

UTILIZAÇÃO DO FATOR TOPOGRÁFICO DA RUSLE PARA ANÁLISE DA SUSCEPTIBILIDADE A EROSÃO DO SOLO EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA COM PECUÁRIA INTENSIVA DO SUL DO BRASIL

Use of the topographic factor the RUSLE for analysis susceptibility soil erosion in a basin with intensive livestock South of Brazil

Viviane Capoane - UFPR
Doutoranda em Geografia na Universidade Federal do Paraná
capoane@gmail.com

RESUMO

A topografia desempenha papel importante na predição do escoamento superficial, erosão e sedimentação em bacias hidrográficas. Neste trabalho foi determinado o fator topográfico (LS) da RUSLE para a bacia hidrográfica do Arroio Caldeirão com o intuito de espacializar as áreas susceptíveis a perda de solo e gerar informações básicas para orientar e auxiliar o planejamento do uso da terra. A espacialização do LS permitiu a fácil visualização das áreas mais suscetíveis ao desenvolvimento de processos erosivos, os maiores valores ocorreram nas encostas e em alguns trechos próximos aos canais de drenagem. As áreas menos sensíveis a erosão são encontradas em áreas de relevo plano a suave nos vales e topos de morros. Os valores de LS variaram de 0 a 45,1 com média de 6,19 e desvio padrão de 5,06. O cruzamento do mapa de uso da terra com o do fator topográfico mostrou que 19,9% do total da área da bacia hidrográfica e 39,5% das áreas com lavouras, campo antrópico e pastagem perene, apresentaram grande risco de ocorrência de processos erosivos. A possibilidade de transferência de sedimento e poluentes adsorvidos para os cursos d'água é elevada, devido ao tráfego de animais e o uso frequente do efluente suíno como fertilizante orgânico nas lavouras.

Palavras Chave: Uso da Terra, Análise do Terreno, Geoprocessamento.

ABSTRACT

Topography plays an important role in the prediction of surface run-off, erosion and sedimentation in watersheds. In this work we determined the topographic factor (LS) the RUSLE for the watershed of Arroio Caldeirão in order to spatialize areas susceptible to soil loss and generate basic information to guide and assist the planning of land use. The spatial view of the LS allowed the easy visualization of the areas most likely to erode, the largest values of the LS factor occur for hillsides and margins of drainage canals. The least likely areas for erosion, those with lowest LS factor values, are found for plains, hilltops and valley floors. The values of the LS factors vary between 0 and 45 with an average of 6,19 and standard deviation of 5.06. The intersection of the land use map with the topographic factor map show that 19,9 % of the total area of the watershed and, 39,5 % of the area used by crops, anthropic fields and perennial pasture are at high risk for erosion. The possibility of transfer of sediment and adsorbed

pollutants to water is high, due to the traffic of animals and frequent use of pig effluent as an organic fertilizer on crops.

Key words: Land Use, Terrain Analysis, Geoprocessing.

INTRODUÇÃO

A erosão do solo é um processo complexo de degradação que leva à diminuição da qualidade e da produtividade do solo resultando em uma diminuição efetiva da profundidade da raiz, desequilíbrio de nutrientes e água, redução de infiltração e aumento do escoamento superficial (LAL, 2001; YANG *et al.*, 2003). Além disso, a produção de sedimentos pode resultar na aceleração da sedimentação natural em rios e reservatórios reduzindo a sua capacidade de armazenamento, bem como tempo de vida (PANDEY *et al.*, 2007).

Atualmente, dada à degradação ambiental resultante e suas importantes consequências econômicas e ambientais, a necessidade de mitigar a erosão do solo e diminuir o aporte de sedimentos para cursos d'água é amplamente aceita. No entanto, a tomada de decisão para a gestão de sedimentos na escala de bacia hidrográfica é uma tarefa desafiadora e depende da descrição dos fluxos de água e solutos na paisagem bem como a identificação das principais fontes de sedimentos.

Como a identificação quantitativa das fontes da erosão em BHs é difícil de ser feita em larga escala em função dos custos e complexidade dos fatores e processos envolvidos, modelos matemáticos e programas de monitoramento são usados para executar esta tarefa. Neste caso, a capacidade de inserção da variabilidade espacial dos processos nos modelos hidrológicos para a simulação do escoamento, da erosão e produção de sedimentos permitiu um grande avanço na modelagem dos processos hidrossedimentológicos nas últimas décadas, auxiliando na identificação e classificação de áreas quanto ao risco de erosão, na compreensão dos mecanismos do processo e previsão de cenários, fornecendo informações de apoio para a alocação de recursos e os tipos de práticas que irão fornecer a proteção mais eficaz.

