

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA E GEOCIÊNCIAS**

**O MODELADO DE DISSECAÇÃO DO RELEVO COMO
FATOR TOPOGRÁFICO NA EQUAÇÃO UNIVERSAL
DE PERDA DE SOLO APLICADO AO MUNICÍPIO DE
SÃO PEDRO DO SUL – RS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Luís Fernando Devicari

**Santa Maria, RS, Brasil
2009**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**O MODELADO DE DISSECAÇÃO DO RELEVO COMO
FATOR TOPOGRÁFICO NA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE
PERDA DE SOLO APLICADO AO MUNICÍPIO DE SÃO
PEDRO DO SUL – RS**

por

Luís Fernando Devicari

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências, Área de Concentração em Análise ambiental e dinâmica espacial, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Geografia**

Orientador: Dr. Mauro Kumpfer Werlang

**Santa Maria, RS, Brasil
2009**

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Naturais e Exatas
Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências**

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

**O MODELADO DE DISSECAÇÃO DO RELEVO COMO FATOR
TOPOGRÁFICO NA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO
APLICADO AO MUNICÍPIO DE SÃO PEDRO DO SUL – RS**

Elaborada por
Luís Fernando Devicari

Comissão Examinadora:

**Dr. Mauro Kumpfer Werlang (UFSM-RS)
(Presidente/Orientador)**

Dr Roberto Cassol (UFSM-RS)

Dr^a. Liane de Souza Weber (UFSM-RS)

**Dr. Waterloo Pereira Filho (UFSM-RS)
(Suplente)**

Santa Maria, 23 de setembro de 2009 .

Agradecimentos

A toda minha família e em especial aos meus pais Edy e Darci pelo apoio, compreensão e incentivo na busca de novos conhecimentos.

A Universidade Federal de Santa Maria pela estrutura e qualidade do ensino.

Aos professores do programa de Pós-graduação em geografia, pelo conhecimento e incentivos prestados.

Ao professor Mauro Kumpfer Werlang pela confiança, sabedoria transmitida, dedicação e, principalmente pela amizade nesses vários anos de orientação.

Aos professores do Colégio politécnico da Universidade Federal de Santa Maria Liane de Souza Weber e Elódio Sebem, pelas contribuições na qualificação.

Ao laboratório de ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e em especial ao Heinrich Hasenak, pela ajuda indispensável para confecção dos mapas.

A Viviana está pessoa especial, que nunca mediu esforços e que foi presença indispensável nesta etapa, pelo seu carinho, compreensão, afeto, companheirismo e incentivo.

Aos amigos da CEU II, em especial ao Vanderson, ao Geovani (vulgo São Martinho), ao Daniel, e ao Patrick pela amizade, companheirismo e presença constante nos momentos marcantes de minha vida acadêmica.

Ao amigo e colega Iberê pela ajuda nos trabalhos de campo.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a concretização de mais uma etapa de minha vida.

***“Algo só é impossível até
que alguém duvide e
acabe provando
o contrário”.***

Albert Einstein

RESUMO

Dissertação mestrado
Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências
Universidade federal de Santa Maria

O MODELADO DE DISSECAÇÃO DO RELEVO COMO FATOR TOPOGRÁFICO NA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO APLICADO AO MUNICÍPIO DE SÃO PEDRO DO SUL – RS

AUTOR: Luís Fernando Devicari
ORIENTADOR: Mauro Kumpfer Werlang
Data e local da defesa: Santa Maria, 23 de setembro 2009

Os problemas ambientais, na maioria das vezes, são decorrentes à deficiência no processo de gestão dos recursos naturais. O uso de forma inadequada gera impactos negativos ao meio ambiente. Portanto as ações do homem devem ser planejadas de modo que as potencialidades de cada ambiente sejam consideradas, sendo que o relevo participa de forma decisiva no potencial de uso. Neste contexto, o trabalho tem como objetivo determinar a perda de solo no município de São Pedro do Sul-RS através da aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) onde o fator topográfico está determinado pelo modelado de dissecação do relevo. A metodologia empregada está proposta pela EUPS cujos fatores desencadeadores são a erosividade da chuva (fator R), a erodibilidade do solo (fator K), o comprimento de rampa e o grau de declive (fator LS). O fator uso da terra (fator C) e as práticas de conservação (fator P) podem ser considerados fatores atenuantes. Para a determinação do fator topográfico (LS) foi considerado o modelado de dissecação do relevo. Os demais foram obtidos conforme preconiza a metodologia da EUPS. Tendo-os em formato digital estes fatores foram levados a um ambiente de SIG (Sistema de Informação Geográfica) para o cruzamento e assim gerar o mapa de perda de solo para o município de São Pedro do Sul. Para o resultado final as áreas com modelado de acumulação foram consideradas como áreas de aporte de sedimentos. Assim não foram consideradas para efeito de cálculo no SIG. Essas áreas representam 16,64% da área total do município. O resultado obtido mostra o predomínio de uma classe de baixíssima perda de solo. As áreas com as maiores perdas concentraram-se principalmente próximas ao rebordo do planalto e em áreas do setor central do município utilizadas com agricultura. Ao substituir o fator topográfico pelo modelado de dissecação do relevo promoveu-se uma generalização nesse fator. Isso aliado ao uso da terra, onde a classe campo é predominante, resultou num agrupamento homogêneo quanto à perda de solo. Por essa razão recomenda-se que a metodologia seja empregada em áreas maiores onde são admitidos resultados mais genéricos. Os resultados obtidos cumprem a função de oferecer subsídios ao processo de gestão dos recursos naturais do município de São Pedro do Sul-RS.

Palavras chaves: EUPS; fator topográfico; geoprocessamento.

ABSTRACT

Author: Luís Fernando Devicari

Monitor: Mauro Kumpfer Werlang

Defense date and place: September 23st, 2009, Santa Maria

The modeled of dissection of the relief to topographic factor in Universal Soil Loss Equation applied in municipal district of São Pedro do Sul – RS

The ambiental problems, most of times are decorrent of a deficiency of the management process of natural resources. The wrong use of them, create a negative impact to the environment. Thus, the human actions must be planed considering the potencialties of each environment and the relief takes an important part in the way of the potencial use. In this context, this research has the objective to determinate the loss of soil in the municipal district of São Pedro do Sul – RS, using the application of Universal Soil Loss Equation (USLE) in which the topographic factor is determinated by the modeled of dissection of the relief. The methodology used was proposed by USLE, which has as whose break out factors the erosivity of rain (R factor), the level of soil erosion (K factor), the slope length and the declivity degree (LS factor). The use of the land factor (C factor) and the conservation practices (P factor) can be considered as attenuant factors. For determining the topographic factor was considered of the modeled of dissection of the relief. The other ones were obtained in conformity with the USLE methodology. Once in digital format these factors were taken in to a Geographic Information System (GIS) environment to accomplishment of crosses and generate the map of the loss of soil of the municipal district of São Pedro do Sul –RS. For the final result the areas with the accumulation modeled were considered as input sediment areas. So it was not considered for calculation effect in GIS. This areas represent 16,64% of the total area of the municipal district. The final result shows the predominance of a class of loss considered as class 1, with low soil loss. The areas with higher losses are concentrated essentially near the Plateaus Edge and in some areas of the central sector of the municipal district used with agriculture. Replacing the topographic factor by the modeled of dissection of the relief it was made a wiles of read of these factor. Became generalized associated with land use, where the prairie class is predominant, resulted in a homogeneous group as to the soil loss. For this reason it is recommended that the methodology must be used in larger areas where more generical results are accepted. The results obtained carry out the function of offering subvention to the management process of natural resources for the municipal district of São Pedro do Sul – RS.

Keys words: Dissection of relief, topographic factor, loss of soil

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Município de São Pedro do Sul: Estrutura fundiária do ano de 1995_____	58
Tabela 2	Evolução da população total residente no município de São Pedro do Sul -1980/2008_____	59
Tabela 3	Dados relativos ao fator C para as classes de uso_____	71
Tabela 4	Município de São Pedro do Sul – RS: erodibilidade dos solos_____	75
Tabela 5	Município de São Pedro do Sul: quantificação das classes de solos_	76
Tabela 6	Município de São Pedro do Sul: Fator topográfico médio e quantificação das áreas das classes de modelado do relevo_____	80
Tabela 7	Tabela 7.-Município de São Pedro do Sul:.grau potencial de perda por classe de solo_____	84
Tabela 8	Município de São Pedro do Sul: potencial natural de perda de solo, área de cada classe e porcentagem sobre a área total do município	91
Tabela 9	Município de São Pedro do Sul: Quantificação das classes de uso da terra_____	95
Tabela 10	São Pedro do Sul: Classe de uso da terra e perda de solo_____	98
Tabela 11	São Pedro do Sul: Perda de solo_____	101

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Representação de como começa o processo erosivo pluvial_____	23
Figura 2	Esquematisação da EUPS_____	27
Figura 3	Designação dos tipos de vertente_____	41
Figura 4	Representação do perfil da vertente_____	42
Figura 5	Localização do município de São Pedro do Sul_____	49
Figura 6	Mapa de solo do município de São Pedro do Sul – RS_____	55
Quadro 1	Descrição da origem da base de dados empregados na elaboração da base cartográfica e dos planos de informação____	61
Figura 7	Organograma de como foi gerado o mapa do fator R_____	65
Figura 8	Nomograma de Wischmeier_____	66
Figura 9	Representação de uma vertente para o trabalho_____	67
Quadro 2	Matriz dos índices de dissecação do relevo para escala 1:50.000_____	68
Quadro 3	Resultados obtidos para o Fator topográfico (Ft) tendo por base a matriz proposta por Ross_____	69
Quadro 4	Resultados obtidos para o Fator topográfico (Ft) tendo por base 60 vertentes no município de São Pedro do Sul_____	70
Figura 10	Combinações realizadas para a confecção do mapa de perdas de solo_____	74
Figura 11	Mapa de modelado do relevo para o município de São Pedro do Sul – RS_____	79
Figura 12	Aspecto geral das áreas acumulação fluvial_____	78
Figura 13	Aspecto das áreas de modelado de dissecação muito fraca_____	80
Figura 14	Aspecto das áreas de modelado de dissecação fraca_____	81

Figura 15	Aspecto das áreas de modelado de dissecação média_____	82
Figura 16	Aspecto das áreas com modelado de dissecação forte_____	82
Figura 17	Aspecto das áreas com modelado de dissecação muito forte_____	83
Figura 18	Mapa do potencial natural de perda de solo para o município de São Pedro do Sul – RS_____	92
Figura 19	Mapa de uso da terra para o município de São Pedro do Sul - RS_____	94
Figura 20	Vista geral da paisagem do município de São Pedro do Sul_____	96
Figura 21	Área mostrando a utilização da terra com plantio de eucalipto_____	96
Figura 22	Área com solo exposto_____	97
Figura 23	Área onde foi instalada a primeira redução jesuítica no município de São Pedro do Sul_____	97
Figura 24	Mapa de perda de solo para o município de São Pedro do Sul – RS_____	102
Figura 25	Aspecto da área com uso da terra com pastagem plantada_____	103
Figura 26	Aspecto de área degradada, onde se observam voçorocas_____	103
Figura 27	Representação do relevo correspondente a classe de baixa expectativa de perda de solo _____	104
Figura 28	Área onde se observa o uso da terra com pastagens e agricultura correspondente a classe média expectativa _____	104
Figura 29	Aspecto da área da classe de alta expectativa de perda de solo_	105

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVOS	18
2.1 Objetivo geral.....	18
2.2 Objetivos específicos	18
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1 Breve história do uso do solo.....	19
3.2 Solos e sua formação	20
3.3 Erosão	22
3.4 Formas de erosão hídricas	26
3.5 Equação Universal de Perda de Solo (USLE)	27
3.5.1 Erosividade da chuva ou fator R	31
3.5.2 Erodibilidade do solo ou Fator K	32
3.4.3 Fator LS ou Fator topográfico	35
3.5.4 Uso e manejo do solo ou fator C.....	37
3.5.5 Práticas Conservacionistas ou Fator P	38
3.6 Outros modelos de previsão de perdas de solo.....	38
3.7. Geomorfologia e questões ambientais.....	40
3.8 A importância do estudo das vertentes.....	42
3.9 Uso da terra	46
3.10 Sistemas de informações geográficas (SIG).....	48
4 METODOLOGIA.....	51
4.1 Histórico do município.....	51
4.2 Características naturais do município de São Pedro do Sul	52
4.3 Características sócio-econômicas	57
4.4 Procedimentos Metodológicos	59
4.5 Materiais e métodos:.....	61
4.6 Métodos de elaboração da base de dados cartográficos:.....	61
4.7 Georreferenciamento das bases cartográficas	62
4.8 Obtenção dos parâmetros da EUPS.....	63
4.8.1 Obtenção do Fator R.....	63
4.8.2 Obtenção do Fator K.....	65
4.8.3 Obtenção do fator LS ou fator topográfico	67

4.8.4	Obtenção do fator C	71
4.8.5	Obtenção do fator P	73
4.9	Sobreposição dos fatores da EUPS	73
5	RESULTADOS	75
5.1	Erodibilidade dos solos do município de São Pedro do Sul - RS.....	75
5.2	Dissecação do relevo (Fator LS) para o município de São Pedro do Sul - RS	77
5.3	Potencial natural de perda do município de São Pedro do Sul – RS.	83
5.3.1	Distribuição espacial do potencial natural de perda de solo	90
5.4	Distribuição espacial do uso da terra	93
5.5	Potencial de perda de solo para o município de São Pedro do Sul	97
5.5.1	Distribuição espacial da expectativa de perda de solo.....	101
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	107
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109

1 INTRODUÇÃO

Erosão é um processo natural, através do qual contribuiu para a formação de parte da paisagem superficial da terra. Entretanto, a ação do homem tem acelerado muito este processo. O uso do solo está relacionado diretamente à degradação do ambiente pelas ações antrópicas, tanto diretas quanto indiretas. Estas ações podem variar em grau de intensidade conforme a função que um determinado ambiente assume decorrente da apropriação dos recursos naturais, transformando-o em um espaço que demanda a sua exploração econômica, estabelecendo uma nova dinâmica na relação homem/natureza e gerando conseqüências no meio natural. Nesta relação do homem com a natureza, normalmente é priorizado o fator socioeconômico em detrimento do ambiente físico.

A utilização dos recursos naturais e seus problemas de uso remetem a uma grande discussão que abrange vários segmentos da sociedade. Este processo de apropriação e exploração ambiental demanda diagnósticos que contemplem as necessidades de se prevenir impactos ambientais considerados negativos, tanto para se evitar a degradação dos ambientes a serem explorados, quanto para minimizar as degradações já ocorridas, proporcionando subsídios técnicos no planejamento das ações mitigadoras. Segundo Bertoni; Lombardi Neto (1990), os recursos naturais são as riquezas básicas de uma nação; não se pode compreender que o desenvolvimento e o progresso social e cultural da população sejam obtidos à custa de sua dilapidação ou do seu mau uso. Bright (2003), ressalta que em função da erosão dos solos a qualidade das terras agrícolas em muitos países está em declínio; estima-se que um quarto das terras agrícolas estejam significativamente degradadas.

Tendo como base esta necessidade, e buscando estabelecer parâmetros na exploração destes recursos, com especial atenção ao uso do solo, devem-se buscar estudos sistêmicos que possibilitem um diagnóstico da área procurando integrar o meio físico com o humano, pois somente desta maneira adquirir-se-á um instrumento adequado, tanto para o entendimento quanto à manutenção do equilíbrio ambiental, além de propiciar aos órgãos governamentais subsídios para estes estudos objetivando o planejamento.

Com o advento dos sistemas computacionais e, mais recentemente, dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), esses estudos tornaram-se facilitados, devido à enorme variedade de materiais para a sua realização, com custos relativamente moderados. Para a aplicação em estudos ambientais os SIG são ferramentas de grande valia, pois neles podem-se fazer as mais complexas análises em tempo relativamente curto, além de possibilitar integrar o entendimento de diversas variáveis mediante a aplicação de um modelo.

Os modelos são representações numéricas dos processos e fenômenos da natureza, que permitem um melhor entendimento físico e integrado do sistema natural estudado e das variáveis constituintes. Estas representações matemáticas são, então, uma ferramenta, na qual as variáveis da natureza estão representadas através de sistemas. Os modelos ambientais podem ser considerados segundo Formaggio; Epiphanyo (1993), como maquetes matemáticas dinâmicas dos processos da natureza, uma vez que devem ter a capacidade de simular adequadamente o comportamento de cada variável em estudo de uma maneira sistemática e integrada.

Para estudos de perdas de solo e em particular para a aplicação da Equação Universal de Perda de Solos (EUPS), os SIGs permitem a aplicação desse modelo possibilitando a sobreposição de todos os fatores para o cálculo da erosão, mediante a análise integrada, podendo servir de base para futuras pesquisas.

2 OBJETIVOS

A partir da definição do tema erosão e tendo em vista a importância em se conhecer as potencialidades e utilização do recurso solo a presente proposta de trabalho tem os seguintes objetivos:

2.1 Objetivo geral

Com o auxílio de geoprocessamento, espacializar a perda de solo por erosão através do modelo da EUPS e analisar o uso da terra do município de São Pedro do Sul – RS, buscando contribuir para o planejamento conservacionista desse município.

2.2 Objetivos específicos

Elaborar e quantificar os mapas de uso da terra, do modelado do relevo e do potencial natural de perda de solo para o município de São Pedro do Sul - RS

Determinar o fator topográfico (LS) a partir do mapa de modelado do relevo do município e aplicá-lo ao modelo da EUPS;

Definir o fator de erodibilidade do solo (K) tomando por base o levantamento de solos do município de São Pedro do Sul - RS;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Breve história do uso do solo

Segundo Lepsch (2007), os homens primitivos viam os solos apenas como algo existente sobre a superfície da Terra, onde se encontravam vegetais e animais que eram utilizados em sua alimentação. O solo era visto como algo que se confundia com o restante da crosta terrestre e era imutável e fixo. O conhecimento sobre o solo na época era em relação ao melhor terreno para caminhar e a coloração que dava as suas pinturas. Nesse período, a civilização era nômade e quando se esgotavam os recursos naturais da área onde residiam, eles migravam. Quando o homem tornou-se sedentário (aproximadamente 10.000 anos atrás), houve a necessidade de cultivar determinadas espécies para diminuir seu deslocamento em busca de alimentos. O solo, nessa fase passou a ser o local onde se colocavam sementes, que em condições favoráveis, germinariam, cresceriam e produziriam o alimento para sua sobrevivência.

As grandes civilizações antigas desenvolveram principalmente nas planícies aluviais dos grandes rios como o Nilo, o Tigres e Eufrates e na planície Indo-Gangética formando as chamadas “crescentes férteis”. A agricultura era realizada nas planícies desses rios nas épocas das cheias. Séculos mais tarde foram desenvolvidos os primeiros sistemas de irrigação para a produção em áreas interioranas, esses sistemas iniciaram projetos em engenharia, agronomia e na organização social. A partir destes avanços, a agricultura pode ser realizada em outras épocas do ano não somente na época de maior vazão dos rios (LEPSCH, 2007)

Os primeiros trabalhos relacionando algumas características do solo em relação ao desenvolvimento das plantas foram realizados na Grécia antiga há 2.500 anos por Aristóteles, Theofastes e Hipócrates. Há 2.000 anos vários escritores romanos deixaram documentos que mencionavam a classificação da terra e descreviam os meios para obter as melhores colheitas, misturando a camada de terra arada, restos de madeiras e estrume de animais. O mais importante documento

foi escrito por Catão, há 2.200 anos, chamado de “Da agricultura”. Neste documento ele enumerava nove tipos de sítios em ordem decrescente. O primeiro era fértil e quase plano, próprio para uma boa vinha e o último íngreme e pedregoso que serviria apenas para pastoreio. Columela há 2.000 anos, fez várias menções ao conceito de solo, ele relacionava a boa produtividade do solo com sua cor; quanto mais escuro melhor ele seria (LEPSCH, 2007).

Durante a idade média houve pouco ou nenhum progresso relacionado às ciências, devido à linha dura imposta pela igreja sobre o pensamento científico. Em 1.563, já com o surgimento da imprensa, Palissy publicou um tratado afirmando que os solos eram as fontes nutrientes minerais para as plantas. Em 1.629 Van Helmont assegurou que os vegetais alimentavam-se de gás carbônico de ar e água do solo, sendo que esta teoria perdurou até o início do século XIX quando Von Wullfen e Tahaer elaboraram a “Teoria do Húmus” que dizia que as plantas assimilavam restos orgânicos diretamente do solo (ESCOLA TECNICA FEDERAL DE PALMAS, Sd)

Em 1.840, Von Liebig, considerado o pai da agricultura moderna, publicou um livro no qual afirmava que as plantas não se alimentavam propriamente de substâncias orgânicas, mas de elementos e compostos minerais simples, em conjunto com água e gás carbônico. Em 1.877 Dokouchaiev, pesquisando o solo na Ucrânia e na Rússia, percebeu que os solos dessas regiões eram diferentes e concluiu que essa diversidade, era ocasionada principalmente pela diferença de climas entre essas duas regiões. Outra verificação importante do autor foi que o solo, era composto por uma sucessão de camadas horizontais que começam na superfície e terminavam na rocha subjacente. Essas camadas segundo esse autor eram resultantes da ação conjunta de diversos fatores sendo um deles o clima (LEPSCH, 2007; ESCOLA FEDERAL DE PALMAS, Sd).

3.2 Solos e sua formação

O solo pode ser definido como uma coleção de corpos naturais ocorrendo na superfície da terra, contendo matéria viva que serve de base para a realização das mais variadas atividades humanas. É uma fina camada da crosta terrestre composta por partículas de rochas em diferentes estágios de desagregação, água e

substâncias químicas em dissolução, ar, organismos vivos e matéria orgânica em distintas fases de decomposição (DALMOLIN, 2004).

As forças que atuam na formação do solo são as denominadas de intemperismo e incluem forças físicas que resultam na desintegração das rochas, as reações químicas que alteram a composição das rochas e dos minerais e, as forças biológicas que resultam em uma intensificação das forças físicas e químicas (BIGARELLA et al. 2003).

Segundo Guerra; Mendonça (2004), a formação dos solos é o resultado da interação de muitos processos, tanto geomorfológicos como pedológicos. Esses processos retratam uma variabilidade temporal significativa, sendo dessa forma, importante abordar os solos como um sistema dinâmico. Ele resulta segundo Dokuchaev (Sd apud Vieira, 1975), da ação conjugada dos seguintes fatores: o clima, a biosfera, a rocha matriz, o relevo e o tempo; Joffe (1949) divide ainda esses fatores em ativos; o clima e a biosfera que são fontes de energia e fatores ativos; a rocha matriz, relevo e o tempo que são fontes de materiais e algumas condições ambientais.

O clima é o fator de maior relevância, pois um material derivado de uma mesma rocha poderá formar solos diversos se decomposto em climas diferentes. Por outro lado, materiais diferentes podem formar solos idênticos quando sujeitos, ao mesmo ambiente climático. Os principais elementos do clima (temperatura e umidade) regulam a velocidade e o tipo de intemperismo das rochas e também o crescimento dos organismos (LEPSCH, 2007). Para Vieira (1975), o clima age de duas maneiras distintas: diretamente, através de seus elementos primários, a precipitação e a temperatura que trazem água e calor para reagir com o material de origem; e indiretamente o clima determina a flora e a fauna, que constituem sob a forma de matéria orgânica, a fonte de energia no processo evolutivo do solo. Considerando-se a erosão ele influi principalmente na intensidade da precipitação durante os meses do ano.

Os organismos têm um papel importante nos diferentes perfis do solo, visto que decompõem os restos de vegetais e animais. Segundo Vieira (1975), a ação dos organismos se faz sentir no processo de formação do solo não somente antes, mas principalmente após a acumulação dos detritos minerais provenientes da decomposição dos minerais das rochas pelos agentes químicos e físicos do intemperismo. Promovem a formação de húmus, que se acumulam principalmente

nos horizontes superficiais e dificultam os processos erosivos, visto que estes servem de ligantes entre as partículas.

O material de origem é um fator de resistência à formação dos mesmos, porque é passivo à ação do clima e dos microorganismos. A maior ou menor velocidade com que o solo se forma depende do tipo de material. O solo é formado pela intemperização das rochas, que age sobre essas para formar o regolito. De acordo com Vieira; Vieira (1983) as características que mais influem sobre a gênese do solo são a sua composição mineralógica, a sua resistência mecânica e a sua textura.

O relevo define o grau de declive e o comprimento de rampa, influenciando de maneira decisiva, no percurso da água (movimento transversal e lateral), regulando à sua velocidade e conseqüentemente seu poder erosivo. Conforme Vieira; Vieira (1983), o relevo pode modificar o perfil do solo de três maneiras: facilitando a absorção e retenção da água de precipitação pelos solos; influenciando no grau de remoção de partículas de solo pela erosão; e facilitando a movimentação de materiais em suspensão ou em solução para outras áreas.

O tempo é o espaço necessário para que a rocha decomposta passe a agir sobre o solo. A velocidade de amadurecimento do perfil do solo é influenciada pela maior ou menor facilidade com que o material original é decomposto. É um fator que define quanto à ação do clima e dos organismos ocorreram sobre o material de origem, em um determinado tipo de relevo (EMBRAPA, 1999).

A estabilidade de determinado tipo de solo irá variar de uma área para outra, o que se sabe é que solos mais desenvolvidos são mais estáveis e, portanto, mais difíceis de desagregar. Por outro lado, solos menos desenvolvidos são mais suscetíveis de remoção. Os fatores responsáveis pela formação do solo são os agentes que transformam a rocha em solo e, sua formação depende da atuação destes (GUERRA; MENDONÇA, 2004).

3.3 Erosão

Segundo Bigarella et al (2003), o conceito de erosão descende do latim *erodere* e está ligado aos processos de desgaste da superfície do terreno com a

retirada e o transporte dos grãos minerais. Portanto, é o processo de remoção de uma massa de solo e sua deposição em áreas mais rebaixadas topograficamente, sendo este resultado das forças exógenas. É resultante da energia cinética dos agentes erosivos, e com a diminuição destes agentes, ocorre à deposição desses materiais removidos. É um processo mecânico que age na superfície e em profundidade, sob determinadas condições físicas. Traduz-se na desagregação, transporte e deposição de partículas do solo, subsolo e rocha em decomposição, através dos agentes: água, vento ou geleiras.

Segundo Cunha (1997), a erosão dos solos é um processo normal no desenvolvimento da paisagem, sendo responsável pela remoção do material de superfície por meio dos agentes. Sob estas condições, a erosão é considerada um processo natural. Por outro lado, a erosão acelerada dos solos ocorre em intensidade superior à erosão normal sendo atribuída, usualmente, ao resultado das atividades humanas sob determinadas condições de clima, vegetação, solos e relevo. Os problemas gerados não causam desgastes somente no local de origem, mas em toda a extensão até que ocorra à deposição final das partículas desprendidas no processo erosivo. Entre os muitos problemas cabe destacar a redução da fertilidade do solo, criando ravinas e em casos mais graves voçorocas; em solos com textura menos grosseira ela atua assoreando rios, lagoas e reservatórios, que posteriormente irão influenciar na ocorrência de inundações.

Segundo Tricart (1977), a erosão, enquanto processo, é resultante da dinâmica de um determinado sistema ambiental que está em desequilíbrio provocado por interferências naturais ou antrópicas em um de seus fatores. Esse desequilíbrio é resultado do balanço ecodinâmico de um determinado sistema ambiental.

A água e o vento são os principais agentes erosivos, sendo a erosão hídrica ocasionada pela água da chuva ou enxurrada, e a erosão eólica ocasionada pelo vento. A erosão hídrica ocorre principalmente em regiões interioranas e a erosão eólica ocorre principalmente em regiões costeiras. As outras formas de erosão são a fluvial originada pelo trabalho dos rios, a erosão marinha associada ao trabalho das ondas no litoral, e a erosão glaciária, ocasionada pelo movimento das geleiras (SEIXAS, 1985).

A erosão hídrica que é a principal forma de erosão desenvolve-se a partir da formação de um canal onde há concentração do escoamento; em seguida, ocorre

incremento rápido em profundidade e largura movendo a cabeceira para montante. Com o início de crescimento da vegetação, acontece uma diminuição do aumento, com um perfil de equilíbrio e eventual estabilização das paredes. Surge, então, o canal de drenagem. Nesse sentido, os padrões de dissecação, a dinâmica das vertentes e a dinâmica fluvial, relacionada ao desenvolvimento do processo erosivo, assumem relevância (GUERRA; MENDONÇA, 2004).

O processo erosivo causado pela água das chuvas, apesar de ter abrangência em quase toda a superfície terrestre, ocorre em especial nas áreas tropicais. Dessa atuação erosiva, evolui a gênese atual responsável pela dissecação do relevo a partir da dinâmica fluvial. Para alcançar o conhecimento pleno do que são e representam uma ou mais formas de relevo, identificadas em diferentes escalas espaciais e temporais, necessário se faz compreender e explicar como surgem e evoluem. Resulta, assim, considerar os processos responsáveis pelas ações capazes de criar ou destruir formas de relevo, modificá-las ou mantê-las preservadas, ampliar suas dimensões ou reduzi-las, fixá-las num local ou deslocá-las, modelá-las contínua ou descontinuamente (ROSS, 1992).

Resumidamente essa forma de erosão é ocasionada pelo impacto das gotas de chuva e pela ação do cisalhamento ou desgaste do escoamento superficial ou da enxurrada. O processo consiste na desagregação das partículas de solo pela ação do impacto das gotas de chuva diretamente na superfície, o transporte das mesmas pela ação de movimento do escoamento superficial e após a conseqüente deposição do material que foi desagregado e transportado em algum ponto mais rebaixado topograficamente. A figura 1 mostra como inicia o processo erosivo.

