



Aplicação de Sistemas de Informação Geográfica para a determinação do Potencial Natural de Erosão dos solos no Distrito de Sussundenga - Moçambique

Berta Lúcia Cumbane

Dissertação para obtenção do grau de mestre em
Gestão e Conservação de Recursos Naturais

Orientador: Professor Catedrático Manuel Armando Valeriano Madeira

Co-orientador: Professora Doutora Maria da Graça Abrantes

Júri:

Presidente:

Doutora Maria Teresa Marques Ferreira da Cunha Cardoso, Professora Associada do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa.

Vogais:

Doutor Manuel Armando Valeriano Madeira, Professor Catedrático do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa.

Doutor João Manuel das Neves Silva, Investigador Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa.

Licenciado Pedro Miguel Ramos Arsénio, Assistente do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa, na qualidade de especialista.

Lisboa, 2012

APLICAÇÃO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA PARA A DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL NATURAL DE EROÇÃO DO SOLO NO DISTRITO DE SUSSUNDENGA - MOÇAMBIQUE

RESUMO

Analisa-se neste trabalho o potencial natural de erosão dos solos no Distrito de Sussundenga, Província de Manica, através da aplicação parcial da Equação Universal de Perdas do Solo (EUPS).

A motivação para este estudo surgiu da necessidade de investigação das zonas com maior susceptibilidade à erosão e disponibilização de informação de forma a minimizar os problemas de degradação ambiental. Esta motivação é acrescida pela necessidade de criação de uma base de dados contendo informação sobre a metodologia a usar na determinação dos factores que se encontram na origem da degradação dos solos de Moçambique. O interesse no Distrito de Sussundenga surge no âmbito da implementação da Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação, onde esta área foi uma das indicadas como zona de elevado risco.

O trabalho desenvolvido baseia-se essencialmente na revisão bibliográfica e modelação espacial em ambiente SIG, usando o software ArcGis 10. Os dados usados foram um Modelo Digital do Terreno, a distribuição espacial da precipitação e a caracterização dos solos, a partir dos quais se obteve os factores LS, R e K, respectivamente, do modelo USLE. No ambiente SIG fez-se a multiplicação dos mapas temáticos, resultando num mapa indicando os níveis de potencial natural de erosão do Distrito.

Do estudo feito observou-se que cerca de 50% da área do distrito apresenta valores de Potencial Natural de Erosão (PNE) inferiores a 500 ton/ha, correspondendo à classe de potencial baixo. Por outro lado, 27% da área corresponde à classe de potencial muito elevado. O factor topográfico exerce uma forte influência nestes resultados, uma vez que se verifica uma correlação positiva entre os dois factores, sendo o coeficiente de correlação igual a 99,9%.

Palavras-chave

Erosão

PNE

SIG

Solo

Moçambique.

APPLICATION OF GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS OF DETERMINING THE EROSION POTENTIAL OF SOILS IN SUSSUNDENGA DISTRICT - MOZAMBIQUE

ABSTRACT

The erosion potential of soils in the district of Sussundenga, Manica Province, is analyzed in this study by applying the USLE.

The motivation for this study emerged from the need for research of susceptible areas to erosion and providing information about guidelines to minimize the problems of environmental degradation. This motivation is increased by the need to create a database containing details for the methodology to use in determining factors that cause soil degradation in Mozambique. The interest in the district of Sussundenga comes from implementation of the UN Convention to Combat Desertification, where this area was indicated as an area of high risk.

The work is based mainly on literature review and spatial modeling in a GIS environment, using the software ArcGis 10. The data used were the digital elevation models, the spatial distribution of rainfall and soil characterization, from which the LS, R and K factors were obtained, respectively, of the USLE model. In GIS it was done the multiplication of thematic maps, resulting in a map indicating the levels of susceptibility to erosion at district.

The study showed that about 50% of the district area presents values of Natural Potential of Erosion (NPE) less than 500 ton/ha, corresponding to the class of low potential. On the other hand, 27% of the area corresponds at the class of very high erosion potential. The topographic factor exerts a strong influence on these results, since there is a positive correlation between the two factors, and the correlation coefficient is equal to 99.9%.

Key words

Erosion

EPS

GIS

Soil

Mozambique.

*Às vezes no claro ou no escuro
A saudade chega,
Em uma foto achada ou perdida
Em uma bela e antiga cantiga
Nos momentos mais solitários da vida*

Em memória dos meus pais.

AGRADECIMENTOS

Esta tese foi desenvolvida no Departamento de Recursos Naturais, Ambiente e Território (DRAT) do Instituto Superior de Agronomia (ISA) da Universidade Técnica de Lisboa (UTL). A esta instituição agradeço os meios colocados à minha disposição.

A todos aqueles que tornaram possível a realização deste trabalho desejo expressar o meu mais profundo agradecimento.