Com o desenvolvimento dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e a disponibilização de dados de sensoriamento remoto, a *Universal Soil Loss*

Equation (USLE) (WISCHMEIER e SMITH, 1960, 1965, 1978) e derivações, *Revised Universal Soil Loss Equation* (RUSLE) (RENARD *et al.*, 1997), passaram a ser amplamente empregadas para avaliar a degradação do solo em grandes áreas, possibilitando estimar a abrangência dos processos erosivos e sua intensidade. Contudo, uma grande limitação no uso dos modelos empíricos de erosão USLE/RUSLE na escala de bacia hidrográfica é a dificuldade em estimar valores adequados do comprimento da rampa (L) e declividade (S) para aplicações em SIG. Isso ocorre porque estes modelos fazem uma grande generalização da realidade ao adotar um comprimento de declive médio da área sem considerar a influência do fluxo convergente e divergente e não proporcionando informações quanto às fontes e sumidouros dos materiais erodidos (WARREN *et al.*, 2005). Dessa forma, a distribuição espacial da erosão do solo na paisagem prevista por tais modelos deturpa as condições presentes e tende a superestimar a erosão em escala de bacia hidrográfica ou paisagem.

Em decorrência das limitações existentes na concepção original do fator topográfico, o fator L da RUSLE foi substituído pela área de contribuição específica (*specific catchment area*, A_s) (MOORE e BURCH, 1996a; MOORE e BURCH, 1996b; DESMET e GOVERS, 1996), que é embasada na teoria da unidade de energia do fluxo (*Unit Stream Power Theory*) desenvolvida por Yang (1972; 1984). Ao substituir o L, a A_s gera a rede de erosão calculada como base na convergência do fluxo de sedimentos, explicando o duplo fenômeno de convergência de drenagem e sulcamento (GERTNER *et al.*, 2002). Assim, a incorporação do conceito de potência do escoamento e área de contribuição específica foi uma importante contribuição para a automatização do modelo USLE/RUSLE, pois permitiu calcular o LS para grandes áreas e de relevo complexo (MINELLA *et al.*, 2010).

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo determinar em ambiente do SIG as áreas mais susceptíveis ao desenvolvimento de processos erosivos através dos atributos topográficos derivados de um modelo digital de elevação hidrologicamente consistido para a bacia hidrográfica do Arroio Caldeirão, Palmitinho/RS.

MATERIAIS E MÉTODOS

Descrição da área de estudo

Este estudo foi realizado em uma bacia hidrográfica agrícola (1.336 ha), localizada no município de Palmitinho (236000 e 246000 E e 6974000 e 6980000 S), noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). O clima da região corresponde ao subtropical muito úmido com inverno fresco e verão quente. A temperatura média anual varia entre 20-23°C. A temperatura média do mês mais frio oscila entre 14-17°C e a temperatura média do mês mais quente varia entre 23-29°C. É a região com o conjunto de médias de temperaturas mais altas do Estado. A precipitação fica entre 1700-1900 mm ao ano em 110-140 dias de chuva (ROSSATO, 2011).

O relevo caracteriza partes de um planalto, Planalto Meridional Brasileiro, desenvolvido por rochas basálticas de natureza alcalina, estabelecidas em sucessivos estratos, através de fissuras que romperam à superfície em períodos do Jurássico e Cretáceo e extravasaram em sucessivas camadas, hoje em fase final de dissecação pelos processos erosivos naturais. Na BH em estudo predomina Formação Serra Geral (Fácies Paranapanema) com relevo ondulado e cotas altimétricas variando de 198,7 a 512,8 m. As classes de solos mais expressivas da BH são Neossolos e Cambissolos.

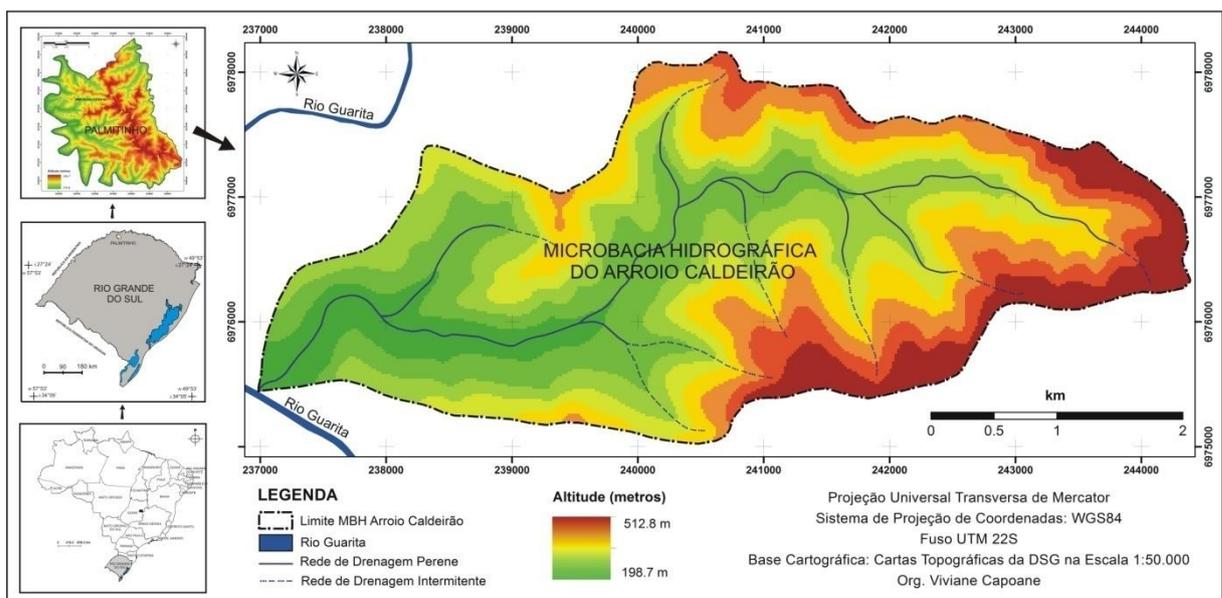


Figura 1 - Mapa de localização da bacia hidrográfica do Arroio Caldeirão, Palmitinho - RS.

