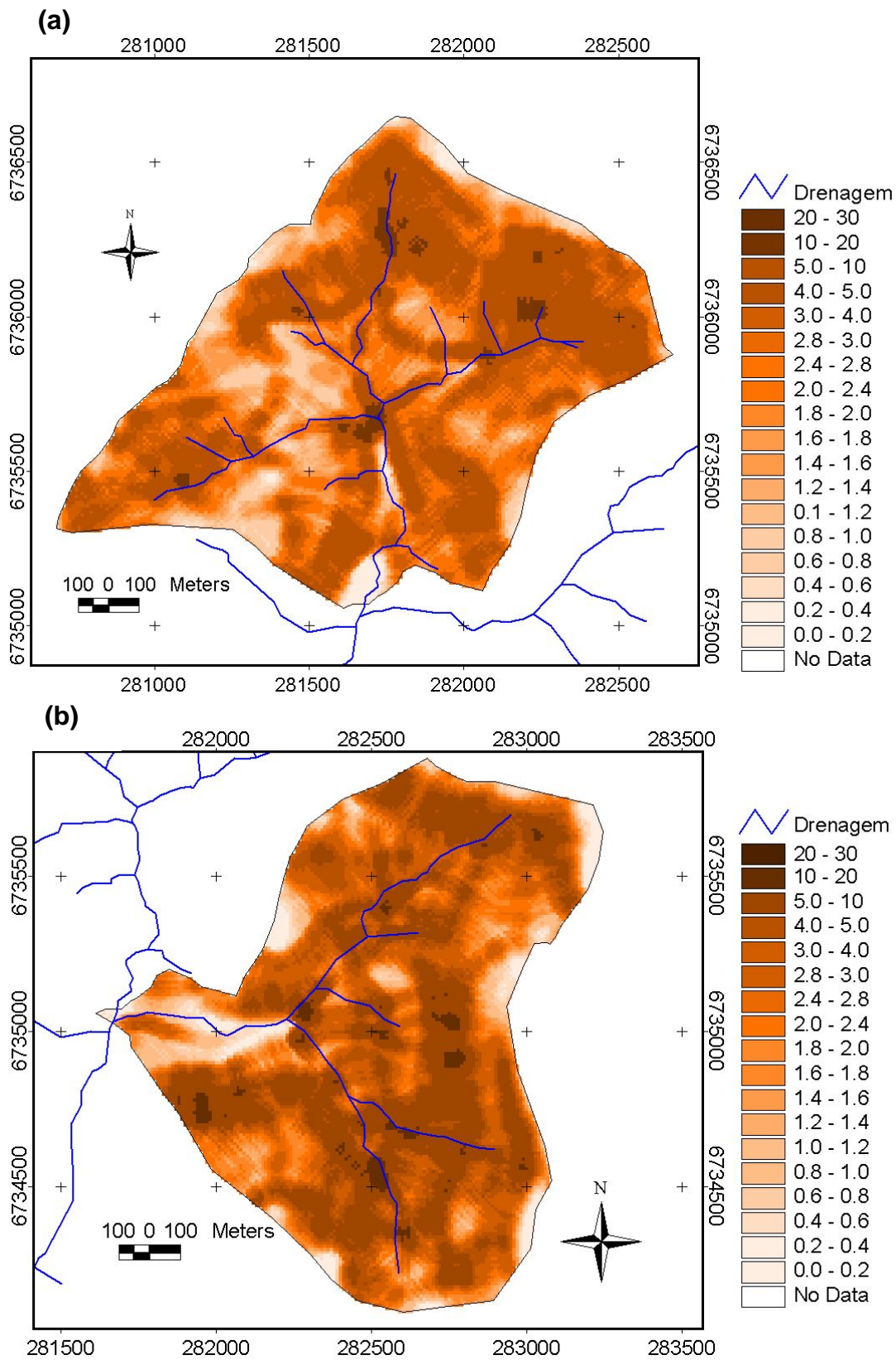


Figura 32 - Mapa com a distribuição do fator LS (comprimento e grau do declive) da área de captação da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS. (a) braço esquerdo de captação; (b) braço direito de captação.

6.9 Curva-chave para estimativa do fluxo de sedimentos

A Tabela 8 apresenta os resultados do fluxo de sedimentos calculado (qss_c) e estimado (qss_e) dos cinco eventos monitorados no ano de 2005, totalizando 301 amostragens de sedimentos em suspensão, e as estimativas dos erros. Os valores de qss_e foram determinados pelos ajustes (linear e polinômio de segundo grau) mostrados na Tabela 9.

Tabela 8 - Resultados de ajuste e coeficiente de determinação (r^2) das curvas-chave de fluxo de sedimentos.

N° de amostras	Equação de ajuste linear	r^2	Equação de ajuste polinomial	r^2
371	$y = 1,6397x - 1,7854$	0,72	$y = 0,308x^2 - 0,1366x + 0,7004$	0,73

Tabela 9 - Resultados de descarga sólida calculada (qss_c) e estimada (qss_e) com as curvas-chave para as datas de coleta de amostras e as suas estimativas de erros.

Variável	Data de coleta (dd/mm/aa)					Erro (%)
	10/09/05	11/09/05	24/09/05	04/10/05	24/11/05	
qss_c (Mg)	81,599	604,972	46,305	61,549	8,501	
qss_e (Mg) Ajuste linear	35,59	568,67	61,04	113,47	3,75	36
qss_e (Mg) Ajuste polinomial	32,99	654,67	62,07	110,05	4,05	26

Pode-se observar que o ajuste polinomial teve um maior coeficiente de determinação (r^2) (Tabela 8) e menor estimativa dos erros (Tabela 9) entre o

somatório dos valores calculados e estimados. Merten et al. (2006) também observaram que o ajuste polinomial foi melhor do que o linear, diminuindo a estimativa dos erros para os postos (bacias) monitorados, incluídos no Brasil e Estados Unidos.

Esperava-se um melhor coeficiente de determinação pelos modelos ajustados. No entanto, devido ao provável fato de um número considerável de amostras (301) coletadas durante os eventos de chuva-vazão, outros fatores que não só a vazão explicam a baixa da correlação entre qss vs Q. Walling & Web (1988 apud MERTEN et al., 2006), consideram os efeitos da influência da sazonalidade na produção de sedimentos, a falta de coincidência entre os picos de concentração de sedimentos e de vazão durante os eventos e o efeito histerese.

A Figura 33 mostra os gráficos dos modelos ajustados para a obtenção das curvas-chaves.

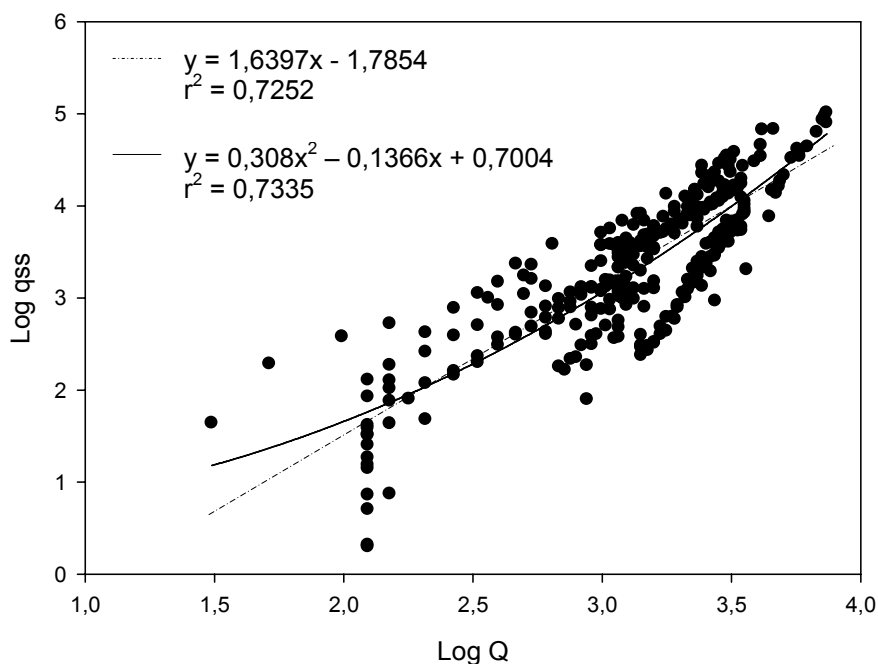


Figura 33 - Curva-chave para determinação do fluxo de sedimentos com os ajustes de um modelo linear (linha cheia) e polinomial (linha tracejada).

A partir da determinação das curvas-chaves de sedimentos, foi estimada a produção de sedimentos mensal e anual. Para isso, foi utilizada a curva-chave

obtida pelo modelo polinomial em função de ter apresentado a menor estimativa de erros.

Na equação da curva-chave, a variável dependente é o logaritmo das vazões medidas. O resultado disso foi a estimativa do qss em escala logarítmica. Após foi feito o anti-logaritmo da estimativa do qss (escala logarítmica), resultando assim na qss para determinada vazão. A integração dos valores obtidos resultou na produção de sedimentos mensal (Figura 34).

Observando a Figura 34, tem-se que os meses que apresentaram a maior produção de sedimentos foram setembro (1.346,21 Mg) e outubro (1.173,97 Mg). Por outro lado, os meses que apresentaram a menor produção de sedimentos foram fevereiro (54,36 Mg) e março (76,40 Mg). O comportamento do gráfico da Figura 34 teve similaridade com o comportamento do gráfico de erosividade da chuva apresentado anteriormente.

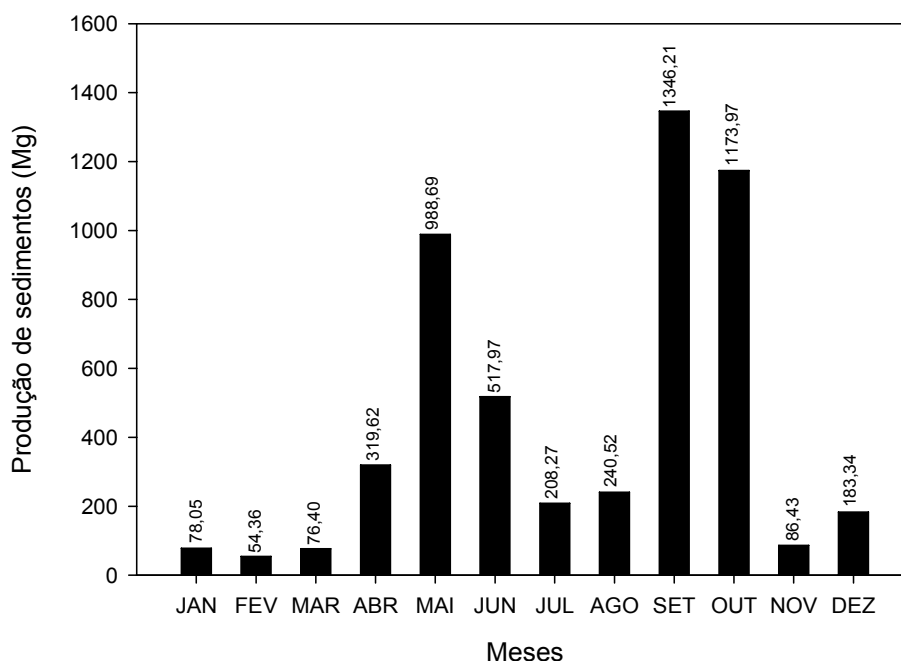


Figura 34 - Estimativa da produção de sedimentos para o ano de 2005 com curva-chave de ajuste polinomial.

A estimativa total anual de produção de sedimentos, para 2005, foi de 5.273,83 Mg. Essa produção é oriunda da área de captação da bacia que

corresponde a 332 ha. Considerando que toda essa área estivesse contribuindo para a produção de sedimentos, a perda de solo da camada superficial por erosão hídrica seria de aproximadamente $0,13 \text{ cm ha}^{-1}$ ano. Esse valor ultrapassa os valores de tolerância de perdas de solo encontrados por Bertol & Almeida (2000), para as mesmas classes solo encontradas na PBHR em estudo, que foi de $0,02 \text{ cm}$ ano. Diante de tal fato, o mesmo autor afirma que a degradação dos solos é alta, assim como a perda da sua capacidade produtiva. Corroborando com esses resultados, Schumm & Harvey (1982) afirmam que, para diversos solos encontrados nos Estados Unidos que as taxas de formação desses variam de $0,002$ a $0,05 \text{ cm}$ ano.

No entanto, nem toda a área da bacia tem contribuição significativa para a produção de sedimentos. Minella (2003) e Minella et al. (2007) encontraram, em estudos discriminatórios das fontes de sedimentos, na PBHR em questão, que as áreas que realmente contribuem para a produção de sedimentos foram as lavouras e as estradas com, respectivamente, $68,33\%$ e $28,10\%$ dos sedimentos erodidos, seguido das drenagens, com $3,57\%$. Em 2005, as áreas de lavouras da área de captação da PBHR eram de, em média, $105,42 \text{ ha}$. Com isso, a quantidade de solo erodida das áreas de lavouras foi de, aproximadamente, $0,28 \text{ cm ha}^{-1}$ ano, enquanto que das áreas de estradas foi de aproximadamente $0,12 \text{ cm ha}^{-1}$ ano.

Então as perdas por erosão hídrica desses solos da PBHR estão muito acima dos valores de suas taxas de formação e também das perdas toleráveis de solo. Isso indica a insustentabilidade desses solos perante o atual uso agrícola com a cultura do fumo.

7 CONCLUSÕES

1. A pequena bacia hidrográfica em estudo representa as condições de degradação de solo e de água, característica essa de bacias hidrográficas de cabeceira do Sul do Brasil;
2. As áreas de lavoura vêm aumentando no decorrer dos anos, com diminuição das áreas de vegetação natural;
3. Os processos hidrossedimentológicos (produção de sedimentos e vazão) são aumentados em decorrência das características da precipitação, principalmente da alta quantidade e intensidade de chuvas;
4. O tempo de concentração da bacia é de, aproximadamente, 12 minutos, mostrando que num pequeno tempo, a partir do início da chuva, toda a bacia passa a contribuir para o escoamento;
5. A maior umidade do solo no início do evento de chuva-vazão determinou em um evento o aumento exacerbado da produção de sedimentos, mostrando ter influência direta para tal;
6. As chuvas apresentaram maior índice de erosividade no segundo semestre do ano de 2005, coincidindo com a época de preparo do solo para o plantio da cultura do fumo e permanência da mesma nas áreas;
7. O lado direito da bacia e que corresponde ao braço direito de captação de água contribui com, aproximadamente, 80% dos sedimentos erodidos. Isso foi relacionado principalmente com fatores como o uso do solo, fator topográfico e a presença de estradas e ravinas em lavouras;

8. O mapa com a distribuição do fator topográfico (LS) mostrou que as áreas com valores mais elevados de LS estão no lado direito da área de captação da bacia, indicando ser esse o ambiente com maiores problemas de erosão;
9. A curva-chave para a estimativa anual da produção de sedimentos mostrou eficácia e correlação com dados de precipitação e de vazão;
10. O sistema de uso atual da PBHR é insustentável perante o ponto de vista de degradação do agroecossistema.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Perante a busca mundial e contínua na atenuação dos impactos ambientais ocasionados pela agricultura, é catastrófica a degradação ambiental que se faz presente na pequena bacia hidrográfica rural em estudo.

O homem em uma escala de tempo relativamente curto (alguns anos), destrói o que a natureza levou centenas de anos para construir. O solo que é erodido nesse ambiente em apenas um ano, a natureza demorou aproximadamente cem ou mais anos para compô-lo.

A natureza é bela e perfeita, no entanto dela “colhemos os frutos que plantamos”. Por isso, é lamentável o fato de ter que pensar que caso não haja uma amenização das condições de degradação atuais e da derrubada de matas na busca de um “pedaço” a mais de terra para plantar, daqui há alguns séculos (ou anos talvez) a área da bacia poderá estar desabitada pelo homem, pela flora e pela fauna. Isso decorre do simples fato de que o homem que ali vive hoje, de uma forma desenfreada e sem pensar nas gerações futuras, impulsionado pelas empresas fumageiras e seus “pacotes tecnológicos”, degrada, polui e consome alguns anos de sua própria vida no trabalho escravo a que é submetido através das condições de cultivo do fumo. E tudo isso em busca de maiores lucratividades e produtividades com a cultura, utilizando áreas íngremes e sem suporte ao uso.

É urgente por parte dos órgãos governamentais na implementação e fazer agir as políticas de preservação nessa bacia e em outras devastadas ou em processo de devastação. A preservação do meio na bacia em questão se faz importante. Medidas cabíveis e fáceis de serem tomadas incluem maiores cuidados em áreas que sofrem maior processo erosivo devido à declividade do terreno, fragilidade dos solos e manejo da cultura. Então citam-se como alternativas: a diminuição na intensidade da exploração agrícola e a criação de áreas de preservação permanente. Mas para que surtam efeito, essas duas alternativas devem ser trabalhadas juntas. Outro ponto importante seria um melhor planejamento na alocação das estradas, já que a contribuição na produção de sedimentos por parte dessas é de aproximadamente 30%.

Finalizando, ressalta-se que a recuperação do meio na bacia deva ser possível, a médio e longo prazo. Basta a conscientização geral da sociedade e dos agricultores que sobrevivem no local, para que se agreguem e comecem a trabalhar na remediação das áreas degradadas. Nós como técnicos estamos mostrando os possíveis caminhos a serem trilhados; no entanto, parece estar faltando uma ponte de ligação que torne possível alcançá-los de forma satisfatória.

As gerações futuras e o meio ambiente agradecerão pelas ações conservacionistas feita pelo homem no sentido da conservação dos recursos hídricos da bacia em estudo ou outras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFUBRA. Distribuição fundiária dos fumicultores no sul do Brasil, 2005. Disponível em: <<http://www.afubra.com.br>>. Acesso em: 12 jul. 2006.

AHMADI, S. H.; AMIN, S.; KESHAVARZI, A. R.; MIRZAMOSTAFA, N. Simulating Watershed Outlet Sediment Concentration using the ANSWERS Model by applying Two Sediment Transport Capacity Equations. **Biosystems Engineering**, v. 94, n.4, p. 615–62, 2006.

AMORE, E.; MODICA, C.; NEARING, M. A.; SANTORO, V. C. Scale effect in USLE and WEPP application for soil erosion computation from three Sicilian basins”. **Journal of Hydrology**. v.293, p.100-114, 2004.

ATLAS. **Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul**. 2006. Disponível em: <<http://www.scp.rs.gov.br/atlas/atlas.asp?menu=547>>. Acesso em: 12 jan. 2007.

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

BELLÓ, S. L. **Avaliação do impacto da ocupação urbana sobre as características hidrossedimentométricas de uma pequena bacia hidrográfica de encosta**. 2004. 161f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS.

BERTOL I. & ALMEIDA J. A. Tolerância de perda de solo por erosão para os principais solos do estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 3, p. 657-668, 2000.

BICALHO, C. C.; KOIDE, S.; LIMA, J. E. F. W. Estudo preliminar do fluxo de sedimentos em suspensão na bacia do rio descoberto. **VII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos**. IPH/UFRGS, Porto Alegre – RS. 2006. CD ROM.

BORDAS, M. P.; SEMMELMANN, F. R. Elementos de engenharia de sedimentos. In: TUCCI, C. E. (org.) **Hidrologia: Ciência e Aplicação**, 2. Porto Alegre: ABRH: Editora da Universidade, p. 915-939, 1997.

BORTOLUZZI, E. C.; RHEINHEIMER D. S.; GONÇALVES C. S.; PELLEGRINI, J. B. R.; KURZ, M. H. S.; MARONEZE, A. M.; ZANELLA, R. Occurrence of pesticides in

surface waters from three Rio Grande do Sul watersheds - Brazil. **Journal of Environmental Quality**. 2005.

BUCKMANN, H. O. & BRADY, N. C. **Natureza e Propriedades dos Solos**. 4 Ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1976. 595p.

CABEDA, M. S. V. Degradação física e erosão do solo. In: **1º Simpósio de Manejo do Solo e Plantio Direto do Sul do Brasil**, Passo Fundo – RS, Anais... Universidade de Passo Fundo, p.28-35. 1984.

CAIADO, M. A. C. **Inter-relações entre ambientes e qualidade das águas do Rio Itapemirim**. 1994. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória – ES.