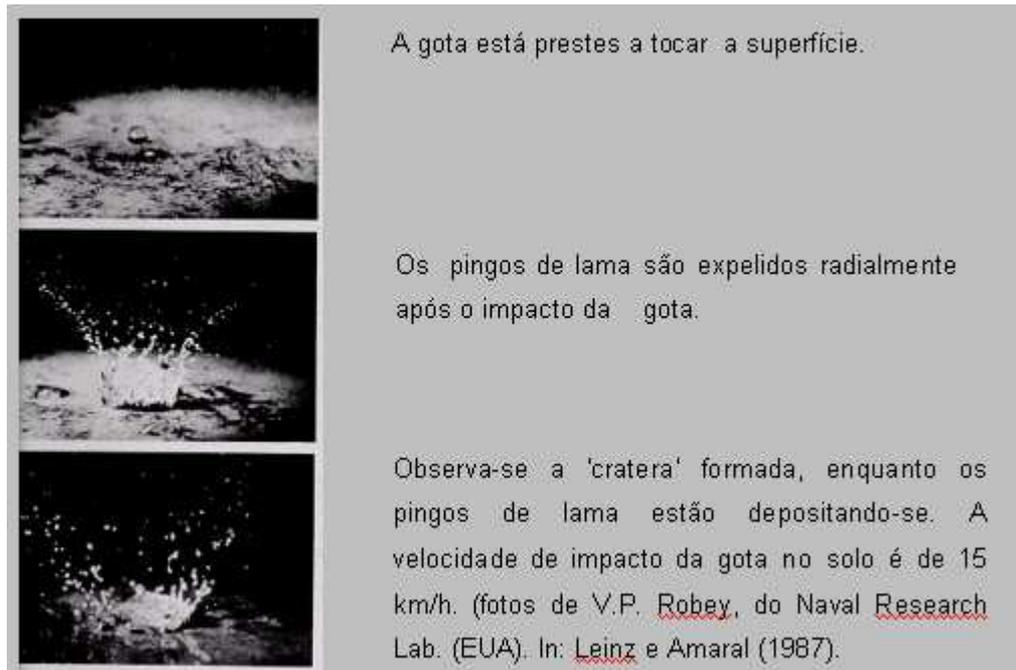


Figura 1-Representação de como começa o processo erosivo pluvial, onde se observa os estágios de desagregação de partículas do solo pela ação da gota de chuva, quando esta atinge o solo. Fonte: Leinz; Amaral (1987).

Além desses problemas, o impacto da gota de chuva pode contribuir para compactar a superfície do solo, orientando seus componentes para formar uma crosta superficial que dificulta a entrada da água através dos poros, favorecendo assim o escoamento superficial. Esse problema se agrava conforme o diâmetro da gota que cai sobre o solo (SEIXAS, 1985).

Os materiais dos solos transportados são separados geralmente pela sua textura. Primeiro são depositados as partículas mais pesadas (areias), e após em áreas mais a jusante do início do processo de erosão as partículas mais leves (silte, e argila). Cabe enfatizar que a erosão, não é a mesma em todos os tipos de solos principalmente em relação às propriedades físicas como: permeabilidade, estrutura, textura, além das propriedades químicas e biológicas que respondem de maneira diferente à erosão (DOMINGOS, 2006).

Segundo Ponçano; Christofolletti (1987), a melhor expressão para determinar a taxa de erosão do solo, em função da água da chuva e de outros fatores, pode ser dada através da EUPS, cuja importância e aceitação podem ser medidas por sua adoção pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), bem como pelo grande número de pesquisas que vêm sendo desenvolvidas em torno do mundo. Outro fator importante ainda segundo esses autores é a

necessidade de adaptação da equação em âmbito regional, devido a variações climáticas, pedológicas e de relevo, inerentes a cada local.

Wischmeier (1984) comenta que o emprego da EUPS permite uma estimativa anual de perda de solo para um longo período de tempo, e não para processos erosivos específicos. Como pode ser observado em Di Maria (1995) que analisou a erosividade e as perdas de solo na cultura do milho em duas classes de solos diferentes em uma região do estado de São Paulo e constatou uma grande variação de perdas ocorridas de um ano para outro, devido principalmente a precipitação.

3.4 Formas de erosão hídricas

De acordo com Bertoni; Lombardi Netto (1985) a erosão pode ser das seguintes formas: erosão pelo impacto da chuva, erosão laminar, erosão em sulcos, voçorocas, deslocamentos e escorregamentos de massas de solo, erosão em pedestal, erosão em pináculo, erosão em túnel, erosão da fertilidade do solo.

A erosão pelo impacto da chuva é a primeira fase do processo, e ocorre quando as gotas de chuva tocam o solo causando a desagregação das partículas. A erosão laminar seria a segunda fase, onde a água acumulada começaria a dirigir-se no sentido da inclinação do terreno, retirando pequenas partículas de solo devido à força de cisalhamento durante seu trajeto (DOMINGOS, 2006).

A erosão em sulcos surge devido a ondulações na vertente, que faz com ocorra o acúmulo de água em alguns pontos, acarretando maior volume e velocidade. Já a erosão em voçorocas é a forma mais agressiva de erosão e de maior dificuldade de contenção, surge quando existe grande concentração de enxurradas, passando num mesmo local ano a ano. Essas formas de erosão na maioria dos casos ocorrem em seqüência o que possibilita o interrompimento do processo, se forem tomadas algumas medidas de conservação (DOMINGOS, 2006).

Em relação às outras formas de erosão, não serão comentadas devido não serem relevantes ao trabalho, visto que as principais formas de erosão foram comentadas acima.

3.5 Equação Universal de Perda de Solo (USLE)

A Universal Soil Loss Equation (USLE), ou Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) como é popularmente conhecida no Brasil, surgiu em 1954 nos Estados Unidos a partir da análise de 10.000 parcelas experimentais em condições de chuva naturais e simuladas com base na análise de dados de escoamento superficial e perdas de solo. Foi desenvolvida pelo “National Runoff and Soil Data Center”, do Agricultural Research Service da Universidade de Purdue sendo hoje a equação de estimativa de perda por erosão laminar mais conhecida e utilizada. Wischmeier; Smith (1978) fizeram com que a equação evoluísse para um modelo computacional que expressa a perda anual de solo por unidade de área. Foi adaptada para o Brasil, principalmente para o estado de São Paulo por Lombardi Neto em 1977, a partir de experimentos de campo para parametrização de seus fatores nas condições de solo e clima locais.

Segundo Bigarella et al. (2003), a equação se baseia em equações matemáticas que caracterizam os processos dentro do sistema, levando em consideração as leis de conservação da massa e da energia. É um modelo empírico, porém não preciso devido à grande diversidade de solos, climas e topografia, estes considerados os componentes dinâmicos principais, por isso a importância de estudos regionais para se adaptar as características de cada local.

A EUPS é utilizada com dois objetivos principais: dar suporte ao planejamento conservacionista de terras agrícolas por possibilitar a simulação de sistemas produtivos com culturas alternativas, manejo e práticas distintas e, para predição da perda total de solo com dados representativos das condições locais (WISCHMEIER; SMITH, 1975; ÖZHAN et al 2005).

De acordo com Bertoni; Lombardi Netto (1990) a equação é um valioso instrumento para trabalhos de conservação. A partir dela, pode-se prever com relativa precisão as perdas anuais e médias de solos em condições específicas de declive, solo, sistemas de manejo e cultivo e outros fatores. Ela pode ser usada como guia para o planejamento do uso do solo para determinar as práticas de conservação mais apropriadas para dado local. Sua utilização em conjunto com sistemas digitais é cada vez mais freqüente, embora ainda haja entraves e lacunas, em especial quanto à adequabilidade de utilização em diferentes escalas e contextos ambientais (CASTRO E VALÉRIO FILHO, 1997). Essas escalas incluem

segundo (Basic et al, 2004) a simples parcela experimental para estudos científicos; a escala de campo ou de propriedade agrícola pelo interesse do produtor rural, a escala de bacia hidrográfica atendendo aos interesses da comunidade (Lufafa et al 2003), e escalas regionais e nacionais de acordo com o interesse de legisladores e com a necessidade de desenvolvimento de políticas (AMORE et al 2004).

A equação engloba os fatores naturais (clima, solo e fator topográfico) e os fatores antrópicos (uso e manejo e práticas de conservação). A EUPS é dada pela equação 1 e a figura 2 mostra a esquematização dela.

Equação 1:

$$A = R.K.L.S.C. P, \text{ sendo:}$$

A - perda de solo calculada, em t/ha/ano¹;

R - fator erosividade, índice de erosão pela chuva, (Mjmm/ha.h.ano);²

K - fator erodibilidade do solo: intensidade de erosão, por unidade de índice de erosão de chuva, para um solo específico que é mantido continuamente sem cobertura, mas sofrendo as operações culturais normais, em um declive de 9% e comprimento de rampa de 25m (txhaxh)/(MJxmmxha)³;

L – fator comprimento do declive: relação de perdas de solo entre um comprimento de declive qualquer e um comprimento de rampa de 25m para o mesmo solo e grau de declive;

S – fator grau de declive: relação de perdas de solo entre um declive qualquer e um declive de 9% para o mesmo solo e comprimento de rampa;

C – fator uso e manejo: relação entre as de perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto, isto é, nas mesmas condições em que o fator K é avaliado;

P – fator pratica conservacionista: relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado com determinada pratica e as perdas quando se planta morro abaixo.

¹ Tonelada/hectare/ano

² Megajoule.milímetro/hectare.hora.ano

³ Tonelada.hectare.hora/Megaloule.milimetro.hectare

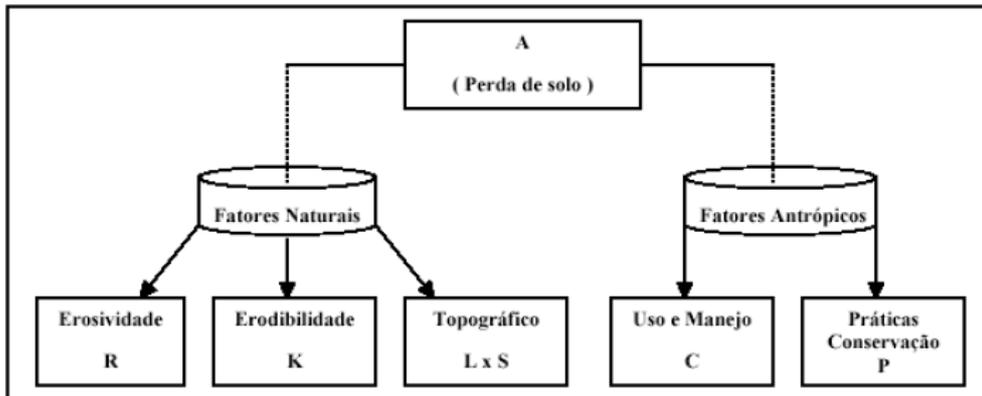


Figura 2: Esquemática da EUPS, representando os fatores naturais e antrópicos de perda de solo. Fonte: Domingos, 2006.

Portanto, as mudanças na forma de atuação dos fatores naturais dependem de alterações ambientais como mudanças climáticas ou erosões importantes que possam alterar a topografia, por exemplo. Os fatores antrópicos podem ser alterados por ações de uso dos solos e de conservação.

Desde que a equação foi adaptada para o Brasil, diversos trabalhos foram realizados buscando a determinação dos parâmetros envolvidos na EUPS, para cada área específica.

Biscaia et al. (1981) determinaram a erodibilidade de para um Latossolo Vermelho Escuro e de um Latossolo Roxo Distrófico no Estado do Paraná, obtendo valores de 0,238 a 0,268. A importância desses índices segundo o autor é que regionalmente os diferentes tipos de solos têm comportamento diferente em relação aos processos erosivos, já que cada classe de solo tem suas características próprias de mineralogia, morfologia, estrutura, entre outras características.

Carvalho (1992) realizou um estudo de correlação entre o fator erosividade e as características da chuva com as perdas de solo para o período de 1979 a 1985. Determinou valores de erodibilidade e de erosividade para três cidades do Estado de São Paulo obtendo valores entre 0,44 e 0,221. Observou ainda, que a chuva tem diferentes formas de ocorrência e comportamento, variando com a época do ano e a região.

A erosividade da chuva do município de Campinas (SP) foi estudada por Lombardi Neto (1977) através do EI^{30} . Foram utilizados dados de 22 anos de precipitação pluviométrica, obtendo-se um fator R de 6.667 Mjmm/ha.h.ano

Lombardi Netto; Moldenhauer (1992) encontraram alta correlação entre o Ei^{30} médio anual e o coeficiente de chuva para a região de Campinas (SP), simplificando assim o método para calcular o índice de erosividade de um local.

Sosa (1987) estudou a distribuição da erosividade da chuva e sua correlação com a perda de solo na cidade de Pindorama (SP). Trabalhou com dados de chuva de 16 anos de uma estação experimental, obtendo um índice de erodibilidade para a região de 6.143 Mjmm/ha.h.ano.

Bertol (1993) determinou o índice de erosividade através do Ei^{30} para o município de Lages (SC), obtendo um valor médio anual de 5.694 Mjmm/ha.h.ano. Em 1994 avaliou a erosividade da chuva na localidade de Campos Novos (SC), no período de 1981 a 1990, através do índice Ei^{30} , obtendo um índice médio anual de 6.329 Mjmm/ha.h.ano.

Cassol et. al. (2002), determinou a erosividade da chuva através do índice do Ei^{30} , para as cidades de Veranópolis e Farroupilha obtendo os seguintes valores de 6.353 Mjmm/ha.h.ano, para a primeira e de 6.159 Mjmm/ha.h.ano para a segunda. Determinou assim, os meses mais críticos em relação à erodibilidade para estes dois municípios.

Bazzano (2005) obteve para a cidade de Quaraí um valor de 9.292 Mjmm/ha.h.ano, e de 5.131 Mjmm/ha.h.ano, para a de Rio Grande, ambas situadas no Rio Grande do Sul. O autor encontrou alta correlação com a erosividade do Ei^{30} com a precipitação e com o coeficiente de chuva para a cidade de Quaraí. Em relação à cidade de Rio Grande, não houve correlação, não podendo ser usado esse parâmetro para estimar a erodibilidade da chuva neste município.

Tomasseli et al. (1999), obtiveram um índice de 7.161 Mjmm/ha.h.ano, para a cidade de Presidente Prudente, SP. Determinaram também como mês mais crítico em relação à erosão da chuva o de janeiro e de menor risco o de agosto. Segundo estes autores, o índice Ei^{30} apresentou boa correlação entre a precipitação e o índice de chuva, podendo ser usado para toda a região oeste do estado de São Paulo.

3.5.1 Erosividade da chuva ou fator R

O Fator erosividade da chuva é um índice numérico que expressa à capacidade esperada de chuva de causar erosão em uma determinada localidade, em uma área sem proteção. As perdas de solo segundo Bertoni; Lombardi Netto (1990) é diretamente proporcional ao produto da energia cinética total da chuva pela sua intensidade máxima em 30 minutos. Esse produto mede a interação do processo de transporte de partículas do solo que ocorre entre a enxurrada e a erosão pelo impacto, salpico e turbulência. Ainda segundo os autores o índice de erosão, produto da energia cinética pela intensidade da chuva, foi considerado por Wischmeier (1984) como a melhor relação para mensurar o potencial erosivo da chuva.

Segundo Cassol et al. (2004), o Fator R é um valor médio anual da erosividade das chuvas a partir, de dados correspondentes a um período de tempo longo. Esse fator confere a EUPS características de um modelo de predição de perdas de solo por erosão hídrica não indicada para ser usado na predição de perdas de solo em eventos individuais de chuva ou durante períodos de curta duração como alguns meses ou poucos anos. As características das chuvas podem ser iguais ou variar de uma área para outra. O potencial de causar erosão depende de algumas características físicas como a quantidade, a intensidade e a distribuição entre as estações do ano.

Em regiões intertropicais o índice Ei^{30} é o melhor estimador de erosividade (WISCHMEIER et al, 1971). Já em regiões tropicais o uso do Ei^{30} não tem proporcionado os melhores resultados na estimação de perdas do solo. Lal (1976) e Hudson (1981) desenvolveram para a Nigéria índices alternativos como a quantidade da precipitação pelas intensidades máximas sustentadas. O índice do Ei^{30} de acordo com Mehl (2000) ainda é considerado o mais adequado para as condições do Rio Grande do Sul.

Em muitos locais do Brasil foram determinados índices do potencial erosivo da chuva utilizando a metodologia do Ei^{30} . Como exemplo podemos citar Moraes et al (1988), que encontraram valores adequados para estimar o potencial erosivo das chuvas nas localidades de Guaíba, Ijuí e Santa Maria, não havendo diferenças entre os outros índices quando se comparou a correlação com as perdas de solo. Outros

locais como Campinas, Londrina e Ponta Grossa também não houve diferenças significativas (LOMBARDI NETTO 1977; BISCAIA et al 1981).

Numa tentativa de se obter uma estimativa precisa do EI^{30} , uma vez que para muitos locais do Estado de São Paulo não existem pluviógrafos, Lombardi Netto (1977) correlacionou o índice de erosividade médio mensal de Campinas (SP) com um coeficiente de chuva, dado pela Equação 2:

Equação 2:

$$Rc = Pm^2 / Pa, \text{ onde:}$$

Rc é o coeficiente de chuva em mm;

Pm é a precipitação média mensal em mm;

Pa é a precipitação média anual em mm.

Da mesma forma, Carvalho (1992) estudou a correlação entre o índice de erosividade EI^{30} médio mensal e o coeficiente de chuva de Mococa (SP), para um período contínuo de análise de dados de 20 anos. A equação obtida foi à seguinte.

Equação 3:

$$EI^{30} = 111, 173. Rc^{0,691}, \text{ onde}$$

EI^{30} é o índice de erosividade médio mensal em MJ mm/ha.h/ano;

Rc é o coeficiente de chuva em mm.

3.5.2 Erodibilidade do solo ou Fator K

A erodibilidade do solo é a propriedade do solo que representa a sua susceptibilidade a erosão, podendo ser definida como a quantidade de material que é removido por unidade de área quando os demais fatores determinantes da erosão permanecem constantes (FREIRE et al. 1992). Ele constitui uma medida inerente ao solo à erosão hídrica, sendo uma função de suas propriedades.

De acordo com Bertoni; Lombardi Neto (1990), as diferenças relacionadas às propriedades do solo permitem que alguns solos sejam mais erodidos que outros, ainda que variáveis como: chuva, declividade, cobertura vegetal e práticas de manejo sejam as mesmas. Ainda de acordo com esses autores as propriedades do solo que influenciam na erodibilidade são aqueles que afetam a infiltração, a

permeabilidade, a capacidade total de armazenamento de água e aquelas que resistem às forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte pelo escoamento.

Os solos com maiores percentagens de areias finas e grossas são pouco erodíveis, devido a sua alta capacidade de permeabilidade, porém os solos que contém maiores teores de argila são mais coesivos, diminuindo a dispersão e assim o impacto da gota de chuva. No caso do silte por conter elevada quantidade de areia fina são solos mais erodíveis (KIEHL, 1979).

A erodibilidade representa a vulnerabilidade ou a suscetibilidade do solo à erosão, ou seja, o oposto a de sua resistência. Um solo com alta erodibilidade sofrerá mais erosão que um solo com baixa erodibilidade, se ambos estiverem expostos a uma mesma chuva mantida as demais condições constantes. (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990).

Normalmente esse fator, é definido para unidades de solo, na quais se desenvolvem experimentos em parcelas experimentais para determinação direta (“*in loco*”) da erodibilidade do solo. Nesse sentido, necessita-se fazer medidas de perda de solo em função da ocorrência de chuvas, que demanda considerável soma de tempo, recursos e condições técnicas para tal. Alternativamente a esse procedimento, desenvolveram-se técnicas de obtenção indireta da erodibilidade do solo, a partir do fato de que algumas características físicas e químicas dos solos que foram utilizados para determinação direta da erodibilidade, se correlacionavam muito bem com o resultado do parâmetro obtido no campo. A partir dessa constatação, pesquisas começaram a ser desenvolvidas em várias unidades de solo e em determinadas condições ambientais, no sentido de encontrar características físicas e químicas dos solos, de fácil determinação em laboratório e/ou em campo, que pudessem reproduzir o parâmetro de erodibilidade do solo utilizado na EUPS (FUJIHARA, 2002).

Uma dessas formas é através do modelo proposto por Wischmeier et al. (1971) que leva em consideração as seguintes variáveis:

- soma da percentagem de silte e de areia muito fina (0,002 a 0,1mm);
- percentual de areia grossa (0,1 a 2 mm);
- percentagem de matéria orgânica;
- Estrutura e
- Permeabilidade.

As percentagens de areia grossa, areia muito fina e silte podem ser determinadas pela análise granulométrica, a percentagem de matéria orgânica pode ser obtida através da análise química, a estrutura pode ser medida ainda em campo e a permeabilidade a partir de ensaios de infiltração. Ressalta-se segundo Bertoni (1975), que esse método não pode ser aplicado para solos que tem percentagem de silte mais areia fina superior a 70%.

Outra forma de calcular o fator K é através da fórmula proposta por Larios (2003):

Equação 4:

$$K = (0,0061 * P) + (0,0083 * MO) - (0,0012 * OAL) - (0,0004 * AR), \text{ onde:}$$

K é expresso em t ha h/ha MJ mm;

P é a permeabilidade do solo em cm/h;

MO é o teor de matéria orgânica em %;

OAL é o teor de óxido de alumínio em %, extraído por ácido sulfúrico;

AR é o teor de partículas em %, entre 2 e 0,5mm.

Adaptando-se ao Brasil Bertoni; Lombardi Neto (1985) criaram a seguinte relação em relação ao Fator de K, em relação a sua tolerância de perda.

Equação 5:

$$K = [(Argila \text{ Natural} / Argila) / (Argila / UE)] \times (1/9.81), \text{ onde}$$

Argila natural ou argila dispersa em água em %;

Argila - argila dispersa em soda – em %;

UE – umidade equivalente ou equivalente de umidade – em %.

Essa equação foi obtida através do estudo de 66 perfis de solo para dois tipos de solos no estado de São Paulo, sendo estes valores segundo os autores os melhores índices de erodibilidade para o estado.

Existem ainda outras formas de estimação do fator K determinada por autores como: Denardim (1990), Freire; Pessoti (1976), Henkelain; Freire (1983) para solos com elevada percentagem de silte. Para solos altamente argilosos recomenda-se a proposta de Roth et al. (1975) que considera a coesão do solo para determinação da erodibilidade.

3.4.3 Fator LS ou Fator topográfico

Para Bertoni e Lombardi Neto (1985) a intensidade da erosão pela água tem estreita relação com o comprimento do declive e seu gradiente. Baseando-se nesse fato, os autores mencionados definem o fator LS como sendo “a relação esperada de perdas de solo por unidade de área em um declive qualquer em relação a perdas de solo correspondentes de uma parcela unitária de 25m de comprimento com 9% de declive” (Extensão da parcela original onde foi obtida a equação).

O comprimento de rampa é a distância desde o ponto de origem do fluxo sobre a superfície até onde o ponto onde a declividade diminui o bastante para que ocorra a deposição. O grau de declive é o ângulo formado pela rampa em relação a horizontal. Esses fatores são pesquisados separadamente, mas para aplicação na EUPS, são analisados conjuntamente, constituindo o fator topográfico visto que conforme aponta Silva et al. (2003), o comprimento de rampa não é menos importante que o declive, pois à medida que o caminho percorrido vai aumentando, não somente as águas se tornam mais volumosas como também a velocidade de escoamento aumenta progressivamente e a maior energia resultante se traduz em maior erosão.

O fator LS é um dos mais importantes da EUPS, porém é o que apresenta maiores dificuldades de obtenção (ROCHA et al. 1997; WEILL, 1999; SILVA; SCHULZ, 2001). A dificuldade se explica pela complexidade do perfil do relevo que pode ser reto, côncavo, convexo ou ainda ter a combinação destes formatos. Dvorak; Novak (1994), citam que diferentes áreas podem ter a mesma declividade média, mas dependendo do formato, influenciam no processo erosivo de modo específico.

Dentre os fatores topográficos, a declividade de um terreno é possivelmente o mais importante no condicionamento da gênese e da evolução dos processos erosivos (RODRIGUES, 1982). Mas, como coloca Guerra (1995), a declividade das encostas não deveria ser levada em conta separadamente, mas sim em conjunto com as características da superfície do solo, que, igualmente afetam a remoção do solo e a quantidade de *runoff*⁴.

Outro fator importante com relação à topografia e que atua diretamente na erodibilidade dos solos, diz respeito à forma (geometria) da vertente. As vertentes

⁴ Escoamento superficial

sejam elas do tipo côncava, convexa ou retilínea, respondem de forma diferenciada na infiltração e escoamento da água da chuva, gerando diferenças significativas no desenvolvimento dos processos erosivos.

Referindo-se a forma das vertentes, Casseti (1995) coloca alguns exemplos para ilustrar a influência da geometria das vertentes: a) vertentes portadoras de comprimento reto e largura reta respondem pelo predomínio do fluxo laminar; b) vertentes representadas por comprimento reto e largura curva respondem por processos complexos (largura convexa: fluxo disperso; largura côncava: fluxo convergente com ocorrência de escoamento concentrado); c) vertentes de comprimento curvo e largura também curva caracterizam processos mais complexos (ocorrência de fluxo concentrado em linhas de drenagem de primeira ordem). Castro; Zobeck (1986) comentam que a forma da declividade contribui para um aumento do fator LS para declives convexos e complexos e contribui para uma diminuição do fator LS para declives côncavos.

No entanto, como afirma Guerra (1995) às características relativas à declividade, comprimento e forma das vertentes atuam em conjunto entre si e com outros fatores relativos à erosividade da chuva, bem como às propriedades do solo, promovendo maior ou menor resistência à erosão.

Tomando-se como referencial o modelado do relevo (acumulação, dissecação, aplanamento, dissolução) e as fases pela qual passa a erosão: remoção, transporte e deposição, e o modelado de dissecação do relevo, tem-se o primeiro grande indicador da fragilidade potencial que o ambiente apresenta. A densidade de drenagem associada ao grau de entalhamento dos canais, combinados, determina o índice de dissecação do relevo e define também a dimensão interfluvial média dos conjuntos homogêneos. Com essa hierarquização é possível espacializar o grau de fragilidade natural do ambiente (WERLANG, 2004).

Em relação às formas de obtenção dos valores desse fator, Fujihara (2002), diz é um dos fatores que oferecem maiores dificuldades de determinação. A sua estimativa pode ser feita através de várias metodologias, o cálculo pode ser feito manualmente, pode ser adaptado para um SIG, ou pode ser automatizado.

3.5.4 Uso e manejo do solo ou fator C

O fator C quantifica o efeito combinado de cobertura e manejo do solo, sendo a relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado nas condições de interesse e as perdas que ocorrem em um terreno mantido continuamente sem cobertura e sob práticas de cultivo, isto é, nas mesmas condições em que o fator K é determinado. Este talvez seja o fator mais importante da USLE por representar as condições que podem ser mais facilmente modificadas a fim de controlar a erosão do solo. De acordo com Troeh et al. (1999), a falta de cobertura do solo reduz sua proteção e pode acelerar as perdas de solo por erosão em 10, 20, 50 e em até 100 vezes. Dessa forma, a formação de novas camadas de solo não pode suprir as altas taxas de erosão. O solo vai se tornando cada vez mais fino até restar uma pequena camada ou então se extinguir completamente.

Segundo Wischmeier (1984), esse fator pode ser considerado o quociente entre a erosão medida sobre a área, utilizada para a determinação do fator K, ou seja, é uma área mantida sempre em pousio, sem cobertura vegetal, com aração morro abaixo e a mesma área cultivada. É a relação esperada entre as perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto e cultivado.

De acordo com Bertoni; Lombardi Netto (1990), as condições dessas variáveis envolvem aspectos como: a cultura pode ser plantada em um mesmo local ou haver rotação de culturas; a resteva pode ser removida, deixada sobre o solo ou ainda enterrada durante o preparo do solo e a proteção da cultura vegetal depende do tipo de vegetação, do seu crescimento e da estação do ano.

Para Morgan (1995), a vegetação é o meio mais eficaz de contenção deste fator, pois ela atua como uma camada protetora entre o solo e a atmosfera, onde as folhas e os troncos (componentes superficiais) absorvem parte do impacto da energia da gota de chuva e dissipam a energia do escoamento superficial. Já os componentes sub-superficiais (raízes), contribuem com a resistência mecânica do solo.

3.5.5 Práticas Conservacionistas ou Fator P

É a relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado com determinada prática e as perdas quando se planta morro abaixo. São todas as técnicas utilizadas para aumentar a resistência à erosão ou diminuir sua força. (BERTONI; LOMBARDI NETTO 1990),

Segundo Bertoni; Lombardi Netto (1990), as práticas conservacionistas mais comuns são para as culturas anuais são: plantio em contorno, plantio em faixas de contorno, terraceamento e alternância de capinas.

O plantio em contorno consiste em dispor as fileiras de plantas e executar todas as operações de cultivo no sentido transversal à pendente, em culturas de nível ou linhas em contorno. Uma linha de nível é aquela em que cujos pontos estão todos na mesma altura do terreno (SENGIC, 2005).

Para Cemarh (Sd), o plantio em faixas de contorno consiste em na disposição das culturas em faixas niveladas, de largura variável, alternadas, com culturas que protegem pouco o solo. No ano seguinte, distribuem-se as culturas em faixas diferentes.

O terraceamento é uma das práticas mais eficientes para controlar a erosão nas terras cultivadas. A palavra terraço é usada, em geral, para significar camalhão ou a combinação de camalhão e canal, construído em corte da linha de maior declividade do terreno (SENGIC, 2005).

De acordo com Golla (2006), a alternância de capinas consiste em alternar as épocas de capinas em ruas adjacentes durante o período de chuvas. Realiza-se a capina sempre pulando uma ou duas ruas e somente após algum tempo deve-se capiná-las, permitindo assim que sempre uma ou duas ruas imediatamente abaixo de ruas recentemente capinadas permaneçam com o mato. Isso faz com que a terra transportada pelas ruas capinadas seja retida pelas ruas com mato.

3.6 Outros modelos de previsão de perdas de solo

A partir da EUPS, foram gerados alguns outros modelos mais precisos de erosão, adaptadas para diferentes áreas. Um dos primeiros foi o da RUSLE (*Revised Universal Soil Erosion Equation*) que transforma os fatores da EUPS em subfatores,

adequando melhor a equação a condições regionais e sazonais. Um exemplo é o fator K, que na RUSLE considera as mudanças sazonais, como umidade de solo (RENARD et al. 1994). Outra forma de determinação é através da MUSLE (*Modification Universal Soil Erosion Equation*) que estima o aporte de sedimento em uma bacia após determinado evento pluvial (CHAVES, 1991).

Outro modelo derivado é o da WEPP (*Water Erosion Prediction Project*), que prediz a erosão hídrica em duas escalas: a versão do plano para análise do processo erosivo numa dada gleba com características específicas de comprimento e declividade, e a versão da microbacia, que prevê o aporte de sedimentos ao canal de drenagem de uma microbacia (LOPEZ et al. 1993).

O *Swat Soil and Water Assessment Tool* é um simulador desenvolvido pelo serviço de pesquisa agrícola (ARS) dos Estados Unidos, representado por vários modelos matemáticos fundamentados no conhecimento das características físicas de bacias hidrográficas agrícolas. Foi desenvolvido para prever o impacto das práticas de manejo do solo nos ambientes aquáticos superficiais e subterrâneos em bacias hidrográficas complexas, em geral de grande extensão com variação de tipos de solo, do uso e das condições de manejo em longos períodos de tempo (MINOTI, 2006).