A área da BH do Arroio Caldeirão é subdividida em 124 propriedades e a economia local baseia-se, principalmente, na suinocultura intensiva, bovinocultura de leite e aposentadorias. A bovinocultura de leite está presente em praticamente todas as propriedades, sendo que o número de animais varia bastante, desde um até 40 animais por propriedade, com um total de 545 animais. A atividade suinícola está presente em 15 propriedades, sendo 12 em unidade de terminação (UT) e três em unidade de produção de leitões (UPL). O número de animais nas UTs é de 7.890 e nas UPLs é de 331 matrizes.

Extração dos Atributos Topográficos

A base para a extração dos atributos topográficos é um modelo digital de elevação (MDE) hidrologicamente consistente da bacia hidrográfica. Os dados cartográficos utilizados neste trabalho (curvas de nível, rede de drenagem e pontos cotados) foram extraídos das cartas topográficas da DSG na escala 1:50.000, tendo sido obtidos no formato digital de um banco de dados da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (HASENACK e WEBER, 2010). Antes de proceder à interpolação para geração do MDE realizou-se uma verificação da existência de erros provenientes do processo de digitalização das cartas topográficas.

A interpolação dos dados foi realizada pelo método *Topogrid*, desenvolvido para estudos hidrológicos (HUTCHINSON, 1989). O MDE *Topogrid* utiliza um método de interpolação de diferenças finitas, combinando interpolação local com o método do inverso do quadrado da distância, e interpolação global que utiliza uma superfície de continuidade, como o interpolador *Kriging* (ESRI, 2010). O procedimento é chamado *Topo to Raster* dentro do SIG ArcGis. Este método permite congrega tanto as feições hidrográficas como a remoção de dados espúrios relativos a pontos de depressões (JENSON e DOMINIQUE, 1988). Na interpolação para geração do MDE, manteve-se a resolução espacial das cartas topográficas de 20 metros.

A partir do MDE gerado realizaram-se as operações preliminares para o cálculo do fator topográfico como a determinação da declividade (β), área de contribuição (A_c), orientação de vertente (φ), largura do fluxo (w) e a área de contribuição específica (A_s). Os ângulos β e φ foram calculados com base no

valor de altitude das células adjacentes utilizando-se uma operação de vizinhança (LIU et al., 2009) enquanto a área de contribuição foi calculada por meio de algoritmos de distribuição do fluxo (O'CALLAGHAN e MARK, 1984).

Considerando que o fluxo do escoamento superficial em determinada célula do MDE possui direção e sentido equivalentes ao ângulo de orientação de vertentes, a largura do fluxo que passa por esta célula pode ser calculada por meio da Equação 1, onde D corresponde ao espaçamento da grade do MDE. A A_s é expressa pela razão entre a área de contribuição e a largura do fluxo (Equação 2). Posteriormente foi efetuado o cálculo do fator topográfico da RUSLE (Equação 3).

$$w = D (|\text{sen}\varphi| + |\text{cos}\varphi|) \quad (1)$$

$$A_s = \frac{A_c}{w} \quad (2)$$

$$LS = \left(\frac{A_s}{22,13} \right)^{0,4} \left(\frac{\text{sen}\beta}{0,0896} \right)^{1,3} \quad (3)$$

Elaboração do Mapa de Uso da Terra

O mapa de uso da terra foi confeccionado utilizando uma imagem de satélite disponível no Google Earth Pro do ano de 2007. Posteriormente a delimitação das classes de uso da terra em laboratório, foi feita a atualização do uso em campo para o ano de 2012. O levantamento espacial das fontes pontuais de poluição foi realizado utilizando o Gpsmap 62s da Garmin.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Determinação do Fator Topográfico

O fator topográfico foi classificado utilizando o método *Quantile* do ArcGIS, criando classes contendo aproximadamente o mesmo número de células. Escolheu-se um número de cinco classes. A Figura 2 e a Tabela 1 mostram a distribuição do LS para BH do Arroio Caldeirão. A variação do fator topográfico foi

de 0 a 45,1, com média aritmética de 6,19 e desvio padrão de 5,06. Os menores valores encontram-se nas áreas com relevo plano nos vales, topos de morros e interflúvios. Já os maiores valores encontram-se na meia encosta e em alguns trechos próximos aos canais de drenagem, onde o fluxo superficial atinge maior energia em função do declive acentuado.