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

CARVALHO, N. O. Técnicas hidrossedimentométricas. **I Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos**. 1991. CD ROM do VII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. IPH/UFRGS, Porto Alegre – RS. 2006. CD ROM.

CARVALHO, N. O.; FILIZOLA JUNIOR, N. P.; SANTOS, P. M. C.; LIMA, J. E. F. W. **Guia de Práticas Sedimentológicas**. Agência Nacional de energia elétrica. Brasília – DF. 2000.

CHEVALLIER, P. Aquisição e Processamento de Dados. IN: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, p. 485 – 525, 2003.

CLARKE, R. T. & MERTEN, G. Quantificação das incertezas nas estimativas do fluxo de sedimentos em suspensão, gerados a partir de uma curva-chave. In: **VII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos**. IPH/UFRGS, Porto Alegre – RS. 2006. CD ROM.

COLLINS, A. L. & WALLING, D .E. Selecting fingerprint properties for discriminating potential suspended sediment sources in river basins. **Journal of Hydrology**, V. 261, p. 218-244, 2002.

CORCINI, A. L. M.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; SEQUINATTO, L.; GONÇALVES, C. S. Caracterização técnica e socioeconômica de pequenos

fumicultores de Agudo/RS. **XVI Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água**. Novos desafios do carbono no manejo conservacionista. Aracajú - SE, 2006. CD ROM.

DALMOLIN, R. S. D.; PEDRON, F. A.; AZEVEDO, A. C.; ZAGO, A. **Levantamento semidetalhado de solos da microbacia do arroio Lino-Município de Agudo (RS)**. Santa Maria – RS, 2004. 84p.

DENARDIM, J. E. Manejo adequado do solo em áreas mecanizadas. In: **1º Simpósio de Manejo do Solo e Plantio Direto do Sul do Brasil. Passo Fundo - RS**. Anais... Universidade de Passo Fundo, p.107-123, 1984.

DESCHEEMAER, K. ; NYSSSEN, J.; POESEN, J.; RAES D.; HAILE, M.; MUYS, B.; DECKERS, S. Runoff on slopes with restoring vegetation: A case study from the Tigray highlands, Ethiopia. **Journal of Hydrology**, v. 331, p. 219-241, 2006.

DESMET, P. J. J. GOVERS, G. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographic ally complex landscape units. **Journal of Soil and Water Conservation**. v. 51, p. 427-433, 1996.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. EMBRAPA Solos, Rio de Janeiro – RJ, 1999. 412p.

FOSTER, G. R.; McCOOL, d. K.; RENARD, K. G.; MOLDENHAUER, W. C. Conversion of the universal soil-loss equation to SI metric units. **Journal Soil Water conservation**, Ankeny, v. 36, p. 355-359, 1981.

GARCÍA-RUIZ, J.M., ARNÁES, J., BEGUERÍA, S., SEEGER, M., MARTÍ-BONO, C., REGÜÉS, D., LANA-RENAULT, N., WHITE, S. (2005) "Runoff generation in a intensively disturbed, abandoned farmland catchment, Central Spanish Pyrenees". **Catena**, v. 59, p. 79-92, 2005.

GENOVEZ, A. M. Vazões máximas. In: **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. In: PAIVA, E. M. C. D. & PAIVA, J. B. D. Porto Alegre: ABRH, p. 33-112, 2001.

GONÇALVES, C. **Qualidade de águas superficiais na microbacia hidrográfica do Arroio Lino, Nova Boêmia – Agudo – RS**. 2003. 104f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS.

GOUVÊIA, M. I. F. Prevenção e conscientização no controle de erosão. **I Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos**. 1991. CD ROM do VII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. IPH/UFRGS, Porto Alegre – RS. 2006. CD ROM.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Área cultivada com fumo no RS, 2005. Disponível em: <<http://www.ibge.com.br>>. Acesso em: 14 dez. 2006.

JULIEN, P. Y. **Erosion and Sedimentation**. Cambridge University Press, Cambridge, 1998. 280p.

KAISER, D. R. **Nitrato na solução do solo e na água de fontes para consumo humano numa microbacia hidrográfica produtora de fumo**. 2006. 111 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS.

KIM, H. J., SIDLE, R. C., MOORE, R. D. Shallow lateral flow from a forested hillslope: Influence of antecedent wetness. **Catena**, v. 60, p. 293-306, 2005.

KNOX J. C. Agricultural influence on landscape sensitivity in the Upper Mississippi River Valley. **Catena**, v. 42, p. 193-224, 2001.

LI, G.; ABRAHAMS, A. D. Controls of sediment transport capacity in laminar interrill flow on stone-covered surfaces. **Water Resources Research**, v. 35, p. 305–310, 1999.

LIMA, E. R. V. de; KUX, H. J. H.; SAUSEN, T. M. Sistema de informação geográfica e técnicas de sensoriamento remoto na elaboração de mapas de risco de erosão no sertão da Paraíba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, n. 2, p. 257-263, 1992.

MACHADO, R. E. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnica de modelagem e geoprocessamento**. 2002. 166 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior Luiz de Queiroz. Piracicaba, São Paulo - SP.

MARTINS, E. S. P. R. & PAIVA, J. B. D. **In: Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. In: PAIVA, E. M. C. D. & PAIVA, J. B. D. Porto Alegre: ABRH, p. 531-566, 2001.

MERTEN, G. H.; HOROWITZ, A. J.; CLARKE, R. T.; GOMES, J. P. M.; PICKBRENNER, K.; PINTO, M. C. F. Considerações sobre a utilização da curva-chave para determinação de fluxo de sedimentos. **VII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos**. IPH/UFRGS, Porto Alegre – RS. 2006. CD ROM.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. G. Integração dos enfoques do processo de erosão hídrica. In: **Reunião Brasileira de Uso, Manejo e Conservação do Solo e da Água**, Cuiabá, MT. 2002. CD ROM.

MEYER, L. D.; WISCHMEIER W. H. Mathematical simulation of the processes of soil erosion by water. **Transactions of the ASAE**, 12, 754–758, 1969.

MINELLA, J. P. G. **Identificação de fontes de produção de sedimentos em uma pequena bacia rural**. 2003. 80f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H.; REICHERT, J. M.; RHEINHEIMER D. S. Identificação das fontes de sedimentos em duas bacias rurais de cabeceira: implicações para a conservação do solo na escala de bacia hidrográfica. In: **Revista Brasileira de Ciência do Solo (RBCS)**. 2007, em revisão.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H.; RIBEIRO, G. S. Estimativa da umidade antecedente do solo e sua influência na produção de sedimentos. **VII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos**. IPH/UFRGS, Porto Alegre – RS. 2006.

MOORE , I. D.; BURCH, G. L. Modeling erosion and deposition: topographic effects. **Transaction of the ASAE**, v. 20, n. 6, p. 1624-1630, 1986.

PAIVA, E. M. C. D. Rede de monitoramento hidrológico. In: **Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas**. In: PAIVA, E. M. C. D. & PAIVA, J. B. D. Porto Alegre: ABRH, p. 493-506, 2001.

PARKER, D. B.; MICHEL, T. G.; SMITH, J. L. Compaction and water velocity effects on soil in shallow flow. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 121, n. 2, p. 170-178, 1995.

PEDRON, F. A.; RUBERT, C.; MACHADO, R.; AZEVEDO, A. C.; ZAGO, A. Caracterização da paisagem em uma microbacia na depressão central do RS, através do SIG, para fins de monitoramento ambiental. In: **Reunião Brasileira de Uso, Manejo e Conservação do Solo e da Água**, Cuiabá – MT, 2002. CD ROM.

PELLEGRINI, A. **Sistemas de cultivo da cultura do fumo com ênfase às práticas de manejo e conservação do solo**. 2006. 88f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria - RS.

PELLEGRINI, J. B. R. **Fósforo na água e no sedimento na Microbacia Hidrográfica do Arroio Lino – Agudo- RS**. 2005. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria - RS.

PEÑALVA BAZZANO, M. G.; ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A. Erosividade, coeficientes de chuva, padrões e períodos de retorno das chuvas de Quaraí, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2006, em revisão.

PINTO, G. G. & BANDEIRA, J. V. Equipamentos para a medição in situ da concentração de sedimentos em suspensão. **I Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos**. 1991. CD ROM do VII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. IPH/UFRGS, Porto Alegre – RS. 2006. CD ROM.

QUINN, P.; BEVEN, K.; CHEVALIER, P.; PLANCHON, O. The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modeling using digital terrain models. **Hydrological Processes**, v. 5, p. 59-79, 1991.

REICHERT, J. M. WOHELEMBERG, E.V.; SILVEIRA M.J. Erosão em entressulcos sob distintas intensidades de chuva, declividade do solo e horizonte do solo. In: PAIVA, E.M.C.D. & PAIVA, J.B.D. **Caracterização quali- quantitativa da produção de sedimentos**. 1. ed. Santa Maria: ABRH, UFSM, p. 81-97, 2001.

REICHERT, J. M. et al. Caracterização física dos solos. In: RHEINHEIMER, D.S. (editor). **Caracterização física, química e biológica dos solos na microbacia hidrográfica do Arroio Lino, Nova Boêmia, Agudo – RS**. Santa Maria, RS. Relatório Técnico. Ano I. p. 17-27, 2001.

REICHERT, J. M. et al. Caracterização física dos solos. In: RHEINHEIMER, D.S. (editor). **Caracterização física, química e biológica dos solos na microbacia hidrográfica do Arroio Lino, Nova Boêmia, Agudo – RS**. Santa Maria, RS. Relatório Técnico. Ano II. p. 19-30, 2003.

RENARD K. G. & FREIMUND J. R. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. **Journal of hydrology**, v. 157, p. 287–306, 1994.

RHEINHEIMER, D. S. et al. Caracterização química dos solos. In: RHEINHEIMER, D.S. (editor). **Caracterização física, química e biológica dos solos na microbacia**

hidrográfica do Arroio Lino, Nova Boêmia, Agudo – RS. Santa Maria, RS. Relatório Técnico. Ano I. 2001.

RHEINHEIMER, D. S. et al. Caracterização química dos solos. In: RHEINHEIMER, D. S. (editor). **Caracterização física, química e biológica dos solos na microbacia hidrográfica do Arroio Lino, Nova Boêmia, Agudo – RS.** Santa Maria, RS. Relatório Técnico. Ano II. 2003.

RONCATO, M. L.; ELTZ, F. L. F.; GRAMINHO, D. H.; STEFANELO, C.; FIQUEIREDO, J. V.; PEDROSO, R. F. Erosividade mensal das chuvas de Santa Maria de abril de 1996 a março de 2004. **Xv Reunião Brasileira De Manejo E Conservação do Solo e da Água.** Santa Maria – RS, 2004. CD ROM.

SALTON, J. C.; MIELNIZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico vermelho-escuro de Eldorado do Sul (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** v.19, n.2, p.313-319,1995.

SEQUINATTO, L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; KAISER, D. R.; CORCINI, A. L. M. Quantidade de sedimentos escoados durante eventos chuvosos numa microbacia rural. **Reunião Brasileira de Uso, Manejo e Conservação do Solo e da Água,** Aracajú - PE, 2006. CD ROM. a.

SEQUINATTO, L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; RHEINHEIMER, D. S.; COPETTI, A. C. C. Contaminação da água por agrotóxicos numa microbacia cultivada com fumo. **Reunião Brasileira de Uso, Manejo e Conservação do Solo e da Água,** Aracajú - PE, 2006. CD ROM. b.

SEQUINATTO, L.; COPETTI, A. C. C.; REICHERT, J. M.; RHEINHEIMER, D. S.; REINERT, D. J.; KAISER, D. R.; CORCINI, A. L. M. Concentração de fósforo na água e no sedimento produzido numa chuva em pequena bacia hidrográfica produtora de fumo. **VI Reunião Sul-Brasileira de Ciência do Solo.** Passo Fundo - RS, 2006, CD ROM. c.

SIMÕES, S. J. C.; COIADO, E. M. Processos erosivos. In: **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas.** PAIVA, E.M.C.D & PAIVA, J.B.D. Porto Alegre: ABRH, p. 283-293, 2001.

SCHUMM S. A.; HARVEY M. D. Natural Erosion in the USA. In: **Determinants of Soil Loss Tolerance.** Schmidt, B. L. ed., American Society of Agronomy, n. 45, p. 15 – 22, 1982.

UNESCO. **Recent Developments In Erosion And Sediment Yields Studies**. IHP-II Project A.1.3.1. 1985. 127p.

TAPIA-VARGAS, M.; TISCAREÑO-LÓPEZ, M.; STONE, J. J.; OROPEZA-MOTA, J. L. VELÁZQUEZ-VALLE, M. Tillage system effects on runoff and sediment yield in hillslope agriculture. **Field Crops Research**, n. 39, p. 173-182, 2006.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2 ed. Porto Alegre: Editora da Universidade: ABRH. 1993. 943p.

TORRI, D.; REGÜÉS, D.; PELLEGRINI, S.; BAZZOFFI, P. "Within-storm soil surface dynamics and erosive effects of rainstorms". **Catena**, v. 38, p.131-150. 1999.

VEZINA, K.; BONN, F.; VAN, C. P. Agricultural land-use patterns and soil erosion vulnerability of watershed units in Vietnam's northern highlands. **Landscape Ecology**, v. 21, p.1311–1325, 2006.

VOLK, L. B. S.; COGO, N. P.; PORTZ, G.; RECK, J. P. D. Interrelação estabilidade de agregados – rugosidade superficial do solo – tamanho de sedimentos na enxurrada da erosão. **Reunião Brasileira de Uso, Manejo e Conservação do Solo e da Água**. Aracajú - PE, 2006. CD ROM.

WALLING D. E. Recent trends in the suspended sediment loads of the world's rivers. **Global and Planetary Change**, v. 39, p. 111– 126, 2003.

WALLING D. E. Tracing suspended sediment sources in catchments and river systems. **Science of the Total Environment**, v. 344, p. 159– 184, 2005.

WATUNG, R.L.; SUTHERLAND, R.A.; EL-SWAIFY, S.A. Influence of rainfall energy flux density and antecedent soil moisture content on splash transport and aggregate enrichment ratios for a Hawaiian Oxisol. **Soil Technology**, v. 9, p.251-272, 1996.

WISCHMEIER W.H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning. **Supplement to Agriculture Handbook**. USDA, Washington DC, USA, n. 537, p 58, 1981.

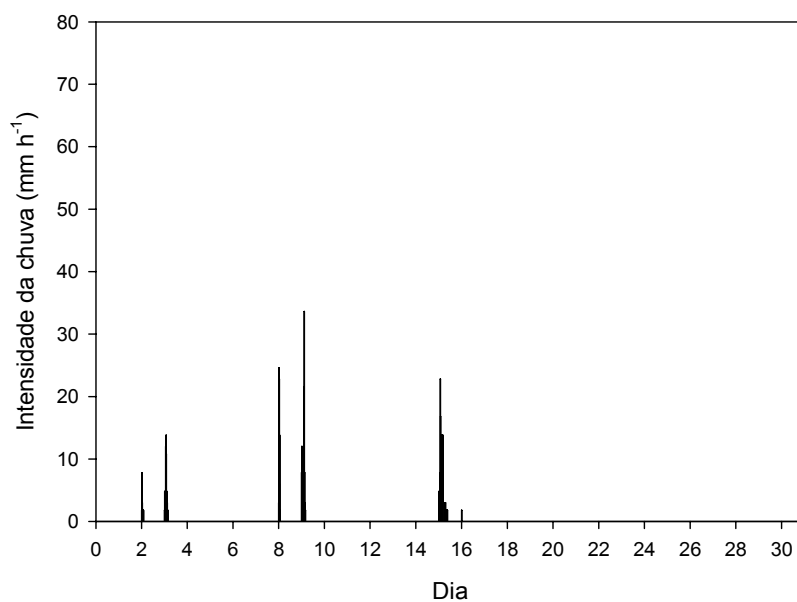
WISCHMEIER W.H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Transactions of the American Geophysical Union**, v. 39, p. 284-291, 1978.

WILSON, J.P. & GALLANT, J.C. EROS: A grid-based program for estimating spatially-distributed erosion indices. **Computers & Geosciences**, v. 22, n.7, p. 707-712, 1996.

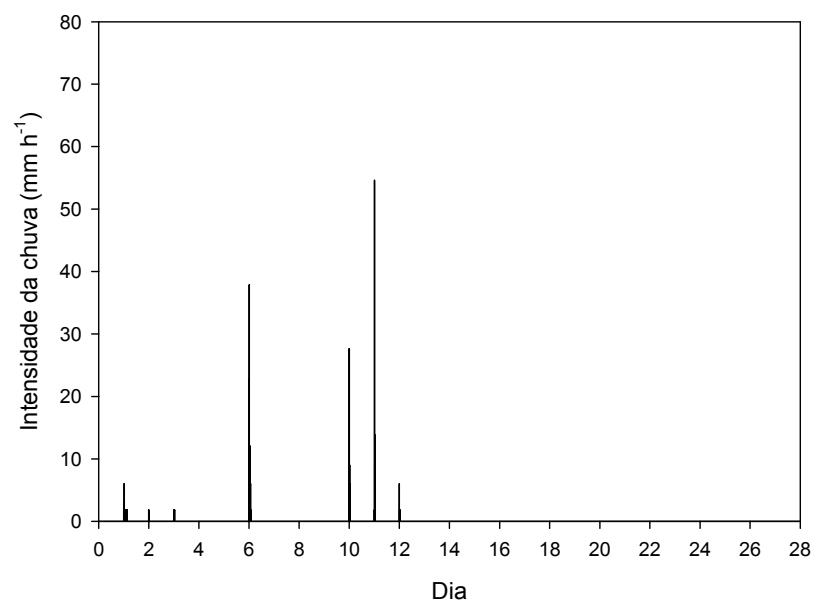
WU, J.; HOBBS R. Key issues and research priorities in landscape ecology: an idiosyncratic synthesis. **Landscape Ecology**, v.17, p. 355–365, 2002.

APÊNDICES

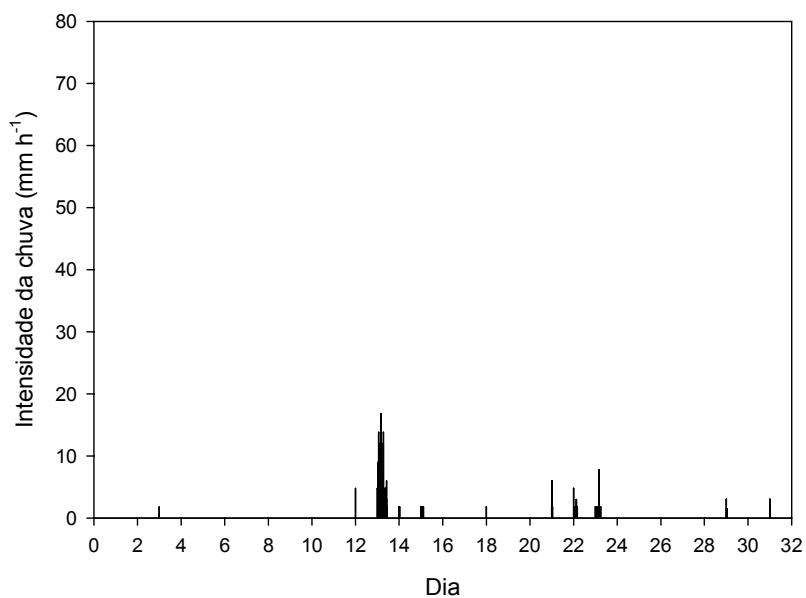
APÊNDICE A - Intensidade da chuva nos dias do mês de janeiro de 2005 na Pequena Bacia Hidrográfica Rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo -RS.