O *Erosion Productivity Impact Calculator* – EPIC, que pode ser usado para determinar o efeito de estratégias de manejo agrícola sobre os recursos hídricos e a produtividade de solos; *Agricultural Non-Point Source Pollution* – AGNPS, desenvolvido para modelar a distribuição da poluição agrícola no terreno; e *Areal Nonpoint Source Watershed Environmental Response Simulation* – ANSWERS, que simula o escoamento superficial e a erosão em microbacias predominantemente agrícolas (ARAÚJO, 2006).

Esses modelos apresentados requerem enorme quantidade de dados e não são adequados para determinação de perda de solos em áreas tropicais. A EUPS, entretanto vem sendo trabalhada para o Brasil desde a década de 70, principalmente para o estado de São Paulo. Além disso, é um modelo simples e de fácil aplicação em relação aos demais (BERTONI; LOMBARDI NETTO, 1990).

3.7. Geomorfologia e questões ambientais

Os estudos ambientais na geomorfologia são muito recentes, mas a geografia sempre estudou as relações do homem com o meio, as que hoje se denominam de estudos da natureza e da sociedade. Os estudos do homem e do meio, da geografia agrária, da indústria, dos climas, do relevo, dos solos, da energia, da população, do turismo, da biogeografia, nada mais são do que os temas hoje tratados nos estudos integrados da natureza e da sociedade, denominados estudos ou análises ambientais (ROSS, 2003). Essas análises têm por objetivo atender as intrínsecas relações da sociedade humana com o meio natural.

Segundo Ross (2003), a pesquisa ambiental tem como objeto entender as relações da sociedade humana com a natureza, dentro de uma pesquisa absolutamente dinâmica nos aspectos culturais, sociais, econômicos e naturais. Por essa razão, a pesquisa ambiental só pode atingir a visão holística da sociedade, objeto de análise, dentro da perspectiva do seu passado, do seu presente, e de sua tendência para o futuro. O entendimento do passado permite uma adequada “radiografia” do presente, que por sua vez possibilita antever o futuro pelo quadro tendencial. Nessa direção, é importante ressaltar que as análises ambientais, na abordagem geográfica, são excelentes suportes técnico-científicos para elaboração de zoneamentos ambientais e sócio-ambientais que, por sua vez, dão suporte às políticas de planejamento estratégico.

A abordagem ambiental na pesquisa pode ser representada através de mapas, cartogramas, gráficos, tabelas que, produzidos a partir da utilização e interpretação de dados numéricos, fornecem informações sócio-econômicas, bem como dados obtidos a partir de sensores e levantamentos de campo, onde se extraem informações da natureza e também da sociedade. Esses instrumentos têm por finalidade facilitar o acesso a essas informações, possibilitando uma melhor compreensão do todo, característica da visão holística (ROSS, 1994).

A geomorfologia se serve destes instrumentos, pois segundo Casseti (1995), esta é uma ciência que tem por objetivo analisar as formas de relevo, buscando compreender as relações processuais, pretélicas e atuais, sendo seu objeto de estudo a superfície da crosta terrestre, não sendo ela a única ciência a estudá-la. Ela possui forma específica para a análise do relevo, tornando-a distinta em relação

às demais ciências. A aplicação destes instrumentos tem o objetivo de facilitar essas análises e desenvolver novos métodos tornando-os mais práticos.

De acordo com Ross (2003), a geomorfologia desenvolve métodos de análises genéticas próprias e têm como objeto de estudo as formas de relevo, onde a coloca em situação privilegiada para a aplicação de interesses ambientais; o relevo participa como um dos componentes que serve como indicador das potencialidades dos recursos naturais e, ao mesmo tempo, das fragilidades dos ambientes naturais. Como relevo, denomina-se o conjunto heterogêneo das formas que compõem a superfície da terra. O relevo se concretiza através da geometria que suas formas apresentam e seu modelado ocorre pelas diferenciações locais e regionais da silhueta da topografia.

Para Marques (1998), as formas do relevo podem transmitir a falsa idéia de que são elementos independentes da paisagem. Na verdade, elas e os demais componentes do ambiente estão interligados, promovendo ações, muitas vezes induzidas por influências mútuas, que em maior ou menor intensidade, agem no sentido de criar uma fisionomia que reflete, no todo ambiental ou em partes, um ou mais ajustes alcançados. Assim, a criação e evolução das formas de relevo não são dissociadas da presença e participação dos demais componentes do ambiente e sobre eles exercem a sua influência.

A influência do relevo nos processos de perda de solo é consequência da sua morfologia, que se subdivide em: aspectos morfográficos e parâmetros morfométricos. Os aspectos morfográficos descrevem o terreno quanto à sua forma e à sua aparência. As formas dos topos, segundo o mapa de geomorfologia do BRASIL (1982), são apresentadas como colinosas, tabulares ou aguçadas. Os parâmetros morfométricos são quantitativos das formas do relevo, como o grau de dissecação do relevo pela drenagem, a declividade e a amplitude altimétrica.

O Brasil devido ser um país de dimensões continentais torna-se imprescindível o conhecimento de sua dinâmica ambiental. É essencial, que se realizem cada vez mais estudos regionais para buscar entender a realidade de cada região. De posse desses estudos, podem-se planejar as melhores formas de uso para cada local e determinar as potencialidades de cada ambiente, pois segundo Vieira; Vieira (1983) para conservar ou aumentar a capacidade produtiva do meio físico é necessário conhecê-lo, pois esse é resultante de um conjunto de fatores naturais.

3.8 A importância do estudo das vertentes

De acordo com Christofolletti (1980), o estudo das vertentes é um dos mais importantes setores da pesquisa em geomorfologia, pois engloba a análise dos processos e formas. Esse setor é bastante complexo, pois envolve a ação de diversos processos responsáveis tanto pela esculturação como pela remoção do material dendrítico.

Christofolletti (1980) conceitua a vertente, como uma “superfície inclinada, não horizontal, sem apresentar qualquer conotação genética ou locacional.” Divide-as em: vertentes endogenéticas que devem sua existência aos processos que se originaram no interior da terra; vertentes exogenéticas que se desenvolveram a partir dos processos externos ou perto de sua superfície.

As vertentes são locais onde ocorrem o intemperismo, o transporte e a deposição de materiais, sendo estes fatores um dos responsáveis pelas perdas de solo. O estudo das encostas e dos processos que nelas ocorrem requer uma descrição cuidadosa e precisa. Este geralmente é feito com referência ao seu perfil. O perfil da vertente é a linha traçada sobre o terreno descrevendo sua inclinação. Esta inclinação é expressa por um ângulo ou um gradiente e sua orientação é dada pelos pontos cardeais. Vertentes cujo perfil tem um ângulo constante são chamadas retilineares, segmentos ou partes das vertentes também podem ter este tipo de perfil. As vertentes curvas podem ser convexas ou côncavas de acordo com a direção da curvatura e não podem ser descritas por um simples ângulo, mas pelo grau de curvatura do segmento⁵ (BIGARELLA et al. 2003).

A figura 3 representa exemplos do perfil das vertentes e dos segmentos ou partes da vertente.

⁵ Em relação à forma das vertentes em estudos de perdas de solo não considera se eles são côncavos ou convexas, pois seus efeitos nas perdas por erosão não estão ainda bem avaliados. Contudo, alguns dados escassos indicam que o uso do gradiente médio de um comprimento de rampa pode subestimar as perdas de solo de declives convexas e superestimar aquelas de declives côncavos.

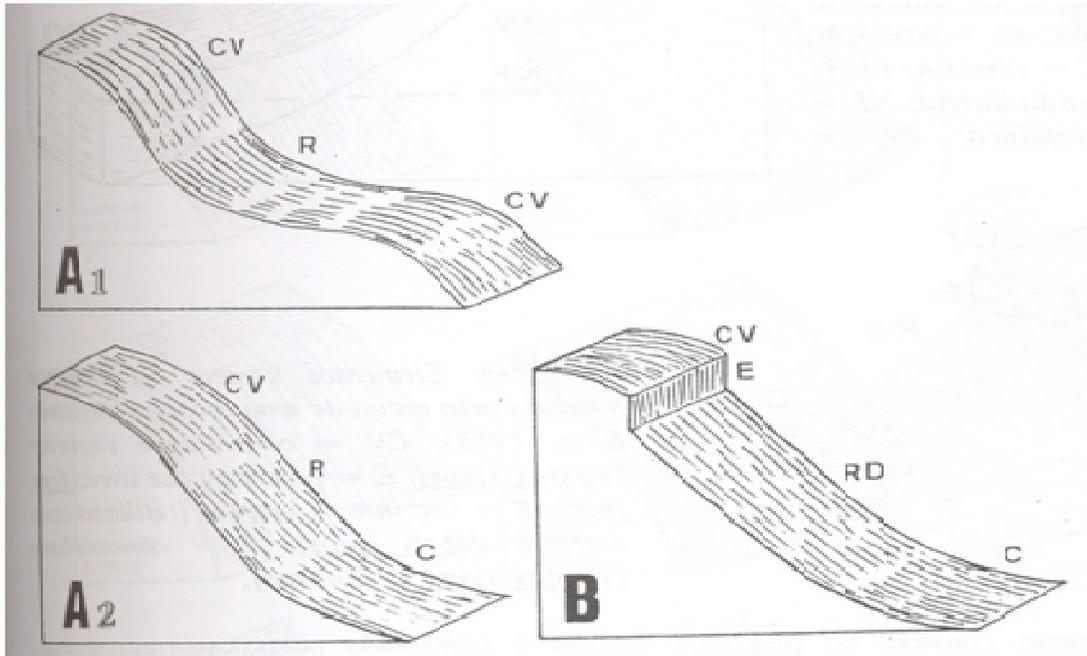


Figura 3 – Designação dos tipos de vertente. Em A1, observa-se uma vertente Convexo-Côncava-Convexo onde, as partes superiores e inferiores apresentam segmentos convexos (CV) e a parte intermediária é retilínea (R). Em A2 observamos uma vertente Convexo-Côncava, onde a parte superior é Convexo (CV), a parte intermediária é retilínea (R) e a parte inferior Côncava(C).Em B, encontramos uma vertente formada a partir do recuo da escarpa, onde a parte superior é Convexa (CV), com Escarpa (E), a parte intermediária é retilínea e a parte inferior é Côncava (C).

Fonte - Bigarella et al (2003)

A figura 4 ilustra as dimensões assumidas pela vertente em relação ao seu perfil. Segundo Bigarella et al (2003), nela podemos encontrar o limite inferior da vertente constituído pela parte mais rebaixada da topografia que geralmente constitui o leito de um rio (1); o limite superior da vertente que representa a extensão mais distante e mais alta da superfície da vertente (2); o limite interno, constituído pela terceira dimensão da vertente, sendo constituído pelo embasamento rochoso (3); e o processo atuante que representa o escoamento que ocupa posição excepcional em relação aos demais processos (4). Segundo Casseti (2003), uma vertente deve ser analisada nessas quatro dimensões, onde o fator temporal assume relevância para a compreensão do processo evolutivo.

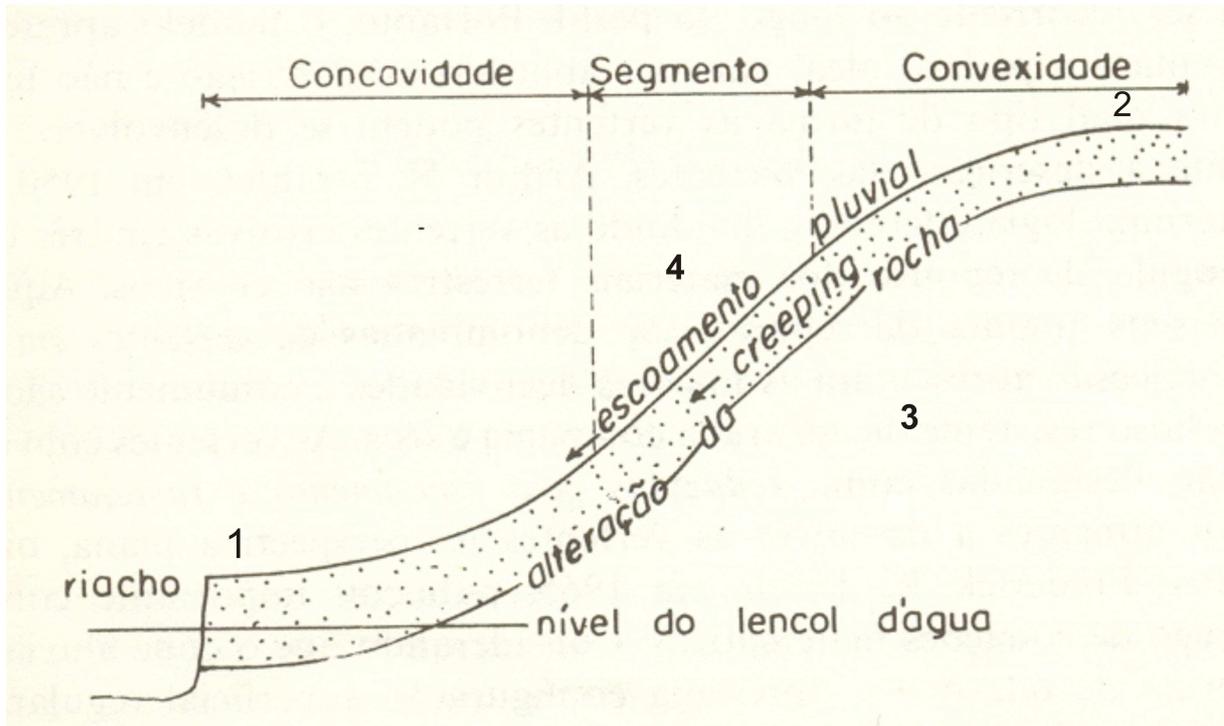


Figura 4 – Representação do perfil da vertente e suas quatro dimensões.
 Fonte: Christofolletti, 1980.

Cassetti (2003) comenta que ao se tratar dos elementos da definição de uma vertente, observa que são os processos morfogenéticos que determinam a natureza da vertente, e que estes diferem dos demais. “A vertente, no sentido morfogenético, corresponde à parte das formas do terreno que são modeladas pelos processos de denudação *stricto sensu*, ou seja, pelos movimentos de massa e pelo escoamento, tanto no presente como no passado”. Nos estudos dos processos morfogenéticos o fator climático assume maior importância na esculturação das formas do relevo. O autor diz ainda que existem dois conceitos básicos envolvidos: que processos morfogenéticos diferentes produzem formas de relevo diferentes e que as características do modelado devem refletir até certo ponto as condições climáticas sob as quais se desenvolveu a topografia.

As relações processuais em uma vertente dependem de fatores como declive, litologia e condições climáticas. O movimento de massa, por exemplo, tem possibilidade de ocorrer em declive moderado, desde que a presença de água e de argila seja suficiente para reduzir o atrito do material intemperizado em relação à estrutura subjacente. Portanto, a estabilidade de uma vertente varia em função das condições climáticas, do material proveniente da rocha subjacente, e da própria declividade (BIGARELLA, et al 2003).

A noção de freqüência processual “permite colocar em destaque o jogo dos fatores que comandam o afeiçoamento das vertentes: intensidade da dissecação, estrutura e clima” (TRICART, 1977). A intensidade de dissecação normalmente encontra-se associada à evolução dos talwegues, que se constituem em nível de base do afeiçoamento das vertentes, o que pode estar relacionado tanto a mudanças climáticas, como às oscilações glácioeustáticas pleistocênicas, como os efeitos de natureza tectônica. Assim, um ajustamento tectônico como o epirogenético positivo, gera ajustamento do talwegue, com aumento da declividade da vertente, determinando o aumento da intensidade dos processos erosivos. Os fatores morfoclimáticos “intervêm através das modalidades de meteorização e pedogênese e da natureza dos processos de afeiçoamento das vertentes”. Já as influências litológicas intervêm de várias maneiras: na forma do perfil da vertente, na sua declividade média, na velocidade do recuo, dentre outras (CASSETI, 2003).

De acordo com Casseti (2003), os processos que ocorrem em uma vertente são controlados pelos fatores exógenos e endógenos. Os exógenos são comandados pela dinâmica climática, já os endógenos pela estrutura geológica e tectônica. Como agentes intempéricos destacam-se a temperatura e a precipitação, que em função do comportamento da interface, como a vegetação, proporciona maior escoamento (fluxo de sub-superfície, movimento de massa e fluxo por terra) ou infiltração, com conseqüentes efeitos para a estabilidade da vertente.

Em relação às perdas de solo de uma vertente o fator que mais condiciona é o comprimento de rampa e o grau de declive, aqui tratados como dimensão interfluvial média e grau de entalhamento dos talwegues a partir do modelado de dissecação do relevo. Quando começa o processo erosivo (impacto da gota de chuva) vai depender da extensão que essa água vai se deslocar em relação à parte mais rebaixada do terreno e da declividade da vertente. Quanto maior à distância percorrida maior a velocidade do fluxo e, conseqüentemente, maior capacidade de arraste de partículas. Considerando-se a declividade da vertente, quanto mais declivosa maior a velocidade do fluxo o que ocasionará, maior capacidade de erosão. Cabe destacar que a vegetação exerce papel fundamental na capacidade de retenção da erosão em uma vertente (CASSETI 2003; VIEIRA 1975).

3.9 Uso da terra

A maneira como as terras são usadas tem influência na ocorrência de processos erosivos. Os processos de erosão intensos, as inundações, os assoreamentos desenfreados de reservatórios e cursos d'água são conseqüências do mau uso do solo. O levantamento do uso da terra numa dada região tornou-se um aspecto fundamental para a compreensão dos padrões de organização do espaço. Entretanto, as medidas para o planejamento do uso da terra têm sido, até recentemente, eram baseadas em informações fragmentadas sobre os efeitos de sua utilização. Isto ocorria porque não existiam registros seguros sobre as condições de uso, não se podendo avaliar as alterações que são provocadas pelo homem. Desta forma, se faz necessário uma análise para que seu resultado sirva como um meio para a determinação de modelos que levem em conta a expectativa de erosão (OLIVEIRA, 2004).

Entende-se por levantamento do uso da terra o conjunto de operações necessárias à elaboração de uma pesquisa temática que pode ser sintetizada através de mapas. Indica a distribuição geográfica da tipologia de uso, identificada através de padrões homogêneos da cobertura terrestre. Envolve pesquisas de escritório e de campo, voltadas para a interpretação, análise e registro de observações da paisagem, concernentes aos tipos de uso e cobertura da terra, visando a sua classificação e espacialização através de cartas (IBGE, 2006). Ele consiste em estudos para a obtenção de informações sobre o modo como o espaço está sendo alterado pelo homem, ou ainda, como se caracteriza a cobertura vegetal original.

Para Ribeiro; Centeno (2001), o mapeamento do uso da terra, pode ser executado através de métodos de classificação de imagens de satélite. A classificação digital de imagens associa cada *pixel* da imagem a um determinado rótulo, obtendo-se como resultado um determinado tema. De acordo com Crosta (1993), existem essencialmente duas abordagens na classificação de imagens multiespectrais de sensoriamento remoto: a classificação supervisionada e a não-supervisionada.

A classificação não supervisionada analisa os pixels “desconhecidos” da base de dados e os divide em um número de classes espectralmente distintas, baseado em seu próprio agrupamento natural, sendo possível identificar o tipo de cobertura

representada por cada classe espectral, usando vários tipos de informações, como imagens coloridas e fotográficas, mapas e dados de reconhecimento de campo (AVERY; BERLIN, 1985).

Na classificação supervisionada o analista identifica várias “áreas de treinamento” na imagem, que são representativas das classes desejadas. A criação das classes resulta do agrupamento de “pixels mais parecidos”, mediante a comparação dos pixels da cena com os pixels da classe de interpretação gerada pelo computador (HEPNER, 1990).

Crosta (1993) afirma que, na classificação supervisionada, é necessário que o usuário tenha conhecimento prévio da área a ser classificada. Esse tipo de observação é chamado de verdade terrestre. Essas áreas podem ser usadas como padrão de comparação, com a qual todos os pixels desconhecidos da imagem serão comparados para decidir a qual classe pertence. A área da imagem que o usuário identifica como representativa de uma das classes é chamada área de treinamento. Depois de definidas o sistema de classificação o analista pode partir para a classificação propriamente dita.

Para Moreira (2004), existem alguns fatores que contribuem para o êxito da análise das imagens de satélites que são basicamente: a época de obtenção das imagens de satélite, tipo de produto, bandas espectrais, escala das imagens e experiência do fotointérprete. O uso da terra dá indicações sobre a tradição e sobre os conhecimentos empíricos arraigados na cultura dos lavradores e suas ações perante o meio ambiente em que vivem (calendário agrícola, práticas agrícolas adotadas, variedades plantadas). A cobertura vegetal dá uma idéia de como se apresenta na atualidade, além de permitir perspectivas futuras, o uso e a conservação do meio estudado.

O levantamento sobre o uso da terra comporta análises e mapeamentos e é de grande utilidade para o conhecimento atualizado das formas de uso e de ocupação do espaço. Constitui uma importante ferramenta de planejamento e de orientação à tomada de decisão, principalmente devido ao relativo baixo custo das imagens de satélite, quando se buscam informações de cobertura ou detecção de mudanças de uso das terras em diferentes épocas, além de poder obter-se informações atualizadas de muitas partes da superfície terrestre (IBGE, 2006).

De acordo com Florenzano (2002), as imagens de satélite possuem uma grande aplicação para estudos do uso da terra. A partir da interpretação das

imagens pode-se: identificar, dimensionar e calcular as áreas de cada tipo de uso, bem como obter estimativas de área plantada, produção, vigor da vegetação, decorrentes de estágios de desenvolvimento das culturas, ação de secas geadas, granizos, pragas, entre outras.

A partir das imagens de satélite, podem-se obter mapas de uso da terra que constituem ferramentas necessárias para desenvolvimento de ações que visem o planejamento e administração do território (FAO, 2005). Segundo Loch (1990), há a necessidade do mapeamento e reconhecimento de todo o Brasil para que se possa fazer um planejamento de uso do solo, iniciando-se com o planejamento em nível municipal, para partir para estudos regionais. Para otimizar o uso, esses mapas devem estar em formato digital que permite atualização fácil e associado com um SIG, que inclui outras informações como classes de solos, caracterização de erosão e limites municipais, por exemplo. O banco de dados resultante é uma ferramenta essencial de decisão para planejamento racional de utilização das terras. Chagas et al. (2004) concluíram que esses bancos de dados fornecem ao usuário informações de acesso rápido para armazenamento, atualização e exclusão de dados, bem como ligação em tempo real entre dados alfanuméricos relacionados a esses mapas.

Nesse sentido, estudos da evolução do uso da terra em uma determinada área são de fundamental importância para planejamentos da distribuição dos espaços e avaliação dos diferentes graus de mudanças ambientais causadas pelo homem no ambiente. A interpretação de imagens de satélite é uma fonte indireta de se determinar dinâmica dos processos econômicos, expansão rural e urbana, assim como acompanhar as mudanças e transformações dos ambientes ao longo do tempo e registrá-los em mapas em ambiente de geoprocessamento, com o intuito de se conhecerem áreas de conflitos e assim estabelecer limites de utilização para cada meio considerando suas limitações.

3.10 Sistemas de informações geográficas (SIG)

O aumento das interferências humanas, com objetivos exploratórios tem chamado a atenção dos segmentos ligados ao planejamento ambiental, face alterações ocasionadas nos cenários naturais. Uma das alternativas que se

apresenta para subsidiar políticas voltadas às soluções destes problemas é a adoção de estudos integrados (ALVES, 2004).

A partir da década de 70, avanços tecnológicos relativos à aquisição e armazenamento, manipulação e saída de informações espaciais propiciaram um progresso expressivo de estudos integrados de dados. Neste sentido, a disponibilidade de dados orbitais e de estruturas computacionais auxiliares, como os SIGs, permitiu maior agilidade na coleta de dados e análise integrada das informações ambientais (VALÉRIO FILHO, 1995).

Segundo Mendonça (2005), os SIG's são poderosas ferramentas que permitem a análise de informações espaciais, principalmente quando essas informações são oriundas de diferentes fontes, tais como mapas, fotos aéreas digitalizadas, imagens de satélite e matrizes numéricas. Nesse sentido, a avaliação da erosão do solo realizada por SIG's, a princípio pode ser realizada em qualquer programa que suporte a estrutura de dados necessária. Sua utilização segundo Assad et al. (1998), possibilita a geração de bancos de dados codificados espacialmente, promovendo ajustes e cruzamentos simultâneos de grande número de informações. No caso específico da avaliação da erosão do solo, os SIG's facilitam a representação gráfica das classes e a atualização das informações.

Segundo o INPE (1990), o objetivo de um SIG é promover uma ferramenta eficiente de planejamento para todas as aplicações que fazem uso de mapas. Todas as atividades que envolvem a coleta de dados e a distribuição espacial desses sobre a superfície terrestre podem se beneficiar de sistemas dessa natureza. Rocha (2000) comenta que os SIGs, possibilitam a identificação de áreas e seus potenciais para uso e aplicações tanto para o planejamento quanto ordenamento territorial.

Portanto, os SIGs, possibilitam identificar e conflitar os mais diversos tipos de mapas, registrando conflitos e auxiliando no planejamento, dentro de estimativas de monitoramento e registros periódicos dos elementos deteriorantes do meio.

A aplicação de modelos de erosão pode ser efetuada com a utilização de SIG, pois possibilita a obtenção de resultados na forma de mapas com a distribuição espacial da erosão na área estudada. Para este estudo é necessária à produção dos planos de informação (PI) de cada fator da equação para serem operados através de sobreposição. Os planos de erosividade (R), erodibilidade (K), fator topográfico (LS), fator de uso/manejo (C) e do fator práticas de conservação (P) são construídos dentro do SIG a partir dos planos básicos de pluviometria, solos, relevo e

levantamento da cobertura vegetal, através de desdobramentos, cálculos e associações. O fator P (práticas conservacionistas) da EUPS pode ser inserido no modelo através de levantamento e inferências das práticas conservacionistas correntes obtidas através de tabelas com valores de referência (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990) consolidadas pela pesquisa em conservação de solos.

Em relação à utilização de SIGs, para estes estudos existem vários exemplos na literatura relativos ao emprego do geoprocessamento em estudo de análise de degradação ambiental, especialmente na avaliação espacial do potencial de erosão e da expectativa de perda de solo.

Valenzuela et al. (1986), utilizaram parâmetros do modelo EUPS em um SIG para geração do potencial de erosão do solo. Combinaram todas as informações da equação e determinaram os riscos de erosão para a agricultura. Donzeli et al. (1992), utilizaram o sistema computacional SGI/INPE, para integrar os parâmetros do modelo EUPS, no sentido de avaliar a degradação dos solos na área. Lombardi Neto et al. (1995), utilizaram o SIG Idrisi para combinar os parâmetros do modelo EUPS, em estudo desenvolvido em uma microbacia no estado de São Paulo para determinar a tolerância de perda de solo. Rocha et al. (1995), obtiveram os valores de comprimento de rampa e declividade, utilizando ambiente SIG. A partir de interpolação do mapa digital de curvas de nível, gerou-se no SIG Idrisi o Modelo Digital do Terreno - MDT e, em seguida, o mapa de declividades.

Atualmente tem-se verificado o emprego crescente das técnicas de geoprocessamento nos estudos de planejamento do uso da terra e análise ambiental, baseadas especialmente, em SIG visto sua capacidade de suporte à integração de dados, possibilitando a geração e análise da informação geográfica a partir de um grande volume de informações.

4 METODOLOGIA

O município de São Pedro do Sul situa-se na região central do estado do Rio Grande do Sul, na transição entre a Depressão Periférica Sul-Riograndense e os Planaltos e Chapadas da bacia sedimentar do Paraná⁶ (ROSS, 1996). Situa-se entre as coordenadas de 29°46'12" a 29°26'24" de latitude sul e 54°30'36" a 53°56'54" de longitude oeste. Limita-se ao norte com os municípios de Toropí e Quevedos, ao sul com Santa Maria e Dilermando de Aguiar, a leste com São Martinho da Serra e a oeste com os municípios de Mata e Cacequi. De acordo com FIBGE (1997), faz parte da Mesorregião Geográfica Centro Ocidental Rio-Grandense e, dentro desta, da Microrregião homogênea de Santa Maria.

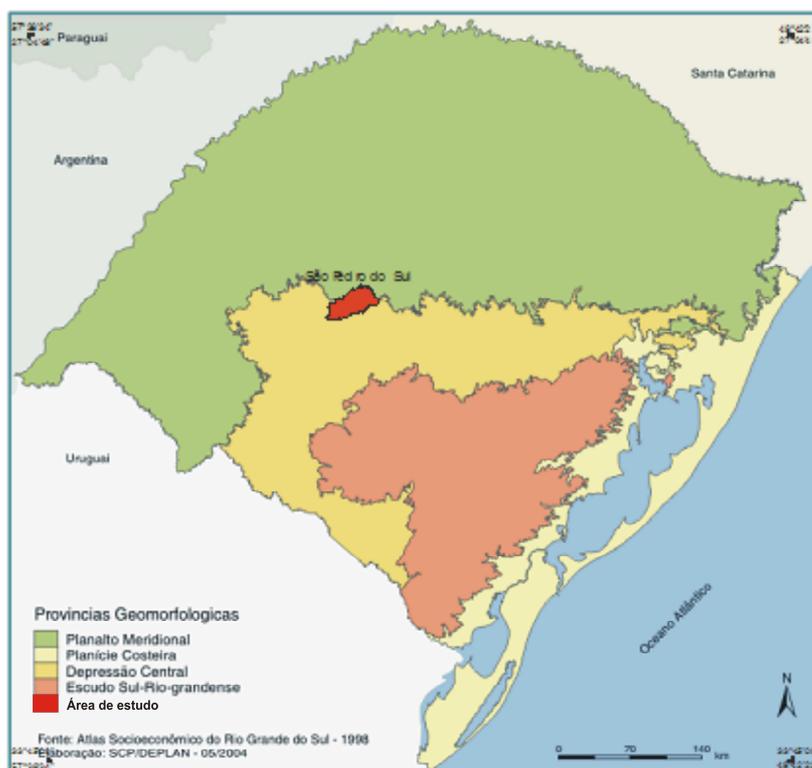


Figura 5: Localização do município de São Pedro do Sul em relação às províncias geomorfológicas do Estado do Rio Grande do Sul.

Fonte: IBGE, 2003.

4.1 Histórico do município

O padre Roque Gonzáles, em 1626, foi o primeiro homem branco a visitar o Município tentando estabelecer uma redução jesuítica. O principal objetivo era o de

⁶ A área da Depressão Periférica Sul-Riograndense abrange cerca de 68%, enquanto que o restante 32% fazem parte dos Planaltos e Chapadas da Bacia Sedimentar do Paraná.

converter os indígenas ao cristianismo. Acabou sendo expulso prometendo voltar mais tarde. Morreu dois anos mais tarde, em Nova Candelária.