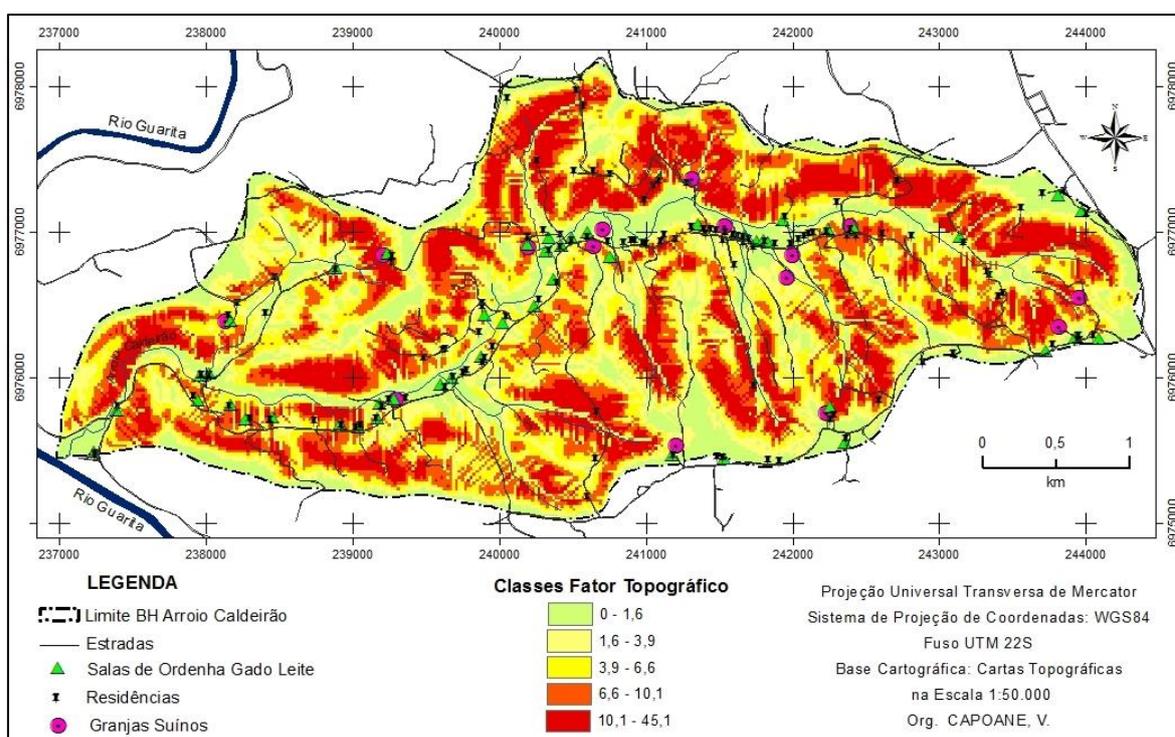


Figura 2 - Distribuição do fator topográfico para a bacia hidrográfica do Arroio Caldeirão.

Tabela 1 - Distribuição da frequência relativa e acumulada das classes do fator topográfico para a bacia hidrográfica do Arroio Caldeirão.

Classes LS	Área (ha)	Fr. relativa (%)	Fr. Acumulada (%)
0 – 1,59	253,5	18,6	18,6
1,59 – 3,90	296,6	21,8	40,4
3,90 – 6,57	273,4	20,1	60,5
6,57 – 10,12	274,2	20,1	80,6
10,12 – 45,11	265,9	19,5	100

Uso da Terra na Bacia Hidrográfica do Arroio Caldeirão

A ocupação agrícola na BH está adaptada principalmente às dificuldades impostas pelo relevo. As lavouras encontram-se principalmente nos vales, sendo

possível também encontrá-las em áreas mais íngremes (Figura 3). Os cultivos comerciais de maior retorno econômico são milho e fumo no verão. No período de inverno pequenas áreas são cultivadas com forrageiras, mas a maior parte permanece em pousio hibernar. A vegetação, outrora de mata nativa composta pela formação Floresta Estacional Decidual Submontana, está mais bem preservada em áreas onde não é possível a prática agrícola em função do relevo acidentado. Em algumas propriedades, devido ao êxodo de jovens para as cidades observam-se lavouras abandonadas com matas em vários estágios de regeneração.