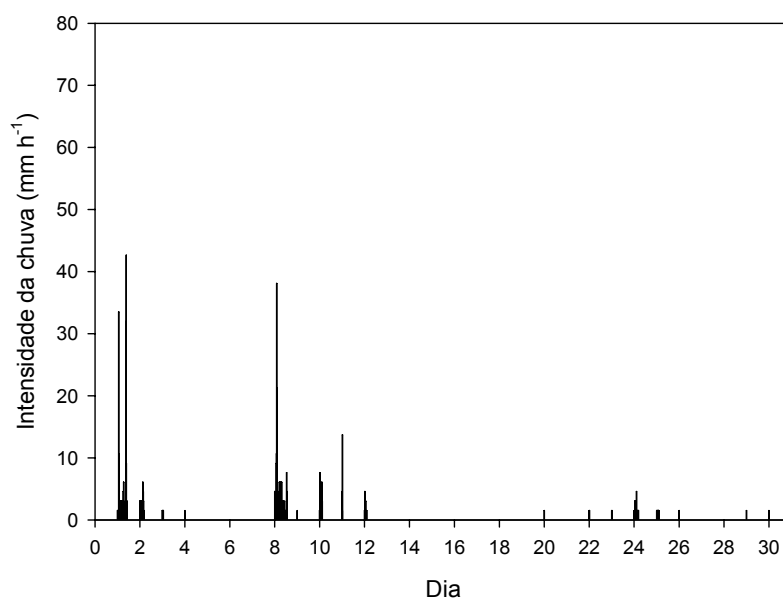
APÊNDICE B - Intensidade da chuva nos dias do mês de fevereiro de 2005 na pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo -RS.



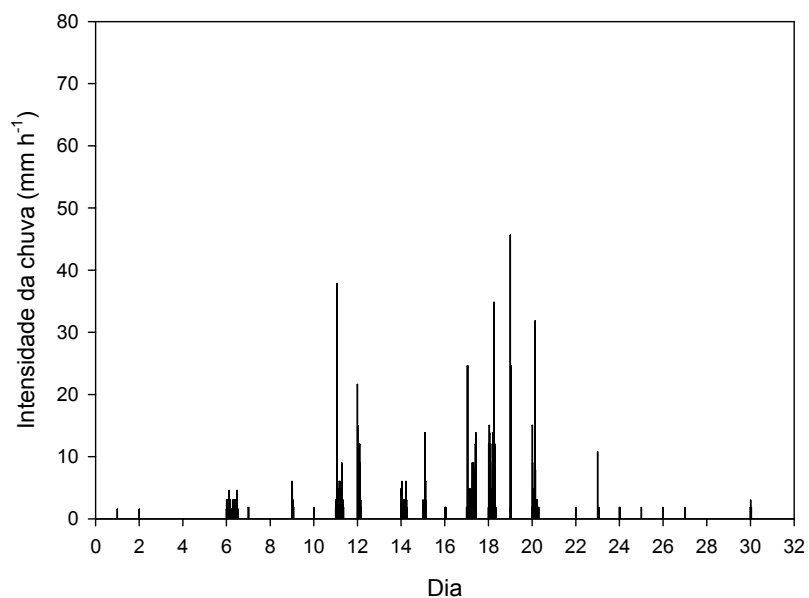
APÊNDICE C - Intensidade da chuva nos dias do mês de março de 2005 na pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo -RS.



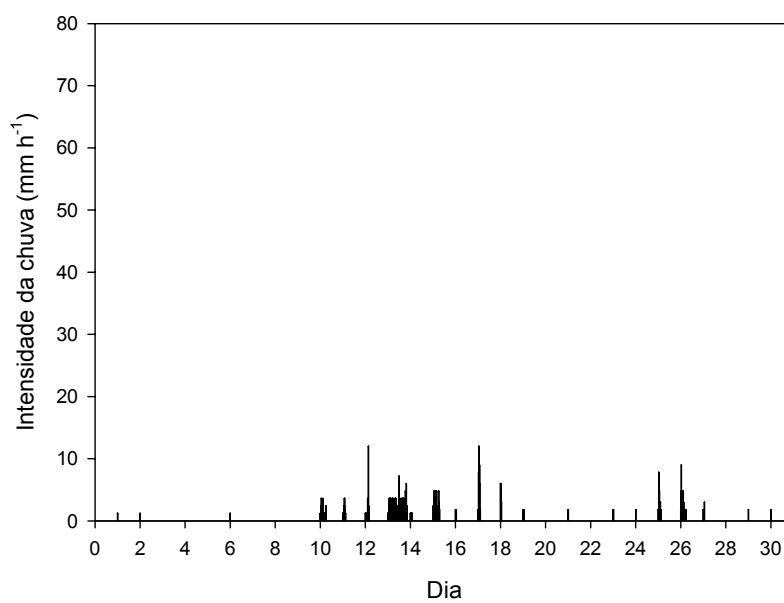
APÊNDICE D - Intensidade da chuva nos dias do mês de abril de 2005 na pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo -RS.



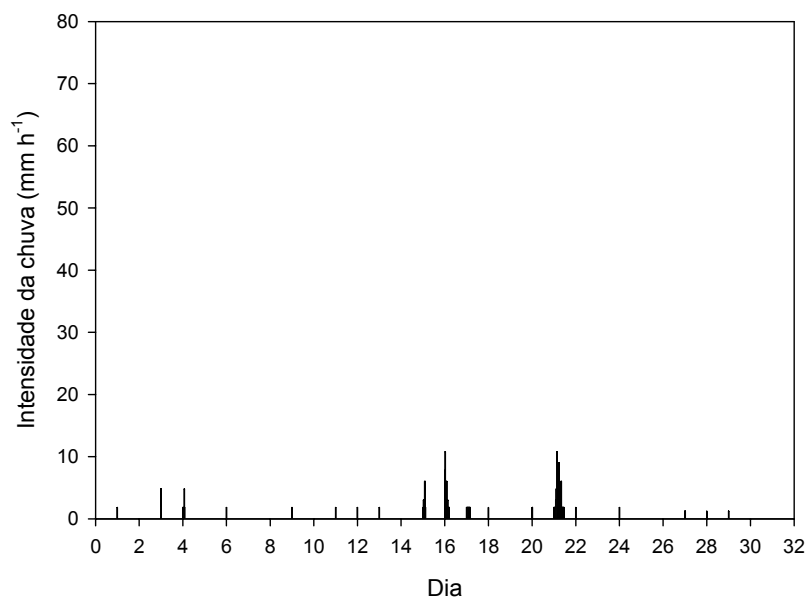
apêndice e - intensidade da chuva nos dias do mês de maio de 2005 na pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo -RS.



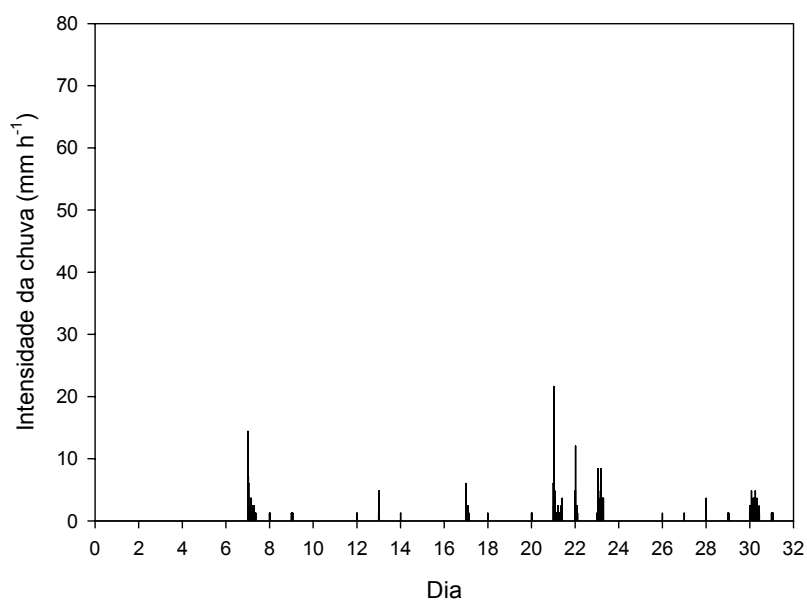
APÊNDICE F - Intensidade da chuva nos dias do mês de junho de 2005 na pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo -RS.



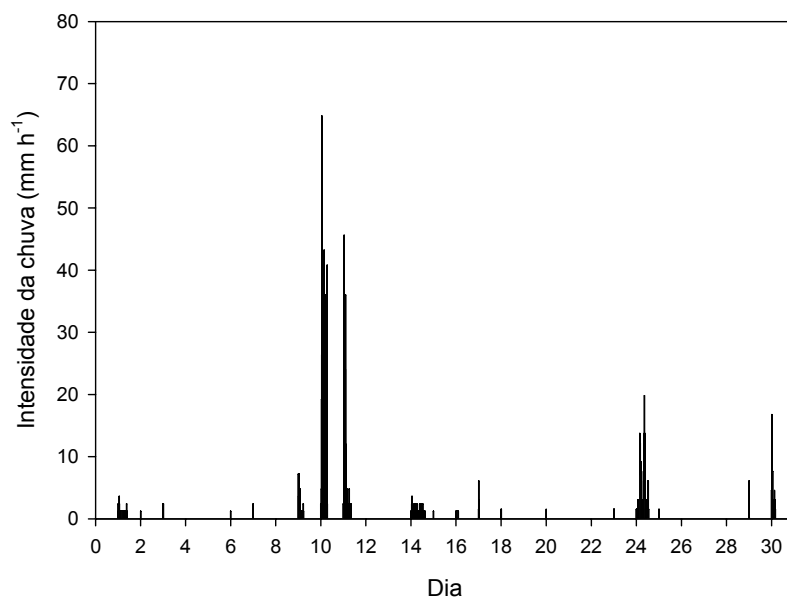
APÊNDICE G - Intensidade da chuva nos dias do mês de julho de 2005 na pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo -RS.



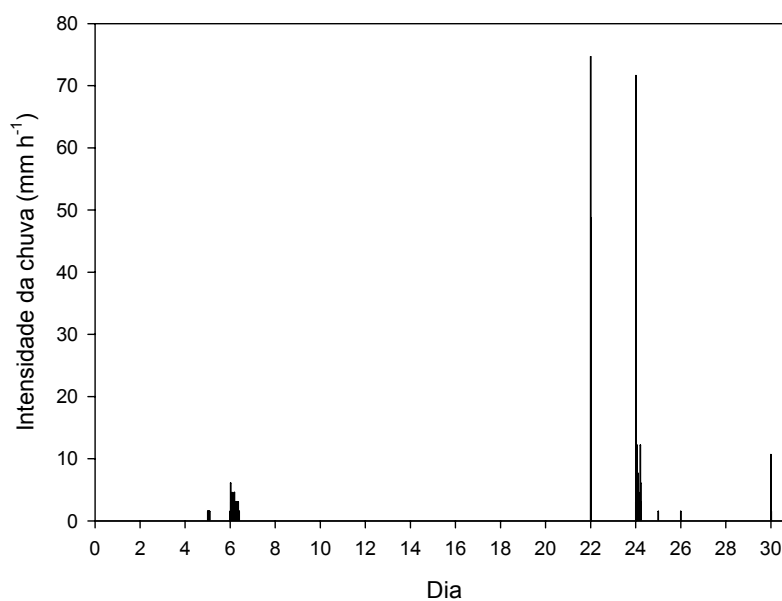
APÊNDICE H - Intensidade da chuva nos dias do mês de agosto de 2005 na pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo -RS.



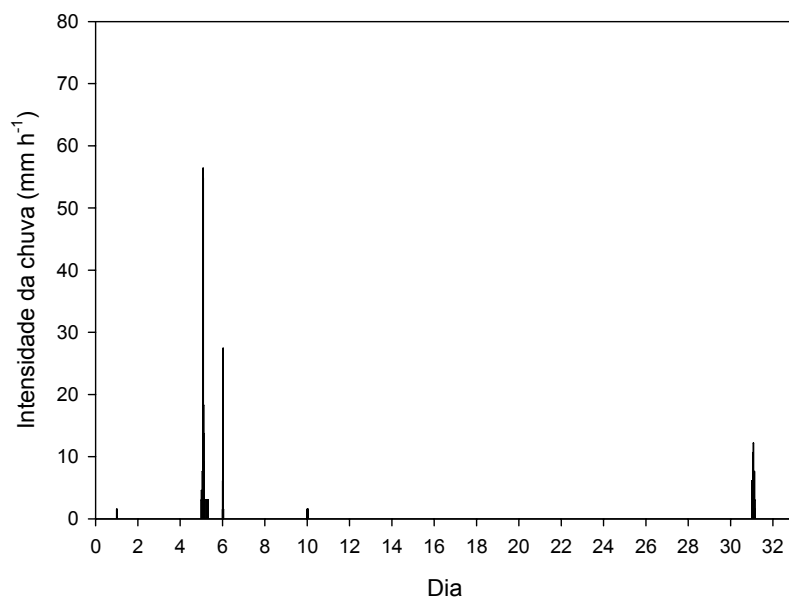
APÊNDICE I - Intensidade da chuva nos dias do mês de setembro de 2005 na pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Aaudo -RS.



APÊNDICE J - Intensidade da chuva nos dias do mês de novembro de 2005 na pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo -RS.



APÊNDICE L - Intensidade da chuva nos dias do mês de dezembro de 2005 na pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Aaudo -RS.

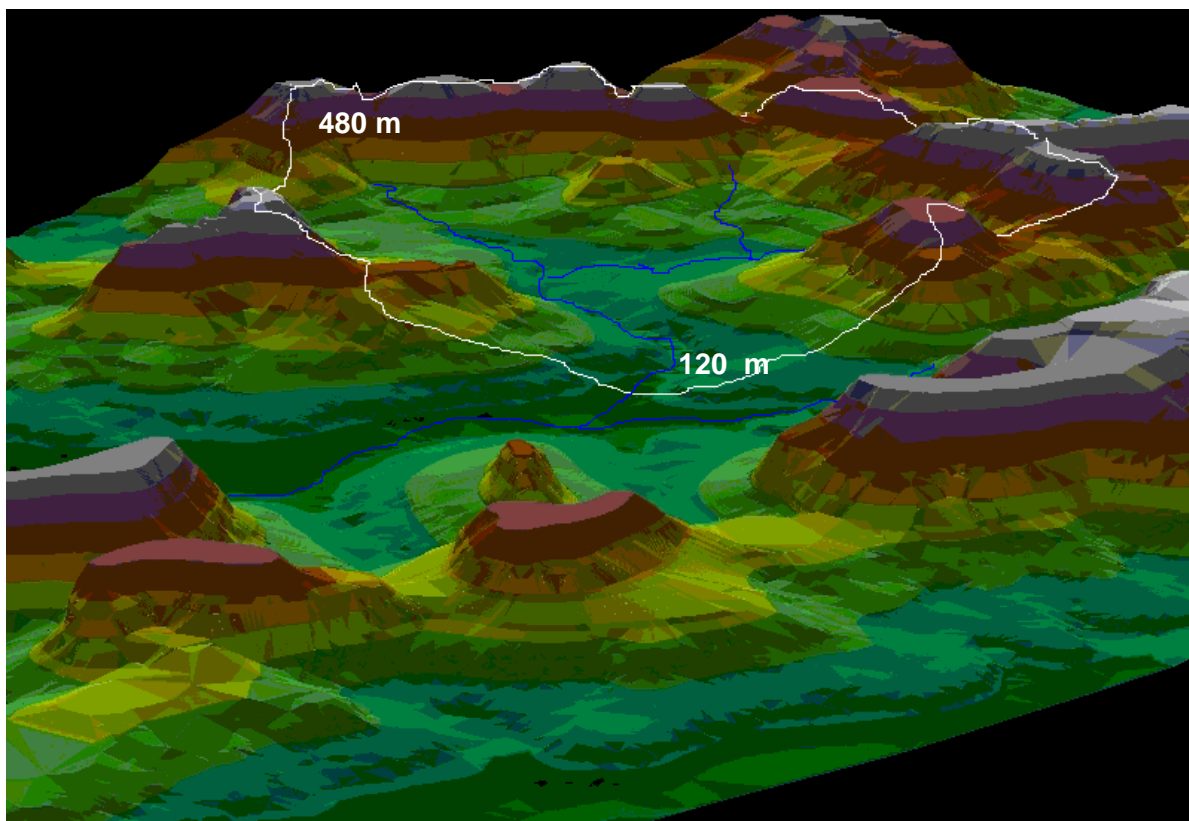


ANEXOS

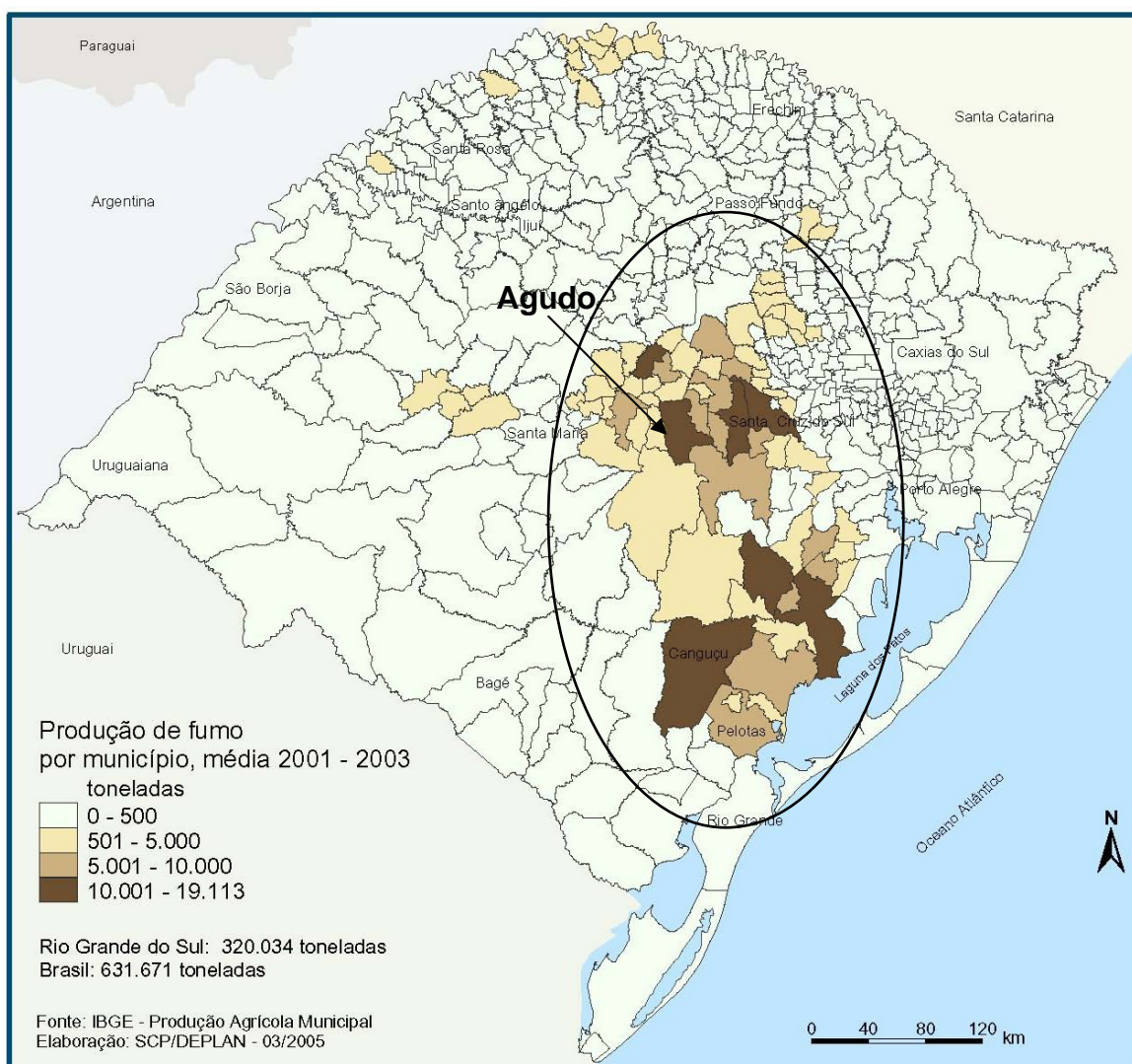
ANEXO A – Mapa com as principais bacias e sub-bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul (Fonte: Atlas socioeconômico do Rio Grande do Sul, 2006).