Em 1687, a área transformou-se em sede da antiga redução de São Miguel, sendo escolhido para sediar um importante posto da grande estância. O local foi o Cerro Ermida, por sua posição privilegiada e estratégica. Neste local, ergueu-se uma capela, sob a proteção de São Pedro (LEAL, 1996).

No ano de 1801, a região das Missões acabou sendo conquistada por Manuel dos Santos Pedroso, recebendo de presente a Estância de São Pedro, na parte meridional do Município (atual localidade de Chiniquá). Em 1858, Santa Maria tornou-se município e três anos mais tarde, criou-se o terceiro distrito de Santa Maria, com sede na antiga Estância de São Pedro, agora chamada de Rincão de São Pedro. A partir de 1875, chegaram os primeiros imigrantes alemães, atraídos pela notícia da grande fertilidade do seu solo, situando-se na encosta inferior do Planalto Rio-grandense (LEAL, 1996).

No ano de 1900, chegaram os primeiros imigrantes italianos. No dia 11 de setembro de 1925, a população enviou a Santa Maria, um memorando com 833 assinaturas solicitando a emancipação do município. Na época o município apresentava uma população de 2.105 habitantes. No dia 24 de fevereiro de 1926, o Conselho de Santa Maria discute o memorando dos moradores, e concede parecer favorável à emancipação. Em 22 de março de 1926, através do decreto estadual nº 3624 criou-se o município de São Pedro. Porém, em 29 de dezembro de 1944, pelo decreto lei estadual nº 720, o município passou a denominar-se São Pedro do Sul, devido o estado já possuir outro distrito com esse nome (LEAL, 1996).

Atualmente conta com quatro distritos que são: São Pedro do Sul (sede), Cerro Claro, Guassupi e Xiniquá

4.2 Características naturais do município de São Pedro do Sul

O levantamento de informações referentes ao meio físico é premissa básica para aplicação de estudos regionais. O estudo dos solos, da vegetação, do relevo, da hidrologia e da geologia é de fundamental importância para o conhecimento de como se originou o geossistema local e determinar a melhor forma de conservá-lo, com o intuito de estabelecer critérios de exploração.

O clima na região de São Pedro do Sul corresponde ao clima mesotérmico brando Cfa (NIMER 1989; AYOADE, 1986), apresentando como característica invernos frios, com temperatura média do mês mais frio entre 13°C e 15°C e média das mínimas entre 8°C e 10°C. Os verões são quentes, com temperatura média do mês mais quente superior a 24°C, média das máximas variando entre 28°C e 32°C e as máximas absolutas oscilando em torno dos 39°C. As temperaturas médias anuais situam-se entre 16°C e 20°C. As precipitações são regulares durante todo o ano, não apresentando estação seca, com índices pluviométricos anuais entre 1500 mm e 1600 mm. Os ventos predominantes são de leste e sudeste.

Em relação à geologia, a área está assentada sobre litologias do Grupo Rosário do Sul: Formações Sanga do Cabral, Santa Maria (membro Passo das Tropas e membro Alemoa), Serra Geral, Botucatu e Caturrita, além de terraços fluviais e sedimentos atuais do Quaternário (ANDREIS et al., 1982).

O membro Passo das Tropas é o membro inferior da unidade litoestratigráfica Formação Santa Maria, representada por sedimentos de tamanho grosseiro, sendo parte silificados ou silcretada. Os materiais detríticos encontrados nessa formação são: quartzo, quartzito, quartzo/feldspato. Na porção superior apresenta siltitos arenosos, de coloração roxo-avermelhado de ambiente fluvial, bem como arenitos finos e siltitos laminados de cor rosa lilás de ambiente fluvio-lacustre (SILVA, 1997).

O Membro Alemoa constitui o membro superior da Formação Santa Maria, é constituída por rochas sedimentares de cor avermelhada, não apresenta textura de caráter argiloso nem de caráter lamítico. Outra característica desta formação é a ocorrência de concreções calcárias. Encontra-se sotoposto ao Membro Passo das Tropas e sobreposto a Formação Botucatu, e propicia o aparecimento de ravinas nas zonas de flanco de colinas (SILVA, 1997).

As litologias mais representativas da Formação Caturrita, conforme Bortoluzzi (1974) constituem-se de camadas de arenitos finos a médios, com composição quartzosa, que se intercalam com camadas de siltitos arenosos de espessura menor, enquanto arenitos de textura mais grosseira são comuns junto à base. A estratificação é cruzada acanalada, intercalados com siltitos vermelhos de ambiente fluvial. Observa-se, também, o aparecimento de fósseis nesta formação. É uma formação complexa, com aquíferos, camadas semipermeáveis e impermeáveis. Grande parte dos arenitos possui muita silte e argila expansiva o que lhe reduz a

permeabilidade. A resistência do solo para essa formação em relação à erosão é relativamente baixa (GASPARETO et al, 1990).

A formação Botucatu, segundo Bortoluzzi (1974), é composta por arenitos essencialmente quartzosos contendo feldspatos alterados, cimentados por sílica ou óxido de ferro, com estratificação cruzada de grande porte. Os arenitos constituem depósitos eólicos com laminação cruzada de grande porte, apresentando intercalações de lavas basálticas de idade jurássica.

A formação Serra Geral é constituída por duas seqüências vulcânicas: uma básica e outra ácida, com intercalação de sedimentação eólica nos períodos de recesso da atividade vulcânica, conhecidos como arenitos “intertrapps”. De acordo com Veiga (1973), as rochas vulcânicas intercaladas com os primeiros derrames, ocorrem sedimentos eólicos, semelhantes à Formação Botucatu, indicada pelo ambiente árido que perdurou durante o vulcanismo.

Os depósitos Quaternários, pelo fato de serem originários da dinâmica presente e pré-atual de acumulação sedimentar, encontram-se associados aos atuais agentes de sedimentação. Conforme BRASIL (1986), esses ocupam as calhas dos rios, sendo constituídos por areias, cascalhos, silte e argila. Os sedimentos mais grosseiros localizam-se, preferencialmente, nas cabeceiras de drenagem oriunda da escarpa basáltica⁷, enquanto que a sedimentação siltico argilosa se desenvolve acentuadamente nas planícies de inundação.

Em relação à geomorfologia, as áreas das planícies aluviais estão constituídas por sedimentos recentes (Quaternário). Esses sedimentos são oriundos de superfícies topograficamente mais elevadas do Rebordo do planalto e depositadas nas áreas mais planas às margens dos rios e arroios. As coxilhas aparecem tanto em porções isoladas como em conjuntos de seqüências constituindo as áreas mais elevadas do setor sul do município de São Pedro do Sul. Nelas atuam processos de dissecação e aparecem de forma expressiva ao sul do município. Genericamente, apresentam formas de topos convexos, convexo-côncavos, côncavo-convexos ou planos. Em alguns pontos formam-se colinas alongadas, apresentando-se na forma de encostas rampeadas, onde ocorrem fenômenos de erosão e movimentos de massa (WERLANG, 2004). Segundo BRASIL (1986), a Depressão Periférica pertence ao domínio morfoescultural das bacias e coberturas

⁷ Rebordo ou Falda do Planalto Meridional Brasileiro, denominado por Ross (1994) de Planaltos Sedimentares da Bacia do Paraná recobertos por lavas vulcânicas.

sedimentares sendo estas, uma área inter-planáltica onde os processos erosivos esculpiram em rochas sedimentares paleozóicas, triássicas e jurássicas da Bacia do Paraná colinas alongadas, que não apresentam grandes variações altimétricas, com topos convexos e vertentes levemente inclinadas.

O Rebordo do planalto é entendido como uma faixa transicional de terra entre os dois compartimentos geomorfológicos do município. Apresenta elevados desníveis altimétricos e tem por característica apresentar depósitos de colúvios. De acordo com Müller Filho (1970), os processos geomorfológicos de denudação excessiva e o retrocesso das escarpas ocasionaram um rebaixamento da superfície regional, que foi soerguida por movimentos tectônicos, resultando na formação de um pediplano, acompanhados de morros residuais. Estes apresentam topos de antigos afloramentos rochosos, e áreas com produtos resultantes de alterações ocorridas na rocha basáltica ou no arenito Botucatu, caracterizando-se pela presença de solos pouco desenvolvidos, cobertos com vegetação esparsa.

Em relação à hidrografia Justus (1990), diz que a região sul caracteriza-se pela predominância de rios de planalto, adaptados a estrutura geológica em conseqüência de longos períodos de dissecação e encaixamento da drenagem, contribuindo para o delineamento das grandes linhas de relevo, como os compartimentos geomorfológicos. Desta forma, comenta que grande parte dos aspectos morfológicos atuais são reflexos do arranjo e evolução da drenagem durante o cenozóico, sobre o arcabouço geológico herdado, devido os quais os rios se conformaram. A área de estudo, pertence ao sistema hidrográfico Ibicuí-Mirim/Toropi (parte pertence à sub-bacia do rio Ibicuí-Mirim e outra porção pertencente à sub-bacia do rio Toropi). Constituem-se como cursos fluviais importantes outros pequenos arroios que são responsáveis pelo modelado de dissecação dos interflúvios e pelo entalhamento dos talvegues. Apresentam padrão de drenagem que, na classificação de Christofletti (1980), se enquadra no tipo sub-dentrítico⁸. Em alguns casos, o controle estrutural caracteriza padrões paralelos na drenagem. Estão representados por canais de primeira, segunda e terceira ordem. Nas formas de topos convexos ou planos, por vezes amplas e alongadas, cujas

⁸ São padrões de drenagem modificados do dendrítico apresentando controle estrutural no curso principal. Indicam, por vezes, estratos alternados com diferentes graus de resistência ou, ainda, fraturas. O dendrítico apresenta forma arborescente indicando litologias sedimentares.

encostas deslizam suavemente em direção aos vales, esses integram uma rede de drenagem com padrão dendrítico (WERLANG, 2004).

No que se refere à vegetação e ao uso atual, a área sofreu significativas alterações na cobertura original da vegetação. Situa-se no domínio dos campos com capões e matas galerias (VIEIRA, 1984). Atualmente, é dedicada à pecuária e agricultura, apresentando uma cobertura de gramíneas entremeadas de pontos com vegetação remanescente. Seus solos são rasos, com superfícies suaves, próprias a expansão de gramíneas. Na porção representada pelo rebordo do Planalto (norte da área), os empreendimentos agrários impuseram forte modificação na vegetação, apresentando remanescentes da Floresta Estacional Decidual⁹ (FIBGE, 1986). Os agrupamentos remanescentes da cobertura vegetal encontram-se nas partes íngremes das encostas. O desmatamento foi seguido de uma ocupação agrícola. Frente às dificuldades condicionadas pelo relevo e pedregosidade, as propriedades foram aos poucos sendo abandonadas e substituídas por vegetação secundária. Em algumas áreas aparecem dispersas manchas com culturas permanentes e de reflorestamento. O uso atual dado à área está representado por culturas cíclicas e pastagens com criatório composto por bovinos e, em menor escala, ovino (FIBGE, 1996).

Com base em Klamt et al. (2001), no que se refere ao solo, no município de São Pedro do Sul, encontram-se as seguintes classes de solos: os Alissolos, os Argissolos, os Cambissolos, os Chernossolos, os Gleissolos, os Neossolos e os Plintossolos. A figura 6 mostra a espacialização dos tipos de solo do município.

Os Alissolos são solos medianamente profundos a profundos, com horizonte B podendo variar de textural a nítico. Tem elevada acidez, na maior parte do perfil devido à grande presença de alumínio, e conseqüentemente baixa fertilidade. Ocorrem em relevos suavemente ondulados até fortemente ondulados. Apresenta-se na Depressão Periférica, derivados de arenitos, siltitos e lamitos de diferentes formações geológicas. As principais limitações físicas são a drenagem imperfeita, mudança textural abrupta e suscetibilidade à erosão (STRECK et al. 2002). Na área em estudo ocorrem os Alissolos Hipocrômico Argilúvico e Alissolos Crômico Húmico (KLAMT et al. 2001).

⁹ Conforme FIBGE/RADAMBRASIL (1986), a característica decidual é identificada pela existência de mais de 50% de árvores caducifólias no conjunto florestal na época desfavorável. Está dividida em quatro formações: Aluvial; Terras baixas; Sub-montana e Montana.

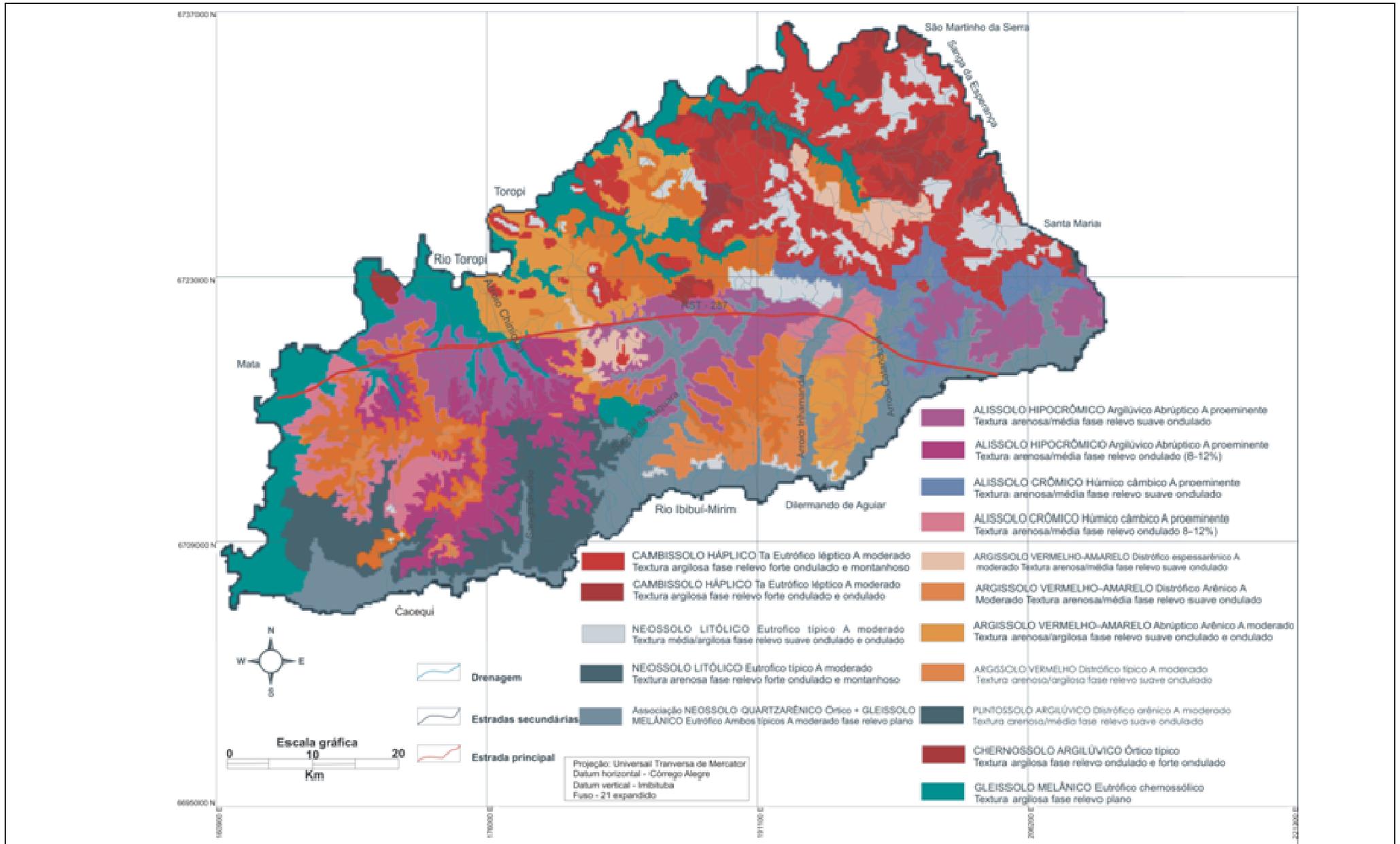


Figura 6: Mapa semidetalhado de solo do município de São Pedro do Sul - RS

Fonte: Kamt et al, 2001

Os Argissolos são solos geralmente profundos a muito profundos, bastante intemperizados e com o horizonte B sempre mais argiloso em comparação aos horizontes superiores. Esses solos por algumas vezes apresentam um horizonte E, entre os horizontes A e B. Esse horizonte apresenta uma grande porcentagem de areia, e uma grande permeabilidade o que acarreta problemas quando o horizonte B for muito argiloso. Têm baixa fertilidade natural, forte acidez e alta saturação por alumínio. Ocorrem em relevos suaves ondulados até fortemente ondulados. Derivam de diversos tipos de rochas. As principais limitações físicas são a textura, a espessura da camada arenosa com mudança textural abrupta e declividade. Estas características determinam a sua suscetibilidade à erosão e o seu potencial de uso (STRECK, et al. 2002; LEPSCH, 2007). Os principais tipos de Argissolos encontrados na área são o Vermelho Amarelo Distrófico e o Vermelho Distrófico (KLAMT et al. 2001).

Os Cambissolos são solos rasos a profundos, onde o horizonte B, ainda está em formação (B incipiente). Sua fertilidade varia devido à condição do relevo, e seu uso exige a adoção de práticas conservacionistas intensivas. Ocorrem em áreas de relevo movimentado, favorável a acumulação de matéria orgânica. O grau de suscetibilidade à erosão desses solos é variável, dependendo de sua profundidade, da declividade do terreno, do teor de silte e do gradiente estrutural. As condições de drenagem variam de bem drenados a imperfeitamente drenados, dependendo de sua posição na paisagem (STRECK, et al. 2002). Na área em estudo, é encontrado o Cambissolo Háptico (KLAMT et al. 2001).

Os Chernossolos são rasos e profundos com razoáveis teores de matéria orgânica, por isso apresenta boa fertilidade natural, estando entre os melhores solos do mundo para a prática agrícola. Apresentam como características horizontes superficiais escuros (A chernozêmico) e a cerca de 1m de profundidade uma camada com acúmulo de finas partículas de carbonato de cálcio. Ocorrem em relevos ondulados a fortemente ondulados, e seu uso exige práticas conservacionistas intensivas, devendo ser utilizado para pastagens e reflorestamentos (STRECK et al. 2002; LEPSCH, 2007). O tipo de Chernossolo presente na área é o Argilúvico Órtico (KLAMT et al. 2001).

Os Gleissolos são solos, pouco profundos, de cor acinzentada ou preta. São constituídos de materiais inconsolidados (sedimentos ou saprólitos) e muito influenciados por ocorrências de encharcamento prolongado. Isto ocorre devido ao

lençol freático estar situado próximo da superfície no período chuvoso, o que deixa os poros saturados com água por tempo relativamente prolongado. Essa saturação, associada à matéria orgânica, diminui o oxigênio dissolvido e provoca a redução química e dissolução dos óxidos de ferro, que é transformação provoca essa coloração característica. A fertilidade desses solos é bastante variada. A maior parte deles presta-se muito bem à agricultura quando o excesso de água for eliminado e a acidez corrigida. É um tipo de solo propício a cultura do arroz, devido este ser um solo muito mal drenado e ocorrer em relevos planos (STRECK et al. 2002; LEPSCH, 2007). Sua suscetibilidade à erosão, por se situarem em áreas planas, que não favorece o escoamento, não é relevante.

Os Neossolos são solos rasos ou profundos, com formação bastante recente. Apresentam como característica um horizonte A assentado diretamente sobre o horizonte C ou até mesmo sobre a rocha consolidada, não apresentando horizonte B. São encontrados nas mais diversas condições do relevo e drenagem. Devido à sua pequena espessura, e por ocorrerem em regiões de relevo forte ondulado e montanhoso e, geralmente, com pedregosidade e afloramentos rochosos, e por terem baixa tolerância de perdas de solo por erosão hídrica, apresentam fortes restrições para culturas anuais (STRECK et al. 2002; LEPSCH, 2007).

Os Plintossolos são solos com drenagem moderada a imperfeita, tendo por característica a existência de mosqueados no horizonte B (B plíntico), devido à presença de plintita. Esse material é rico em óxido de ferro e apresenta-se em formas de camadas ou nódulos avermelhados que quando expostos ao sol formam uma camada bastante dura. Ocorrem em posições específicas da paisagem ocupando áreas de baixadas com relevo plano, e posições de transição entre várzeas e o início das coxilhas, em relevo plano e suave ondulado. Seu aproveitamento agrícola tem várias limitações devido ao tipo de drenagem e sua acidez que necessita de corretivos (STRECK et al. 2002; LEPSCH, 2007).

4.3 Características sócio-econômicas

A atividade agropecuária constitui a na principal atividade econômica do município de São Pedro do Sul. Na agricultura, destacam-se principalmente as culturas de soja, arroz e milho com uma área plantada de 4.860, 3.900 e 3.000 ha

respectivamente (FIBGE 2006). As lavouras de soja abrangem, em sua maior parte, as áreas planas da Depressão Periférica enquanto que as de cultivo de arroz ocupam principalmente as margens do rio Ibicuí-Mirim e Toropi, cabe destacar que estas são lavouras comerciais. Já a plantação de milho é cultivada em sua maior parte no Rebordo do planalto, e sua produção está voltada para a subsistência.

Na pecuária, a criação de bovinos tem uma produção de aproximadamente 70.000 cabeças. Merece destaque também a produção de aves com 47.665 cabeças e o rebanho de ovinos para produção de lã com 7.349 cabeças (FIBGE, 2006).

O município apresenta uma estrutura fundiária composta de pequenas e médias propriedades. Variam entre 1 a 50 ha, para as propriedades pequenas, e entre 50 e 500 ha, para as consideradas médias. As maiores propriedades, com mais de 500 ha, ocupam áreas da Depressão Periférica, enquanto que, as menores encontram-se em áreas do Rebordo do planalto. A estrutura fundiária do município está representada na Tabela 1.

Tabela 1- Município de São Pedro do Sul: Estrutura fundiária do ano de 1995.

Grupo de área (ha)	Nº de estabelecimentos	% sobre o número total de estabelecimentos
Menos de 10	978	34,06
10 – 100	1.743	60,75
100 – 200	93	3,24
200 – 500	40	1,39
Mais de 500	16	0,56
Total	2.870	100,00

Fonte: FIBGE (1996)

Quanto à população total, houve um gradual decréscimo ao longo das três últimas décadas, porém observou-se um crescimento no último censo. A tabela 2 mostra os resultados da evolução da população urbana sobre a rural entre os anos de 1980 e 2008.

Tabela 2.- População total residente no município de São Pedro do Sul -1980/2008.

Ano	População total	População urbana	% sobre o total	População rural	% sobre o total
1980	20.009	7.899	39,48	12.110	60,52
1990	20.381	9.925	48,70	10.456	51,30
2000	16.191	11.054	68,27	5.137	31,73
2008	17.079	13.625	79,78	3.454	20,22

Fonte: FIBGE (1980; 1990; 2000; 2008)

Em 1980 a população rural era maior que a urbana, na década de 90, essa situação se mantém. Em 2000 ocorre uma inversão nesse quadro, o que pode ser parcialmente explicado pela emancipação do então quarto distrito de São Pedro do Sul, Toropi¹⁰, que ocorreu em 1995. Em 2008 essa redução continua a se processar visto que reflete o processo de esvaziamento do campo que vem se processando no município. O quadro populacional do município tende ao decréscimo da população rural, pelo fator da migração para as áreas urbanas e abandono do campo, o que pode ser constatado empiricamente pelo grande número de estabelecimentos rurais abandonados (as denominadas “taperas”). Entre as demais atividades econômicas desenvolvidas, no setor secundário, destaca-se a indústria de beneficiamento de arroz. O setor terciário envolvendo o comércio e prestação de serviços atende, basicamente, a população local. Ambos os setores são de pequena expressão regional, entretanto importantes para o município.

4.4 Procedimentos Metodológicos

O trabalho segue a concepção metodológica de integração de dados norteada pelos pressupostos da Teoria Geral dos Sistemas a qual tem sido amplamente utilizada para os estudos ambientais. Considera-se a metodologia adequada por contemplar o princípio básico referente aos fluxos de matéria e energia os quais são imprescindíveis para a compreensão do processo erosivo, sendo este o elemento principal da investigação. Desse modo, entendem-se as formas de relevo como fruto

¹⁰ O município de Toropi encontra-se situado ao norte de São Pedro do Sul junto ao rebordo dos Planaltos e Chapadas da bacia sedimentar do Paraná constituindo uma área colonizada principalmente por descendentes de imigrantes alemães.

da interação do clima, dos solos, da declividade do terreno, do uso da terra e das práticas de conservação. A partir da concepção de que a visão sistêmica possibilita estabelecer e analisar tais inter-relações pretende-se, a partir dela, compreender os vínculos de dependência entre estes fatores.

Com relação à questão da funcionalidade dos sistemas, compreende-se que a integração das informações dos elementos da paisagem deve ser concebida como um sistema aberto, no qual é inerente a idéia de que ao se alterar um elemento deste, todo o sistema será afetado, sendo que seu funcionamento procurará um novo ponto de equilíbrio frente a esta mudança, ou seja, procurará produzir um auto-ajustamento à nova situação. A relação entre forma e processo também é contemplada neste tipo de sistema funcional, já que os limites são abertos para a recepção de massa e energia, as quais podem, ao transitarem pelo sistema, alterar sua forma através dos processos que causam.

Para a obtenção, interpretação, confecção e análise dos dados o trabalho seguiu a proposta de Libault (1971), que propõe o desenvolvimento da pesquisa geográfica em quatro níveis:

Na primeira etapa o nível compilatório que abrange os trabalhos iniciais de campo para reconhecimento e caracterização da área em estudo, levantamento de informações gerais, bibliografia específica, cartas topográficas, imagens de satélite e aerofotogramas;

Na segunda etapa, no nível correlativo, executou-se a correlação entre os dados anteriormente selecionados. Essa correlação foi feita através do cruzamento do coeficiente de erosividade (Fator R), do Mapa de solos (Fator K), do Mapa de modelado do relevo (Fator LS), do Mapa de Uso da terra (Fator C) e do coeficiente para as Práticas de Conservação (Fator P). De posse desses mapas foi realizado a sobreposição de todos os planos de informação, gerando o mapa de perda de solo para o município de São Pedro do Sul;

Na terceira etapa, no nível semântico, foi realizada a interpretação dos dados obtidos na fase anterior e assim, gerado o resultado final e as conclusões.

O quarto nível proposto por Libault (1971) é o normativo que se refere à fase em que o produto da pesquisa torna-se um modelo.

4.5 Materiais e métodos:

Os materiais utilizados na presente pesquisa foram:

Cartas topográficas na escala 1: 50.000, para digitalização da base cartográfica; fotografias aéreas na escala 1: 60.000 para a confecção do mapa de modelado do relevo e para determinação do Fator LS; imagens de satélite do sensor CBERS 2B órbita-ponto 160/133 de janeiro de 2009, com resolução espacial de 20 metros; mapa digital de solos do município de São Pedro do Sul; ensaios de laboratório para a determinação do Fator K; aplicativo Carta Linx para a digitalização da base cartográfica; SIG idrisi 32 e Kilimanjaro para confecção dos mapas e cruzamentos dos planos de informação; aplicativos Corel Draw 12 e o Adobe Photoshop, versão 5.5 para a confecção final dos mapas .

4.6 Métodos de elaboração da base de dados cartográficos:

Os materiais utilizados para a elaboração da base cartográfica do município de São Pedro do Sul – RS, foram obtidos de diferentes fontes descritas no quadro 1

Base levantada	Origem	Forma
-Rede viária		
-Rede hidrográfica	-Carta da DSG na escala 1: 50.000.	-Digitalização em tela
-Limite município		
-Fator R	-Carta da DSG na escala 1: 50.000	-Digitalização em tela
-Fator K	-Levantamento de solos do município de São Pedro do Sul - RS	-Digitalização em tela
-Fator LS	-Carta da DSG na escala 1: 50.000 -Fotografias aéreas na escala 1:60.000	-Digitalização em tela
Fator C	-Imagem de satélite	-Processamento digital
Fator P	-Carta da DSG na escala 1: 50.000	- Digitalização em tela

Quadro 1 – Descrição da origem da base de dados empregados na elaboração da base cartográfica e dos planos de informação.

A conversão do formato digital para o analógico do mapa de solos do município e das cartas topográficas realizou-se através do Scanner. Depois de realizada esta operação montou-se o mosaico das cartas topográficas que

abrangem o município. Para o mapa de solos não foi necessário fazer essa operação, uma vez que foi escaneizado abrangendo o município por completo.

Para montagem do mosaico das cartas topográficas utilizou-se o programa Corel Draw e posteriormente exportou-se no formato *.bmp*¹¹ para o aplicativo Carta Linx, módulo *Image Conversions – New Coverage _ Coverage Based Upon Bitmap*. Em seguida foram digitalizados um a um os *layer* da rede viária, do limite do município e da rede de drenagem, através do módulo *Begin Arc – Finish Arc*. Realizada esta operação essas entidades foram exportadas separadamente para o programa Idrisi 32 através do módulo *Export – Idrisi 16-bit*. A drenagem e a rede viária foram exportadas como vetor (linha), já o limite do município foi exportado como polígono. Para os *layer* serem utilizados no idrisi é necessário utilizar o módulo *File – Idrisi Conversion Tools* convertendo o arquivo de 16 bits (arquivo de saída no aplicativo carta linx), para 32 bits (arquivo de entrada no idrisi).

4.7 Georreferenciamento das bases cartográficas

Segundo Raffaelli (2002), o processo de georreferência possui fundamental importância no desenvolvimento de projetos baseados em SIG, uma vez que o espaço geográfico é constituído por um conjunto de diferentes planos de informação e devem possuir o mesmo sistema de referência, para que estes possam ser combinados.

De acordo com Eastman (1998) o processo de georreferenciamento é um tipo de transformação “*rubber sheet*”, que estende e deforma uma imagem para adequá-la a um sistema de referência, com certa distorção espacial. Afirma ainda que muitos sistemas de referência, e as projeções a eles associadas, introduzem mais distorções espaciais que outros para a mesma área, recomendando a escolha de um sistema que introduz menor distorção espacial.

Para o georreferenciamento dos planos de informação utilizados no trabalho, foi necessária a visualização de pontos similares no mosaico da carta topográfica e na imagem de satélite. O procedimento utilizado para o georreferenciamento foi o seguinte:

¹¹ Extensão aceita pelo programa

- 1) Escolha de pontos de controle visíveis na imagem de satélite com composição falsa cor, e na carta topográfica com cruzamento de rodovias, entroncamento de estradas, pontes;
- 2) Aquisição das coordenadas dos pontos de controle, identificando-os como X e Y, representando o mesmo lugar na imagem e na carta topográfica.
- 3) No idrisi o primeiro passo para o georreferenciamento é utilizar o módulo *Data Entry – Edit*, sendo que na primeira linha deve-se especificar o número de pontos de controle coletados e, abaixo desta, em sequência as coordenadas X e Y coletadas da imagem e da carta topográfica.
- 4) Salvou-se o arquivo com as coordenadas com a extensão *.cor*
- 5) Após ter salvo o arquivo utilizou-se o módulo *Reformat – Resample*, escolheu-se a operação matemática baseada no polinômio quadrático¹² e como método de reamostragem o vizinho mais próximo
- 6) Em seguida informou-se ao programa os números de linhas e colunas obtidos no módulo *composer*, as coordenadas máximas e mínimas de X, Y e o sistema de referência UTM 21s¹³.