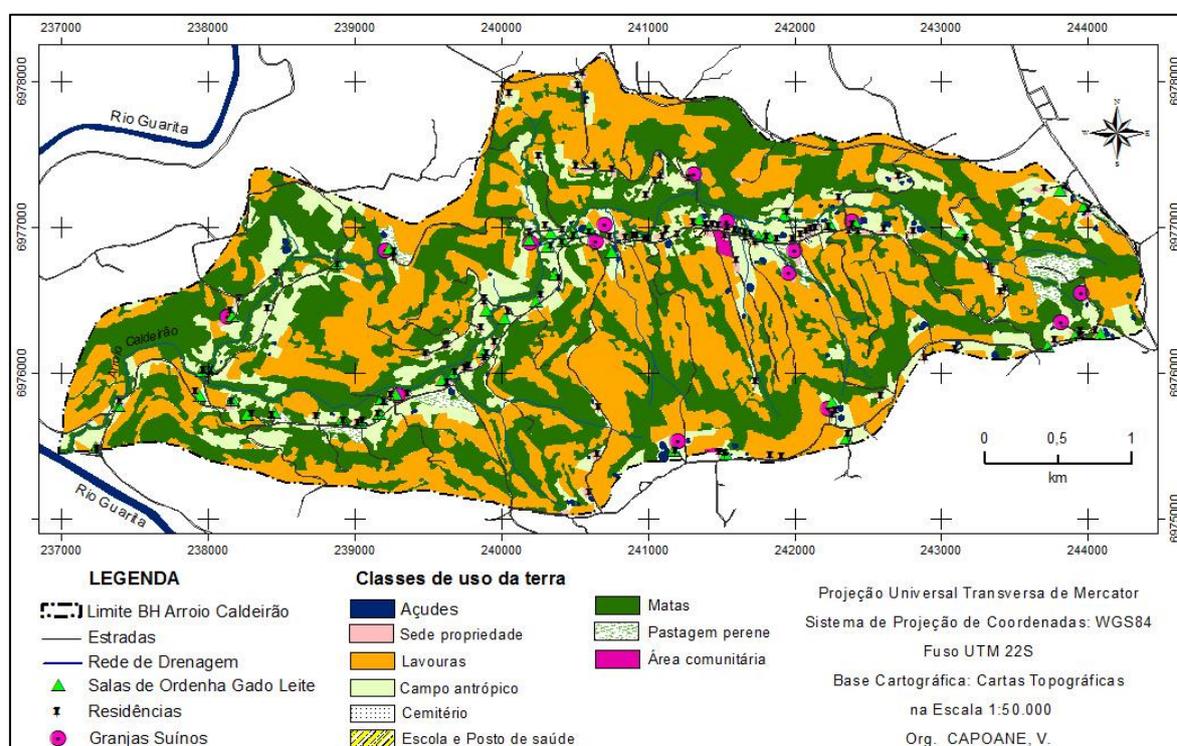


Figura 3 - Mapa com a interpretação do uso da terra da bacia hidrográfica do Arroio Caldeirão.

Utilização do fator topográfico da RUSLE para análise da susceptibilidade a erosão do solo em uma bacia hidrográfica com pecuária intensiva do sul do Brasil

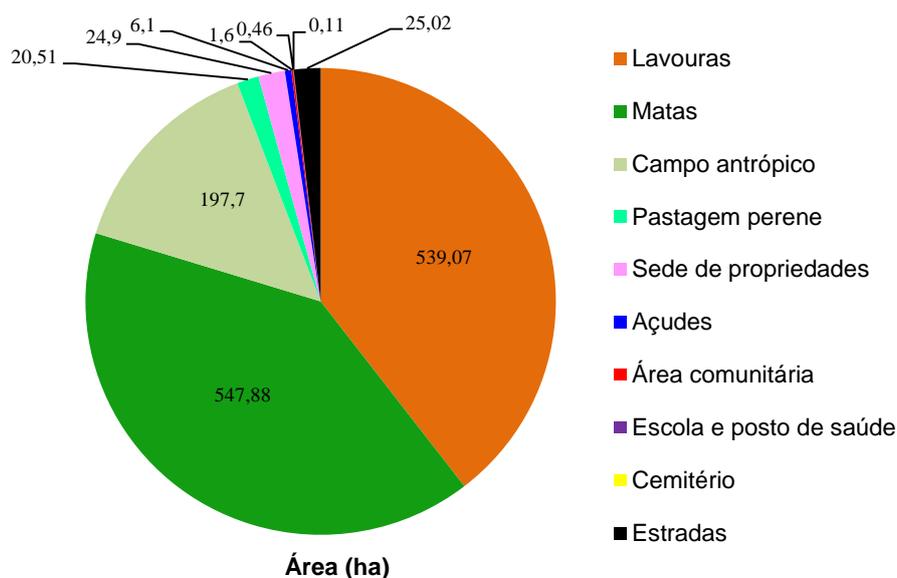


Figura 4 – Classes de uso da terra identificadas na bacia hidrográfica do Arroio Caldeirão.

As áreas de lavoura são mantidas sob o sistema de cultivo convencional, com lavrações e gradagens antes de cada cultivo. Nas poucas áreas de lavoura em que o solo não é revolvido, a cobertura do solo com resíduos culturais é muito baixa, sendo insuficiente para amenizar a energia cinética da chuva. Além disso, não existe sistema de rotação de culturas, não há obras físicas de contenção da enxurrada e a semeadura em muitas propriedades é feita no sentido do declive, resultando em presença de erosão laminar forte e erosão em sulcos.

Nas propriedades com gado de leite, após a ordenha no fim do dia, o gado é encaminhado para poteiros e piquetes próximos às residências, o número excessivo de animais em pequenas áreas intensifica os processos de desagregação do solo e o surgimento de processos erosivos (Figura 5). Como esses locais encontram-se próximos a cursos d'água, além da degradação do solo e transferência de sedimento e poluentes adsorvidos para os cursos d'água, há também o comprometimento das zonas ripárias devido ao tráfego de animais.