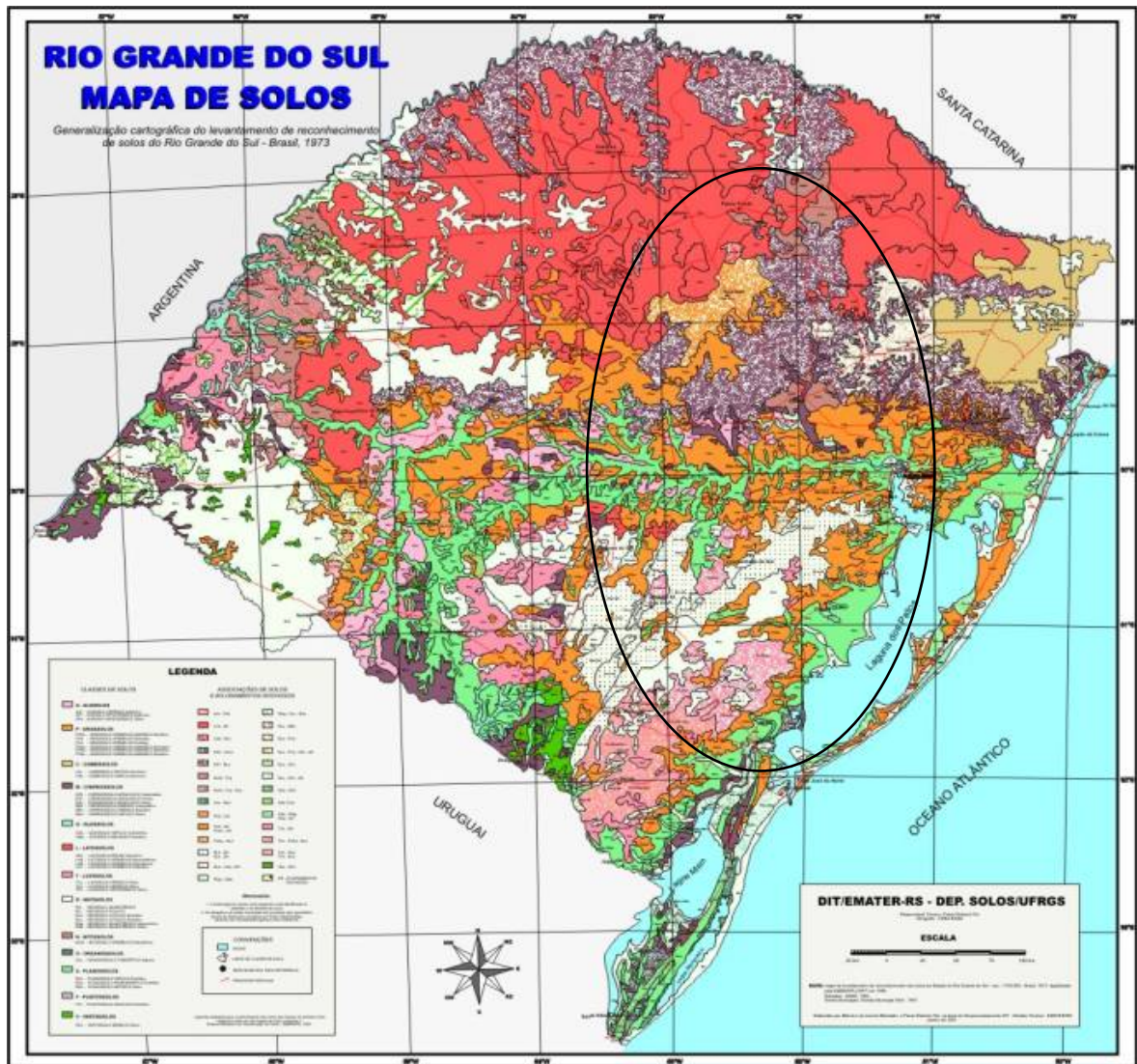
ANEXO B – Mapa da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, identificando as altitudes máximas e mínimas.



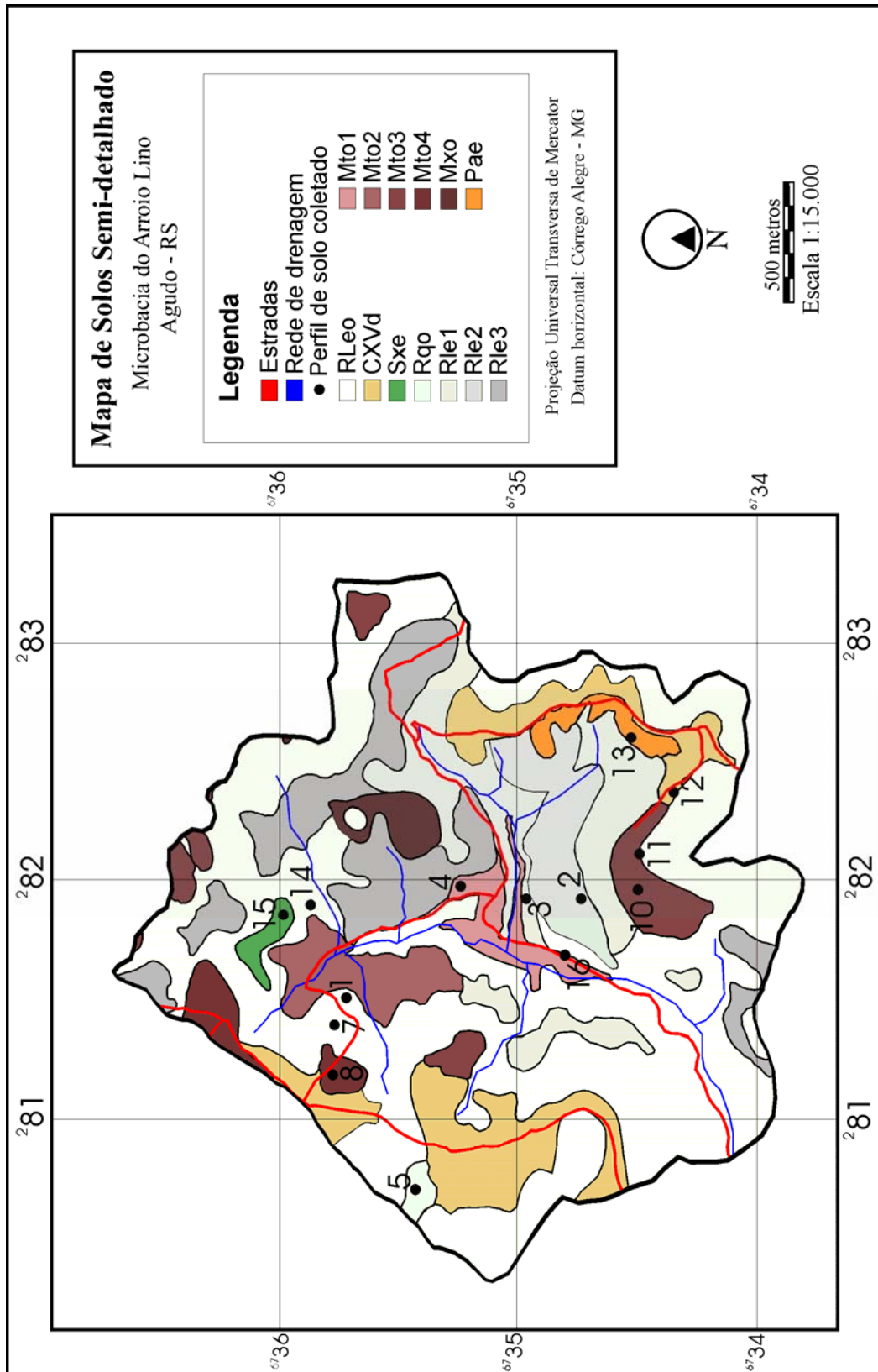
ANEXO C – Mapa identificando os principais municípios produtores de fumo no rio Grande do Sul (Fonte: IBGE, 2005).



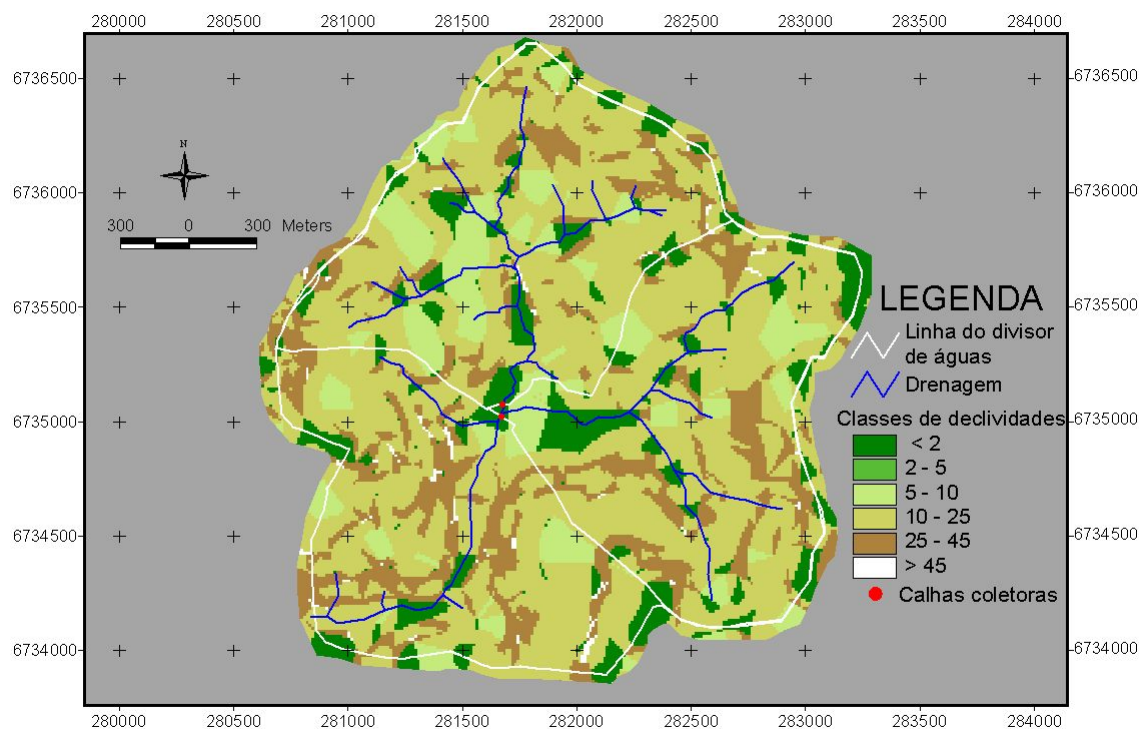
ANEXO D – Mapa com as principais classes de solos no Rio Grande do Sul (Fonte: Streck et al., 2002).



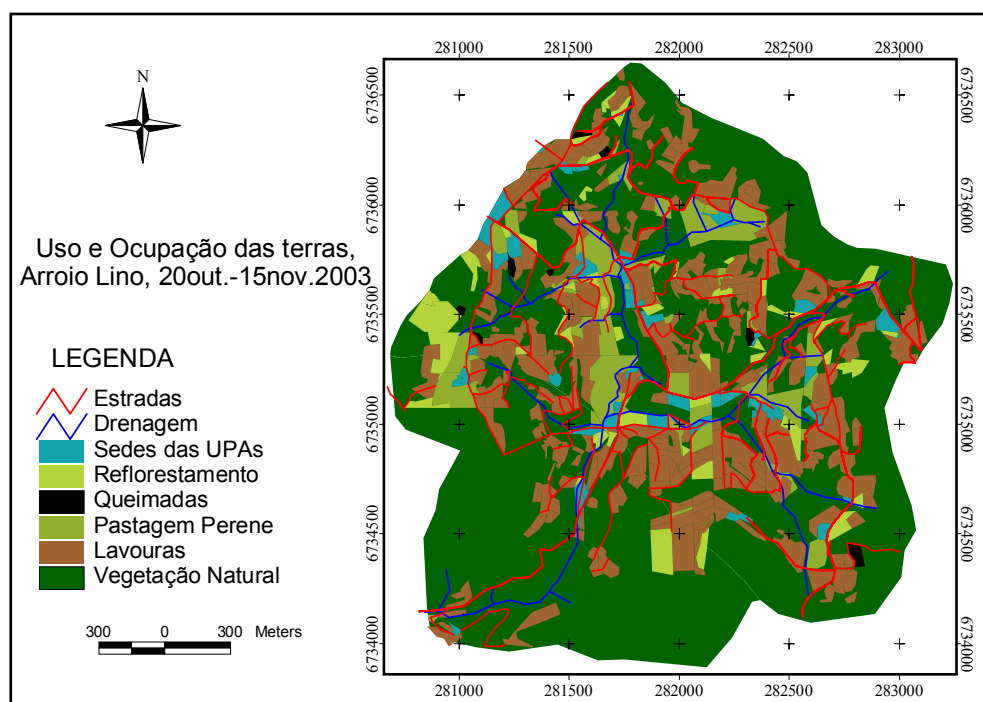
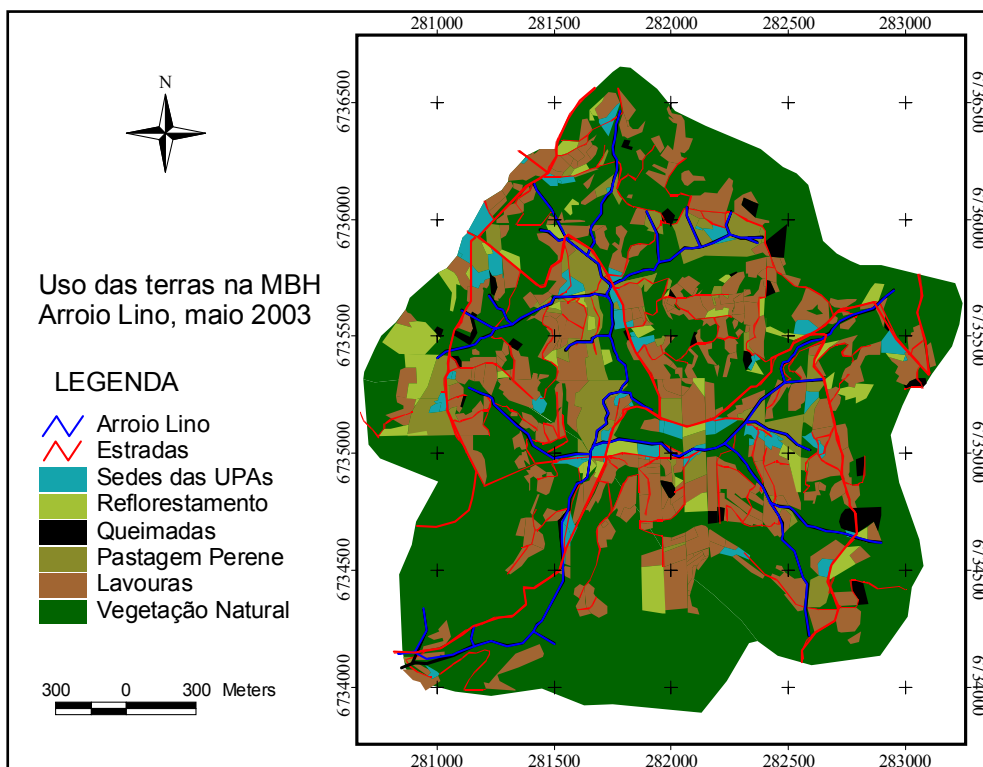
ANEXO E – Mapa de solos semi-detalhado da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS. (Fonte: Dalmolin et al., 2004).



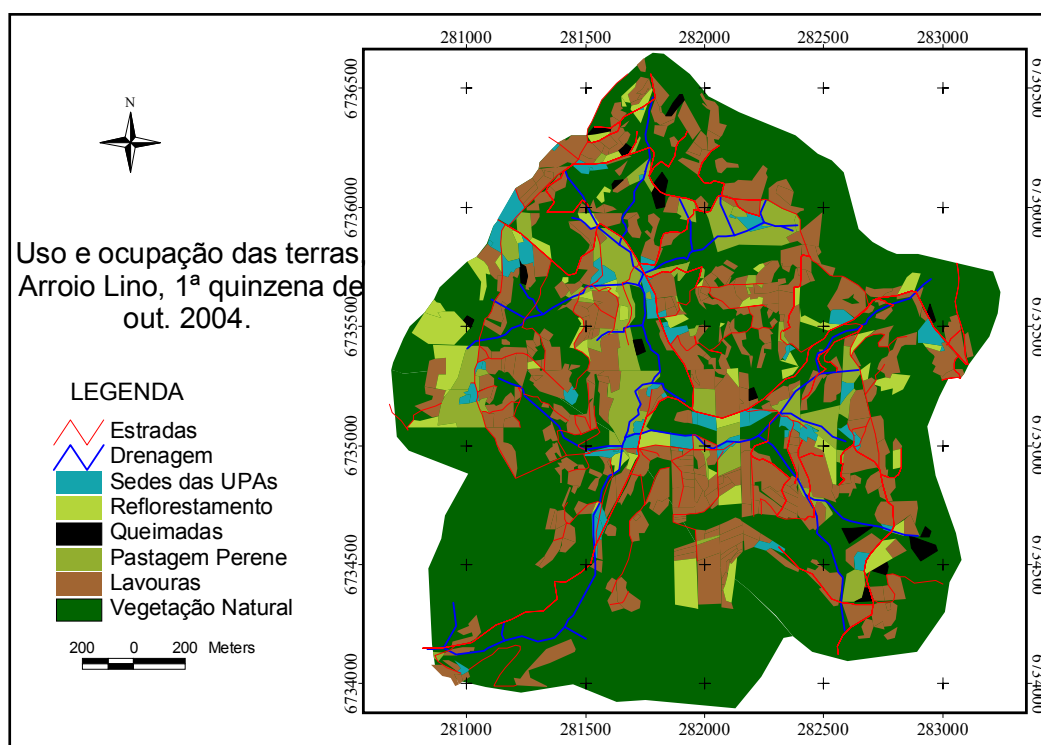
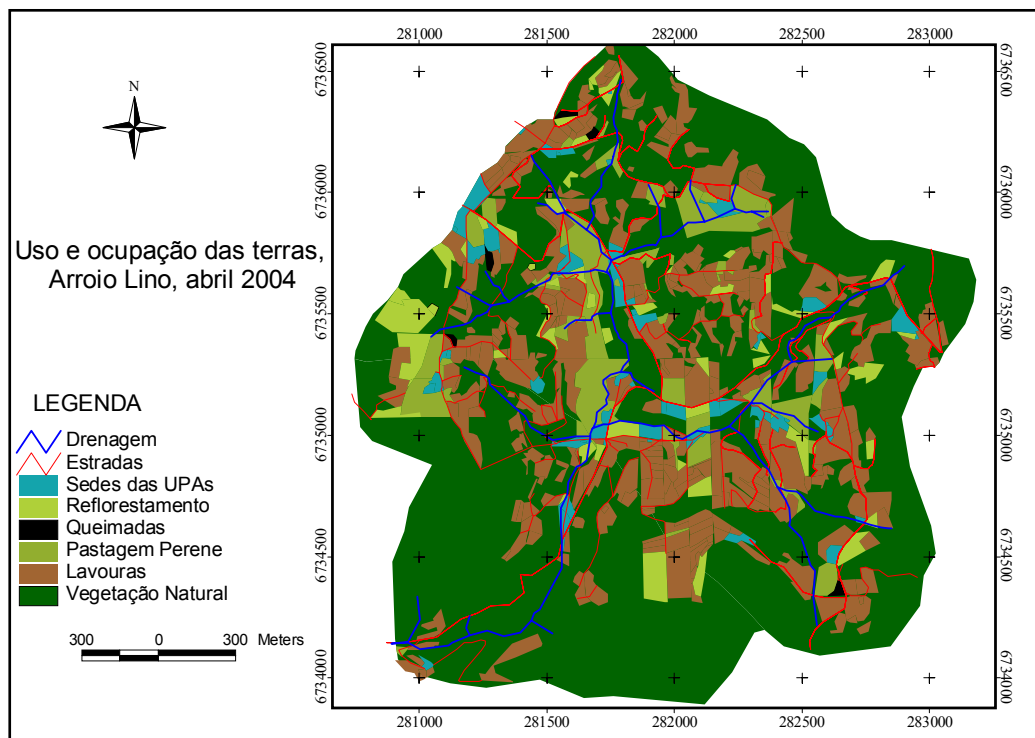
ANEXO F – Mapa de declividade da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS.