Obteve-se em erro médio quadrático de 3,487192 pixel, que multiplicado pela resolução espacial da imagem resultou em um erro de 69,74m².

4.8 Obtenção dos parâmetros da EUPS

4.8.1 Obtenção do Fator R

O fator R é o índice numérico que expressa à capacidade da chuva de causar erosão em uma área sem proteção adequada. As perdas de solos, segundo Wischmeier; Smith (1978) é diretamente proporcional ao produto da energia cinética total da chuva pela sua intensidade máxima em 30 minutos. Este fator mede a interação do processo de transporte das partículas do solo que ocorre entre a enxurrada e a erosão do impacto, salpico e turbulência.

¹² Para utilização desta operação matemática deve-se coletar um número mínimo de 6 pontos.

¹³ O município de São Pedro do Sul situa-se entre os fusos 21 e 22, para o georreferenciamento das bases cartográficas foi necessário fazer a operação de expansão do fuso. O fuso escolhido para expansão foi o 21.

Para o cálculo do índice de erosividade das chuvas (EI_{30}), é necessária a multiplicação de dois parâmetros específicos das precipitações erosivas de dado local: energia cinética total da chuva (E) e intensidade máxima em 30 min (I_{30}). Tomando os valores desse índice para todas as chuvas individuais erosivas que ocorrem em cada mês do ano, tem-se o EI_{30} mensal, cuja soma caracteriza o EI_{30} anual. A média anual desse índice, determinada na mais longa série histórica de dados de pluviografia disponível, representa o fator R do local em estudo. Mais de 30 anos de determinações em parcelas com coletores de enxurrada indicaram que quando todos os demais fatores que influem na erosão, exceto a chuva, são mantidos constantes, as perdas de solo em áreas cultivadas são diretamente proporcionais ao índice EI_{30} (Wischmeier, 1962)

O fator R foi considerado constante para toda a área do município e obtido a partir do trabalho de Cogo et al. 2001, que determinou esse índice a partir da análise de 1.324 eventos de chuvas erosivas no município de Santa Maria¹⁴ entre os anos de 1963 a 2000, obtendo um índice de 8.551 Mjmm/ha.h.ano. Nesse trabalho a autora indica os meses mais propícios à ocorrência de perda de solo os períodos entre janeiro e março e de setembro a dezembro, sendo o mês de agosto o menos propenso. O intervalo que se devem tomar maiores cuidados, segundo a autora, é o intervalo entre os meses de setembro a dezembro visto que são épocas de plantio de culturas convencionais e o solo geralmente se encontra exposto. Já o intervalo entre janeiro e setembro apesar da chuva ter um maior índice de erosividade, a chuva não causa maiores problemas devido às culturas já possuírem um porte avantajado, resistindo mais à erosão.

Além do índice do Ei^{30} , existem outras formas de medições do fator R, mas ainda não foram efetivamente testadas para as características das chuvas aqui do Rio Grande do Sul. O valor do índice do Ei^{30} foi utilizado devido este já possuir inúmeras pesquisas e uma ampla bibliografia disponível para consulta

Para a obtenção do plano de informação relativo ao fator R, Cogo et al (2001) utilizaram a fórmula de Wischmeier; Smith (1956):

¹⁴ Esse índice foi utilizado devido Santa Maria ser um município vizinho de São Pedro do Sul e apresentar características topográficas parecidas, além do município de estudo não possuir uma estação pluviométrica o que dificultaria a análise, pois segundo Wischmeier; Smith (1978) para o índice ser considerado válido são necessários no mínimo 20 anos de medições.

Equação 6:

$$E=0.119+0.0873\log_{10}i, \text{ onde:}$$

E= unidade de energia cinética por mm de chuva (Mj. ha⁻¹. mm⁻¹)

i=intensidade da chuva no seguimento uniforme (mm.h⁻¹).

Já o índice EI₃₀ foi obtido através da Equação 7:

$$EI_{30} = E \times I_{30}, \text{ onde}$$

I₃₀ = Intensidade máxima da chuva em 30 minutos determinada em um pluviograma.

Para a obtenção do plano de informação relativo ao fator R para o município de São Pedro do sul no SIG Idrisi, foi necessário criar uma imagem com dois valores diferentes de pixel, uma com valor 0, para as áreas externas do limite do município e outra com valor 1 para a área localizada dentro do município. Os passos para a criação deste pode ser visto na Figura 7, que levou em consideração a base cartográfica empregada no levantamento de uso da terra

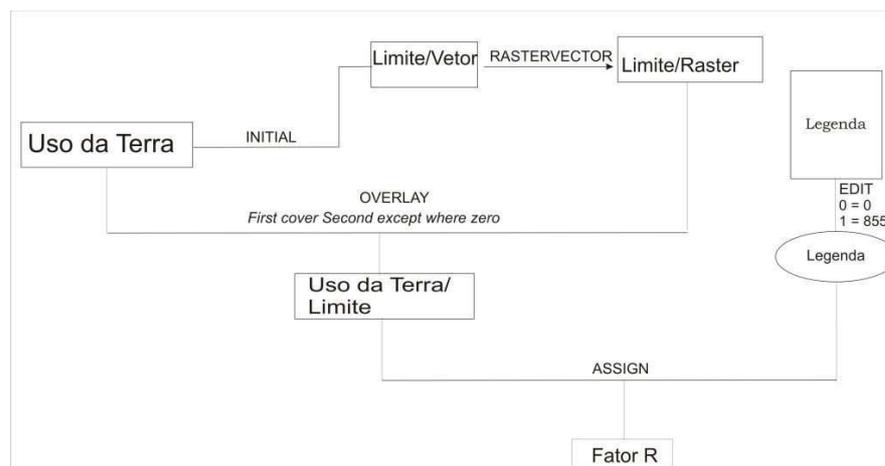
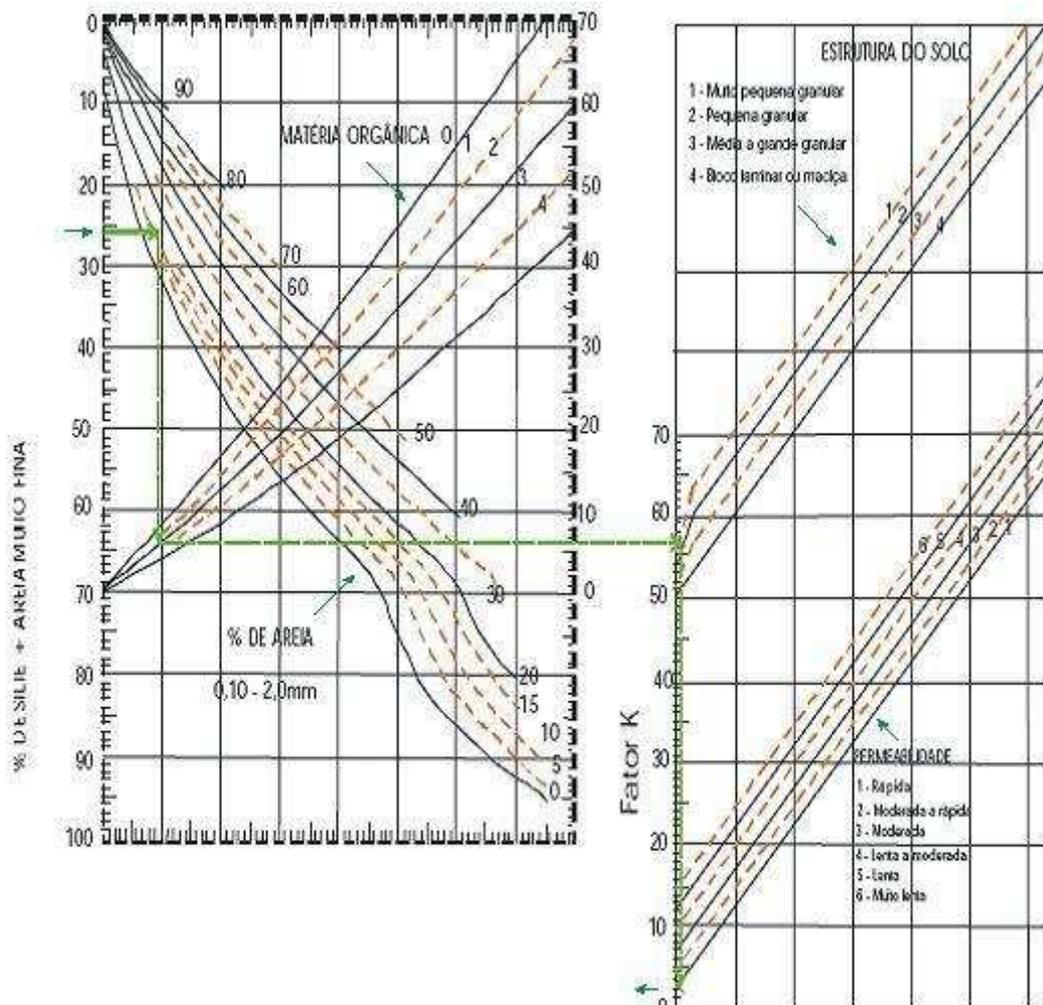


Figura 7 – Organograma de como foi gerado o plano de informação para o fator R

4.8.2 Obtenção do Fator K

Para a determinação do fator de erodibilidade do solo (fator K da EUPS) foi utilizado o nomograma de Wischmeier; Smith (1978) que considera as características do percentual de silte mais areia fina; percentagem de areia; conteúdo de matéria orgânica; estrutura e permeabilidade. Essas informações foram obtidas a partir do levantamento semidetalhado dos solos do município de São Pedro do Sul (KLAMT et al. 2001). Foram levadas em consideração as características do horizonte B. Entretanto, em solos pouco desenvolvidos onde não há a presença do horizonte B, foram considerados os valores do horizonte C. Para o

teor de silte mais areia fina foram tomadas as porcentagens de forma separada, que foram somadas e aplicadas ao nomograma. Para a matéria orgânica considerou-se a porcentagem de carbono. A permeabilidade foi aplicada ao nomograma, onde as características de mal drenado, imperfeitamente drenado, moderado a imperfeitamente drenado, moderadamente drenado, bem a moderadamente drenado e bem drenado (BRASIL, 1973), foram relacionadas respectivamente com as características: muito lenta, lenta, lenta a moderada, moderada, moderada a rápida e rápida (MITCHELL; BUBENZER, 1994). A figura 8 mostra o nomograma de Wischmeier, empregado para a obtenção do fator de erodibilidade



A linha verde é um exemplo de leitura do K do solo LVd da bacia do rio Anta Gorda. Procedimento: entra-se no abaco com os 26 % de silte + areia fina, traça-se um segmento de reta até 14 % de areia, novo seguimento de reta até 2,14 % de MO, interpola-se com o segundo gráfico, até a estrutura do horizonte A, que para o caso é muito pequena granular, vai até a permeabilidade, que para o caso é rápida, e liga na coluna do gráfico obtendo o fator K de 0,03. Fonte: adaptado de RESENDE & ALMEIDA (1985)

Figura 8. Nomograma de Wischmeier, empregado para a obtenção do fator de erodibilidade para o município de São Pedro do Sul – RS.

Fonte: Mitchell & Bubenzler apud Resende & Almeida 1985

Para a digitalização do mapa de solos do município de São Pedro do Sul, converteu-se o mapa do formato analógico para o formato digital, com o auxílio do scanner. A seguir digitalizou-se o mapa no aplicativo carta linx e posteriormente importou-se para o Idrisi, através do módulo *File – Import – Desktop Publishing Formats – BMPidris*. No Idrisi, para a reclassificação utilizou-se a rotina *reclass*.

O carta linx é um aplicativo que possibilita a digitalização de vetores no formato de topologia arco-nó, em seguida foi estruturado os polígonos, gerando uma estrutura de topologia arco-nó-polígono. Após a digitalização os polígonos foram exportados para o SIG Idrisi, onde através da rotina *Reclass*, os polígonos foram reclassificados, sendo conferido um identificador inteiro para cada classe de solo mapeada. Para possibilitar a combinação com as outras bases cartográficas, foi necessário a rasterização e o georreferenciamento deste mapa.

4.8.3 Obtenção do fator LS ou fator topográfico

O fator topográfico em sua formulação original é constituído por duas variáveis do relevo, que modificam a ação erosiva exercida pela água das chuvas sobre os solos: o comprimento das encostas (L) e a declividade das vertentes (S). Para o presente trabalho, esses dois fatores foram substituídos pelo grau de entalhamento dos talvegues e pela dimensão interfluvial média. A Figura 9 ilustra a representação de uma vertente onde o eixo X corresponde a dimensão interfluvial e o eixo Y o grau de entalhamento dos talvegues.

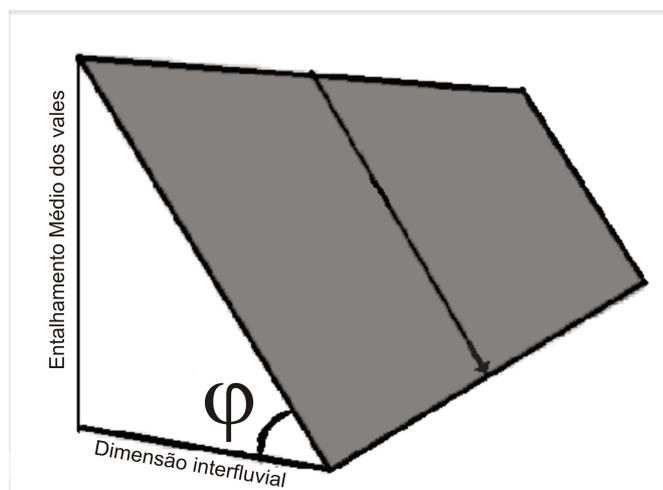


Figura 9: Representação de uma vertente de acordo com a metodologia adotada no trabalho para a obtenção do fator topográfico.

Os valores relativos ao fator topográfico foram calculados através das medidas obtidas da dimensão interfluvial média nas colunas horizontais e o entalhamento médio dos vales nas colunas verticais, referentes à matriz dos índices de dissecação do relevo proposta por Ross (1994). Esse procedimento pode ser visualizado no Quadro 2. Os valores foram obtidos através de informações fornecidas nas cartas topográficas na escala 1:50.000.

Dimensão interfluvial média \ Entalhamento médio dos vales	Muito grande (1) >750 m	Grande (2) 750 a 350m	Média (3) 350 a 150m	Pequena (4) 150 a 50 m	Muito pequena (5) < 50m
Muito fraco (1) (< de 20 m)	11	12	13	14	15
Fraco (2) (20 a 40 m)	21	22	23	24	25
Médio (3) (40 a 80 m)	31	32	33	34	35
Forte (4) (80 a 160 m)	41	42	43	44	45
Muito forte (5) (160 m)	51	52	53	54	55

Quadro 2. Matriz dos índices de dissecação do relevo para escala 1:50.000
Fonte: Adaptado de Ross (1992).

Na coluna da dimensão interfluvial média os valores mais altos dos interflúvios estão à esquerda, diminuindo para a direita. Já nas colunas verticais os algarismos arábicos crescem do topo para a base da matriz, do menor para o maior grau de entalhamento. Esta metodologia consistiu em estudar todos os canais de primeira ordem, ou seja, foram tomadas medidas considerando desde os vales entalhados, a partir dos canais de primeira ordem até os maiores hierarquicamente.

Na dimensão interfluvial média os valores são inversamente proporcionais, ou seja, quanto maior a densidade de drenagem menor a dimensão interfluvial média. Com relação ao índice de dissecação o menor valor numérico é a dissecação mais fraca (11) e o maior valor numérico é a dissecação mais forte (55). Dessa forma as categorias morfométricas ficam classificadas em:

- 1-muito fraca.....da matriz...11
- 2-fraca.....da matriz...21,22,12
- 3-média.....da matriz...31,32,33,13,23
- 4-forte.....da matriz...41,42,43,44,14,24,34
- 5-muito forte.....da matriz...51,52,53,54,55,15,25,35,45

Para o cálculo do grau de declive (S) representado neste trabalho como dimensão interfluvial média foi empregada a seguinte equação 8:

Equação 8:

$$Tg\alpha = h/d, \text{ onde}$$

:Tg α : tangente do ângulo;

h: altura da vertente (entalhamento do vale);

d: distância (dimensão interfluvial).

Após foi feita a multiplicação da dimensão interfluvial média (S) e do entalhamento médio dos vales (L) obtendo-se assim o fator topográfico para os índices de dissecação do relevo. O quadro 3 traz os resultados obtidos.

Dimensão interfluvial média \ Entalhamento médio dos vales	Muito grande (1) >750m		Grande (2) 750 a 350m		Média (3) 350 a 150m		Pequena (4) 150 a 50 m		Muito pequena (5) < 50m	
	S	Ft	S	Ft	S	Ft	S	Ft	S	Ft
Muito fraco (1) (<20 m)	1°31'	1.145	3°16'	1.144	7°35'	1.139	21°5'	1.090	21°5''	1.090
Fraco (2) (20 a 40 m)	3°3'	2.289	6°31'	2.281	14°6'	2.239	38°4'	1.933	38°4'	1.933
Médio (3) (40 a 80 m)	6°5'	4.566	12°5'	4.580	28°4'	4.210	57°6'	2.899	57°6'	2.899
Forte (4) (80 a 160 m)	12°2'	9.031	24°3'	8.598	46°5'	7.027	72°4'	3.632	72°4'	3.632
Muito forte (5) (>320m)	23°6'	17.330	42°3'	14.852	64°5'	9.733	81°07'	4.056	81°07'	4.056

Quadro 3. Resultados obtidos para o Fator topográfico (Ft) tendo por base a matriz proposta por Ross (1992). Organização do autor

Para o trabalho em questão, utilizou-se um valor de fator topográfico específico para o município de São Pedro do Sul. Esses valores foram estipulados mediante fointerpretação e obtidos de Werlang (2004) que analisou sessenta vertentes, amostrais no município. O quadro 4 mostra os dados obtidos por este autor.

A partir desses valores calculou-se a média das vertentes que ficaram dentro de cada classe obtendo-se assim os seguintes valores de dimensão interfluvial média. Em relação à obtenção das medias realizou-se a mesma operação do quadro

2 obtendo-se assim o fator LS para cada classe de modelado de dissecação do relevo para o município. Os valores encontrados constam no quadro 4.

Dimensão interfluvial média Entalha- mento médio dos vales	Muito grande (1) >582m		Grande (2) 397m		Média (3) 260m		Pequena (4) 150 m		Muito pequena (5) < 50m	
	S	Ft	S	Ft	S	Ft	S	Ft	S	Ft
Muito fraco (1) (<20 m)	1°58'	1.145	2°53'	1.144	4°23'	1.143	7°35'	1.139	21°48'	1.090
Fraco (2) (20 a 40 m)	3°55'	2.288	5°45'	2.284	8°44'	2.274	14°55'	2.239	38°39'	1.933
Médio (3) (40 a 80 m)	7°49'	4.555	11°23'	4.523	17°06'	4.446	28°04'	4.210	57°59'	2.899
Forte (4) (80 a 160 m)	15°22'	8.946	21°57'	8.714	31°36'	8.217	46°50'	7.027	72°38'	3.632
Muito forte (5) (>320m)	28°48'	16.763	38°52'	15.431	50°54'	13.235	64°53'	9.732	81°07'	4.056

Quadro 4. Resultados obtidos para o Fator topográfico (Ft) tendo por base 60 vertentes no município de São Pedro do Sul.

Organização do autor

A fim de adaptar os fatores topográficos às categorias de dissecação do relevo, calcularam-se o fator topográfico médio para cada classe de dissecação. Para isso, fez-se o agrupando dos valores para a soma e estabelecimento das médias de acordo com a posição dos índices da matriz nas classes de dissecação do relevo correspondentes, para posterior aplicação no SIG.

Os fatores topográficos ficaram assim agrupados:

1-muito fraca....Ft...1145

2-fraca.....Ft..., 1144, 2284; 2288.

3-média.....Ft...1143, 2274, 4466, 4523, 4555

4-forte.....Ft..1139, 2239, 4210, 7027, 8217, 8714; 8946.

5-muito forte.....Ft...1090, 1933, 2899, 3632, 4056, 9732, 13235, 15431, 16763

De posse destes dados, utilizou-se o SIG Idrisi para elaboração do mapa de dissecação do relevo do relevo, que neste caso representa o fator LS da EUPS.

O mapa do fator topográfico foi confeccionado primeiramente no formato analógico, a partir de cartas topográficas e, após convertido para o formato digital com o auxílio de um scanner. A seguir exportou-se este no formato *.Bmp* para o

programa carta linx. E finalmente, foram adotados os mesmos passos que foram utilizados para a confecção do mapa de solos do município de São Pedro do Sul.

4.8.4 Obtenção do fator C

Esse fator estima o quanto um dado uso da terra e um manejo da cultura consegue proteger o solo da erosão, tendo-se por princípio que a cobertura do solo tem um papel importante na diminuição do impacto da gota de chuva. Uma melhor cobertura significa maior proteção e, conseqüentemente menores taxa de perda de solo, comparando-se com a área desprotegida.

Importante se faz lembrar que as perdas de solo em uma área mantida continuamente descoberta pode ser estimada pelo seu potencial natural de erosão mediante a multiplicação dos fatores ativos da equação (R, K e LS). Entretanto se a área produz determinada cobertura esse valor de proteção varia mediante determinado tipo de vegetação.

Para a estimação desse fator foi realizada uma classificação supervisionada do uso da terra para o município de São Pedro do Sul, atribuindo-se pesos para cada classe de uso da terra. Os valores do fator C, foram obtidos de Tomás (1993) e Silva (2004). As classes diagnosticadas foram: agricultura, área urbana, solo exposto, floresta nativa, floresta plantada e campo. Os pesos atribuídos para cada classe para o cálculo no SIG encontram-se na tabela 3.

Tabela 3 - Dados relativos ao fator C para as classes de uso

Uso da terra	Valores de C
Floresta nativa	0,012
Floresta Plantada	0,2
Campo	0,042
Agricultura	0,18
Área urbana	0,1
Solo exposto	1

Fonte: Tomás(1993); Silva (2004).

Para a elaboração do mapa de uso da terra utilizou-se uma imagem do sensor CBERS 2B da câmara CCD órbita ponto 160/133 de Janeiro de 2009, do município de São Pedro do Sul com resolução espacial de 20 metros. O mapa foi gerado no SIG Idrisi com composição colorida RGB 432. Foram coletadas

aproximadamente 800 áreas de treinamento distribuídas entre as classes de uso mencionadas. Esses números de áreas de treinamento¹⁵ se devem a bibliografia analisada referir que para uma classificação supervisionada ter validade ela deve perfazer 10% da área total a ser estudada.

A classificação do mapa de uso da terra do município de São Pedro do Sul foi feita a partir das seguintes etapas:

- a)Definiu-se o número de classes;
- b)Escolheu-se as áreas de treinamento, sendo estas digitalizadas em polígonos, onde cada tipo de uso recebeu um identificador inteiro e único;
- c)Criou-se as assinaturas através do módulo *Makesig*, sendo indicado o arquivo vetor criado e o número de bandas espectrais utilizadas;
- d)Informou-se o nome das classes temáticas amostradas juntamente com seus identificadores e;
- e)aplicou-se um algoritmo de classificação em que todos os pixel são classificados conforme o método estatístico escolhido.

Para a obtenção do mapa de uso da terra foi utilizado o algoritmo de Máxima Verossimilhança (*maxlike*), que segundo Dutra et al (1981), baseia-se no cálculo da distância estatística entre cada pixel e a média dos níveis de cinza das classes pré-definidas a partir das amostras de treinamento. Cabe destacar, que a seleção destas amostras deve refletir a variabilidade de cada categoria dentro da área estudada, não existindo um número ideal de amostras para representar a classe de interesse. Para Venturieri; Santos (1998), a classificação *Maxver* é comum a imagem resultante apresentar excessiva fragmentação de áreas devido à ocorrência de pixel isolados dentro das classes, o que acarreta a perda da uniformidade, dificultando a interpretação temática.

Para minimizar esta fragmentação pode-se aplicar um filtro sobre a imagem classificada, sendo estes conhecidos como um processo de pós classificação (RICHARDS, 1993).

Uma forma mais precisa para a estimação deste fator seria determinar-se valores para os diferentes cultivos, visto que algumas práticas agrícolas exercem maiores ou menores graus de resistência à erosão. Apesar de saber desses problemas, optou-se por se considerar a prática da agricultura como um valor só. Os

¹⁵ O treinamento consiste no reconhecimento da assinatura espectral de cada uma das classes de uso da terra a área imageada.

motivos que nos levaram a adotar esse valor foram; a grande extensão do município; não se dispor de uma imagem de satélite com uma resolução espacial maior para análise e o objetivo do trabalho ser o de espacializar as perdas de solos acreditou-se ser irrelevante e muito trabalhosa essa separação.

4.8.5 Obtenção do fator P

O fator P é considerado como sendo as práticas conservacionistas realizadas para evitar ou moderar a taxa de perda de solo. Na área de estudo do presente trabalho não se têm informações das práticas conservacionistas, e, em função disso, foi atribuído o valor 1 para o Fator P (Prática de Conservação do Solo). Dessa forma, considerou-se, para este trabalho, a ausência de prática conservacionista, ou seja, a pior situação possível.

Procedendo-se desta forma, a EUPS superestima a perda para cada área, pois a prática conservacionista, em geral, implica uma melhor preservação do recurso solo.

4.9 Combinação entre os fatores da EUPS

Para alcançar os objetivos do trabalho fez-se necessário a realização da combinação entre todos os fatores da EUPS. Essa operação foi feita através do módulo *Crosstab* do SIG idrisi. De acordo com Silva (1999), as operações de sobreposição são muito usadas em SIG, diz ainda que quando todos os planos de informação estão georreferenciados com o mesmo sistema de coordenadas, as superposições podem ser realizadas, não existindo limites para as superposições possíveis.

O módulo *Crosstab* realiza uma operação matemática de intersecção entre as classes envolvidas nos mapas selecionados, tendo como resultados a criação de novas classes temáticas, gerando uma nova legenda que mostra todos os cruzamentos realizados entre as classes, facilitando o cálculo de áreas entre as sobreposições realizadas (RAFFAELLI, 2002). Durante cada combinação entre os planos de informação foi utilizada a rotina *Edit/Assisgn* do SIG idrisi para agrupar a

legenda em um número de classes obtido por mediante a aplicação da Fórmula de Sturges (Equação 9).

Equação 9:

$$K=1+3,3 \text{ Log } n;$$

Onde: n - Número de observações;

K - Número de classes.

Para termos a amplitude do intervalo de classes aplicamos a equação 10:

$$h= A/K; \text{ Onde:}$$

A - Amplitude de variação entre a maior e a menor classe;

K - Número de classes.

Para confecção do mapa de perda de solo, primeiramente foram combinados os mapas dos fatores LS e K, mais a constante do fator R, gerando dessa forma o mapa de potencial natural de perda de solo. Adotou o mesmo procedimento em relação ao fator C mais a constante do fator P. Os dois mapas gerados pela combinação (potencial natural de perda de solo e o dos fatores antrópicos) foram novamente combinados gerando o mapa de potencial de perda de solo para o município de São Pedro do Sul – RS. A figura 10 mostra as sobreposições realizadas no SIG idrisi.

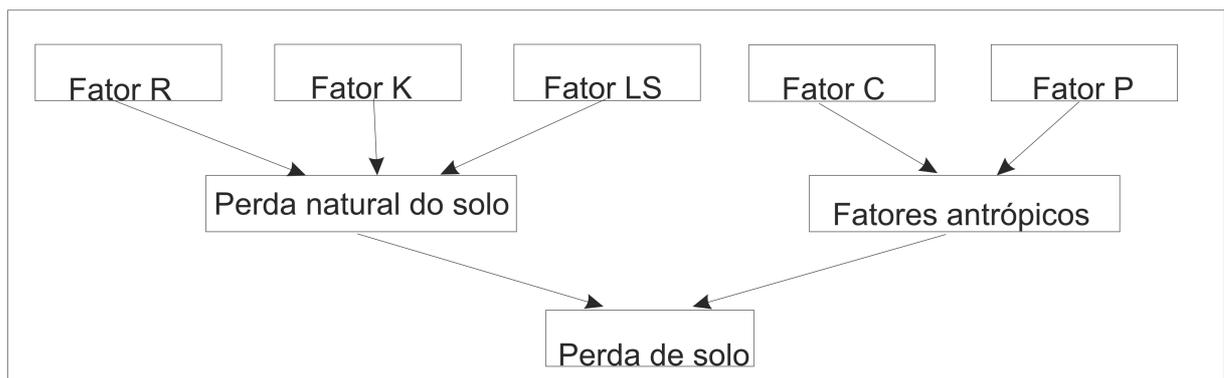


Figura 10 - Combinações realizadas para a confecção do mapa de perdas de solo

5 RESULTADOS

5.1 Erodibilidade dos solos do município de São Pedro do Sul - RS

Os resultados obtidos após a aplicação do nomograma de Wishmeier (Figura 7) demonstram que os Cambissolos apresentam os maiores valores de erodibilidade, seguidos pelos Gleissolos. Os argissolos apresentam os menores valores. Os valores encontrados para a erodibilidade do solo constam na Tabela 4.