Figura 5 - Imagem ilustrando um campo antropizado em área de preservação permanente na bacia hidrográfica do Arroio Caldeirão. Foto: CAPOANE, V.

As classes de uso da terra identificadas na BH do Arroio Caldeirão foram: lavouras (539,07 ha – 39%), matas (547,88 ha – 40,19%), campo antrópico (197,7 ha – 15,5%), pastagem perene (20,51 ha – 1,5%), sede de propriedades (24,9 ha – 1,83%), açudes (6,1 ha – 0,45%), área comunitária (1,6 ha – 0,12%), escola e posto de saúde (0,46 ha – 0,03%), cemitério (0,11 ha – 0,01%) e estradas (25,02 ha – 1,84%) (Figuras 3 e 4).

Fontes Pontuais e Difusas de Poluição na BH do Arroio Caldeirão

As bacias hidrográficas são integradas através de movimentos da água. O movimento da água e de partículas do solo translocadas na paisagem move materiais como a matéria orgânica (viva e morta), fertilizantes e resíduos de pesticidas, nutrientes e uma gama de substâncias tóxicas, incluindo metais pesados e patógenos (CONACHER, 2002). Estes materiais, por sua vez, podem afetar a saúde dos vários componentes ecológicos de bacias hidrográficas como a biota aquática, a vida do solo, vegetação, fauna e da vasta gama de insetos que dependem da vegetação e corpos d'água, que fornecem alimento para as aves de ordem superior e os animais. Além disso, a água é usada por seres humanos para fins agrícolas e outros, bem como para consumo doméstico. Assim, os usos

antrópicos em uma bacia hidrográfica tem reflexos diretos na qualidade da água de rios e lagos.

Na BH do Arroio Caldeirão a agricultura é uma importante fonte de renda para os moradores e também uma importante fonte difusa de poluição. Da mesma forma que o restante do mundo, isso se deve a entrada excessiva de fertilizantes industrializados e principalmente, pela aplicação indiscriminada de efluentes líquidos suínos. O sistema de manejo do solo adotado, predominantemente, é o cultivo convencional, o que deixa o solo mais exposto à perda pelo escoamento superficial (enxurradas).

Nos trabalhos de campo para atualização do mapa de uso da terra também foi feito o levantamento espacial das fontes pontuais de poluição, sendo três identificadas como as principais: granjas com suinocultura intensiva, salas de ordenha do gado de leite e residências.

Na suinocultura, assim como no restante do país onde há produção intensiva de suínos, o tratamento dos dejetos ainda é uma prática pouco utilizada em virtude dos custos e da complexidade dos processos necessários para a eficiente depuração dessa matriz, que tem como característica inerente a sua alta carga poluente. Em 10 propriedades o dejetos de suíno produzido é armazenado em esterqueiras e, em cinco delas há biodigestores. Os biodigestores estão instalados em propriedades integradas a empresa Sadia e fazem parte de um programa que comercializa créditos de carbono. Tanto o dejetos armazenado nas esterqueiras quanto dos biodigestores são aplicados como fertilizante orgânico nas lavouras, porém a quantidade de esterco aplicado no solo é feita indiscriminadamente, sem análises de solo e com sucessivas aplicações nas mesmas áreas, inúmeras vezes ao ano.

Além disso, nos períodos em que as lavouras já estão implantadas a aplicação é feita em superfície, normalmente em área próximas a sedes de propriedade, ou seja, próxima aos cursos d'água, assim em eventos de chuva sedimento e nutrientes atingem os cursos d'água e podem promover a degradação da qualidade dos mananciais. A problemática é agravada nos locais onde as matas ciliares foram totalmente suprimidas.

O manejo adotado pelos suinocultores tem se mostrado inadequado em vista da degradação ambiental observada nas regiões de grande concentração da atividade. Conforme Segnanfredo (2007), a aplicação de efluentes líquidos suínos,

realizada sem os critérios adequados representa riscos para o meio ambiente, pois, o uso excessivo e/ou prolongado pode resultar em desequilíbrios químicos, físicos e biológicos do solo, seletividade de espécies vegetais, alterações na diversidade e funcionalidade dos microrganismos do solo e distúrbios na saúde dos animais. Dessa forma, apesar de terem consideráveis benefícios agrônômicos como fonte de nitrogênio, fósforo e matéria orgânica (AITKEN, 1996), tem o potencial de ocasionar a eutrofização dos corpos d'água e aumentar a concentração de metais pesados do solo, podendo atingir níveis tóxicos para as plantas.

Dados oficiais disponíveis vêm demonstrando que as áreas aptas para a aplicação de efluentes suínos nas propriedades do Sul do Brasil não comportam a totalidade dos dejetos produzidos (SEGANFREDO, 2003). A quantidade de nutrientes aplicados nas lavouras está muito acima da capacidade de absorção das plantas, provocando o acúmulo progressivo destes no solo e, conseqüentemente, o seu escoamento superficial e a sua lixiviação e percolação, colocando em risco os mananciais de água superficiais e subsuperficiais.