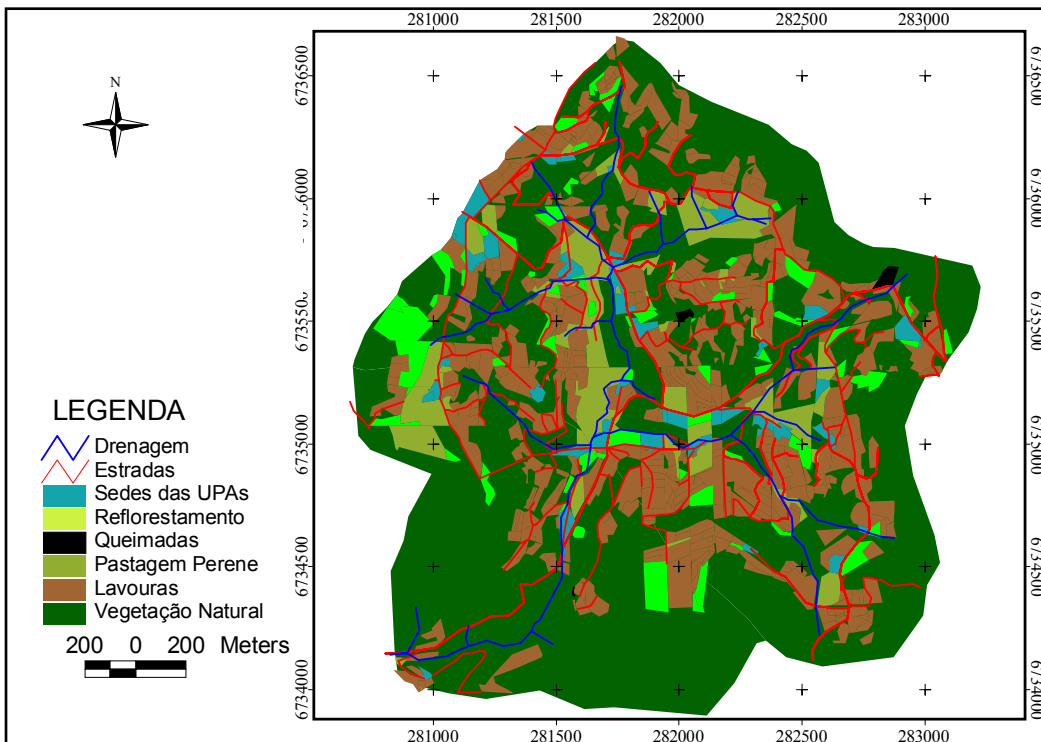
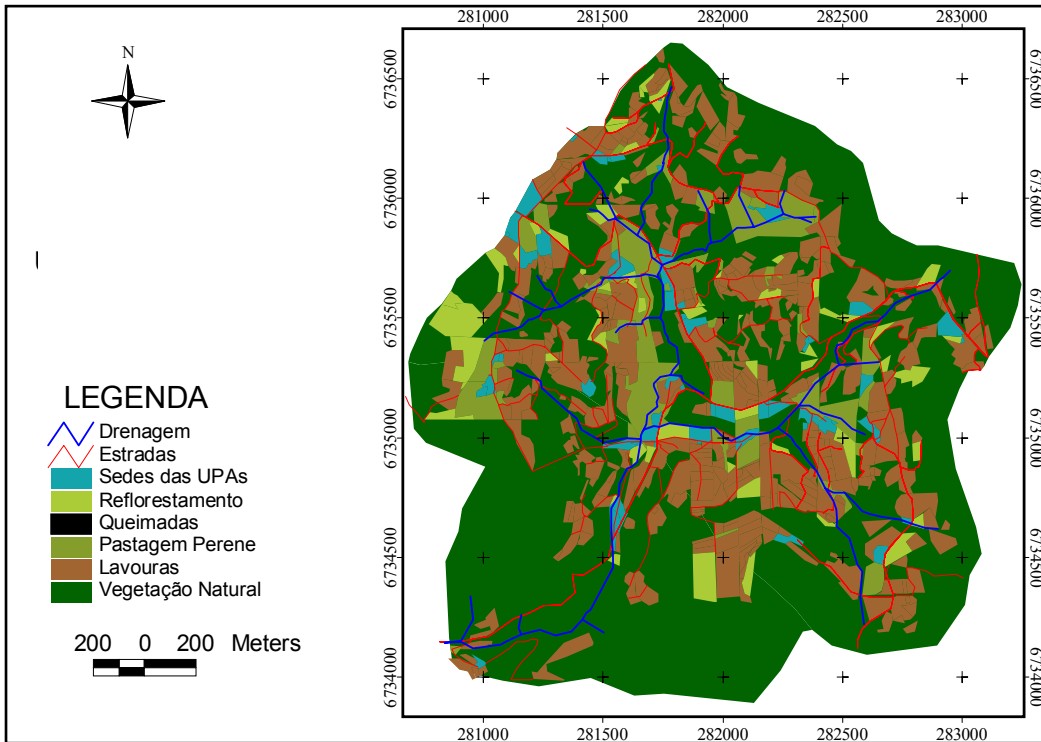
ANEXO G – Mapa de uso das terras da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, no primeiro e segundo semestre de 2003, respectivamente.



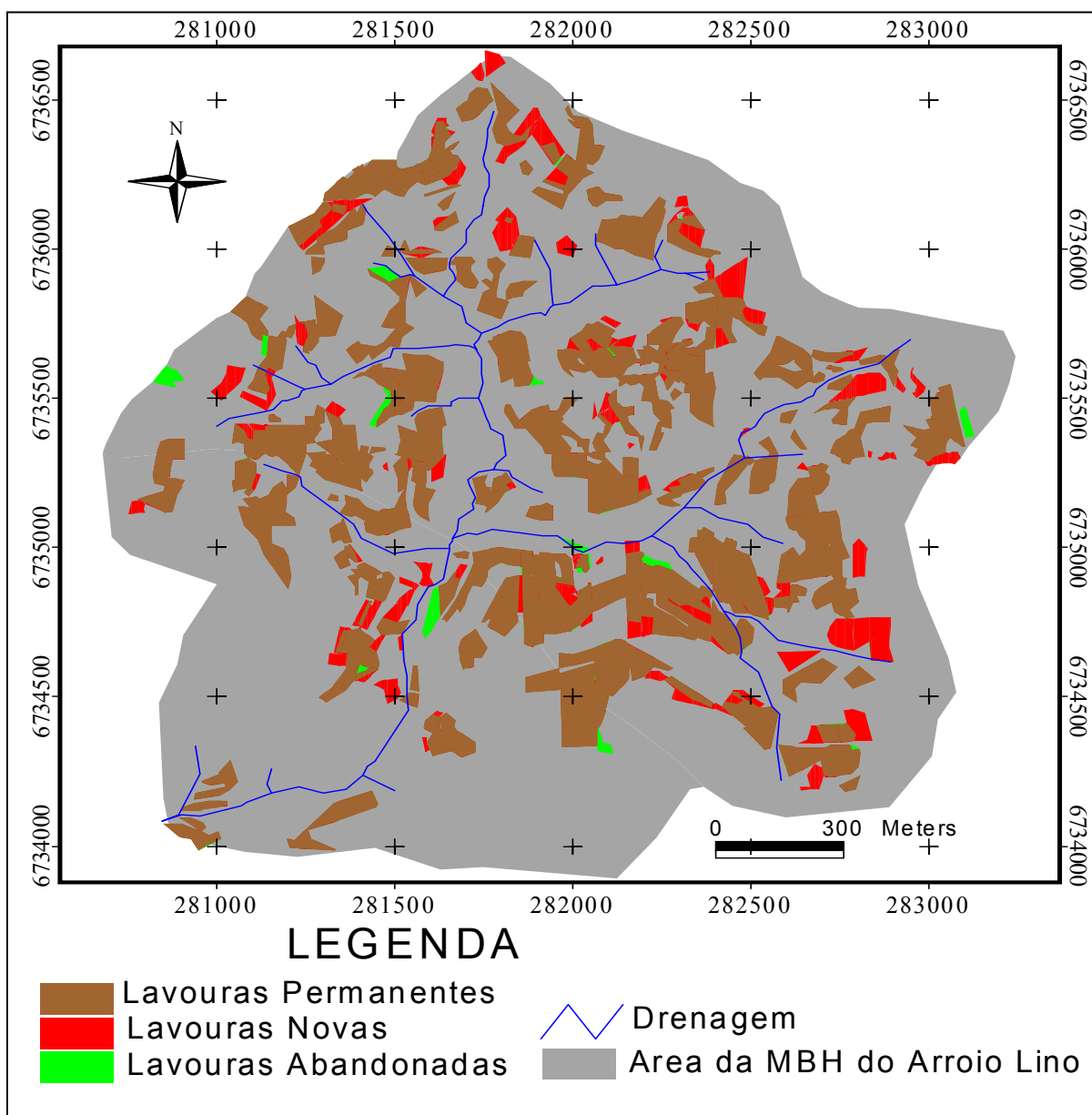
ANEXO H – Mapa de uso das terras da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, no primeiro e segundo semestre de 2004, respectivamente.



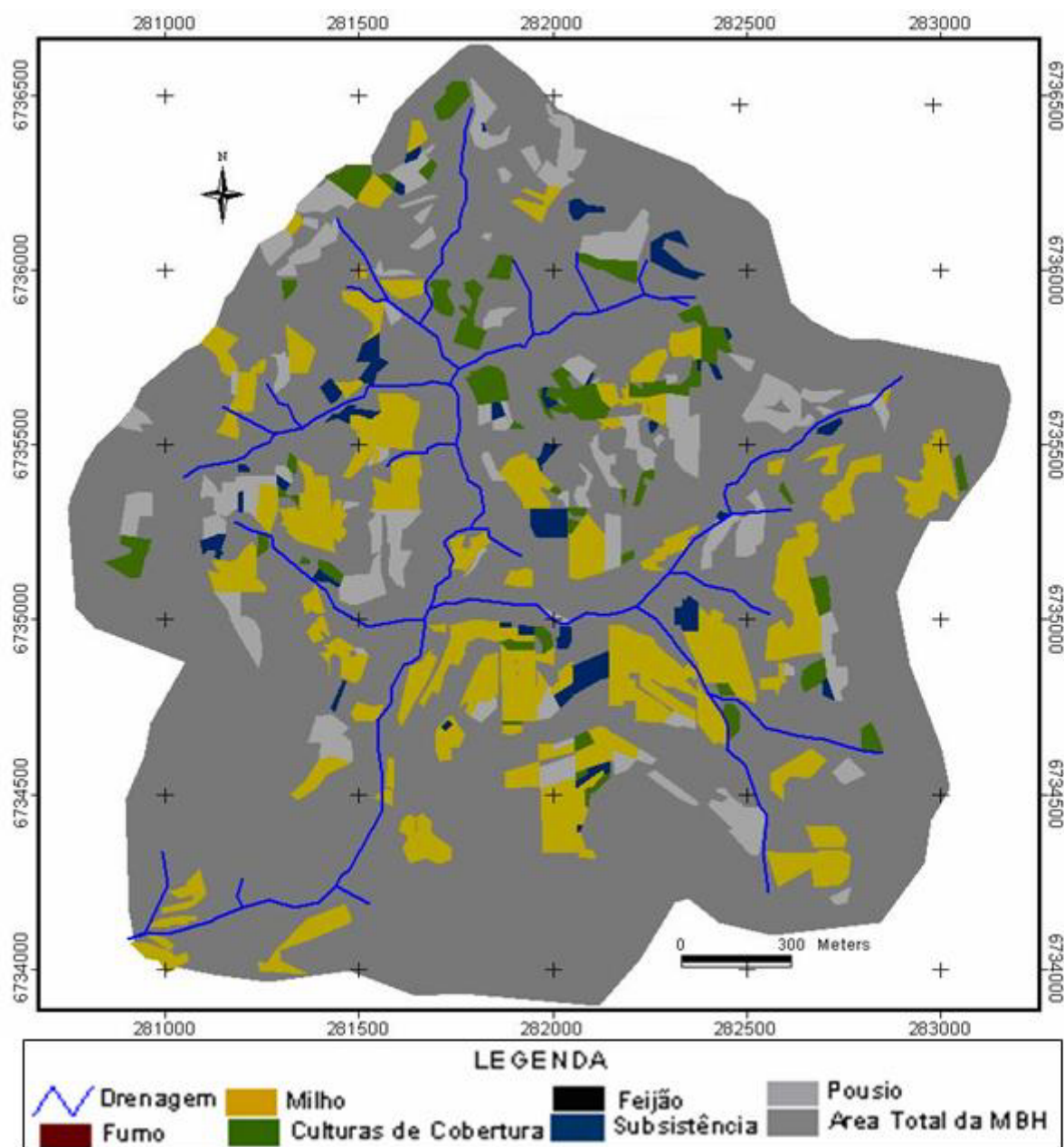
ANEXO I – Mapa de uso das terras da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, no primeiro e segundo semestre de 2005, respectivamente.



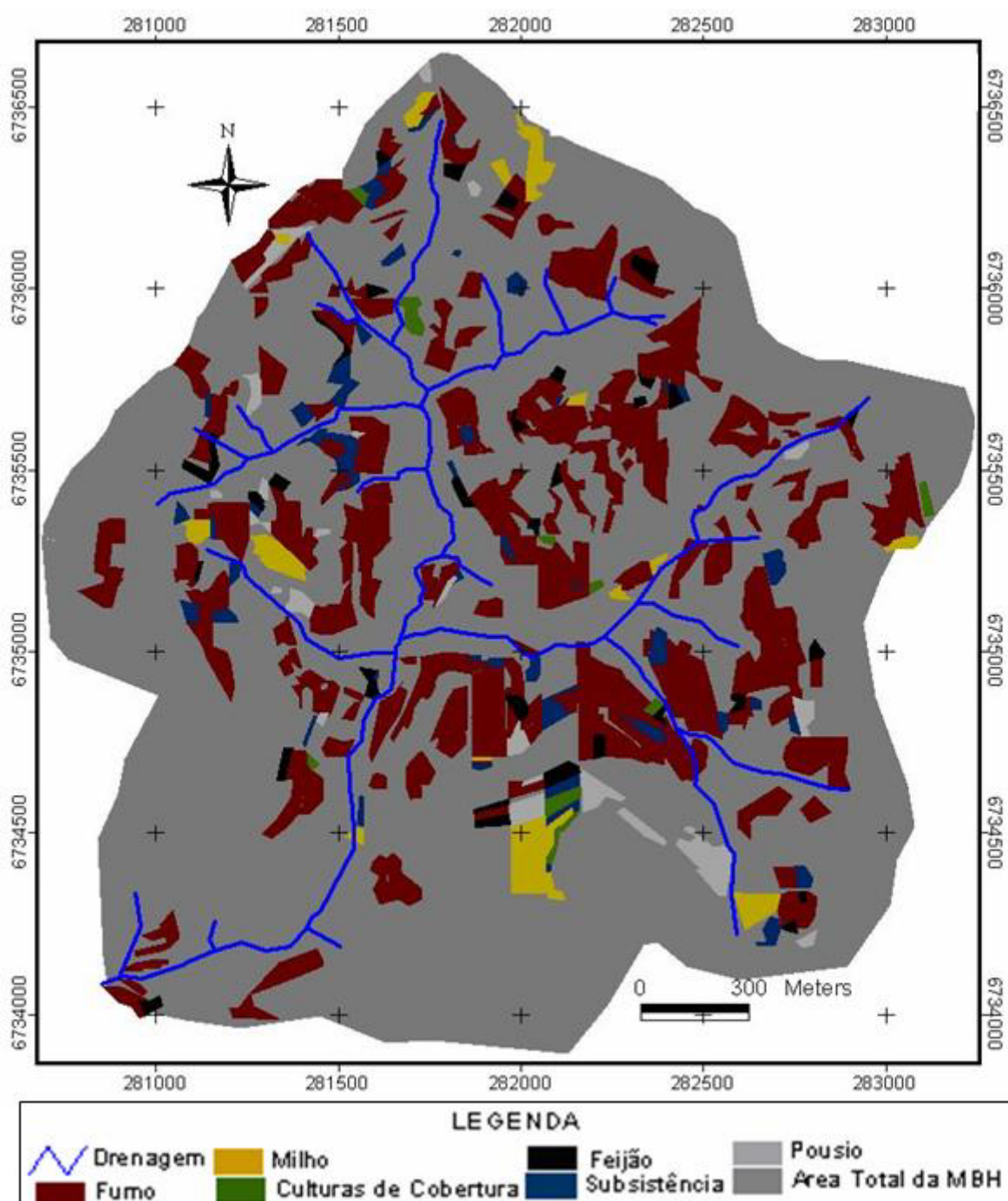
ANEXO J – Mapa de evolução do uso e ocupação das terras da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, através do cruzamento dos mapas do primeiro semestre de 2003 e do segundo semestre de 2005.



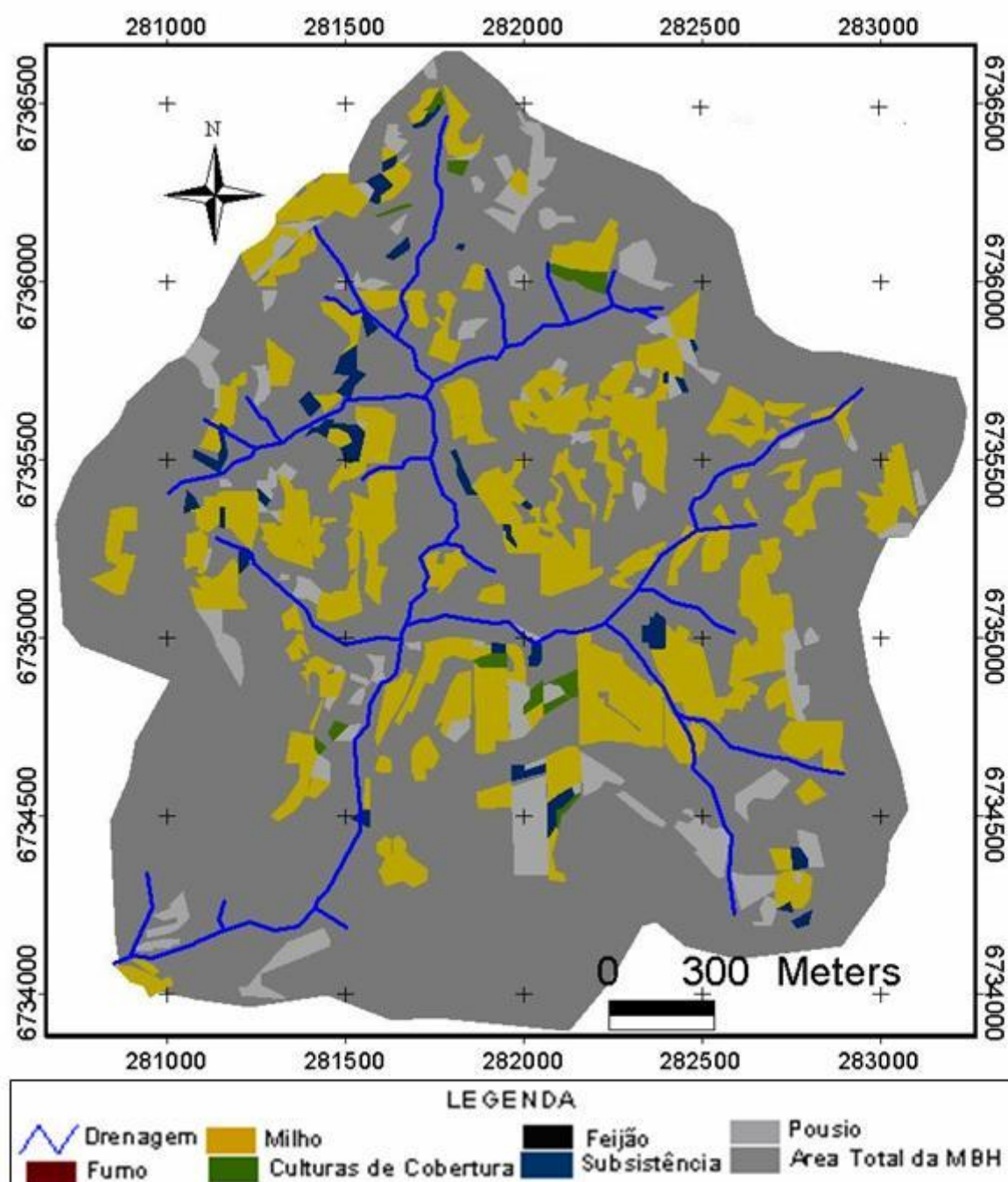
ANEXO L – Mapa de uso do solo nas áreas de cultivo da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, no primeiro semestre de 2003.