Tabela 4 - Município de São Pedro do Sul – RS: erodibilidade dos solos

Solo/classificação	Fator de erodibilidade (K) [(txhaxh)/(MJxmmxha)]
1) Alissolo Hipocrômico Argilúvico abruptico A proeminente textura arenosa/média fase relevo suave ondulado	0,47
2) Alissolo Hipocrômico Argilúvico abruptico A proeminente textura arenosa/média fase relevo ondulado	0,44
3) Alissolo Crômico Húmico câmbico A proeminente textura arenosa/média fase relevo suave ondulado	0,48
4) Alissolo Crômico Húmico câmbico A proeminente textura arenosa/média fase relevo suave ondulado/ondulado	0,32
5) Argissolo Vermelho Distrófico arênico A moderado textura arenosa/argilosa fase relevo suave ondulado	0,31
6) Argissolo Vermelho Distrófico arênico A moderado textura arenosa/média fase relevo ondulado	0,30
7) Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico espessarênico A moderado textura arenosa/média fase relevo suave ondulado	0,32
8) Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico abruptico A moderado textura arenosa/argilosa fase relevo suave ondulado a ondulado	0,30
9) Cambissolo Háptico Ta Eutrófico léptico A moderado textura argilosa fase relevo forte suave ondulado e ondulado	0,61
10) Cambissolo Háptico Ta Eutrófico léptico A moderado textura argilosa fase relevo forte ondulado e montanhoso	0,69
11) Chernossolo Argilúvico Órtico típico textura argilosa fase relevo ondulado forte ondulado	0,38
12) Gleissolo Melânico Eutrófico chernossólico textura argilosa relevo ondulado	0,68

Solo/classificação	Fator de erodibilidade (K) [(txhaxh)/(MJxmmxha)]
13) Neossolo Litólico Eutrófico típico A moderado textura arenosa fase relevo forte ondulado e montanhoso	0,54
14) Neossolo Litólico Eutrófico chernossólico textura média e argilosa fase relevo suave ondulado e ondulado	0,38
15) Associação Neossolo quartzarênico Órtico + Gleissolo Melânico Eutrófico Ambos típico A moderado fase relevo plano	0,48
16) Plintossolo Argilúvico Distrófico arênico A moderado textura arenosa/média fase relevo suave ondulado	0,47

De acordo com Seixas (1985) o valor do fator K normalmente varia de 0 a 1 sendo que na maioria das vezes esse valor fica entre 0,02 e 0,7. Os solos do município de São Pedro do Sul enquadram-se entre 0,69 para o Cambissolo Háptico Eutrófico léptico, sendo este o de maior erodibilidade e, de 0,30 para o Argissolo Vermelho Distrófico arênico e o Argissolo Vermelho Amarelo abruptico, sendo o de menor erodibilidade.

Em relação à distribuição das classes de solos constata-se, a partir da análise dos dados da tabela 5, que são encontrados em maior quantidade no município de São Pedro do Sul as classes dos Argissolos e dos Alissolos. Essas duas classes de solos possuem valores de médio a baixo quando considerada a erodibilidade (Tabela 4). Os Cambissolos possuem os maiores valores de erodibilidade para o município, porém correspondem as menores áreas encontradas.

Tabela 5 - Município de São Pedro do Sul: quantificação das classes de solos

Classes de solo	Área(Km²)	% Sobre a área total do município
ALISSOLO CRÔMICO Húmico câmbico A proeminente Textura arenosa/média fase relevo ondulado	29,58	3,43
ALISSOLO HIPOCRÔMICO Húmico Argilúvico Abruptico A proeminente Textura arenosa/média fase relevo ondulado	86,72	10,05
ALISSOLO CRÔMICO Húmico câmbico A proeminente Textura arenosa/média fase relevo suave ondulado	24,70	2,86
ALISSOLO HIPOCRÔMICO Húmico Argilúvico Abruptico A proeminente Textura arenosa/média fase relevo suave ondulado	47,42	5,49
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico espessarênico A moderado Textura arenosa/ média fase relevo suave ondulado	18,48	2,14

Classes de solo	Área (Km²)	% sobre a área total do município
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico abrupto A moderado Textura arenosa/ argilosa fase relevo suave ondulado e ondulado	35,72	4,14
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico arênico A moderado Textura arenosa/ média fase relevo suave ondulado	61,09	7,08
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico A moderado Textura arenosa/ argilosa fase relevo suave ondulado	87,55	10,14
CHERNOSSOLO ARGILÚVICO Órtico típico Textura argilosa fase relevo ondulado e forte ondulado.	125,61	14,55
CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico A moderado Textura argilosa fase relevo forte ondulado e montanhoso	28,56	3,31
CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico A moderado Textura argilosa fase relevo forte ondulado e ondulado	6,57	0,76
GLEISSOLO MELÂNICO Eutrófico chernossólico Textura argilosa fase relevo plano	95,00	11,01
NEOSSOLO LÍTÓLICO Eutrófico típico A moderado Textura média/argilosa fase relevo suave ondulado e ondulado	46,89	5,44
NEOSSOLO LÍTÓLICO Eutrófico típico A moderado Textura média/argilosa fase relevo forte ondulado e montanhoso	0,16	0,02
Associação NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico + GLEISSOLO MELÂNICO Eutrófico Ambos típicos A moderado fase relevo plano	104,55	12,11
PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico arênico A moderado Textura arenosa/média fase relevo suave ondulado	64,64	7,49
TOTAL	863,24	100,00

5.2 Dissecação do relevo (Fator LS) para o município de São Pedro do Sul - RS

Para a obtenção do mapa de modelado do relevo utilizou-se o fator topográfico médio para o município de São Pedro do Sul. Os valores para o fator topográfico médio foram obtidos a partir da média de cada classe de dissecação do relevo (Quadro 4).

Considerando-se os resultados constatou-se que ocorrem no município de São Pedro do Sul o modelado de acumulação e de dissecação. Não foram

encontrados os modelados de aplanamento e de dissolução. O modelado de dissecação apresenta-se nas classes muito fraca, fraca, média, forte e muito forte.

O modelado de acumulação constitui áreas onde predomina a acumulação de sedimentos provindos de áreas mais altas. Já as áreas de dissecação situam-se em áreas onde ocorre a remoção de sedimentos e tem como base o grau de entalhamento dos talwegues e a dimensão interfluvial. A figura 11 mostra o mapa de modelado do relevo e, a Tabela 6, mostra a quantificação das áreas das classes de modelado do relevo.

As áreas de acumulação, em sua maior parte estão localizadas nas várzeas dos rios Ibicuí-Mirim e Toropí. Também ocorrem nas várzeas dos cursos fluviais que recebem aporte de material das áreas adjacentes. Ocupam 16,54% da área total do município (Tabela 6). São áreas com declividades menores que 2%. Caracterizam-se por apresentar processos de colúviação e deposição fluvial onde se encontram muitas vezes sedimentos inconsolidados. São terrenos utilizados para o cultivo de arroz e criatório bovino no período da entressafra. São áreas suscetíveis a inundações periódicas, sendo essa a principal limitação quanto ao uso da terra. Na maioria dos casos, nessa classe de modelado, é onde se encontram as maiores propriedades. Um dado importante em relação ao trabalho é que este tipo de modelado não foi considerado no mapa de perda de solo, pois considerou-se este tipo de modelado como uma área de aporte e não de perda de solo. A figura 12 mostra um exemplo de área de acumulação.



Figura 12: Aspecto geral das áreas acumulação fluvial no Arroio Ribeirão, localidade de Passo do Angico no município de São Pedro do Sul – RS.
Fonte: Trabalho de campo – Julho 2009

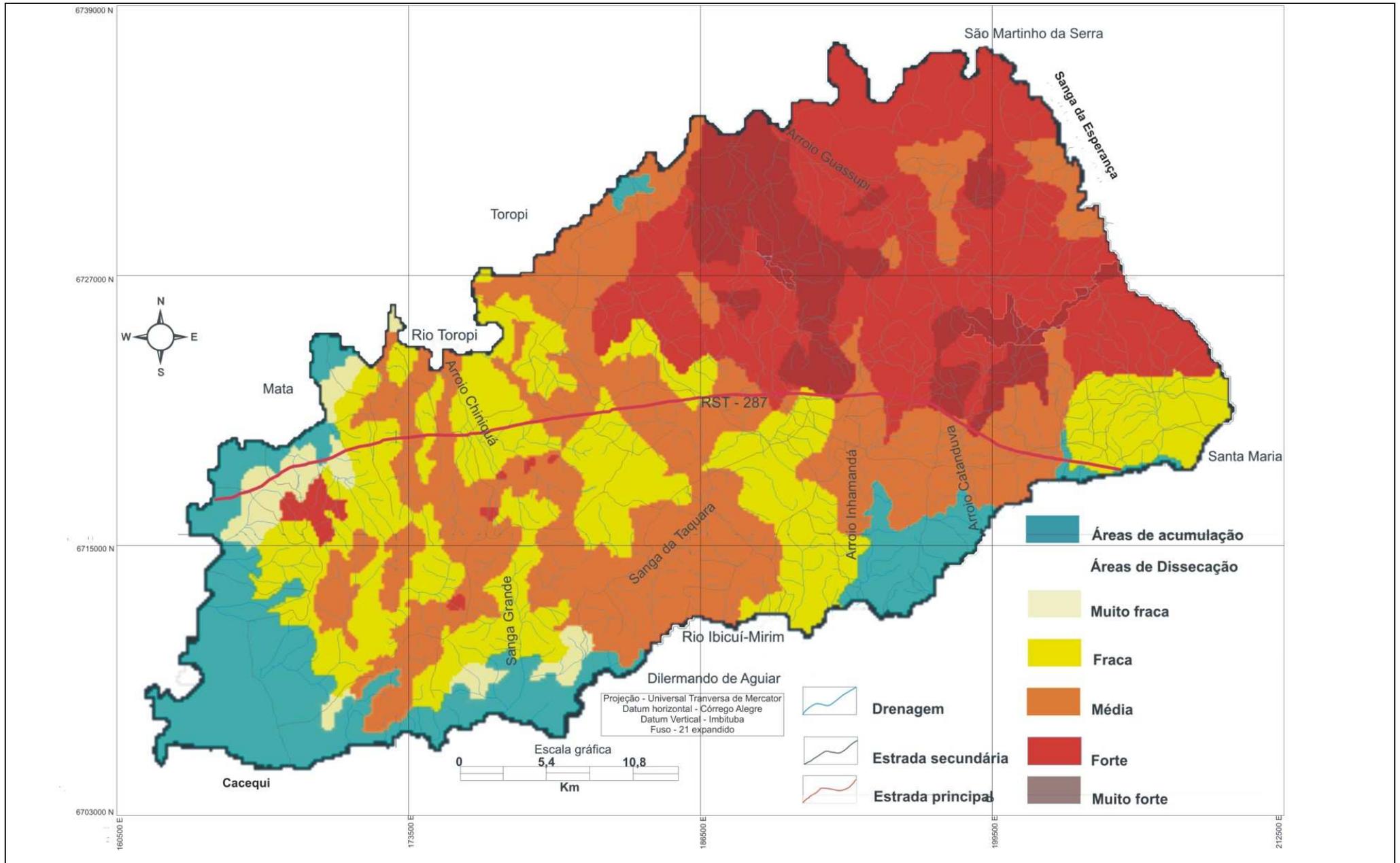


Figura 11: Mapa de modelado do relevo para o município de São Pedro do Sul - RS

Tabela 6: Município de São Pedro do Sul: Fator topográfico médio e quantificação das áreas das classes de modelado do relevo

Tipo de modelado	Fator Topográfico Médio	Área abrangida (ha)	% sobre a área total
Acumulação	-	143,6	16,64
Dissecação muito fraca	1.145	25,90	3,02
Dissecação fraca	1.905,33	186,05	21,57
Dissecação média	3.388,2	265,4	30,74
Dissecação forte	5.784,57	168,68	19,55
Dissecação muito forte	7.642,67	74,41	8,64
Total		863,24	100,00

A classe de dissecação de relevo muito fraca está representada na parte oeste, abrangendo 3,02% da área total (Tabela 6). Estas áreas apresentam declividade entre 2 e 5% e, geralmente tem baixa densidade de drenagem. Predominantemente apresentam vertentes com perfil convexo-côncavo. Localizam-se em áreas da Depressão periférica, onde se observam formas de erosão com escoamento difuso. Em relação ao uso são áreas utilizadas para o cultivo principalmente de soja e milho. Segundo o IPT(1992), em áreas com essa porcentagem de declividade pode-se realizar qualquer tipo de atividade agrícola com a utilização de práticas simples de conservação do solo. São áreas constituídas principalmente por Alissolos. A figura 13 mostra um exemplo do modelado de dissecação muito fraca



Figura 13: Aspecto das áreas de modelado de dissecação muito fraca, na localidade de Chiniquá, no município de São Pedro do Sul – RS.

Fonte: Trabalho de campo – Julho 2009

As áreas de dissecação fraca predominam na região centro-oeste do município e ocupam 21,57% da área total do município (Tabela 6). Apresentam topografia suave ondulada em vertentes com perfil côncavo-convexo. É comum nessas áreas a presença de anfiteatros erosivos em cabeceiras de drenagem. Ocupam áreas com declividade entre 5 e 15% e apresentam restrições quanto ao uso da terra. São utilizados principalmente para o plantio de soja e pastagens em pequenas e médias propriedades. São constituídos principalmente por Argissolos e Alissolos. A figura 14 mostra um exemplo do modelado de dissecação fraca, com a presença de morros residuais.



Figura 14: Aspecto das áreas de modelado de dissecação fraca e nas áreas com morros residuais ocorre a dissecação forte na localidade de Carpintaria, no município de São Pedro do Sul – RS. Fonte: Trabalho de campo – Julho 2009.

As áreas onde ocorre o modelado de dissecação média estão dispersas pelo município pelo município em áreas com declividades entre 15 e 20%. Ocupa a maior porcentagem em relação à área total do município com 30,74% (Tabela 6). Abrange setores tanto no Rebordo do Planalto como na Depressão Periférica. Apresenta topografia ondulada e devido à maior declividade, são áreas passíveis de sofrerem processos de erosão acelerada. Portanto, esta classe apresenta restrições ao uso da terra e requer práticas conservacionistas. São áreas utilizadas para pastagens e cultivo de soja e milho em pequenas e médias propriedades. Em relação às classes de solos, predominam nessas áreas, os Alissolos e os Argissolos. A figura 15 exemplifica o modelado de dissecação média, onde também é possível observar processos de erosão acelerada.



Figura 15: Aspecto das áreas de modelado de dissecação média e forte, na localidade de Carpintaria, no município de São Pedro do Sul – RS. Esta classe apresenta restrições quanto ao uso da terra. Nota-se a presença de erosão acelerada.

Fonte: Trabalho de campo – Julho 2009

O modelado do relevo com classe de dissecação forte localiza-se principalmente ao nordeste do município representando 19,55% da área total (Tabela 6). Essas áreas estão situadas predominantemente no Rebordo do planalto. Caracterizam-se por apresentar declividades entre 20 e 30%. Em alguns pontos ocorrem fenômenos de erosão acelerada, motivados pela elevada declividade aliada ao uso da terra. É possível observar cicatrizes de movimentos de massa e alguns depósitos de colúvios. Essas razões conferem à essas áreas elevado grau de fragilidade, sendo desaconselhado o uso intensivo com agricultura. Geralmente essas áreas são utilizadas como pastagens para o gado e cultivo de milho em pequenas propriedades voltadas para a agricultura de subsistência. Nelas ocorrem principalmente Cambissolos e Chernossolos. A figura 16 ilustra áreas com modelado de dissecação forte sendo utilizada para a agricultura.



Figura 16: Aspecto geral das áreas com modelado de dissecação forte, na localidade de Santo Inácio, no município de São Pedro do Sul – RS.

Fonte: Trabalho de campo – Julho 2009

O modelado de relevo com a classe de dissecação muito forte ocorre a nordeste e leste do município em apenas 8,64% de sua área total (Tabela 6). Devido à alta declividade (>30%), apresenta alta suscetibilidade à erosão e os movimentos de massa são comuns. Encontram-se freqüentemente depósitos de tálus, cicatrizes de escorregamento e rolamentos de blocos rochosos. São áreas utilizadas principalmente para pastagens, devido principalmente a sua declividade e pedregosidade o que dificulta as práticas agrícolas. Os solos encontrados com maior freqüência nessa classe de dissecação são os Neossolos Litólicos, os Chernossolos e os Cambissolos. A figura 17 ilustra áreas com modelado de dissecação muito forte, onde se observa a retirada da vegetação nativa para serem utilizadas com pastagens.



Figura 17: Aspecto das áreas com modelado de dissecação muito forte, na localidade de Santo Inácio, no município de São Pedro do Sul – RS.
Fonte: Trabalho de campo – Julho 2009

5.3 Potencial natural de perda do município de São Pedro do Sul – RS.

A partir do cruzamento do mapa do solo com o mapa do modelado do relevo, realizado pelo módulo *Crosstab*, do aplicativo *Idrisi*, foi possível identificar as áreas de sobreposição entre os dois mapas. Para o Fator R não foi gerado um mapa, pois esse fator foi considerado constante para todo o município. O resultado dessa sobreposição foi denominado de potencial natural de perda de solo. A tabela 7 traz o grau potencial natural de perda de solo obtido a partir do cruzamento mais a multiplicação pela constante do fator R.

Tabela 7.-Município de São Pedro do Sul:.grau potencial de perda por classe de solo

Tipos de modelado	Classes de solo	Área (Km ²)	% sobre o modelado	K x LS	Potencial de perda de solo (Ton/ha/ano)
Acumulação	1)Alissolo Hipocrômico Argilúvico abruptico A proeminente textura arenosa/média fase relevo suave ondulado	3,77	4,54	-	-
	2)Alissolo Hipocrômico Argilúvico abruptico A proeminente textura arenosa/média fase relevo ondulado	0,97	1,17	-	-
	3)Alissolo Crômico Húmico câmbico A proeminente textura arenosa/média fase relevo ondulado/ondulado	0,67	0,81	-	-
	4)Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico A moderado textura arenosa/média fase relevo ondulado	2,57	3,11	-	-
	5)Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico espessarênico A moderado textura arenosa/média fase relevo suave ondulado	4,49	5,42	-	-
	6)Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico abruptico A moderado textura arenosa/argilosa fase relevo suave ondulado/ondulado	0,05	0,06	-	-
	7)Gleissolo Melânico Eutrófico chernossólico textura argilosa relevo ondulado	0,50	0,60	-	-
	8)Cambissolo Háptico Ta Eutrófico léptico A moderado textura argilosa fase relevo forte ondulado e montanhoso	27,14	32,85	-	-
	9)Cambissolo Háptico Ta Eutrófico léptico A moderado textura argilosa fase relevo forte ondulado e ondulado	0,29	0,35	-	-
	10)Associação Neossolo Quartzarênico órtico + Gleissolo Melânico Eutrófico ambos típico moderado fase relevo plano	21,54	26,04	-	-
	11)Plintossolo Argilúvico Distrófico arênico textura arenosa/média fase relevo suave ondulado	20,72	25,05	-	-
	142,80	100,00	-	-	
Dissecação muito fraca	1)Alissolo Hipocrômico Argilúvico abruptico A proeminente textura arenosa/média fase relevo suave ondulado	4,45	17,16	538,15	4.601,72
	2) Alissolo Hipocrômico Argilúvico abruptico A proeminente textura arenosa/média fase relevo ondulado	0,75	2,90	503,80	4.308,00

Tipos de modelado	Classes de solo	Area (Km ²)	% sobre o modelado	K x LS	Potencial de perda de solo (Ton/ha/ano)
Dissecação muito fraca	3) Alissolo Crômico Húmico câmbico A proeminente textura arenosa/média fase relevo suave ondulado/ondulado	1,36	6,25	366,4	3.133,09
	4) Argissolo Vermelho Distrófico arênico A moderado textura arenosa/média fase relevo ondulado	0,13	0,50	354,95	3.027,05
	5) Argissolo Vermelho Distrófico abruptico A moderado textura arenosa/argilosa fase relevo suave ondulado/ondulado	2,79	11,76	343,50	2.937,27
	6) Cambissolo Háptico Ta Eutrófico léptico A moderado textura argilosa fase relevo forte ondulado e montanhoso	1,16	4,47	790,05	6.755,72
	7) Gleissolo Melânico Eutrófico chernossólico textura argilosa fase relevo plano	6,82	26,3	778,60	6.657,81
	8) Associação Neossolo Quartzarênico órtico + Gleissolo Melânico Eutrófico ambos típico moderado fase relevo plano	0,66	2,55	549,60	4.699,63
	9) Plintossolo Argilúvico Distrófico arênico textura arenosa/média fase relevo suave ondulado	7,81	30,11	538,15	4.601,72
		25,93	100,00	Média 529,24	Média 4.525,53
Dissecação fraca	1) Alissolo Hipocrômico Argilúvico abruptico A proeminente textura arenosa/média fase relevo suave ondulado	7,99	4,32	895,51	7.657,51
	2) Alissolo Hipocrômico Argilúvico abruptico A proeminente textura arenosa/média fase relevo ondulado	35,87	19,45	838,35	7.168,73
	3) Alissolo Crômico Húmico câmbico A proeminente textura arenosa/média fase relevo suave ondulado	1,35	0,74	914,56	7.820,40
	4) Alissolo Crômico Húmico câmbico A proeminente textura arenosa/média fase relevo ondulado	21,30	11,54	609,71	5.213,63
	5) Argissolo Vermelho Distrófico arênico A moderado textura arenosa/argilosa fase relevo suave ondulado	4,68	2,54	590,65	5.050,65
	6) Argissolo Vermelho Distrófico arênico A moderado textura arenosa/média fase relevo ondulado	12,54	6,80	571,60	4.887,75
	7) Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico espessarênico A moderado textura arenosa/média fase relevo suave ondulado	17,01	9,31	609,71	5.213,63

Tipos de modelado	Classes de solo	Area (Km ²)	% sobre o modelado	K x LS	Potencial de perda de solo (Ton/ha/ano)
Dissecação fraca	8) Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico abrupto A moderado textura arenosa/argilosa fase relevo suave ondulado e ondulado	33,63	18,25	571,60	4.887,75
	9) Cambissolo Háptico Ta Eutrófico léptico A moderado textura argilosa fase relevo forte ondulado e montanhoso	3,45	1,87	1.162,25	9.938,40
	10) Cambissolo Háptico Ta Eutrófico léptico A moderado textura argilosa fase relevo forte ondulado e ondulado	1,41	0,77	1.314,68	11.241,80
	11) Gleissolo Melânico Eutrófico chernossólico textura argilosa fase relevo plano	14,41	7,80	1.295,62	11.078,8
	12) Neossolo Litólico Eutrófico típico A moderado textura médio/argilosa fase relevo suave ondulado e ondulado	0,74	0,40	724,03	6.191,18
	13) Associação Neossolo Quartzarênico órtico + Gleissolo Melânico Eutrófico ambos típico moderado fase relevo plano	16,06	8,72	914,56	7.820,4
	14) Plintossolo Argilúvico Distrófico arênico textura arenosa/média fase relevo suave ondulado	13,79	7,49	895,51	7657,51
		184,23	100,00	Média 848,02	Média 7.251,42
Dissecação média	1) Alissolo Hipocrômico Argilúvico abrupto A proeminente textura arenosa/média fase relevo suave ondulado	8,43	3,17	1.592,45	13.617,00
	2) Alissolo Hipocrômico Argilúvico abrupto A proeminente textura arenosa/média fase relevo ondulado	37,94	14,30	1.490,81	12.747,90
	3) Alissolo Crômico Húmico câmbico A proeminente textura arenosa/média fase relevo suave ondulado	6,28	2,37	1.626,34	13.906,80
	4) Alissolo Crômico Húmico câmbico A proeminente textura arenosa/média fase relevo ondulado	22,62	8,54	1.084,22	9.271,17
	5) Argissolo Vermelho Distrófico arênico A moderado textura arenosa/argilosa fase relevo suave ondulado	2,84	1,07	1.050,34	8.981,46
	6) Argissolo Vermelho Distrófico arênico A moderado textura arenosa/média fase relevo ondulado	19,93	7,51	1.016,46	8.691,75
	7) Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico espessarênico A moderado textura arenosa/média fase relevo suave ondulado	28,12	10,60	1.084,22	9.271,17

Tipos de modelado	Classes de solo	Area (Km ²)	% sobre o modelado	K x LS	Potencial de perda de solo (Ton/ha/ano)
Dissecação média	8) Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico abruptico A moderado textura arenosa/argilosa fase relevo suave ondulado e ondulado	21,93	8,26	1016,46	8.691,75
	9) Cambissolo Háptico Ta Eutrófico léptico A moderado textura argilosa fase relevo forte ondulado e montanhoso	24,82	9,35	2.066,80	17.676,20
	10) Cambissolo Háptico Ta Eutrófico léptico A moderado textura argilosa fase relevo forte ondulado e ondulado	2,64	0,99	2.337,86	19.991,00
	11) Chernossolo Argilúvico Órtico típico textura argilosa fase relevo ondulado e forte ondulado	1,44	0,54	1.287,52	11.009,60
	12) Gleissolo Melânico Eutrófico chernossólico textura argilosa fase relevo plano	22,07	8,32	2.303,98	19.701,30
	13) Neossolo Litólico Eutrófico típico A moderado textura médio/argilosa fase relevo suave ondulado e ondulado	7,19	2,71	1.829,63	15.645,20
	14) Neossolo Litólico Eutrófico típico A moderado textura arenosa relevo forte ondulado e montanhoso	0,16	0,06	1.287,52	11.009,60
	15) Associação Neossolo Quartzarênico órtico + Gleissolo Melânico Eutrófico ambos típico moderado fase relevo plano	42,81	16,13	1.626,34	13.906,80
	16) Plintossolo Argilúvico Distrófico arênico textura arenosa/média fase relevo suave ondulado	16,14	6,08	1.592,45	13.617,00
			265,36	100,01	Média 1.518,34
Dissecação forte	1) Alissolo Hipocrômico Argilúvico abruptico A proeminente textura arenosa/média fase relevo suave ondulado	3,35	1,98	2.718,75	23.248,04
	2) Alissolo Hipocrômico Argilúvico abruptico A proeminente textura arenosa/média fase relevo ondulado	1,74	1,05	2.545,21	21.764,10
	3) Alissolo Crômico Húmico câmbico A proeminente textura arenosa/média fase relevo suave ondulado	7,92	4,69	2.776,59	23.742,63
	4) Alissolo Crômico Húmico câmbico A proeminente textura arenosa/média fase relevo ondulado	1,50	0,94	1.851,06	15.828,49
	5) Argissolo Vermelho Distrófico arênico A moderado textura arenosa/argilosa fase relevo suave ondulado	9,50	5,63	1.793,22	15.333,87
	6) Argissolo Vermelho Distrófico arênico A moderado textura arenosa/média fase relevo ondulado	0,02	0,01	1.735,37	14.839,14

Tipo de modelo	Classes de solo	Area (Km ²)	% sobre o modelado	K x LS	Potencial de perda de solo (Ton/ha/ano)
Dissecação forte	7) Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico espessarênico A moderado textura arenosa/média fase relevo suave ondulado	7,43	4,41	1.851,06	15.828,12
	8) Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico abruptico A moderado textura arenosa/argilosa fase relevo suave ondulado e ondulado	21,26	12,60	1.735,37	14.839,11
	9) Cambissolo Háplico Ta Eutrófico léptico A moderado textura argilosa fase relevo forte ondulado e montanhoso	58,02	34,38	3.528,58	30.172,98
	10) Cambissolo Háplico Ta Eutrófico léptico A moderado textura argilosa fase relevo forte ondulado e ondulado	12,97	7,63	3.991,35	34, 130,00
	11) Chernossolo Argilúvico Órtico típico textura argilosa fase relevo ondulado e forte ondulado	3,92	2,32	2.198,14	18.796,36
	12) Gleissolo Melânico Eutrófico chernossólico textura argilosa fase relevo plano	13,41	7,95	3.933,51	33.635,42
	13) Neossolo Litólico Eutrófico típico A moderado textura arenosa fase relevo forte ondulado e montanhoso	23,64	14,01	3.123,67	26.710,53
	14) Associação Neossolo Quartzarênico órtico + Gleissolo Melânico Eutrófico ambos típico moderado fase relevo plano	4,05	2,40	2.776,59	23.742,61
		168,73	100,00	Média 2.611,32	Média 22.329,43
Dissecação muito forte	1) Alissolo Hipocrômico Argilúvico abruptico A proeminente textura arenosa/média fase relevo suave ondulado	1,58	2,12	3.592,05	30.715,63
	2) Alissolo Hipocrômico Argilúvico abruptico A proeminente textura arenosa/média fase relevo ondulado	3,35	4,50	3.362,77	28.755,00
	3) Alissolo Crômico Húmico câmbico A proeminente textura arenosa/média fase relevo suave ondulado	6,94	9,32	3.668,48	31.369,25
	4) Argissolo Vermelho Distrófico arênico A moderado textura arenosa/argilosa fase relevo suave ondulado	1,47	1,98	2.369,23	20.259,36
	5) Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico espessarênico A moderado textura arenosa/média fase relevo suave ondulado	1,73	2,32	2.445,65	20.912,88
	6) Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico abruptico A moderado textura arenosa/argilosa fase relevo suave ondulado e ondulado	5,78	7,77	2.292,80	19.605,73

Tipos de modelado	Classes de solo	Area (Km ²)	% sobre o modelado	K x LS	Potencial de perda de solo (Ton/ha/ano)
Dissecação muito forte	7) Cambissolo Háplico Ta Eutrófico léptico A moderado textura argilosa fase relevo forte ondulado e montanhoso	26,19	35,18	4.662,03	39.865,00
	8) Cambissolo Háplico Ta Eutrófico léptico A moderado textura argilosa fase relevo forte ondulado e ondulado	6,34	8,52	5.273,44	45.093,21
	9) Chernossolo Argilúvico Órtico típico textura argilosa fase relevo ondulado e forte ondulado	1,21	1,63	2.904,21	24.833,95
	10) Gleissolo Melânico Eutrófico chernossólico textura argilosa fase relevo plano	5,23	7,03	5.197,02	44.439,71
	11) Neossolo Litólico Eutrófico típico A moderado textura arenosa fase relevo forte ondulado e montanhoso	11,71	15,73	4.127,04	35.290,33
	12) Associação Neossolo Quartzarênico órtico + Gleissolo Melânico Eutrófico ambos típico moderado fase relevo plano	2,90	3,90	3.668,48	31.369,22
		74,43	100,00	Média 3.630,27	Média 31.042,43

Analisando-se os resultados da tabela 7, observa-se que no modelado do relevo de acumulação predomina a presença de Cambissolos e da Associação Neossolo Quartzarênico órtico + Gleissolo Melânico Eutrófico. Quanto à suscetibilidade à erosão desses solos verifica-se que estes têm taxas consideradas altas com 0,69 e 0,48 respectivamente, entretanto situam-se em áreas com relevo plano. Em relação ao potencial natural de erosão esta classe não foi considerada, pois se admitiu para o trabalho que as áreas de acumulação são locais de aporte de sedimentos não de perda de solo.

Na classe de modelado do relevo de dissecação muito fraca observa-se o predomínio dos Plintossolos com uma porcentagem de 30,11% e dos Gleissolos com 26,3% em relação ao total da área do município. Essas duas classes de solos têm taxas de erosão consideradas de altas a médias (0,47 a 0,68), entretanto não se observa graves problemas de erosão exceto em áreas mal manejadas. Quanto ao potencial natural de perda de solo, considerando-se todas as classes de solos, obteve-se uma média de 4.525,53 ton/ha/ano (Tabela 7).