Utilizando o cálculo de Oliveira (1993) o volume de dejetos líquidos produzidos na BH do Arroio Caldeirão é de cerca de 70,125 m³ dia⁻¹. Esse volume deve-se principalmente ao manejo inadequado das instalações, pois é comum vazamentos no sistema hidráulico, desperdício de água nos bebedouros e sistema de limpeza inadequado. A problemática é agravada devido a sistemas de armazenagem subdimensionados, infraestrutura de distribuição deficiente e pequena área agrícola apta para aplicação dos dejetos.

A bovinocultura de leite está presente em praticamente todas as propriedades, sendo que o número de animais varia bastante, desde um até 40 animais por propriedade. Na maioria delas, o agricultor não se preocupa com a implantação de pastagens ou com o manejo dos dejetos no local de ordenha. Somente quatro propriedades possuem esterqueiras para o direcionamento do efluente gerado durante a ordenha sendo que, em três delas, a atividade está consorciada com a suinocultura, onde os produtores aproveitam o mesmo sistema para canalização dos dejetos suínos e bovinos. Nas demais propriedades a ordenha é feita em estrebarias mal dimensionadas ou a céu aberto, sendo todo efluente gerado descartado diretamente no ambiente.

As sedes das propriedades também foram consideradas como fontes pontuais de poluição, pois na maioria delas não há sistema de tratamento de esgoto, sendo todo efluente gerado encaminhado para fossas negras. Além disso, a coleta de lixo passa esporadicamente e não contempla todos os moradores. É visível o acúmulo de lixo em alguns pontos da BH, principalmente sacos plásticos, inclusive embalagens de agrotóxicos, e vidro.

Áreas de Maior Risco de Ocorrência de Processos Erosivos

Do cruzamento das áreas com maior potencial erosivo (classe 10,1 a 45,1) extraído do mapa do fator topográfico (Figura 2), com as áreas de uso mais intenso do solo (lavouras, campo antrópico e pastagem perene) extraído do mapa de uso da terra (Figura 3), obteve-se as áreas mais suscetíveis ao desenvolvimento dos processos erosivos (Figura 6).

O resultado do cruzamento mostra à espacialização das áreas com maior capacidade de transporte de sedimentos. Essas áreas podem ser consideradas as áreas de maior risco de ocorrência de processos erosivos em função da topografia e dos usos antrópicos, bem como, da transferência de poluentes para os cursos d'água, pois nesses locais há tráfego intenso de animais e utilização de efluentes suínos como fertilizante orgânico.

Essas áreas representam 19,9% do total da área da BH e 39,5% da área com lavouras, campo antrópico e pastagem perene, demonstrando o alto grau de fragilidade ambiental da bacia devido principalmente à falta de planejamento no uso dos recursos naturais.

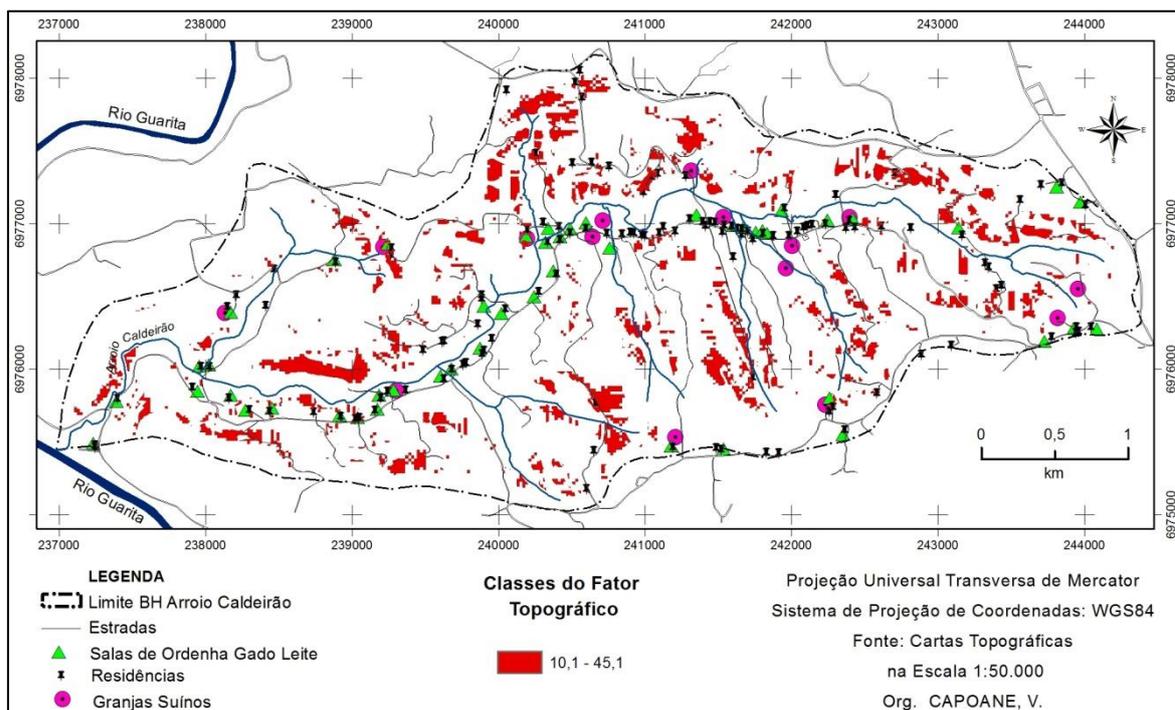


Figura 6 - Mapa com a distribuição do fator topográfico que se encontra em área de lavouras, pastagem perene e campo antrópico.