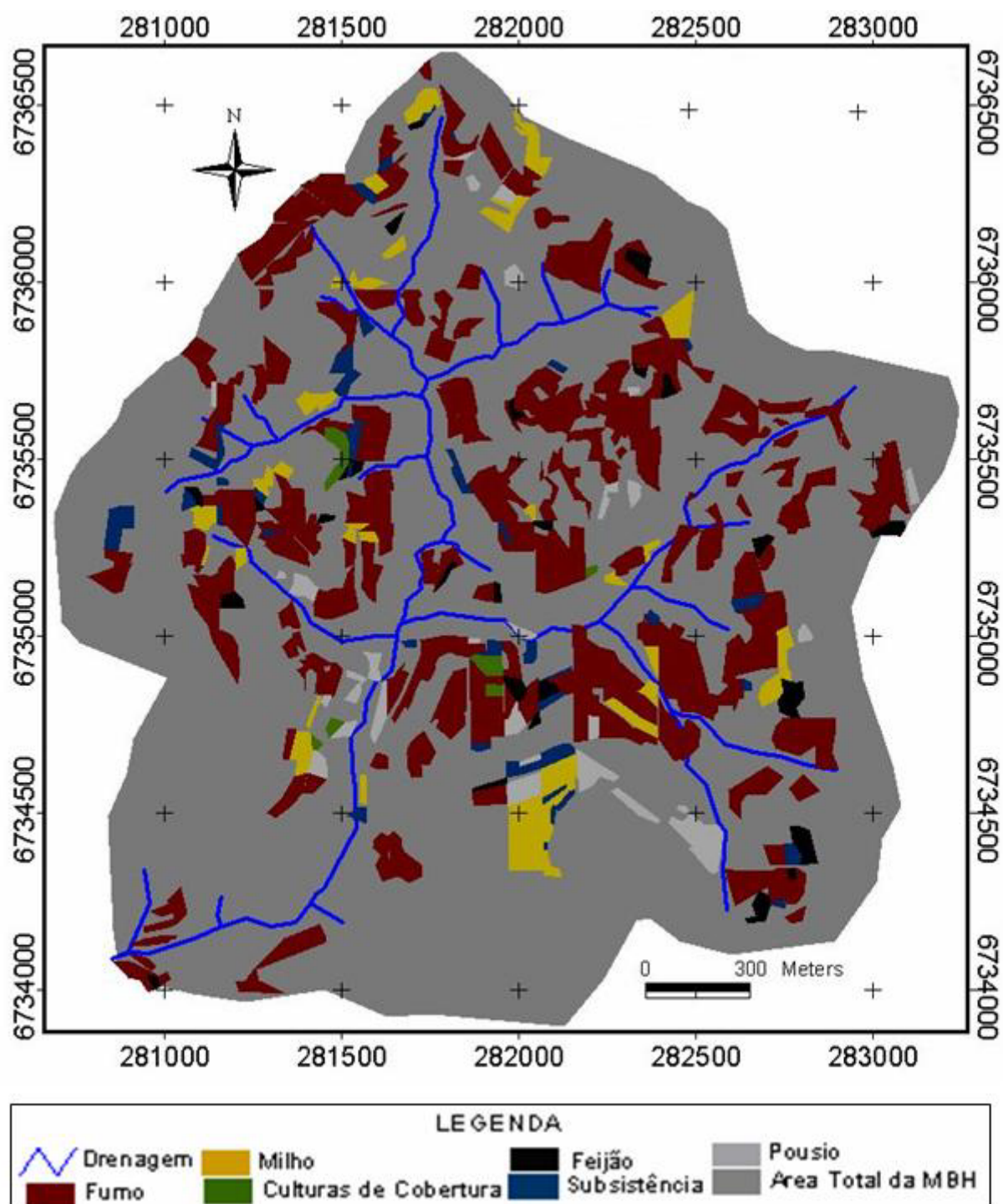
ANEXO M – Mapa de uso do solo nas áreas de cultivo da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, no segundo semestre de 2003.



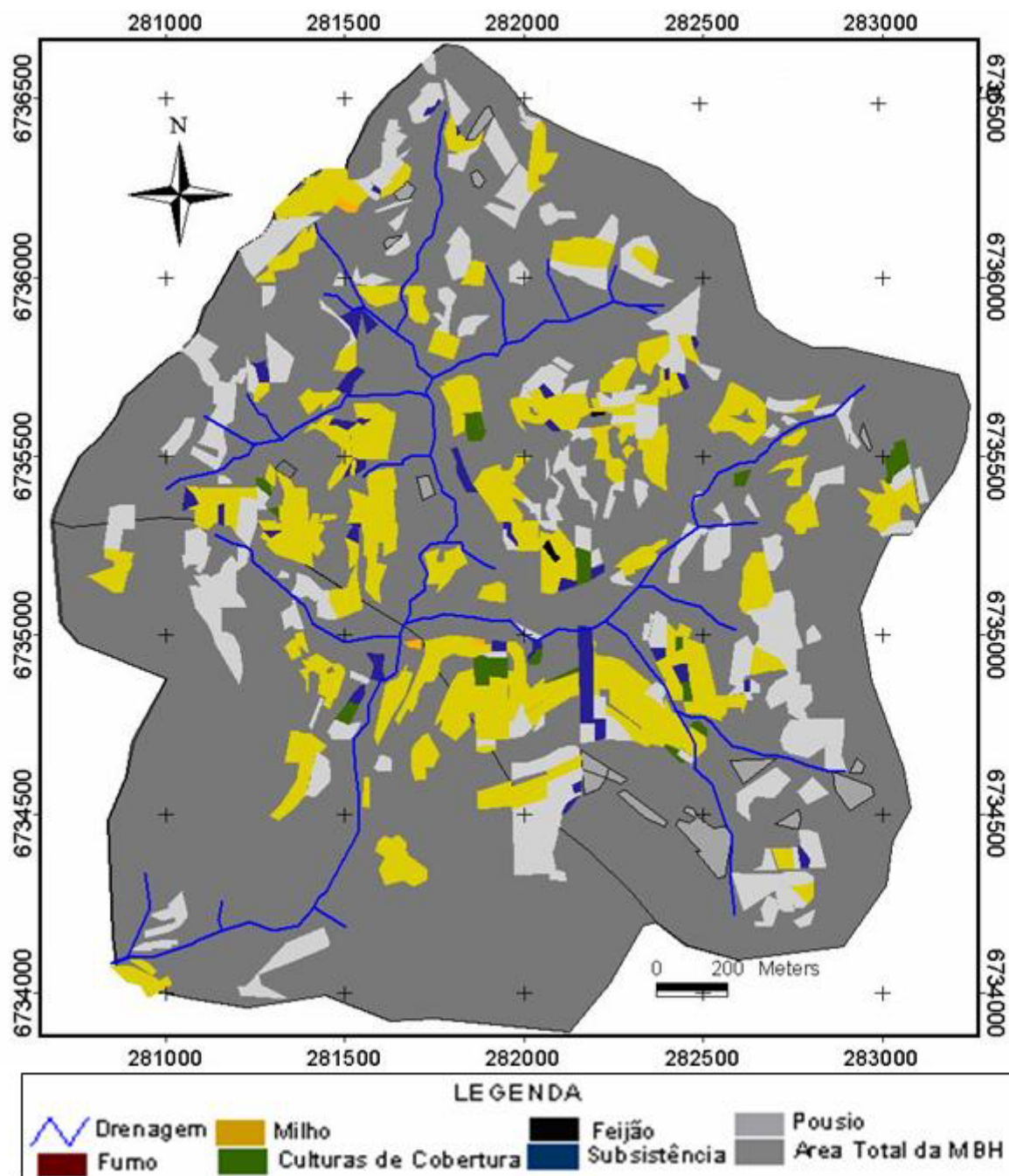
ANEXO N – Mapa de uso do solo nas áreas de cultivo da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, no primeiro semestre de 2004.



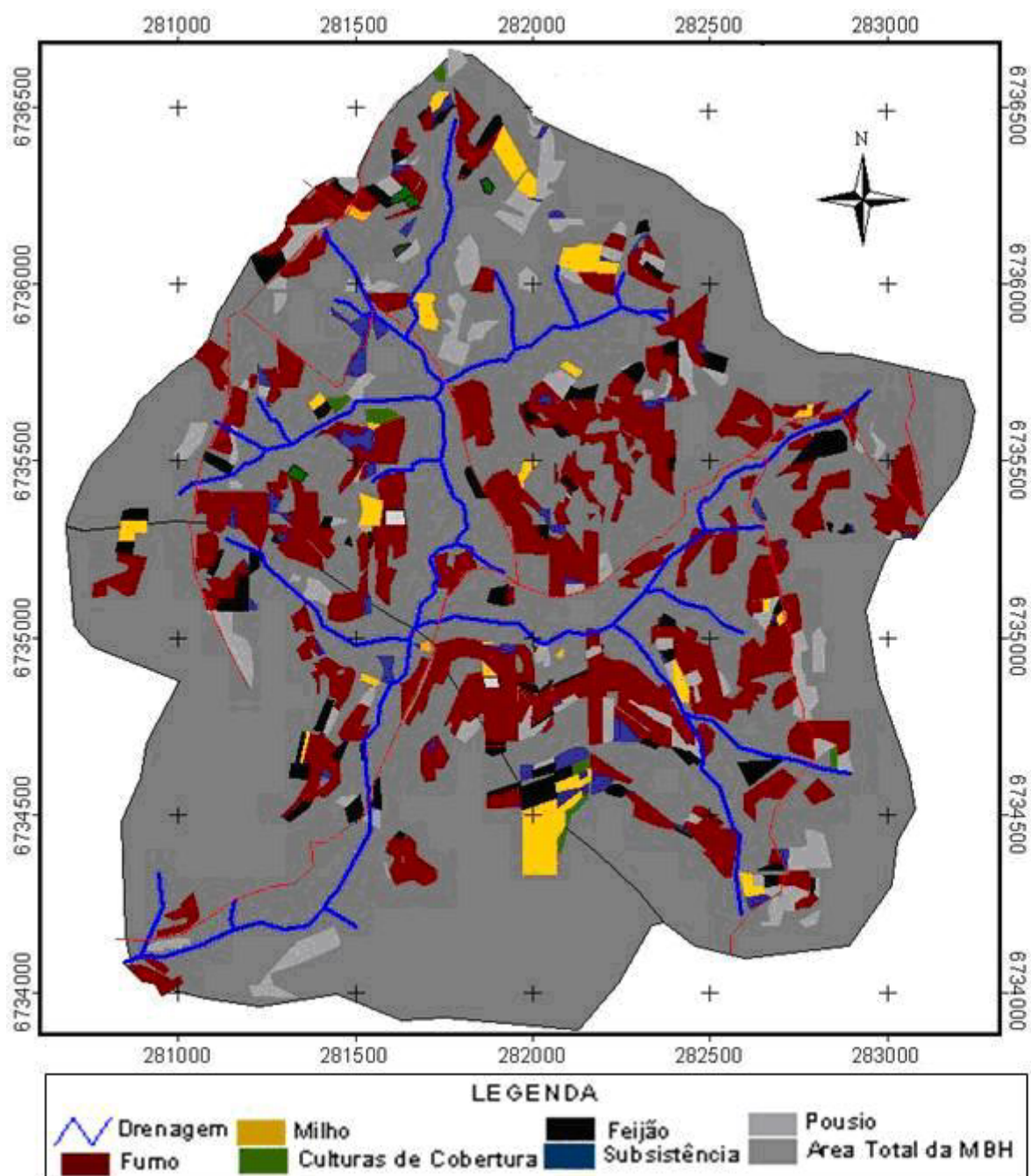
ANEXO O – Mapa de uso do solo nas áreas de cultivo da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, no segundo semestre de 2004.



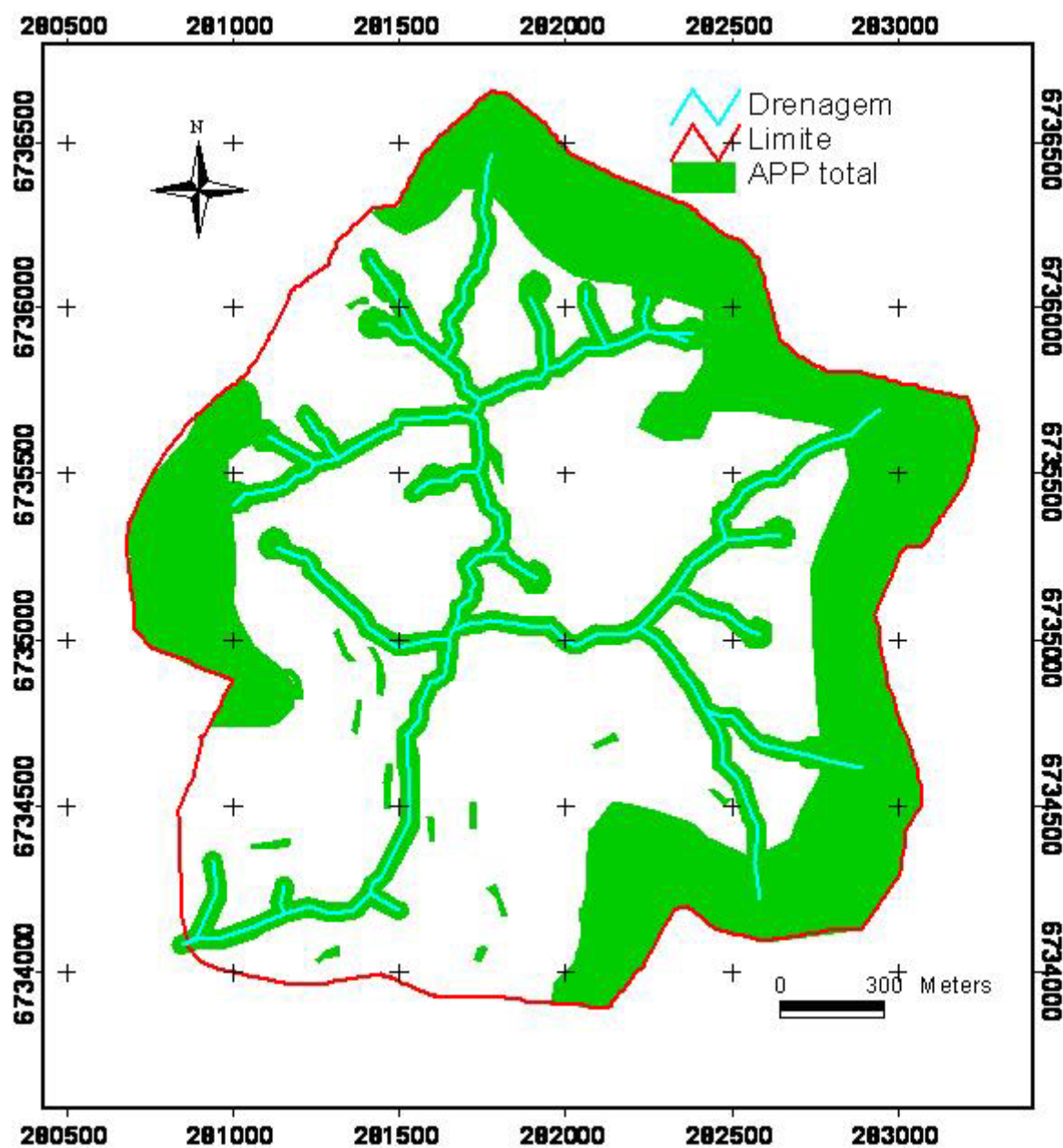
ANEXO P – Mapa de uso do solo nas áreas de cultivo da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, no primeiro semestre de 2005.



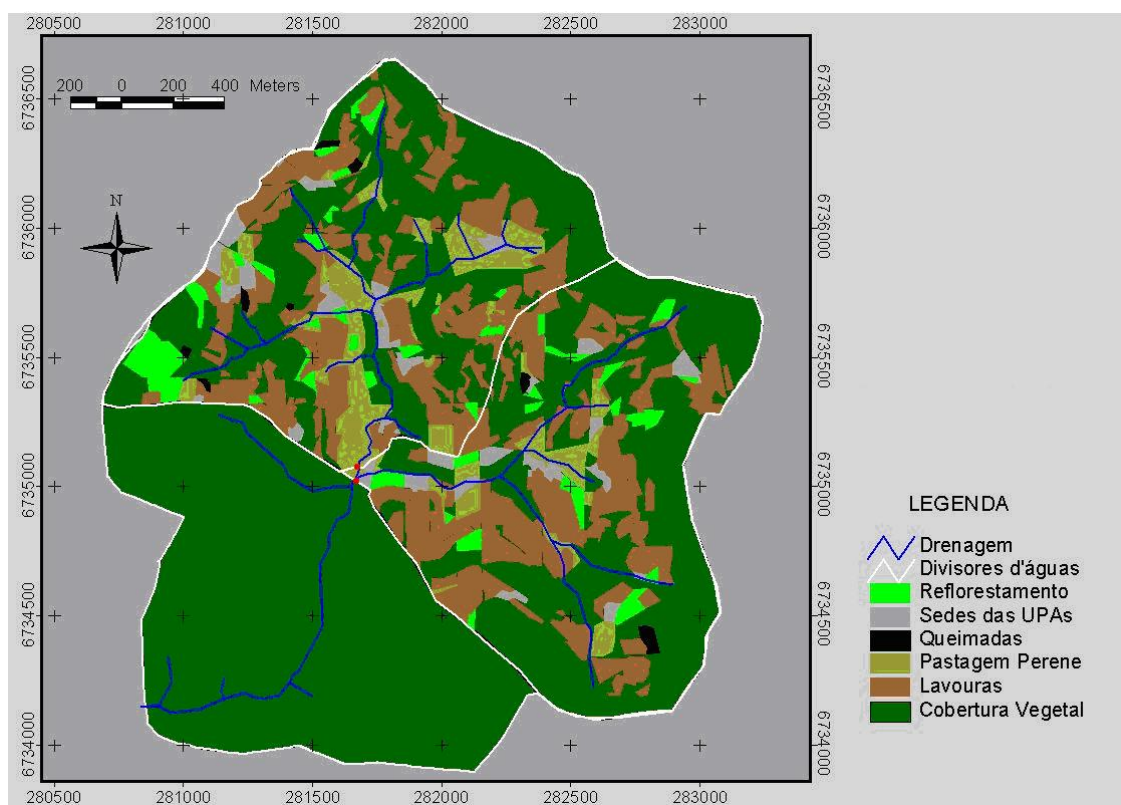
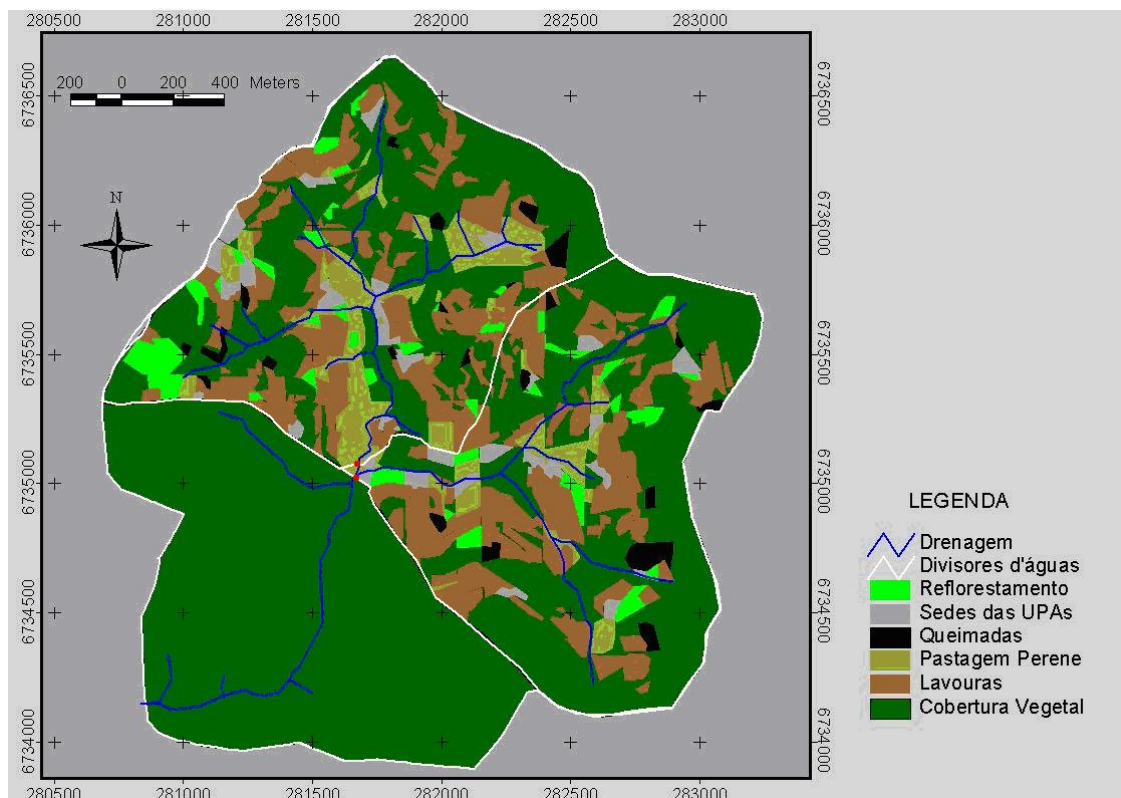
ANEXO Q – Mapa de uso do solo nas áreas de cultivo da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, no segundo semestre de 2005.