Ao Professor Doutor Manuel Valeriano Madeira, meu orientador científico, e à Doutora Maria da Graça Abrantes, co-orientadora, pelo interesse e acompanhamento que me dedicaram, pelos conhecimentos transmitidos e pelo ensinamento e revisão crítica.

Agradeço acima de tudo a Deus por ter olhado por mim e ter me atribuído forças e determinação durante todo o meu percurso estudantil.

Por fim, o maior agradecimento apresento-o aos meus irmãos Beleza, Enuresia, Inês, Alberto, Sandra e Fernanda, meus sobrinhos Winston, Lalesca, Nayara, Ketiwa e Kaiwane, pelo apoio e incentivo que sempre me dispensaram ao longo destes anos.

ÍNDICE

RESUMO	I
PALAVRAS-CHAVE	I
ABSTRACT	III
KEY WORDS	III
AGRADECIMENTOS	VII
SIGLAS E ABREVIATURAS	XI
LISTA DE FIGURAS	XIII
LISTA DE TABELAS	XV
LISTA DE ANEXOS	XVII
1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 - VISÃO GERAL.....	1
1.2 - OBJECTIVO GERAL:	1
1.3 - JUSTIFICAÇÃO DO ESTUDO	2
1.4 - ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	2
2 - ESTADO ACTUAL DO CONHECIMENTO	5
2.1 - ENQUADRAMENTO TEÓRICO	5
2.1.1 - EROSÃO DO SOLO	5
2.1.2 - TIPOS DE EROSÃO.....	6
2.1.3 - EROSÃO HÍDRICA.....	6
2.2 - EROSÃO DOS SOLOS EM MOÇAMBIQUE.....	8
2.3 - MODELOS DE EROSÃO DOS SOLOS	9
2.3.1 - WATEM/SEDEM	9
2.3.2 - AGNPS.....	10
2.3.3 - USLE/RUSLE1/RUSLE2.....	10
2.3.4 - SLEMSA.....	11
2.4 - POTENCIAL NATURAL DE EROSÃO	12
2.4.1 - EROSIVIDADE (R)	12
2.4.2 - ERODIBILIDADE DO SOLO (K).....	13
2.4.3 - DECLIVE (S) E COMPRIMENTO DA VERTENTE (L).....	14
2.5 - SIG.....	15
2.6 - ANÁLISE ESPACIAL	15
2.6.1 - MODELAÇÃO AMBIENTAL.....	16
2.6.2 - SIG E MODELOS DE EROSÃO DOS SOLOS.....	16
3 - LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	19
3.1 - LOCALIZAÇÃO.....	19
3.1.1 - DISTRITO DE SUSSUNDENGA	19
4 - MATERIAL E MÉTODOS	23

4.1 - MATERIAL.....	23
4.1.1 - PRECIPITAÇÃO	23
4.1.2 - HIPSOMETRIA	24
4.1.3 - SOLOS.....	25
4.2 - ANÁLISE E PROCESSAMENTO DOS DADOS	25
4.2.1 - ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS	26
4.2.1.1 - EROSIVIDADE DA CHUVA (R).....	26
4.2.1.2 - ERODIBILIDADE DO SOLO (K).....	28
4.2.1.3 - FACTOR TOPOGRÁFICO (LS).....	30
4.2.2 - ESTIMATIVA DO POTENCIAL NATURAL DE EROSÃO	34
5 - ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	35
5.1 - MDT, PROBLEMAS E LIMITAÇÕES	35
5.2 - DECLIVE	36
5.3 - EROSIVIDADE DA CHUVA (R)	37
5.4 - ERODIBILIDADE DO SOLO (K).....	39
5.5 - FACTOR TOPOGRÁFICO (LS)	41
5.6 - POTENCIAL NATURAL DE EROSÃO DO SOLO (PNE).....	44
6 - CONCLUSÕES, RECOMENDAÇÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	47
6.1 - CONCLUSÕES.....	47
6.2 - RECOMENDAÇÕES	48
6.3 - DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49
ANEXOS.....	55

SIGLAS E ABREVIATURAS

ADS	Administração do Distrito de Sussundenga
AGNPS	Agricultural Non-Point Source Pollution Model
CCD	Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação
CDASP	Companhia de Desenvolvimento Agrícola de São Paulo
CDASP	Coordenadoria de Defesa Agro-pecuária do Estado de São Paulo
CGIAR-CSI	Consultative Group on International Agricultural Research - Consortium for Spatial Information
EPS	Erosion Potential of Soils
ESRI	Economic and Social Research Institute
EUPS	Equação Universal de Perda de Solo
FAEF – DER	Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal – Departamento de Engenharia Rural
FAO	Food and Agriculture Organization
GIS	Geographic Information System
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
MA-DRA	Ministério do Ambiente - Direcção Regional do Ambiente
MAE	Ministério da Administração Estatal
NPE	Natural Potential of Erosion
PROAGRI	Programa Nacional de Desenvolvimento Agrário
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SLEMSA	Soil Loss Estimation Model for Southern Africa
STRM	Shuttle Radar Topography Mission
USDA	United States Department of Agriculture
USLE	Universal Soil Loss Equation