CONCLUSÃO

A determinação informatizada do fator topográfico da RUSLE possibilitou a espacialização das áreas mais sensíveis ao desenvolvimento de processos erosivos. As áreas com maior capacidade de transporte de sedimentos (valor alto do LS) encontram-se na meia encosta e em alguns trechos ao longo dos canais de drenagem.

O cruzamento do mapa de uso da terra com o do fator topográfico mostrou que 19,9% do total da área da BH e 39,5% da área com lavouras, campo antrópico e pastagem perene, apresentam grande risco de ocorrência de processos erosivos e de transferência de poluente para os cursos d'água, uma vez que, nesses locais há tráfego intenso de animais e utilização indiscriminada de efluentes suínos como adubo orgânico.

REFERÊNCIAS

CONACHER, A. A (2002). Role for Geomorphology in Integrated Catchment Management. **Australian Geographical Studies**. 40(2):179–195.

DESMET, P. J. J.; GOVERS, G. (1996). A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 51, n. 5, p. 427-433.

ESRI (2011). **ArcGIS Desktop**: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.

GERTNER, G. *et al.* (2002). Effect and uncertainty of digital elevation model spatial resolutions on predicting the topographical factor for soil loss estimation. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 57, n. 3, p. 164-174.

HASENACK, H.; WEBER, E. (org.). (2010). **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000**. Porto Alegre, UFRGS-IB-Centro de Ecologia. 1 DVD-ROM (Série Geoprocessamento, 3).

HUTCHINSON, M. F. (1989). A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. **Journal of Hydrology**, v. 106, p. 211-232.

JENSON, S. K.; DOMINGUE, J. O. (1988). Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 54 (11): 1593-1600.

LAL, R. (2001). Soil degradation by erosion. **Land Degradation & Development**, 12 (6): 519–539.

LIU, H.; FOHRER, N.; HORMANN, G.; KIESEL, J. (2009). Suitability of S factor algorithms for soil loss estimation at gently sloped landscapes. **Catena**, v. 77, p. 248-255.

JOZIASSE, J.; HEISE, S.; OEN, A.; ELLEN, G. J.; GERRITS, L. (2007). Sediment management objectives and risk indicators. **Sustain Management of Sediment Resources**, 3:9-75.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H.; RUHOFF, A. L. (2010). Utilização de métodos de representação espacial para cálculo do fator topográfico na equação universal de perda de solo revisada em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:1455-1462.

MOORE, I. D.; BURCH, G. J. (1986a). Modeling erosion and deposition: topographic effects. **Transactions of the American Society of Civil Engineers**, St. Joseph, v. 29, n. 6, p. 1624-1640.

MOORE, I. D., BURCH, G. J. (1986b). Physical basis of the length-slope factor in the universal soil loss equation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 50, n. 5, p. 1294- 1298.

MORGAN, R. P. C. (2005). **Soil erosion and conservation**. 3rd. ed. Malden: Blackwell. 304 p.

O'CALLAGHAN, J. F.; MARK, D. M. (1984). The extraction of drainage networks from digital elevation data. **Computer Vision, Graphics, and Image Processing**, v. 28, p. 323-344.

PANDEY, A.; CHOWDARY, V. M.; MAL, B. C. (2007). Identification of critical erosion prone areas in the small agricultural watershed using USLE, GIS and remote sensing. **Water Resources Management**, Amsterdam, v. 21, n. 4, p. 729-746.

RENARD, K. G. *et al.* (1997). **Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)**. Washington: USDA 1997. 404 p. (Agriculture handbook, n. 703).

ROSSATO, M. S. (2011). **Os climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia**. 240 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

WALLING, D. E. (1998). Erosion and sediment yield research-some recent perspectives. **Journal of Hydrology**. 100:113–141.

WARREN, S. D.; MITASOVA, H.; HOHMANN, M. G.; LANDSBERGER, S.; ISKANDER, F. Y. RUZYCKI, T. S.; SENSEMAN, G. M. (2005). Validation of a 3-D enhancement of the Universal Soil Loss Equation for prediction of soil erosion and sediment deposition. **Catena**, Amsterdam, v. 64, n. 2/3, p. 281-296.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. (1978). **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: USDA, 58 p.

YANG, D.; KANAE, S.; OKI, T.; KOIKEL, T.; MUSIAKE, T. (2003). Global potential soil erosion with reference to land use and climate change. **Hydrological Processes**, 17: 2913–2928.

YANG, C. T. (1972). Unit stream power and sediment transport. **Journal of Hydrology**. Div., Proc. Am. Soc. Civil Eng. 98:1805-1826.

YANG, C. T. (1984). Unit stream power equation for gravel. **Journal of Hydrology**. Div., Proc. Am. Soc. Civil Eng., 110:1783-1797.