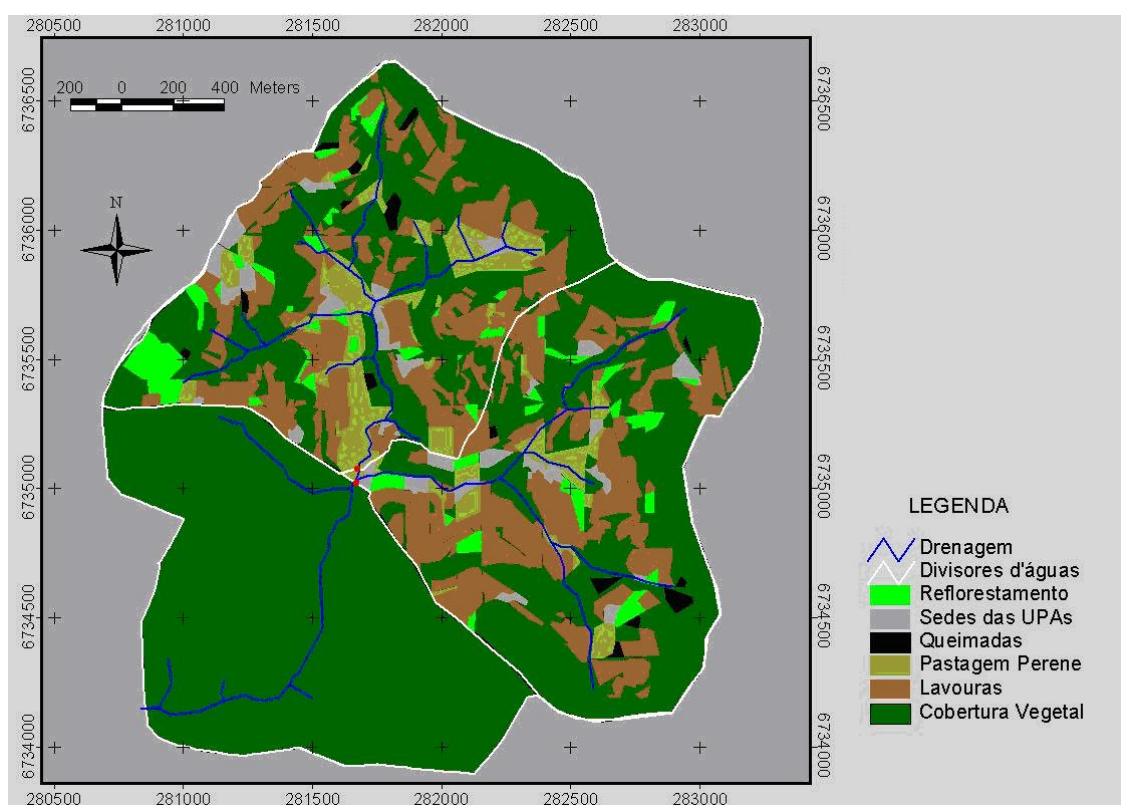
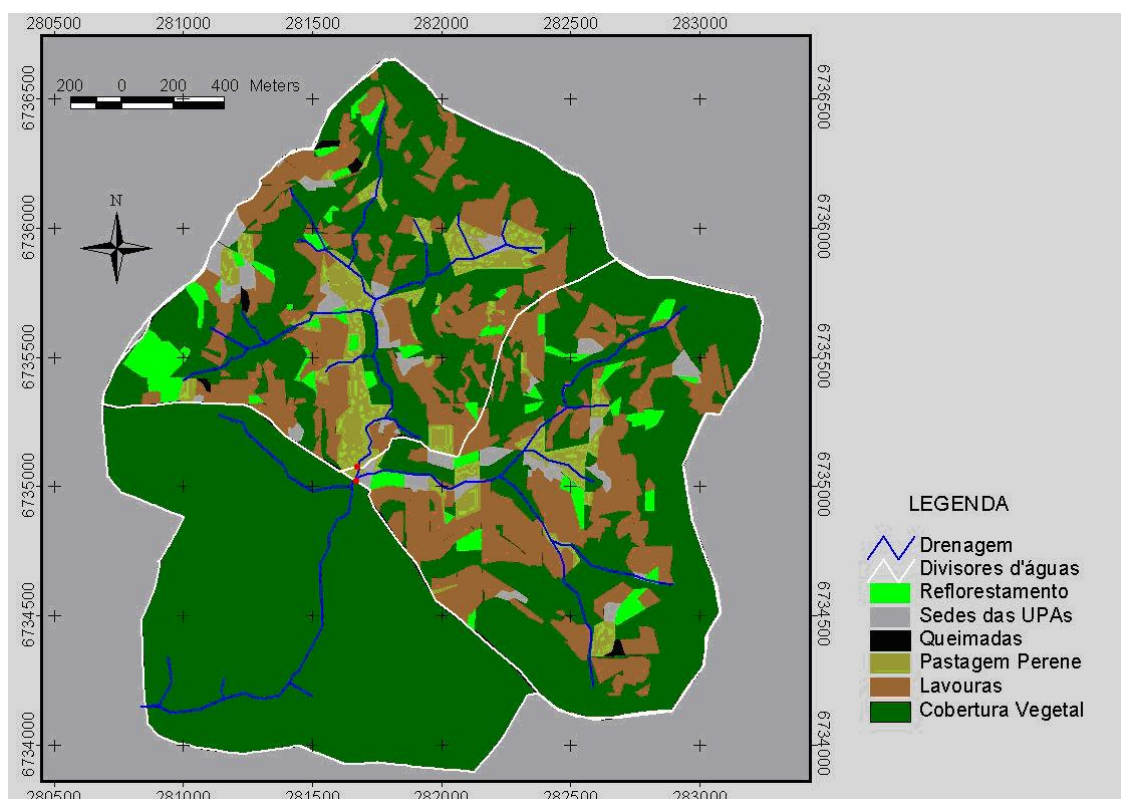
ANEXO R – Mapa da área total da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, que deveria estar sendo utilizada como preservação permanente (APP).



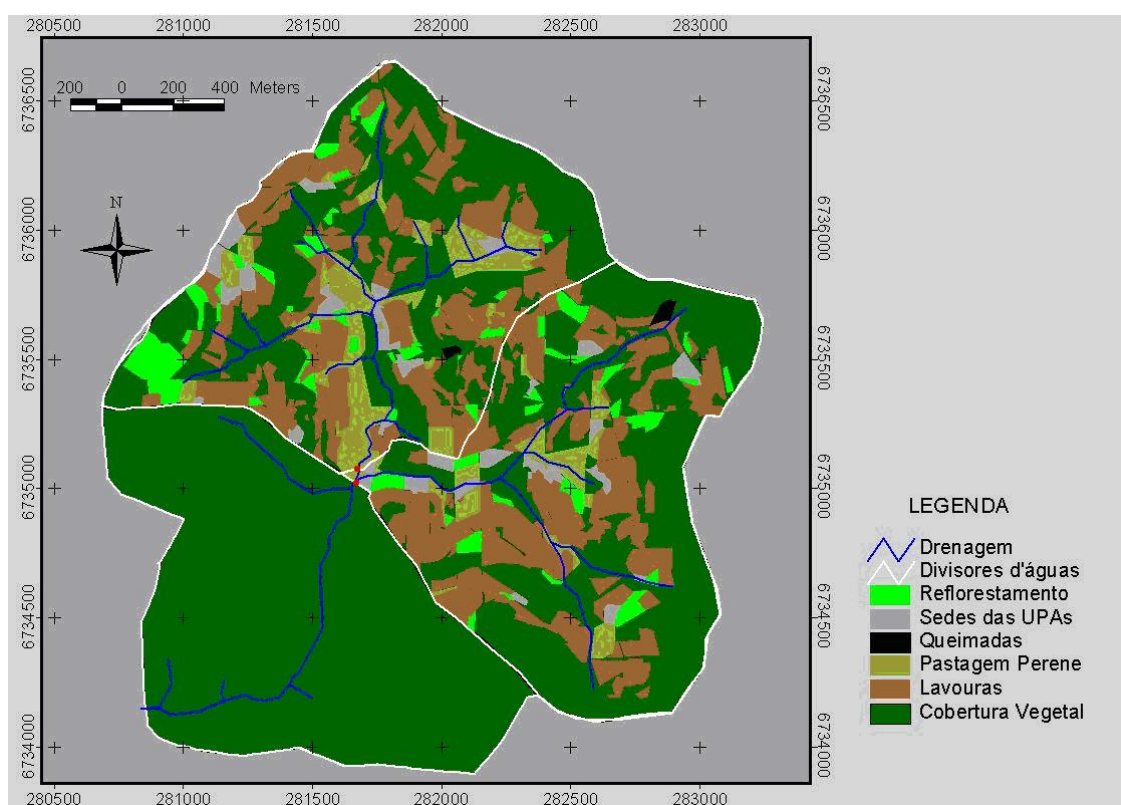
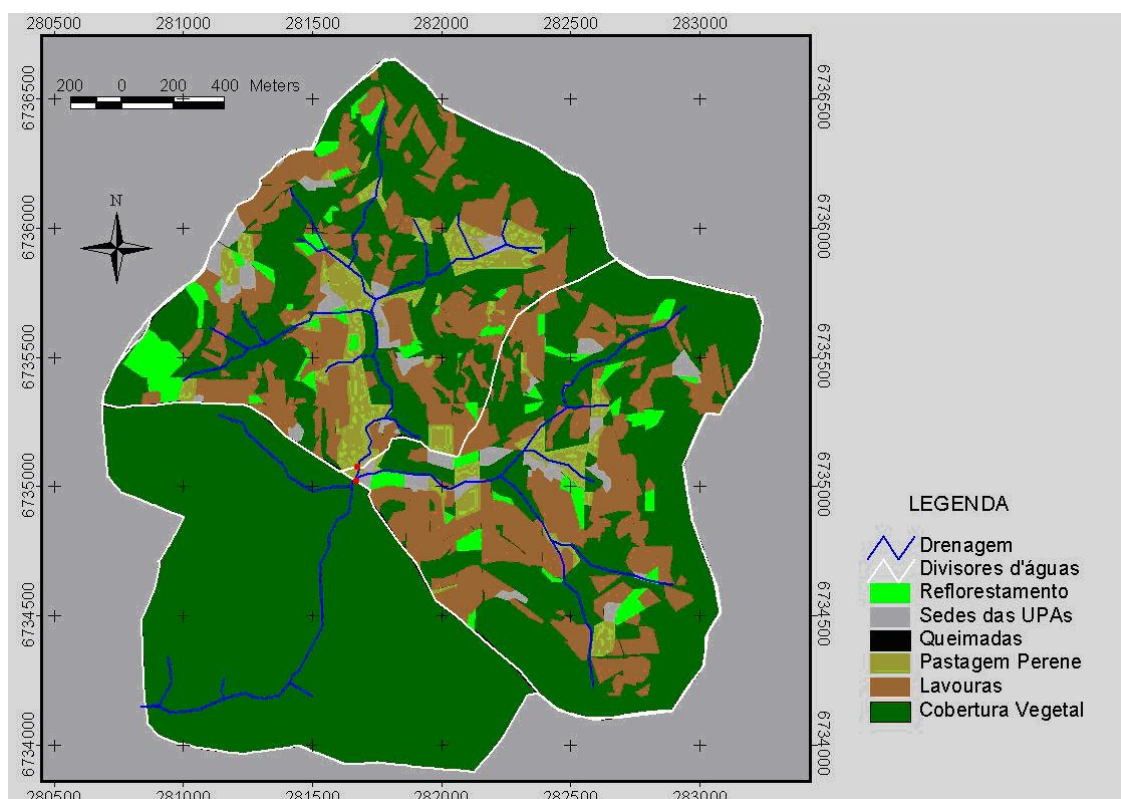
ANEXO S - Mapa de uso das terras na área de captação da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, no primeiro e segundo semestre de 2003, respectivamente.



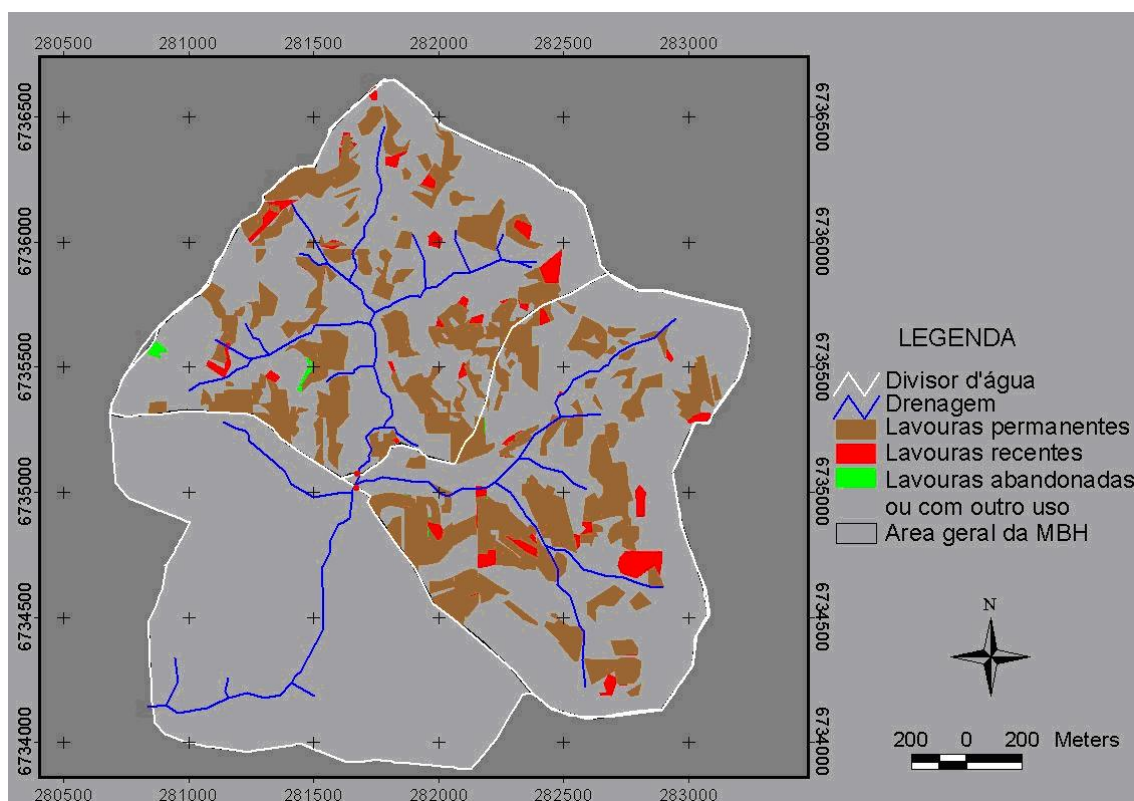
ANEXO T - Mapa de uso das terras na área de captação da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, no primeiro e segundo semestre de 2004, respectivamente.



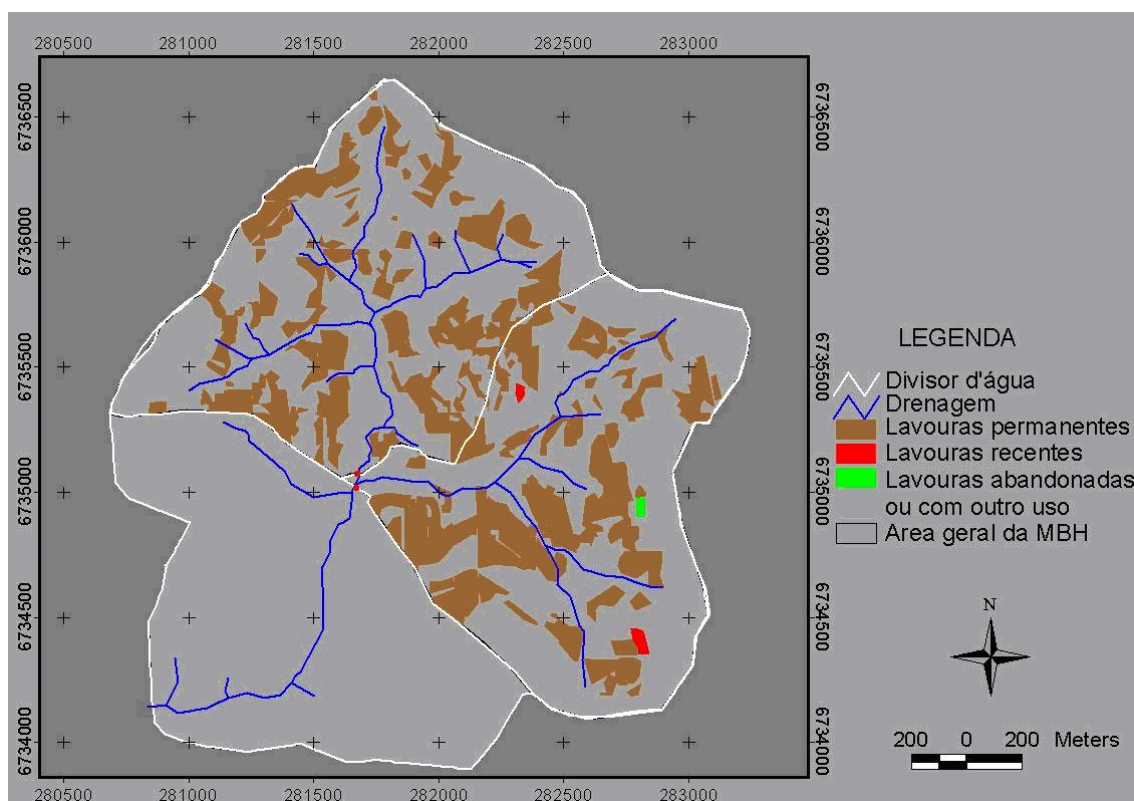
ANEXO U - Mapa de uso das terras na área de captação da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, no primeiro e segundo semestre de 2005, respectivamente.