Avaliando a classe de dissecação fraca, observa-se o predomínio da classe dos Argissolos com 36,93% e dos Alissolos com 36,11% sobre o total da área da classe. Quanto à erodibilidade destes solos verifica-se que o primeiro tem valores entre 0,30 e 0,32 e o segundo entre 0,32 e 47. Para o município de São Pedro do Sul, estes valores de erodibilidade são considerados de médios a baixos. Levando-se em conta o potencial natural de perda de solo esta classe tem uma perda média de 7.251,42 ton/ha/ano.

Nas áreas de dissecação média predominam igualmente os Alissolos com 28,39% e os Argissolos com 27,44 %. Estes solos como já foi comentado anteriormente, possuem uma erodibilidade de média a baixa. A média de perda de solo para essa classe de dissecação é de 13.239,9 ton/ha/ano.

Considerando-se a classe de dissecação forte, verifica-se a predominância de Cambissolos com uma porcentagem de 42,01% e em menor quantidade os Neossolos com 14,01%. Quanto à erodibilidade possuem valores de 0,69 para o primeiro e de 0,54 para o segundo. Para o município de São Pedro do Sul, estes valores de erodibilidade são considerados altos. Quanto ao potencial natural de perda de solo, esta apresenta uma média de 22.329,4 ton/ha/ano.

Em relação à classe de dissecação muito forte esta abrange em sua maior parte a classe dos Cambissolos com 43,7% e a classe dos Neossolos Litólicos com 15,73%. Estes solos por se situarem em áreas de relevo montanhoso no Rebordo do Planalto têm altos índices de erosão. Para o município de São Pedro do Sul foi obtida uma taxa média de perda de solo para essa classe de dissecação de 31.042,4 ton/ha/ano.

5.3.1 Distribuição espacial do potencial natural de perda de solo

O potencial natural de perda de solo representa a predisposição à erosão de determinada área sem considerar a intervenção humana. Estes valores foram obtidos, através do cruzamento entre os fatores K e LS. O Fator R, que representa o outro fator foi levado em consideração para a determinação do potencial natural de perda de solo a partir da multiplicação do valor constante para o município. Para o agrupamento das classes de potencial natural de perda de solo, foi utilizada a fórmula de Sturges (Gerardi; Silva, 1981). A tabela 8 mostra a quantificação de cada

classe de potencial de perda de solo e o intervalo para o agrupamento de classes. A figura 18 mostra a distribuição espacial do potencial natural de perda de solo obtida para o município de São Pedro do Sul –RS..

Tabela 8 – Município de São Pedro do Sul: potencial natural de perda de solo, área de cada classe e porcentagem sobre a área total do município

Classes de expectativa natural de perda de solo	Intervalo de classes (Ton/ha/ano)	Área (Km ²)	(%) sobre a área total do município
Acumulação	-	143,6	16,64
Baixíssima expectativa	345,5 a 1.312,85	277,40	32,03
Muito baixa expectativa	1.312,85 a 2.282,2	209,09	24,13
Baixa expectativa	2.282,2 a 3.251,55	85,25	9,82
Média expectativa	3.251,55 a 4.220,9	110,80	12,74
Alta expectativa	4.220,9 a 5.190,25	26,19	3,01
Muito alta expectativa	5.190,25 a 6.159,6	11,56	1,62
Altíssima expectativa	Maior que 6.159,6	0,04	0,01

A classe de baixíssima expectativa representa a maior porcentagem sobre o total da área com 32,03% abrangendo 277,4 Km². Esta classe é a com menor potencial natural de perda de solo. Situa-se principalmente na região centro-oeste do município em áreas da Depressão periférica.

A classe de muito baixa expectativa cobre 24,13 % da área do município com um total de 209,09 Km². Aparece com maior expressão no setor centro-oeste do município. Está representada tanto em áreas do Rebordo do planalto, como da Depressão periférica.

Em relação à classe de baixa expectativa, abrange uma área de 85,25 Km², perfazendo um total de 9,82% sobre o total da área. As áreas correspondentes a esta classe situam-se no Rebordo do planalto e localizam-se principalmente na região leste do município.

Localizada nas regiões centro e leste junto ao Rebordo do planalto, a classe de média expectativa abrange 110,8Km², o que representa 12,74% da área total do município.

A classe de alta expectativa possui uma área de 26,19 Km², que representa uma porcentagem de 3,01% sobre a área total do município. Localiza-se principalmente ao norte em áreas do Rebordo do planalto

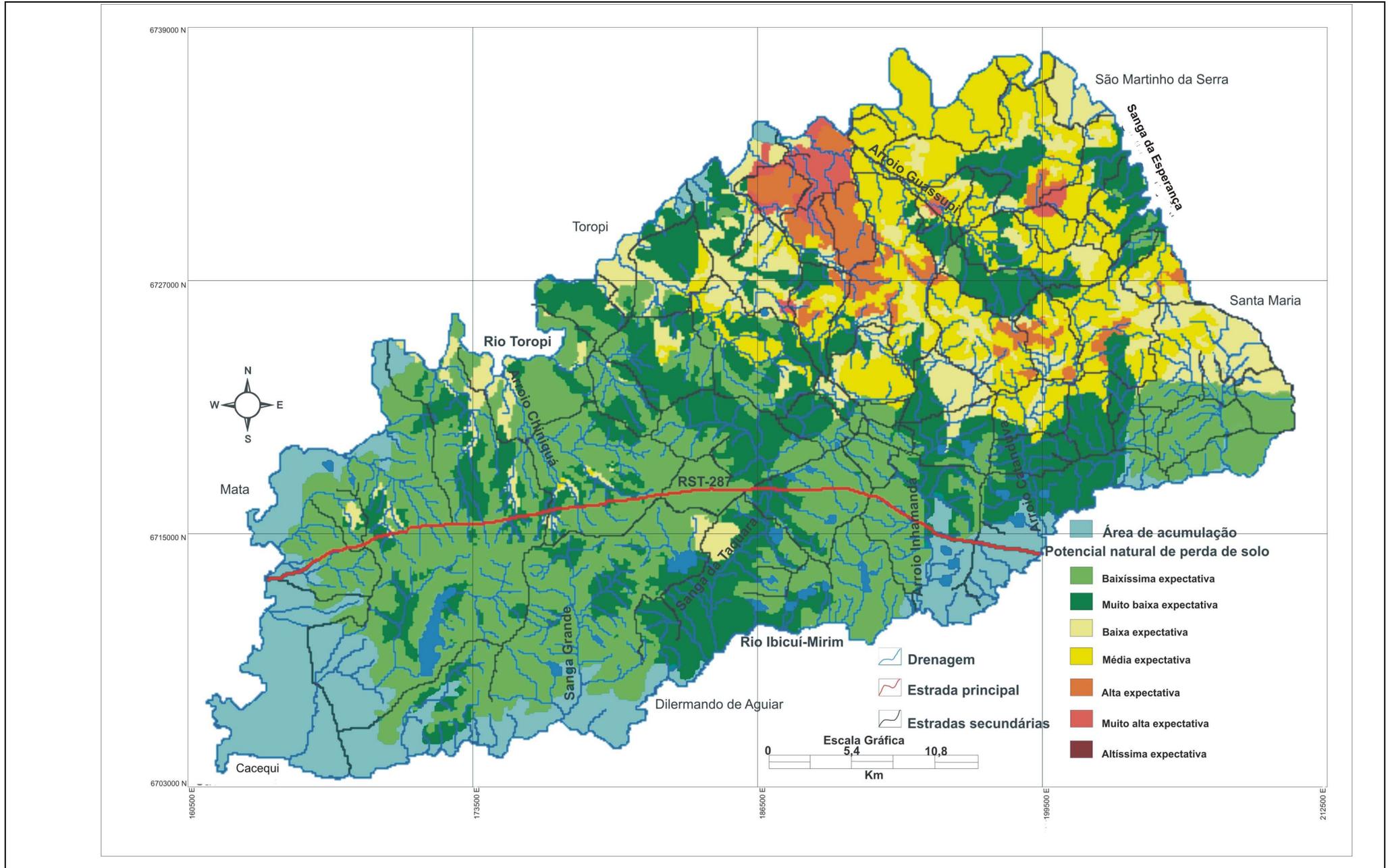


Figura 18: Mapa do potencial natural de perda de solo para o município de São Pedro do Sul - RS

A classe de muito alta expectativa cobre uma área de apenas 11,56 Km², e perfaz 1,62 % da área do município. Localiza-se a leste e ao norte do município em áreas do Rebordo do planalto. Esta classe caracteriza-se por apresentar relevo bastante movimentado.

A classe de altíssima expectativa abrange uma área de apenas 0,04 Km² e representa apenas 0,01 % da área do município. Localiza-se em duas pequenas manchas uma a leste e outra a norte em áreas do Rebordo do planalto.

5.4 Distribuição espacial do uso da terra

A determinação do número de classes a ser amostrado no município de São Pedro do Sul, foi determinada mediante trabalho de campo. A partir dele foram identificadas seis classes temáticas de maior importância para o município. As classes mapeadas foram: campo, floresta nativa, floresta plantada, agricultura, solo exposto e área urbana. A figura 19 mostra o mapa da espacialização do uso da terra no município de São Pedro do Sul e a tabela 9, mostra a quantificação das classes de uso da terra.

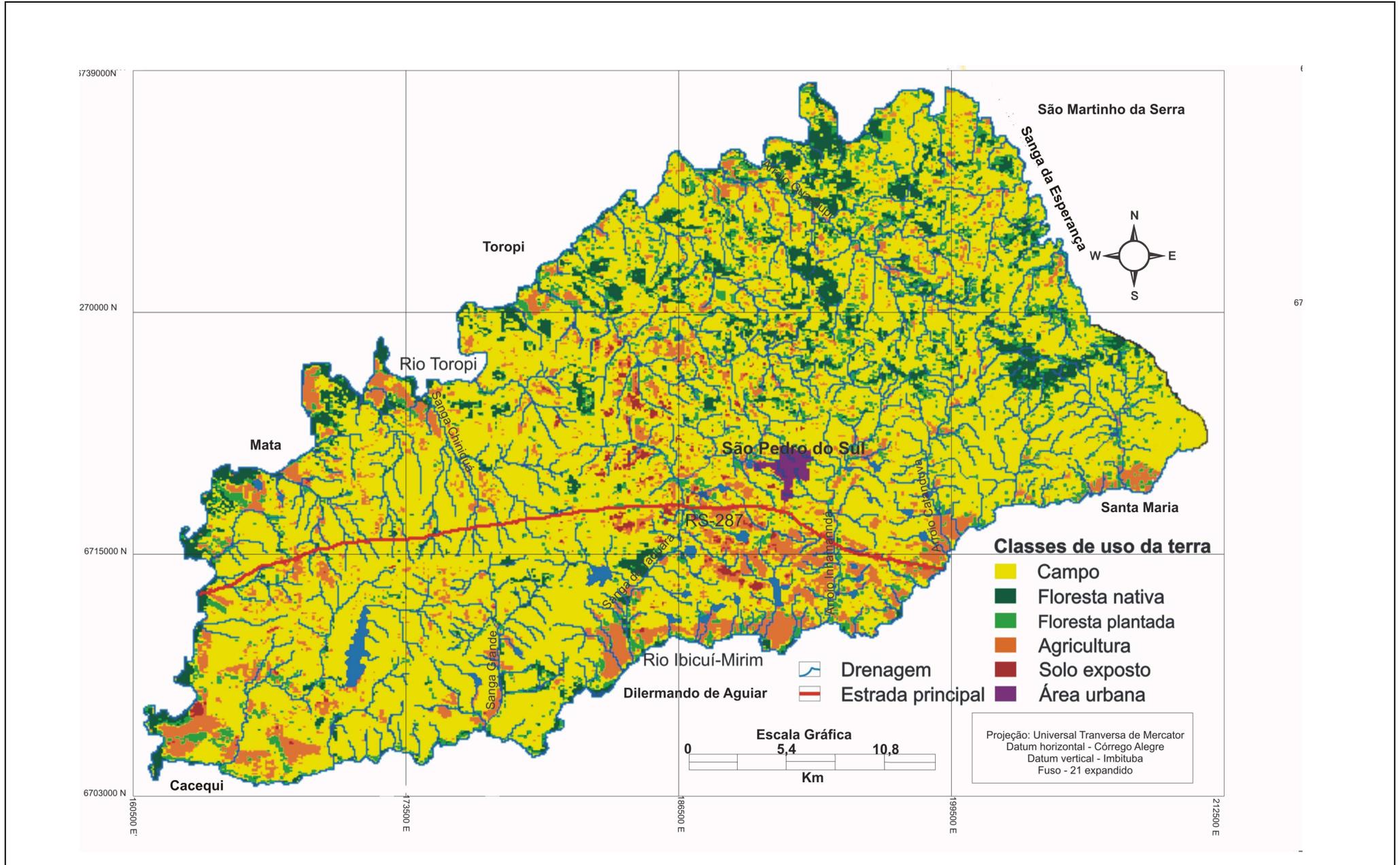


Figura 19: Mapa de uso da terra para o município de São Pedro do Sul - RS

Foram considerados como áreas de campo, os campos nativos e pequenas áreas de pastagem implantada que apresentam pequena diferença espectral de refletância. Quanto à identificação destas áreas não houve problemas na tomadas das amostras, pois ocupam a maior área em termos percentuais quanto ao uso da terra perfazendo um total de 72,60 % (Tabela 9) Estão localizadas em sua maior parte na Depressão periférica, com topografia suave ondulada a ondulada.

Tabela 9 – Município de São Pedro do Sul: Quantificação das classes de uso da terra

Tipo de uso da terra	Área (Km ²)	% sobre a área sobre a área total do município
Campo	624,3	72,60
Floresta nativa	71,24	8,25
Floresta plantada	58,09	6,46
Agricultura	98,91	11,50
Solo exposto	7,14	0,83
Área urbana	3,09	0,36
Total	863,24	100,00

As áreas mapeadas como florestas nativas correspondem a 8,25 % da área total e localizam-se principalmente em áreas do Rebordo do planalto, em declividades acentuadas e na margem de rios. Foram consideradas para esta classe, as florestas de ocorrência natural, as matas ciliares, as capoeiras e os capoeirões.

As áreas destinadas à agricultura correspondem a 11,5% da área total do município e localizam-se principalmente nas várzeas dos rios Toropi e Ibicuí-Mirim. Observa-se uma grande predominância do cultivo de arroz e em menor quantidade de soja e milho. As áreas utilizadas para o cultivo de arroz situam-se em locais com declividade baixa, enquanto as demais culturas são encontradas de maneira disforme pelo município. A figura 20 mostra o aspecto da paisagem no município de São Pedro do Sul onde, no primeiro plano, aparecem as áreas de campo, onde observam-se cicatrizes de erosão. No topo da coxilha observa-se áreas destinadas a agricultura de inverno e ao fundo em declividades mais acentuadas no Rebordo do planalto nota-se a floresta nativa.

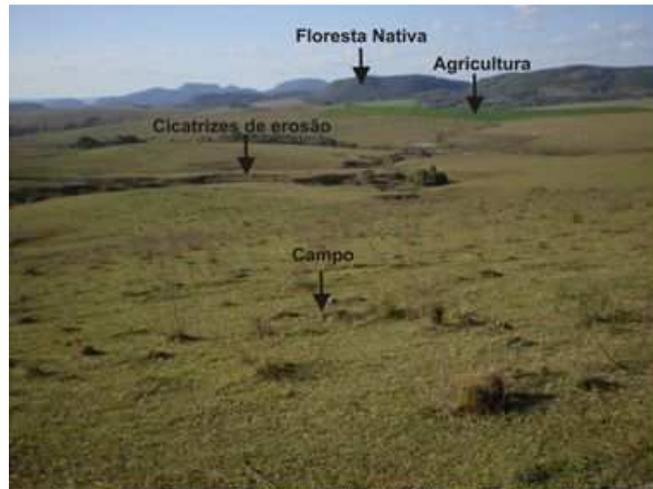


Figura 20: Vista geral da paisagem do município de São Pedro do Sul na localidade do Divino, onde observam-se o uso campo, floresta nativa e agricultura
 Fonte: Trabalho de Campo – Julho 2009

As florestas plantadas correspondem a 6,46% da área total do município e localizam-se em sua maior parte associadas ao uso com campo na Depressão Periférica. Na maioria dos casos são plantações de eucaliptos utilizados como quebra ventos e áreas de sombreamento para o gado. A figura 21 mostra com uso floresta plantada em áreas de coxilhas.



Figura 21: Área mostrando a utilização da terra com



Figura 22: Área com solo exposto mostrando uma pedreira na localidade de Passo do Angico no município de São Pedro do Sul.

Fonte: Trabalho de Campo – Julho 2009

A área urbana perfaz 0,36% da área total município. Localiza-se em áreas da Depressão Periférica, na porção central do município. A Figura 23, mostra a capela da Ermida construída em 1687, onde se instalou a redução de São Miguel, primeiro posto jesuítico do município e ao fundo a área urbana do município de São Pedro do Sul.



Figura 23: Área onde foi instalada a primeira redução jesuítica do município de São Pedro do Sul. Ao fundo observa-se a área urbana de São Pedro do Sul na localidade do Cerro da Ermida

Fonte: Trabalho de Campo – Julho 2009

5.5 Potencial de perda de solo para o município de São Pedro do Sul

O potencial de perda de solo representa a quantidade de solo perdido em determinada área em um ano. Esses valores foram obtidos mediante o cruzamento e

multiplicação de todos os fatores da EUPS. A tabela 10 mostra os resultados obtidos.

Tabela 10 – São Pedro do Sul: Classe de uso da terra e perda de solo

Classes de uso da terra	Expectativa de Perda de solo	Área (Km²)	% sobre a área da classe de uso da terra	Perda de solo em Ton/ha/ano
Campo	Acumulação	87,35	13,97	—
	Baixíssima	216,40	34,61	55,14
	Muito baixa	159,54	25,51	95,85
	Baixa	59,50	9,52	136,57
	Média	76,06	12,16	177,28
	Alta	17,54	2,89	217,99
	Muito alta	7,90	1,33	258,69
	Altíssima	0,01	0,01	299,39
Total		625,29	100,00	Média 177,27
Floresta Nativa	Acumulação	13,28	19,29	—
	Baixíssima	10,26	14,88	15,75
	Muito baixa	13,21	19,19	27,39
	Baixa	8,44	12,26	39,02
	Média	17,66	25,65	50,65
	Alta	5,18	7,52	62,28
	Muito alta	0,81	1,18	73,91
	Altíssima	0,002	0,03	85,54
Total		68,84	100,00	Média 50,65
Floresta Plantada	Acumulação	12,92	22,24	—
	Baixíssima	10,58	18,14	265,57
	Muito baixa	12,82	22,07	456,44
	Baixa	7,35	12,65	650,31
	Média	10,78	18,55	844,18
	Alta	2,51	4,32	1.038,05
	Muito alta	1,14	1,98	1.231,92
	Altíssima	0,01	0,05	1.425,65
Total		58,1	100,00	Média 844.59

Classes de uso da terra	Perda de solo	Área (Km ²)	% sobre a área da classe de uso da terra	Perda de solo em Ton/ha/ano
Agricultura	Acumulação	26,58	26,87	—
	Baixíssima	35,05	35,42	236,31
	Muito baixa	21,17	21,40	410,80
	Baixa	7,40	7,48	585,28
	Média	6,15	6,21	759,76
	Alta	0,94	0,95	934,25
	Muito alta	1,63	1,65	1.108,73
	Altíssima	0,0002	0,02	1.283,09
Total		98,92	100,00	Média 759,75
Solo Exposto	Acumulação	0,47	6,57	—
	Baixíssima	4,68	65,45	1.312,85
	Muito baixa	1,8	25,17	2.282,20
	Baixa	0,11	1,54	3.251,55
	Média	0,06	0,85	4.220,90
	Alta	0,05	0,09	5.190,25
	Muito alta	0,02	0,33	6.159,60
Total		7,15	100,00	Média 3.736,23
Área Urbana	Muito baixa	2,21	71,52	131,20
	Baixa	0,83	26,86	325,16
	Alta	0,05	1,62	519,03
Total		3,09	100,00	Média 325,13

Analisando-se a classe de Campo, as maiores porcentagens de área abrangida estão nas classes de baixíssima e muito baixa expectativa de perda de solo. Entretanto, estas classes apresentam os menores valores de perda de solo. As classes com maiores perdas de solo (alta, muito alta e altíssima expectativa de perda de solo) contribuem com apenas 4,23% sobre a área da classe. Considerando-se a perda média de solo sobre o uso Campo obteve-se uma média de 177,27 ton/ha/ano.

Para a classe de uso Floresta Nativa, as maiores porcentagens de área abrangida estão nas classes de média e muito baixa expectativa de perda de solo. Os maiores valores de perda de perda de solo estão nas classes de muito alta e

altíssima, e representam as menores porcentagens em áreas abrangidas sobre o uso Floresta Nativas, com um total 1,21% sobre a área da classe. Em relação à perda de solo média para esta classe, foi encontrado um valor de 50,65 ton/ha/ano.

Considerando-se a classe de uso Floresta Plantada, as maiores porcentagens de área abrangida foram encontradas nas classes de muito baixa e média expectativa de perda de solo, com perdas de 456,44 ton/ha/ano e 844,18 ton/ha/ano respectivamente. As classes com os maiores valores de perda são as de muito alta e altíssima expectativa de perda de solo e representam 2,03 % da área total da classe. Analisando-se a classe de uso Floresta Plantada esta apresenta uma perda de solo média de 844.59 ton/ha/ano.

Para a classe de uso Agricultura, as maiores porcentagens de área abrangida se reúnem nas classes de baixíssima e muito baixa expectativa de perda de solo. As maiores perdas de solo são encontradas nas classes de alta, muito alta e altíssima expectativa de perda de solo, e representam 2,62 % sobre o total da área total da classe. Em relação à perda média para o classe de uso Agricultura foi encontrado um valor de 759,75 ton/ha/ano.

Analisando-se a classe de uso Solo Exposto, as maiores porcentagens sobre a área, foram encontrada nas classes de baixíssima e muito baixa expectativa de perda de solo. Os maiores valores de perda de solo se agrupam nas classes média, alta e muito alta, abrangendo 1,27% da área da classe. A média de perda de solo para o uso Solo exposto foi de 3.736,23 ton/ha/ano.

Em relação à classe de uso Área urbana, a maior porcentagem de área abrangida foi encontrada na classe de muito baixa expectativa de perda de solo. A maior taxa de perda de solo foi encontrada na classe alta expectativa de perda de solo, e representa apenas 1,62% da área total da classe. Em relação à média de perda de solo para esta classe obteve-se um valor de 325,13 ton/ha/ano.

Considerando-se à perda de solo por classe de uso da terra verifica-se que a classe que tem menor perda de solo é a de Floresta nativa com 15,75 ton/ha/ano, seguida da classe de Campo com 55,14 ton/ha/ano. A classe com maior perda de solo é a de Solo exposto com 6.159,50 ton/ha/ano. Os valores encontrados na tabela 10 exemplificam o grau de proteção exercido pela cobertura vegetal, que reduz drasticamente as perdas de solo por erosão.

5.5.1 Distribuição espacial da expectativa Perda de solo

O mapa de expectativa de perda de solo para o município de São Pedro do Sul – RS foi obtido mediante a sobreposição dos mapas de erodibilidade do solo (K), do fator topográfico (LS) e do uso da terra (C). Os outros dois fatores (erosividade e práticas de conservação) foram considerados constantes para o município e tiveram seus valores multiplicados após a operação de sobreposição. As áreas de acumulação também não entraram no cálculo, devido estas serem áreas que mais recebem do que perdem sedimentos.

A tabela 11 mostra a quantificação dos resultados obtidos e a figura 24 mostra a espacialização da perda de solo por erosão no município de São Pedro do Sul – RS;

Tabela 11 – São Pedro do Sul: Perda de solo.

Classes de Perda de solo	Área (km ²)	(%) sobre a área total do município	Perda de solo ton/ha/ano
Área de acumulação	143,67	16,64	_____
Baixíssima expectativa	708,93	82,10	Menor que 1.217,61
Muito baixa expectativa	9,79	1,13	1.217,61 a 2.435,22
Baixa expectativa	0,57	0,07	2.435,22 a 3.652,83
Média expectativa	0,15	0,02	3.652,83 a 4.870,44
Alta expectativa	0,02	0,02	4.870,44 a 6.088,05
Muito alta expectativa	0,08	0,01	6.088,05 a 7.295,66
Altíssima expectativa	0,03	0,01	Maior que 7.295,66
Total	863,24	100,00	

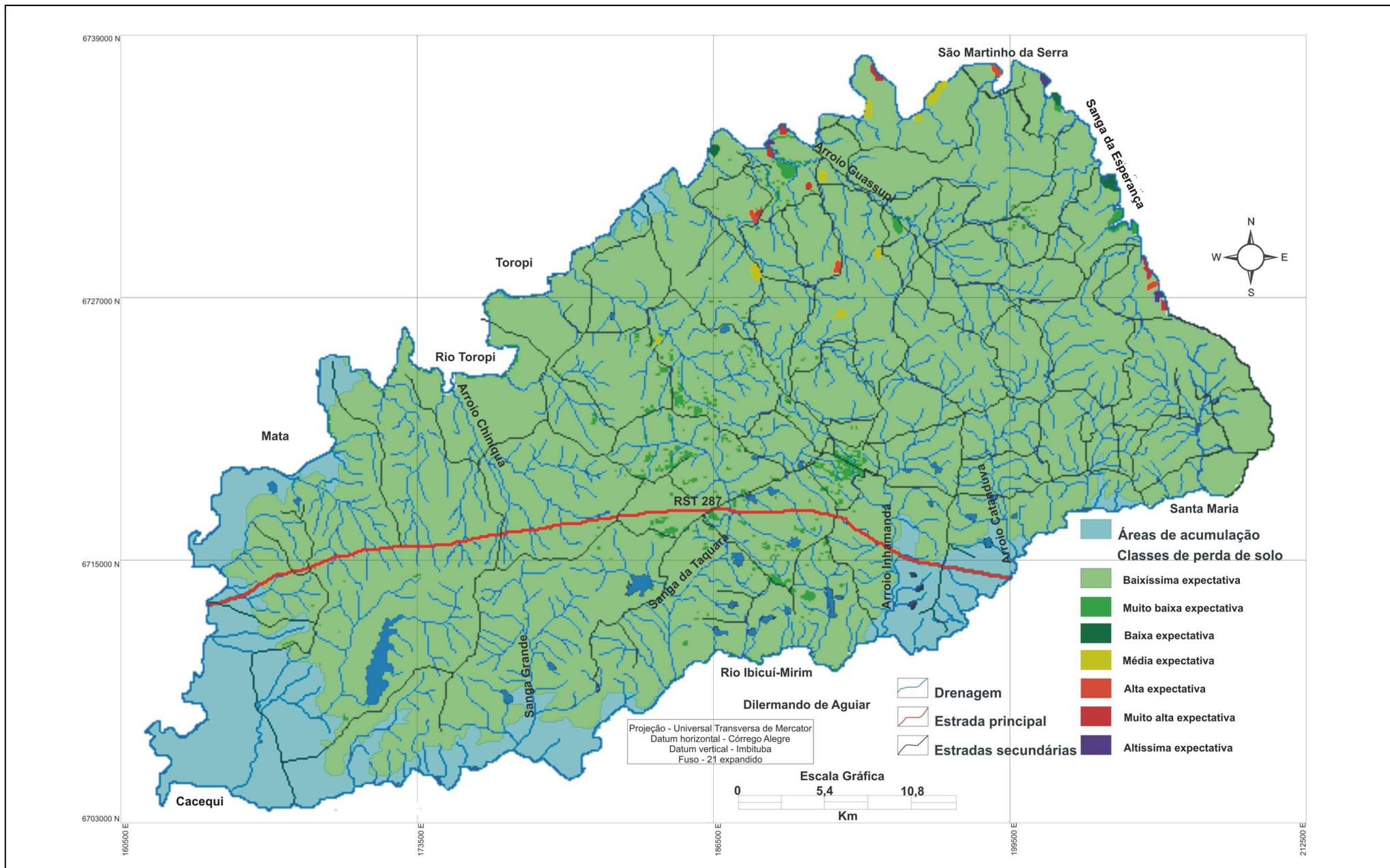


Figura 24: Mapa de perda de solo para o município de São Pedro do Sul - RS

As perdas de solo de solo que correspondem ao intervalo da classe de baixíssima expectativa perfazem 82,10% da área do município de São Pedro do Sul. Localizam-se por toda a extensão do município com maior significância a leste e oeste. Situa-se tanto em áreas do Rebordo do planalto, quanto em áreas da Depressão periférica. A figura 25 mostra uma área que corresponde a essa classe, onde observa-se o uso da terra com pastagem plantada (lavoura temporária).



Figura 25: Aspecto da área com uso da terra com pastagem plantada correspondente a classe de baixíssima expectativa de perda de solo, na localidade de Goiabal no município de São Pedro do Sul – RS.

Fonte: Trabalho de Campo – Julho 2009

As áreas que correspondem à classe muito baixa expectativa, abrangem 1,13% da área do município. Localizam-se principalmente no centro, e situam-se tanto em áreas do Rebordo do planalto como da Depressão periférica. As áreas que representam esta classe de perda de solo, em sua maior parte estão vinculadas as classes de uso com agricultura e área urbana. A figura 26 mostra uma área representativa desta classe.



Figura 26: Aspecto de área degradada, representando a classe muito baixa expectativa onde se observa voçorocas, na localidade de Inhamandá no município de São Pedro do Sul – RS.

Fonte: Trabalho de Campo – Julho 2009.

As áreas representativas da classe de baixa expectativa perfazem 0,07% da área total. Em relação ao tipo de uso da terra, estão localizadas principalmente em áreas de agricultura nas margens dos rios Ibicuí-Mirim e Toropi. A figura 8 ilustra áreas representativas dessa classe. A figura 27 ilustra áreas representativas dessa classe, onde se observa a retirada da mata ciliar para o plantio de gramíneas para pastagem.



Figura 27: Representação do relevo correspondente a classe de baixa expectativa de perda de solo, na localidade de Cerro do Baltazar, no município de São Pedro do Sul – RS.

Fonte: Trabalho de Campo – Julho 2009.

A classe de média expectativa de perda de solo representa 0,02% da área total do município. Localiza-se em maior expressão nas margens do rio Toropi e em menor escala na área central do município. Em relação ao tipo de uso da terra, situa-se em sua maior parte em áreas utilizadas para a agricultura em relevos movimentados. A figura 9 traz uma ilustração desta classe.



Figura 28: Área onde se observa o uso da terra com pastagens, e agricultura correspondente a classe média expectativa, na localidade de Santo Inácio, no município de São Pedro do Sul – RS.

Fonte: Trabalho de Campo – Julho 2009.