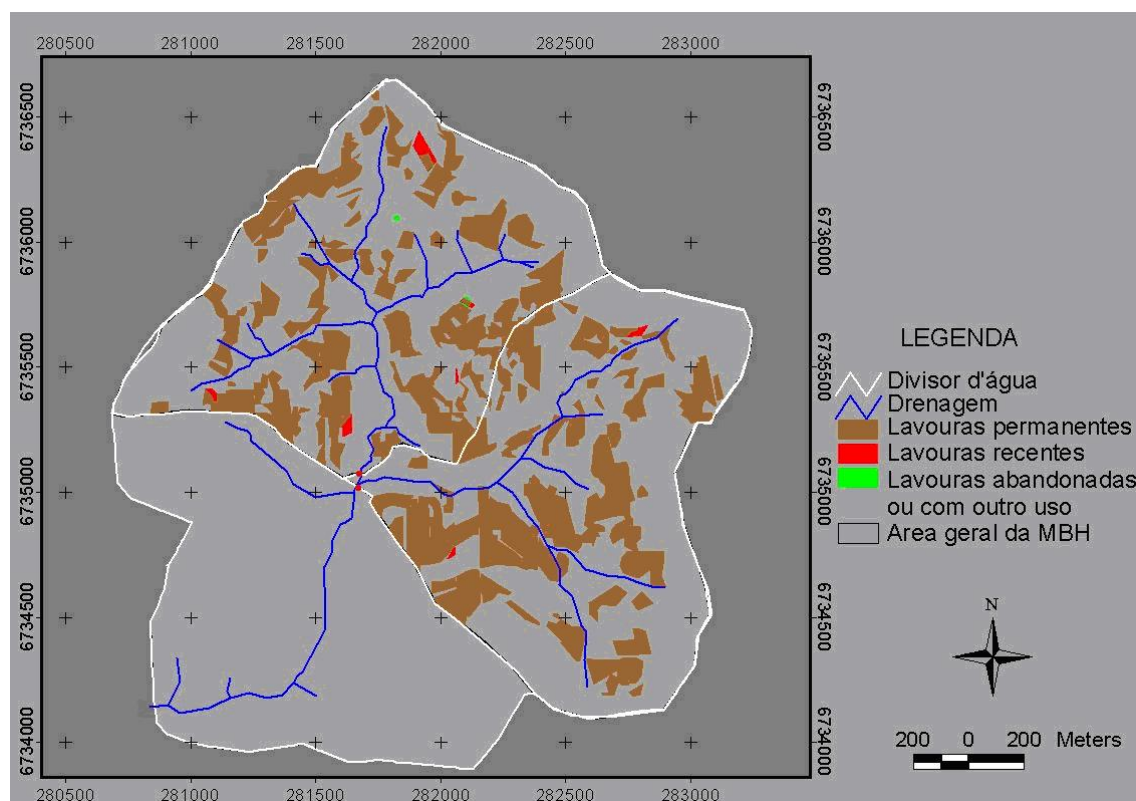
ANEXO V - Mapa de sobreposição das áreas de lavoura da área de captação da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, do primeiro e segundo semestre de 2003.



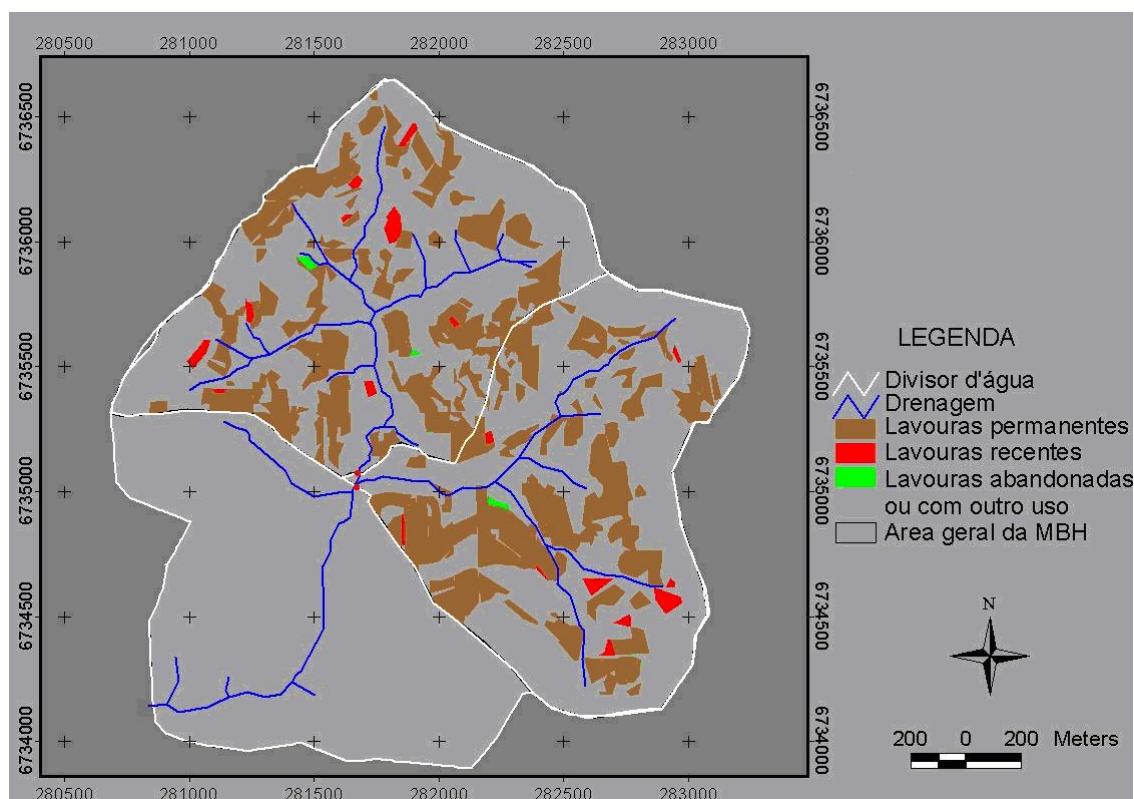
ANEXO W - Mapa de sobreposição das áreas de lavoura da área de captação da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, do segundo semestre de 2003 e primeiro semestre de 2004.



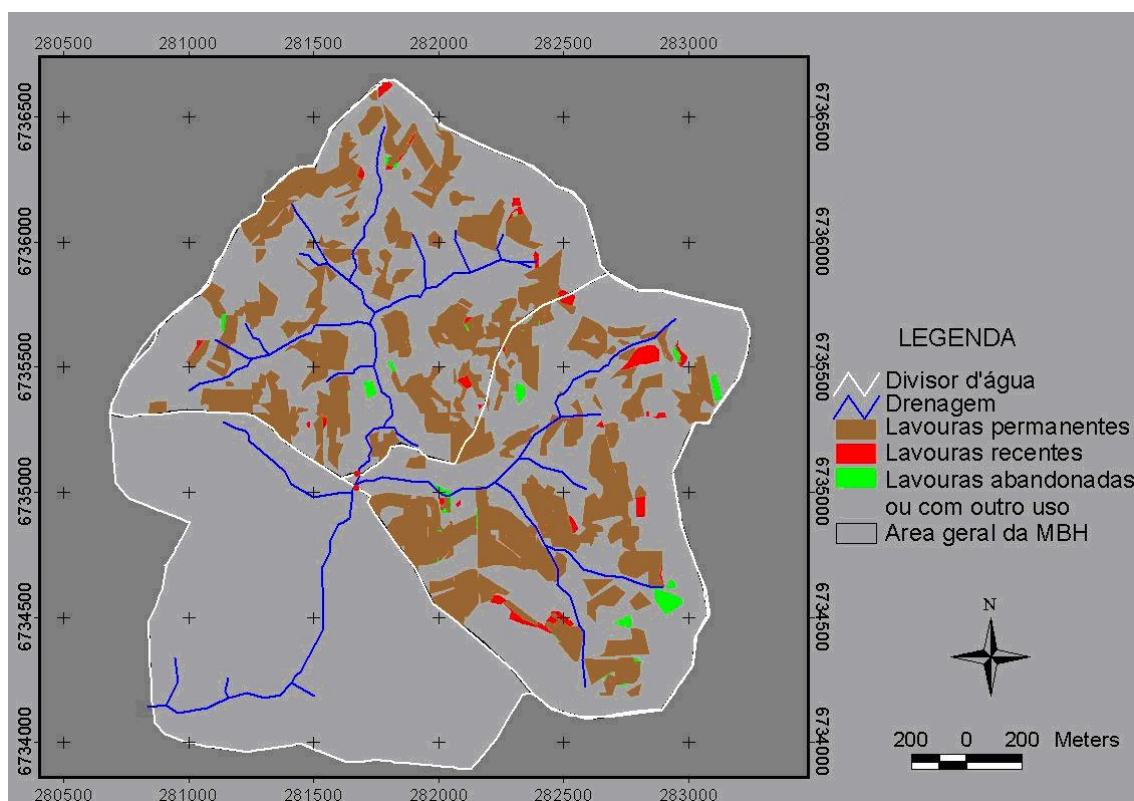
ANEXO X - Mapa de sobreposição das áreas de lavoura da área de captação da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, do primeiro e segundo semestre de 2004.



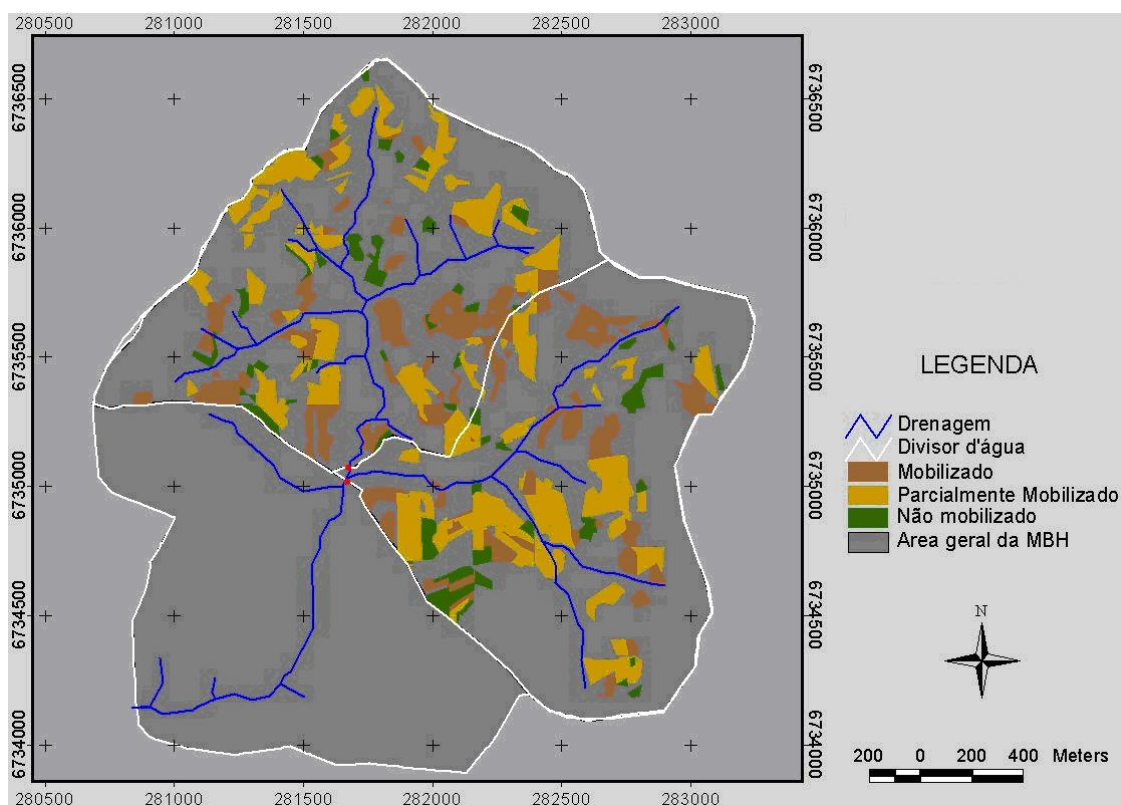
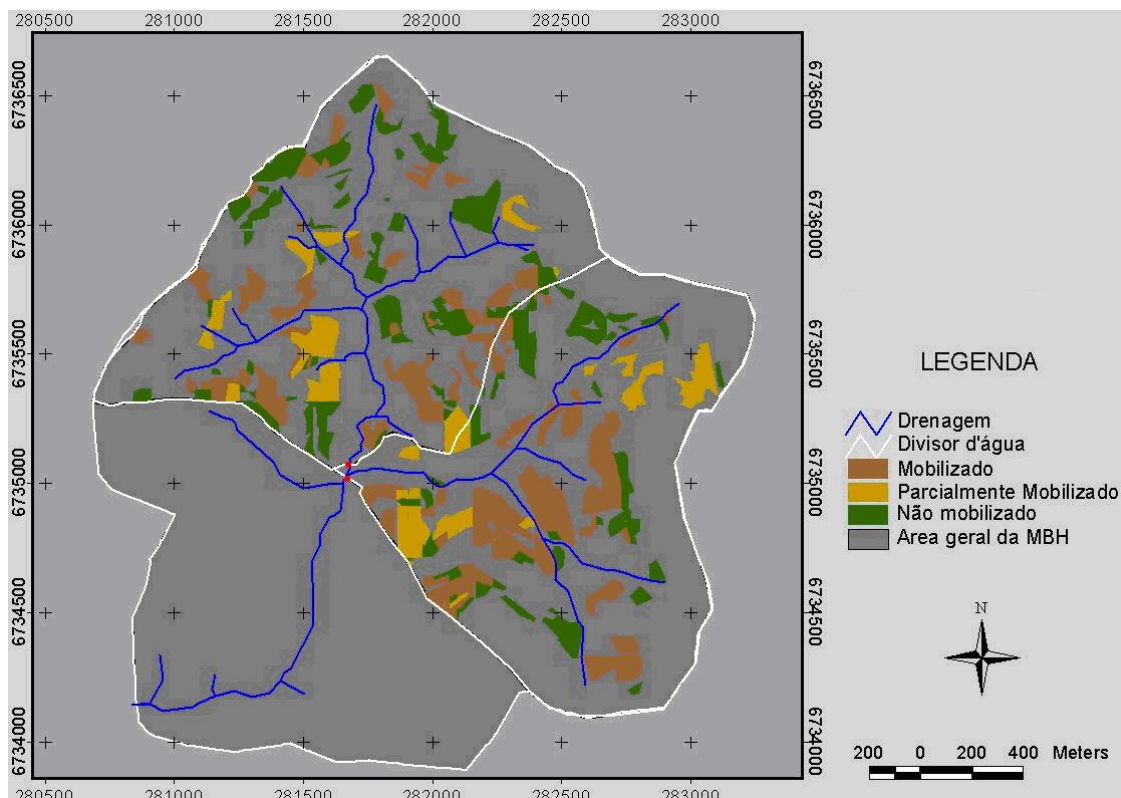
ANEXO Y - Mapa de sobreposição das áreas de lavoura da área de captação da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, do segundo semestre de 2004 e primeiro semestre de 2005.



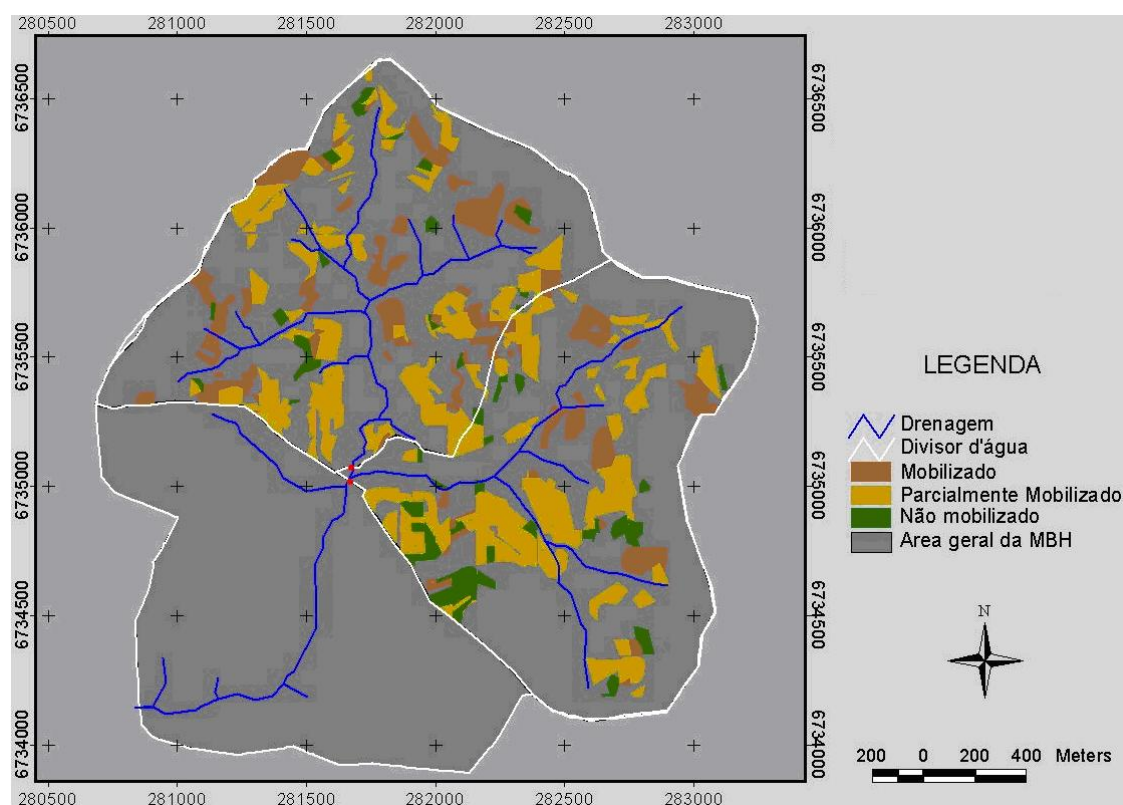
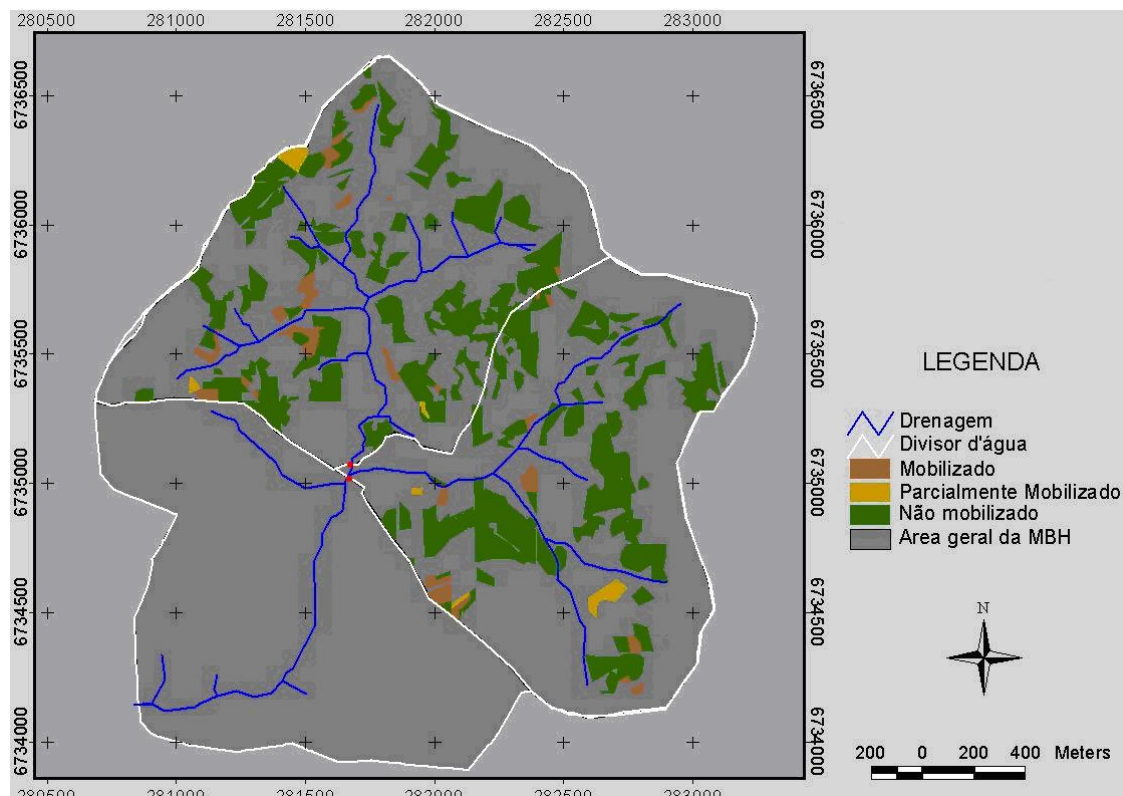
ANEXO Z - Mapa de sobreposição das áreas de lavoura da área de captação da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, do primeiro e segundo semestre de 2005.



ANEXO AA - Mapa de manejo do solo na área de captação da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, no primeiro e segundo semestre de 2003, respectivamente.



ANEXO AB - Mapa de manejo do solo na área de captação da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, no primeiro e segundo semestre de 2004, respectivamente.



ANEXO AC - Mapa de manejo do solo na área de captação da pequena bacia hidrográfica rural do Arroio Lino de Nova Boêmia, Agudo – RS, no primeiro e segundo semestre de 2005, respectivamente.