A classe de alta expectativa de perda de solo representa apenas 0,02% da área total do município. Localiza-se na parte oeste do município em áreas do Rebordo do planalto. Quanto ao uso da terra, é utilizada para agricultura de subsistência em áreas de encosta de morros. A figura 29 exemplifica a classe de alta expectativa, onde se podem observar áreas com agricultura sem práticas de conservação em declividades maiores que 30%.



Figura 29: Aspecto da área da classe de alta expectativa de perda de solo onde se observa áreas com agricultura em encostas, na localidade de Santo Inácio, no município de São Pedro do Sul – RS. Fonte: Trabalho de Campo – Julho 2009.

A classe muito alta expectativa e de altíssima expectativa representam juntas 0,02% da área total do município. Situam-se em áreas do Rebordo do planalto com relevo forte ondulado e montanhoso. São áreas problemáticas para qualquer tipo de ocupação, principalmente para uso agrícola, sendo que devem ser utilizadas para reflorestamento, recreação e preservação da flora e fauna.

Em relação ao mapa de perda de solo, apesar dos altos valores encontrados para o município, outros autores obtiveram valores aproximados aos encontrados, o que mostra que a metodologia utilizada se equipara aos valores encontrados por outros pesquisadores. Dutra (1989) encontrou perdas de que variaram 400-2400 ton/ha/ano, sendo que os valores localizados entre 800-1.600 ton/ha/ano, são considerados para o autor como valores médios de perda de solo. Marques et al (1988), obteve índices de 22 ton/ha/ano até 51.000 ton/ha/ano, para Sumaré no estado de São Paulo, considerando estes valores altíssimos para a região. Marcomim (2002) encontrou índices para os municípios de Orleans e São Ludgero, SC que variaram de 1.000-5.000 ton/ha/ano, sendo que a maior parte da área dos municípios ficou dentro da última classe. Figueiredo et al (2006) analisando o

estado do Paraná obteve índices de erosão que se alteraram entre 150 ton/ha/ano a 5.199 ton/ha/ano, sendo os maiores índices encontrados na região do Planalto. Ribeiro; Alves (2006), estudando a perda de solo em Campo dos Goytacazes-Rj, obtiveram índices que variaram entre 10 ton/ha/ano e 6.975 ton/ha/ano.

Analisando o mapa de perda de solo obtido para o município de São Pedro do Sul, verifica-se que 82,05% da área está dentro da classe de baixíssima expectativa, de menor perda de solo. Apesar deste percentual, os valores de perda de solo foram considerados altos, mesmo para os encontrados nessa classe. As maiores expectativas de perda de solo foram encontradas para áreas do Rebordo do planalto, associadas com a classe de uso agricultura.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conhecimento do meio físico dos municípios é de fundamental importância para o planejamento das ações a serem implementadas. A formulação da EUPS permite que se conheçam as áreas mais problemáticas em relação à erosão e, a espacialização da perda de solo mostra as áreas com maior grau de impacto.

Cabe salientar que, os resultados obtidos nesse trabalho devem ser tomados como indicadores da fragilidade do ambiente. No entanto, mostram o caráter variável da perda de solo no município.

As técnicas de geoprocessamento foram essenciais para a geração dos mapas, uma vez que a geração destes só foi possível pela combinação dos mapas temáticos, armazenados no sistema de geoprocessamento *Idrisi*. As funções de manipulação e análise deste software, que foram utilizadas neste trabalho, mostraram-se eficientes para o tratamento, o cruzamento, a combinação, a classificação e a apresentação final dos mapas temáticos.

Quanto ao mapa de modelado do relevo observa-se que predomina no município a classe de dissecação média com 30,74%. Essas áreas, devido sua declividade são áreas passíveis de sofrerem processos de erosão acelerada, sendo indicado o uso de práticas de conservação para sua utilização.

Em relação ao mapa do potencial natural de perda de solo, verifica-se ainda que a maior parte do município abrange áreas enquadradas nas classes de baixíssima e muito baixa expectativa natural de perda de solo, as quais representam os menores valores de perda de solo. Nas áreas da Depressão periférica, com topografia plana, suave ondulada e ondulada é onde se observam as menores potenciais de perdas de solo. No Rebordo do planalto, onde se encontra relevo mais movimentado, com topografia forte ondulada a montanhosa é onde ocorrem os maiores potenciais de perda de solo.

Quanto ao mapa de uso da terra obteve-se um total de 72,61% de áreas de campo, sendo a classe que predomina no município. A partir dos trabalhos de campo observou-se que não existem grandes áreas de pastagem plantada, em sua maior parte são campos nativos utilizados para a criação de gado. Em relação às florestas nativas obteve-se um resultado de 7,94% de área desta classe, índice este que pode ser considerado baixo.

O resultado obtido a partir do cruzamento de todos os planos de informação resultou no mapa de perda de solo para o município de São Pedro do Sul. Observou-se a partir do mapa que 82,12% da área do município, está dentro da classe baixíssima expectativa de perda de solo. As classes com maiores expectativas de perdas (média, alta, muito alta e altíssima) correspondem a 0,6% da áreas do município.

Em relação à substituição do fator topográfico pelo modelado do relevo na EUPS, observou-se que ele causou uma grande generalização ao agrupar as classes de perda de solo. Sugere-se que a metodologia seja utilizada onde o elevado grau de generalização seja aceito face os objetivos propostos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, A. O. **Planejamento ambiental urbano na microbacia do córrego da colônia mineira – Presidente Prudente/SP**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2004.

AMORE, E; MODICA,C; NEARING, M. A; SANTORO, M. C. Scale effect in USLE and WEPP application in soil erosion computation from three Sicilians basins. **Journal of hrydrology**, v. 293, 2004.

ANDREIS, R.R.; LAVINA, E.L.; MINTARDO, D.K.; et al. Considerações sobre os troncos fósseis da Formação Caturrita (Triássico Superior) no município de Mata,RS-Brasil. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32., 1982, Salvador. **Anais...**: Salvador: ABGE, 1982. V.4.p.1.284-1.294.

ARAÚJO, E. P. de. **Aplicação de dados srtm à modelagem da erosão em microbacias por geoprocessamento**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), São José dos campos. INPE, 2006.

ASSAD, M. L. L.; HAMADA, E; CAVALIÉRI, A. Sistema de informações geográficas na avaliação de terra para agricultura. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Ed.) **Sistema de Informações Geográficas**. 2ed. Brasília: Embrapa-SPI/Embrapa-CPAC, 1998.

AVERY, T. E & BERLIN, G. L. **Interpretation of Arial Photographs**. Burgess, Fourth Edition, Minneapolis, 1985.

AYOADE, J. **Introdução a Climatologia dos Trópicos**. São Paulo: Difel, 1986.

BAPTISTA, G. M. M. **Diagnóstico ambiental da Perda Laminar de solos por meio do geoprocessamento**. 1997. Dissertação (Mestrado em geociências) - Universidade Federal de Brasília, Brasília, 1997.

BASIC, F; KISIC, I; MESIC, M; NESTROY, O; BUTORAC, A. Tillage and crop management effect on soil erosion in Central Croatia, **Soil and tillage research** v.78, 2004.

BAZZANO, M. G. P. **Erosividade, coeficiente de chuva, padrões e períodos de retorno das chuvas de Quaraí e Rio Grande, RS**. 2005. Dissertação (Mestrado em ciência do solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

BERTOL, L. Índice de erosividade (EI_{30}) para Lajes (SC). **Pesquisa Agropecuária Brasileira. São Paulo**, 1993.

BERTONI, J. E LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo, Ed. Ícone. 1985.

_____. **Conservação do Solo**. São Paulo, Ed. Ícone. 1990.

BERTONI, J. **Equação de perda de solo**. São Paulo, Boletim Técnico do Instituto Agrônômico de Campinas, 1975.

BISCAIA, R. C. M; RUFINO, R. L & HENKLAIN, J.C. Calculo da erodibilidade (Fator K) para dois solos do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 1981.

BIGARELLA, J. J. et al. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais 3**. Florianópolis: UFSC, 2003

BORTOLUZZI, C. A. Contribuição à geologia da região de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas do Instituto de Geociências**, n.4. p. 7 – 86, Porto Alegre, 1974.

BRIGHT, C. **Uma história do nosso futuro**. In: BRIGHT, Chris et al. Estado do mundo 2003: a impossível revolução ambiental está acontecendo. Salvador, UMA Ed., 2003.

CARVALHO, M. P. **Fator erosividade da chuva-enxurrada para chuvas individuais do Estado de São Paulo**. 1992. Tese (Doutorado em agronomia) - Faculdade de ciências agrônômicas de Botucatu. Piracicaba, 1992.

CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo**. 2ª ed. São Paulo: Contexto, 1995.

_____. **Elementos da geomorfologia**. São Paulo: Contexto, 2003.

_____. **CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA**. Disponível em: http://www.observatoriogeogoias.com.br/observatoriogeogoias/artigos_pdf/CASSETI,%20Valter.pdf. Acesso em 10/11/2008.

CASSOL, E. A, et al. Erosividade das chuvas em Porto Alegre, RS, determinada pelo índice Ei30, com base no período de 1974 a 2003. In: V Reunião sul brasileira de ciência do solo, 2004, Florianópolis. **Anais** da V Reunião sul brasileira de ciência do solo, 2004.

CASSOL, E. A, et al. Erosividade das chuvas, determinada pelo índice ei30, no período de 1957 a 1997 em Veranópolis, RS e no período de 1963 a 1997 em farroupilha, RS. In: V Reunião sul brasileira de ciência do solo, 2004, Florianópolis. **Anais** da V Reunião sul brasileira de ciência do solo, 2004.

CASTRO, A. G; VALÉRIO FILHO, M. Simulação da expectativa de perda de solo em microbacias sobre diferentes sistemas de manejo florestais. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v.21, 1997

CEMARH. Práticas conservacionistas e manejo do solo. Disponível em: <http://www.cemarh.unifei.edu.br/itajuba/2007/marh17/Praticas%20conservacionistas.pdf>. Acesso em: 20/10/2009.

CHAGAS, A. L. G. A. et. al. **Roteiro metodológico para a elaboração de planos de manejo para florestas nacionais**. Brasília: IBAMA, 2004.

CHAVES, H. M. L. Análise global de sensibilidade dos parâmetros da equação universal de perda de solo modificada (MEUPS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas**, n.15, v.3, p. 345-350, 1991.

CHRISTOFOLETTI, A. O. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

COGO, C. M; ELTZ; F. L. F; CASSOL, E. A. Erosividade das chuvas de santa maria, rs, determinada pelo índice ei30 no período de 1963 a 2000. In: XIV Reunião Brasileira de ciência do Solo, 2001, Cuiabá. **Anais da Reunião Brasileira de ciência do Solo**.

CROSTA, Á.P. **Processamento digital de imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas SP: IG/UNICAMP, 1993.

CUNHA, C. M. L. da. **Quantificação e mapeamento das perdas de solo por erosão com base na malha fundiária**. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro, 1997, 93p.

DALMOLIN, R. S. D. **Distribuição dos solos no ambiente**. In. AZEVEDO, A. C; DALMOLIN, R. S. D; PEDRON, F de. A. Solos & Ambiente I Fórum, Santa Maria: UFSM, 2004.

DENARDIM, J. E. **Erodibilidade do solo estimada a partir de parâmetros físicos e químicos**. Piracicaba: USP, 1990. Tese (Doutorado em agronomia) – Escola superior de agricultura Luiz de Queiroz.

DI MARIA, I. C. Razão de perdas de solo e fator C para sistemas de manejo da cultura de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, p. 263-270, 1985.

DOMINGOS, J. L. **Estimativa de perda de solo por erosão hídrica em uma bacia hidrográfica**. Monografia (Graduação em Geografia) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2006.

DONZELI, P.L et al. **Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao diagnóstico básico para planejamento e monitoramento de microbacias hidrográficas**. Campinas: Documentos IAC, 1992.

DUTRA, L. V; SOUZA, R. C. M; MITSUO, F. A; MOREIRA, J. C. **Análise automática de imagens multiespectrais**. São José dos Campos: INPE, 1981.

DUTRA, R. K. Determinação da estimativa de perda de solo por erosão superficial em bacia hidrográfica utilizando sistema de informações geográficas – SIG. **Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**. São Paulo, 1989.

DVORAK, J; NOVACK, L. **Soil Conservation and silviculture**, New York: Amsterdam, 1994.

EASTMAN. J. R. **Idrisi for Windows: Introdução e Exercícios tutoriais**, Editora da versão em português. Heinrich Hasenack e Eliseu Weber, Porto Alegre: UFRGS Centro de Recursos Idrisi, 1998

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**, Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1999.

ESCOLA TÉCNICA FEDERAL DE PALMAS. Agricultura aplicada, breve histórico da agricultura. Disponível em: http://paraiso.ifto.edu.br/docente/admin/upload/docs_upload/material_2ce158cd00.pdf> Acesso em 03/07/2009

FAO. **Base de dados FAOSTAT**, 2005. Disponível em <<http://apps.fao.org>>. Acesso em 20/12/2005.

FIBGE-FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manuais técnicos em geociências. Manual técnico em geomorfologia**. Rio de Janeiro: FIBGE, n. 5, 1995.

_____. **Manuais técnicos em geociências. Manual técnico em uso da terra.** Rio de Janeiro: FIBGE, n. 5, 2006.

_____. **Projeto RADAMBRASIL. Folha SH-21.** Rio de Janeiro: FIBGE, v. 33, 1986.

_____. **Censo demográfico.** Rio de Janeiro: FIBGE, v. 1, 1980.

_____. **Censo demográfico.** Rio de Janeiro: FIBGE, v. 1, 1990.

_____. **Censo agropecuário.** Rio de Janeiro: FIBGE, v. 2, 1996.

_____. **Censo demográfico.** Rio de Janeiro: FIBGE, v. 1, 2000.

_____. **Censo demográfico.** Rio de Janeiro: FIBGE, v. 1, 2003.

_____. **Divisão territorial do Rio Grande do Sul: 1997.** DIPEQ/RS, Porto Alegre, 1997.

FIGUEIREDO, O. A. R. Análise ambiental do uso e vulnerabilidade do solo com sistemas de informações geográficas. **Revista Geo-Ambiente Online**, Jataí-GO, 2006.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de Satélite para Estudos Ambientais.** São Paulo/SP: Oficina de Textos, 2002

FORMAGGIO, A.R.; EPIPHANIO, J.C.N. Avaliação de modelos de simulação de reflectância de dosséis vegetais, no Brasil. In: 7º Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, **Anais**, Curitiba, 1993.

FOSTER, G. R; MCCOOL, K .G & MOLDENHAUER, W. C. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. **Journal Soil and Water Conservation**, V. 36, 1981

FREIRE, O & PESSOTI, J. E. Erodibilidade dos solos de Piracicaba. **Revista de Agricultura**. Piracicaba, V.51, 1976.

FUJIARA, A.K. **Predição de erosão e capacidade de uso do solo do oeste paulista com suporte de geoprocessamento**. 2002. Dissertação (mestrado em ciências florestais). Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2002.

GASPARETO, V. P et al. **Mapa das formações superficiais e solos de Santa Maria**, Santa Maria: UFSM, 1990.

GERARDI, L. H. de. O; SILVA, B. C. N. **Quantificação em geografia**, São Paulo: Difel, 1981.

GOLLA, A. R. **Práticas conservacionistas na agropecuária**, 2006. Disponível em: http://www.aptaregional.sp.gov.br/artigo.php?id_artigo=235. Acesso em: 20/10/2009.

GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. (Orgs) 2º Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995.

GUERRA, A. T.; MENDONÇA, J. K. S. **Erosão dos solos e Questão ambiental**. In: **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

HEPNER, G. H. Artificial neural network classification using a minimal training set: Comparison of conventional supervised classification. **Photogrametric engineering and remote sensing**, 1990.

HENKLAIN, J. C & FREIRE, O. Avaliação do método nomográfico para determinação da erodibilidade de latossolos do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, V.7, 1983.

HUDSON, N. W. **Soil conservation**. 2. ed. Ithaca, New York, Cornell University press, 1981.

IPT-INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE ESTADO DE SÃO PAULO. **Orientação para o combate à erosão no estado de São Paulo, bacia do Peixe-Parapanema.** São Paulo, 1992.

INPE. **Geoprocessamento para Projetos Ambientais.** São Jose dos Campos: INPE, 1990.

JENNY, H. **Factors of soil formation.** New York: Mcgraw Hill, 1941.

JOFFE, J.S. Pedology. In: **Pedology publications.** New Brunswiek: Somerset press, 1949.

JUSTUS, J. de O. Hidrografia. In **Geografia do Brasil – Região Sul.** Rio de Janeiro: FIBGE, 1990

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relações solo planta.** São Paulo: Ceres, 1979.

KLAMT, E. et al. **Solos de várzea do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: UFRGS, 1985.

_____. **Solos do município de São Pedro do Sul: Características, classificação, distribuição geográfica e aptidão agrícola.** Santa Maria: UFSM, 2001.

LAL, R. Soil erosion on alfisols in Western Nigeria, III. Effects of rainfall characteristics. **Geoderma**, Amsterdam, 1976.

LARIOS, M. B. **Resumo Histórico de Modelagem da Erosão.** Disponível em <http://www.drenagem.uf.br/06erosão-08-modelagemRest.htm>. Acesso em [24/11/2008](#).

LEAL, J.C.R. **São Pedro do sul, antigo (registro histórico): 1926-1965.** Santa Maria: Boca do Monte, 1996.

LEINZ, V; AMARAL, S. E. **Geologia Geral.** São Paulo: Nacional, 1987.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de textos, 2007.

LIBAULT, A. Os quatro níveis da pesquisa geográfica. Métodos em Questão. São Paulo: **GEOG-USP**, 1971.

LOCH, C. **Monitoramento global integrado de propriedades rurais a nível municipal utilizando técnicas de sensoriamento remoto**. Florianópolis, UFSC, 1990.

LOMBARDI NETTO, F; MOLDENHAUER, W.C. Erosividade da chuva: sua distribuição e a relação com as perdas de solo em Campinas (SP). **Bragantia**, 1992.

LOMBARDI NETTO, F. **Rainfall erosivity _ its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brasil**. Tese (Doutorado em agronomia) - West Lafayette-USA, Purdue University, 1977.

LOMBARDI NETTO, F; ROCHA, J. V.; BACELLAR, A. A. A. Planejamento agroambiental da microbacia hidrográfica do Ribeirão cachoeirinha - Município de Itacemópolis/SP, utilizando um sistema de informação geográfica. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 1995, Bauru, **Anais...**, São Paulo, ABGE-IPT, D.

LOPEZ, M. T. WEPP (WATER EROSION PREDICTION PROJECT): Un modelo basado en procesos físicos para simular erosión hidrica. In: Internation seminar of watershed management, 1993, México. **Anais**.

LUFABA, A; TENYAWA, M; ISABIRYE, M;. Predction of soil erosion in a Lake Victoria basin catchment using a GIS – based in Universal Soil Loss model. **Agricultural Systems**, v.76, 2003.

MARCOMIM, E. F. **Análise ambiental da bacia do Rio Pinheiros com base na caracterização e diagnósticos da dos elementos da paisagem e da perda de solo por erosão laminar**. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais). Universidade Federal de São Carlos, SP, 2002

MARQUES, J. S. Ciência geomorfológica. In: **Geomorfologia, uma atualização de bases e conceitos**. GUERRA, A. J. et al. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil 3. Ed, 1998.

MARQUES, J. F. Custos da erosão do solo devido aos seus efeitos internos e externos área de produção agrícola. **Revista Brasileira de Economia e Sociologia Rural**. 1998.

MEHL, H. U. **Caracterização de padrões de chuva ocorrentes em Santa Maria (RS) e sua relação com as perdas de solo e água em entressulcos**. Dissertação (Mestrado em agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2000.

MENDONÇA, I. F. C. de, **Adequação do uso agrícola e estimativa da degradação ambiental das terras da microbacia hidrográfica do riacho Una, Sape-PB**. Tese (Doutor em Engenharia Agrícola), Universidade Estadual Paulista, Campinas, 2005.

MINOTI, R.T. **Abordagem qualitativa e quantitativa de microbacias hidrográficas e áreas alagáveis em um compartimento do médio Mogi-Superior/SP**, Tese (Doutorado em da Engenharia Ambiental), Universidade de São Paulo, São Carlos 2006..

MITCHELL, J.K; BUBENZER, G.D. **Estimación de la pérdida del suelo**. In: Erosión de Suelos. Kirby,M.J.; Morgan,R.P.C. Cidade de México, México: Editorial Limusa S.A/Noriega Editores, 1994. Cap. 2, p.35-88.

MORAIS, L. E. B.; MUTI'I, L. S. M. & ELTZ, F. L. F. Relações entre características da chuva e perdas do solo no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 1988.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 2. ed., Viçosa: UFV, 2004,.

MORGAN, E. P. C; QUINTON, J. N. The EUROSEM Model. In: Boardman, J. **Modelling soil erosion by water**. Berlin: Springer, 1995.

MULLER FILHO, I. L. **Notas para o estudo da geomorfologia no Rio Grande do Sul**. Santa Maria: UFSM, 1970.

NIMER, E. Climatologia do Brasil. Rio de Janeiro: FIBGE, 1989.

OLIVEIRA, A. A. B. & RIBEIRO, A. G. Uso potencial da terra. Climatologia. **Projeto RADAMBRASIL**. Rio de Janeiro, IBGE, v.33, 1986.

OLIVEIRA, A. M. **Valoração econômica dos danos ambientais causados pela erosão do solo agrícola: um estudo de caso no município de Santo Antonio do Jardim – SP**. Dissertação (Mestrado em desenvolvimento econômico). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

ÖZHAN, S. NIHAT, A; HIZAL, A. Cover and management factor for the Universal Soil Loss Equation for forest ecosystems in Marmara region, Turkey. **Forest ecology and Management**. V. 214, 2005.

PONÇANO, W.L & PRANDINI, F. L. Boçoroca do estado de São Paulo: Uma revisão. **Anais do IV Simpósio Nacional de Controle da Erosão**. Marília. 1987.

PONÇANO, W.L & CHRISTOFOLETTI, A. Procedimentos para tacas de erosão pluvial em regiões subtropicais **Anais do IV Simpósio Nacional de Controle da Erosão**. Marília. 1987.

PUNDEK, M. Utilização prática da Equação Universal de Perdas de Solo para as condições de Santa Catarina. In: **Santa Catarina. secretaria do estado da agricultura e abastecimento. manual de uso, manejo e conservação do solo e da água: projeto de recuperação, conservação e manejo dos recursos naturais em microbacias hidrográficas**. 2. ed. Florianópolis: EPAGRI, 1994.

RAFFAELLI, J. A. **Geoprocessamento aplicado na análise de espaço geográfico de Santa Margarida do Sul – RS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

RENARD, K. G; FOSTER, J. R; WEESIES, G. A; PORTER, J. P. Revised USLE. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 46, n.3, p.30-33, 1991.

RESENDE, M.; ALMEIDA, J.R. Modelos de predição de perda de solo: uma ferramenta para manejo e conservação do solo, **Informe Agropecuário**, 11 (128): 38-54, 1985.

RIBEIRO, L. S; ALVES, M da. G, Quantificação de Perda de Solo por Erosão no município de Campos dos Goytacazes/RJ através de Técnicas de geoprocessamento. In: **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE.

RIBEIRO, S.R.A; CENTENO, J.S. (2001): Classificação do Uso do Solo Utilizando Redes Neurais e o Algoritmo MAXVER. **Anais X SBSR**, Foz do Iguaçu, 21-26 abril 2001, INPE, p. 1341-1348.

RICHARDS, J. A. **Remote sensing digital image analysis: na introduction**. 2.ed. Berlin: Springer-Verlag, 1993.

RODRIGUES, A. M. **Produção e consumo no espaço: problemática ambiental urbana**. São Paulo: Hucitec, 1982.

ROCHA, J.V.; LOMBARDI NETO, F.; BACELLAR, A.A.A. Cálculo do fator comprimento de rampa (L): uma metodologia para uso em sistema de informação geográfica. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão. **Anais**. Bauru, 1997.

ROCHA, J. V. Metodologia para determinação do fator comprimento de rampa (L) para a EUPS, **Caderno de Informações Georreferenciadas**, v.1, n.2, 2000.

ROSS, J. L. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 6, p. 17-29, 1992.

_____.Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 8, p. 63-74, 1994.

_____. **Geografia do Brasil**. São Paulo: Contexto, 1996.

_____.**Geomorfologia: ambiente e planejamento**. São Paulo: Contexto, 2003.85p.

ROTH, C. B; NELSON, D. W & ROMKENS, M. J. M. **Prediction of subsoil erodibility using chemical, mineralogical and psysical parameters**. Washington: U. D. Environmental Protection Agency, 1975.

SANTOS, I; VITTE, A.C. Proposta de mapeamento da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Rio Palmital, Região Metropolitana de Curitiba. I Fórum Geo-Bio-Hidrológico. **Anais**. Curitiba, 1998.

RESENDE, M.; ALMEIDA, J.R. Modelos de predição de perda de solo: uma ferramenta para manejo e conservação do solo, **Informe Agropecuário**, 11 (128): 38-54, 1985.

SENGIK, E. **Conservação do solo**. 2005. Disponível em: <http://www.dzo.uem.br/disciplinas/Solos/conservacaodesolos.doc>. Acesso em [16/10/2009](#)

SILVA, J. X. **Geoprocessamento para análise ambiental**.Rio de Janeiro: J. Xavier da Silva, 2001.

SILVA, A.M. & SCHULZ, H.E. Estimativa e análise do fator topográfico (LS) da Equação Universal de Perda de Solo feito com o uso de aplicativo informatizado compatível com *software* de geoprocessamento. **Revista Fator GIS**, 2000. Disponível em <http://www.fatorgis.com.br>. Acesso 20/12/2008.

SILVA, A. de B. **Sistemas de informações Geo-referenciadas: Conceitos e fundamentos**. Campinas. Editora da UNICAMP, 2004

SILVA, J. L. S. da. **Estudos dos processos de silificação e calcificação em rochas sedimentares mesozóicas do Rio Grande do Sul**, Brasil. 1999. Tese (Doutorado em geociências). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1997.

_____. **Distribuição geoquímica do cobre ao longo de uma toposequência na região de Itaboraí**, 1987. Dissertação (mestrado em geociências). Universidade Federal Fluminense. Niterói, 1987.

SILVA, C. L. Runoff measurement and prediction for a watershed under natural vegetation in Central Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 1999.

SOSA, D. A. **Erosividade da chuva: distribuição e correlação com a perda de solo de Pindorama**, Dissertação (mestrado em agronomia) Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1987.

STRECK, E.D et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, UFRGS, 2002.

TOMMASELLI, J. T. G; FREIRE, O; CARVALHO, W. A. Erosividade da chuva da região oeste do estado de são paulo. **Revista brasileira de agrometeorologia**, Santa Maria, 1999.

VALENZUELA, C.R.; BAUMGARDNER, M.F. & PHILLIPS, T.L. Soils an important component in a digital geographic information system. In: **International Symposium on Remote Sensing for Resources Development and Environment Management**, 7., Enshede, Hetherlnds, Aug. 25-29, 1986. Proceedings, Rotterdam, A.A. Balkema, 939-45

VALÉRIO FILHO, M. Modelagem e técnicas de sensoriamento remoto aplicadas a estudos de erosão. In: PEREIRA, V. de P.; FERREIRA, M.E. & CRUZ, M.C.P (eds.) **Solos altamente susceptíveis à erosão**. Jaboticabal, FCAV-UNESP/SBCS. 1994.

_____. Gerenciamento de bacias hidrográficas com aplicação de técnicas de geoprocessamento In: TAUK-TORNISIELO, S. M.; GOBBI, N.; FORESTI, C.; LIMA, S. T. **Análise ambiental – estratégias e ações**. São Paulo: CEA/UNESP, Rio Claro-SP, 1995.

VEIGA, P. **Estudo dos arenitos “intertrapps” da formação Serra Geral na região de Santa Maria**, 1973 Dissertação (mestrado em geociências), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1973

VENTURIERI, A; SANTOS, J. R. **Técnicas de classificação de imagens para análise de cobertura vegetal**. In: ASSAD, E. D; SANO, E. E. Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura. 2. Ed. Brasília: EMBRAPA, 1998.

VIEIRA, E. Falcão. **Rio Grande do Sul. Geografia física e vegetação**. Porto Alegre: Sagra, 1984

VIEIRA, L. S. **Manual da ciência do solo**. 1.ed. São Paulo: Agronômica CERES, 1975.

VIEIRA, L. S; VIEIRA, M. N. F. **Manual de morfologia e classificação do solo**. São Paulo: Ceres, 1983.

TÓMAS, P. P. et al. **Erosão Hídrica dos solos em pequenas bacias hidrográficas – Aplicação da equação universal de degradação dos solos**. Publicação CEHIDRO n°7, Instituto Superior Técnico. Lisboa, 1 993.

TOMASSELLI, A. **Fitossociologia de uma área de cerrado stricto sensu na ARIE Cerrado Pé-de-Gigante, Santa Rita do Passa Quatro, SP**. Monografia (Graduação em Ciências biológicas), Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

TRICART, Jean. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro, IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, 1977.

_____. **A Terra Planeta Vivo**. Lisboa: Ed. Presença/Martins Fontes, 1972.

_____. Paisagem e ecologia. **Inter-Fácies**, Campinas: Escritos e Documentos, n. 21, 1982

TROEH, F. R; HOBBS J. A; DONAHUE, R. L; **Soil and water conservation**. Englewood Cliffs. Prentice-Hall.1999.

WERLANG, M.K. **Configuração da rede de drenagem e modelado do relevo: Conformação da paisagem na zona de transição da Bacia do Paraná na Depressão Central do Rio Grande do Sul**, 2004. Tese (Doutorado em ciência do solo), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

WEIL, M. A. M. **Estimativa de erosão do solo e avaliação de seu impacto na microbacia do Ceveiro através do índice de tempo de vida**. Tese (Doutorado em agronomia). Universidade São Paulo: São Paulo, 1999.

WISCHMEIER, WALTER H.; JOHNSON, C. BRUCE.; CROSS, B.V. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. **Journal of Soil Conservation**. Vol.26:189-193, 1971.

WISCHMEIER, W.H. Use and misuse of the universal soil loss equation. **Journal of soil water conservation**, n.31, 5-9, 1976.

WISCHMEIER, W.H. Rainfall energy and its relationships to soil loss. **Geoderma**, Amsterdam, 1984.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting Rainfall Erosion Losses – a Guide to Conservation Planning**. U. S. Department of Agriculture: Washington, 1978.

WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D. Soil-loss estimation as a tool in soil and water management planning. *Int. Assoc. Sci. Hydrol.*, n. 59, p. 148-159, 1962.

WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Transaction, American Geophysical Union*, v. 39, p. 285-280, 1956.

ZOBECK, T.M. Evaluation of the topographic factor in the universal soil loss equation on regular slopes. *Journal of Soil and Water Conservation*, 41 (2): 113- 116, 1986.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)