LISTA DE FIGURAS

Fig. 2.1- Processo de erosão por acção do vento	6
Fig. 2.2- Impacto da gota de chuva na superfície do solo	7
Fig. 2.3- Tipos de erosão hídrica.....	7
Fig. 2.4- Ilustração da aplicação da USLE	11
Fig. 2.5- Nomograma de Wischmeier & Smith (1978) para a determinação do factor K.....	14
Fig. 2.6- Esquema representativo do declive, comprimento da vertente, zonas de deposição e sedimentação das partículas do solo	14
Fig. 3.1- Localização geográfica do Distrito de Sussundenga	20
Fig. 3.2- Variação da precipitação e temperatura mensal do Distrito de Sussundenga considerando os valores médios dos postos administrativos no período de 1950 a 2000.	21
Fig. 4.1- Distribuição espacial da precipitação média anual no Distrito de Sussundenga	24
Fig. 4.2- Classes de hipsometria do Distrito de Sussundenga	24
Fig. 4.3- Distribuição espacial dos principais tipos de solo que ocorrem no Distrito de Sussundenga	25
Fig. 4.4 – Esquema geral da metodologia de trabalho	26
Fig. 4.5 - Distribuição espacial da precipitação média dos meses compreendidos entre Novembro a Março, inclusive (época das chuvas)	27
Fig. 4.6 – Determinação do factor R em ambiente SIG	27
Fig. 4.7 – Distribuição espacial do teor de matéria orgânica dos solos do Distrito de Sussundenga de acordo com IIAM (1995)	28
Fig. 4.8 – Distribuição espacial da textura dos solos do Distrito de Sussundenga de acordo com IIAM (1995)	29
Fig. 4.9 – Determinação do factor K em ambiente SIG	29
Fig. 4.10 – Determinação do factor S em ambiente SIG	31
Fig. 4.11 – Códigos de direcção de fluxo	32
Fig. 4.12 – Determinação das linhas de água do distrito de Sussundenga em ambiente SIG.....	32
Fig. 4.13 – Ilustração dos valores de X_{ij}	32
Fig. 4.14 – Determinação do comprimento da vertente em ambiente SIG	33
Fig. 4.15 – Determinação do comprimento da vertente corrigido em ambiente SIG	33
Fig. 4.16 – Determinação do factor LS em ambiente SIG	33
Fig. 4.17 – Determinação do PNE em ambiente SIG	34
Fig. 5.1 – Falhas no Modelo Digital do Terreno	36
Fig. 5.2 – Classes de declive do solo no Distrito de Sussundenga	37
Fig. 5.3 – Histograma dos valores da precipitação no Distrito de Sussundenga.....	38
Fig. 5.4 – Distribuição do factor R na área do Distrito de Sussundenga	38
Fig. 5.5 – Histograma dos valores do factor R	39
Fig. 5.6 - Distribuição espacial do factor K ao longo do Distrito de Sussundenga	40
Fig. 5.7 – Histograma dos valores do factor K	41
Fig. 5.8 – Distribuição espacial do factor S no Distrito de Sussundenga	42
Fig. 5.9 – Distribuição espacial do factor L no Distrito de Sussundenga	42

Fig. 5.10 – Histograma dos valores do factor LS	43
Fig. 5.11 – Distribuição espacial do factor topográfico no Distrito de Sussundenga	43
Fig. 5.12 – Distribuição espacial do potencial natural de erosão no Distrito de Sussundenga	44
Fig. 5.13 – Histograma dos valores do PNE	45
Fig. 5.14 – Frequência de ocorrência dos valores do PNE.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1- Formas de determinação do factor R	13
Tabela 4.1- Classes do índice de erosividade das chuvas obtido através do cálculo do factor R	27
Tabela 4.2-Valores do factor K em função da textura e do teor de matéria orgânica do solo.....	28
Tabela 4.3- Classes de índice de erodibilidade do solo.....	29
Tabela 4.4- Classes de declive dos solos	30
Tabela 4.5- Intervalos de classes de PNE	34
Tabela 5.1- Percentagem de ocorrência do factor R	39
Tabela 5.2- Percentagem de ocorrência do factor K	40
Tabela 5.3- Percentagem de ocorrência do factor LS	44
Tabela 5.4- Percentagem de ocorrência do PNE	45

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 – Processamento dos dados para a determinação do PNE em ambiente SIG.....	56
Anexo 2 – Direcção do fluxo (a) e fluxo acumulado (b)	57
Anexo 3 – Valores da direcção do fluxo	58
Anexo 4 – Rede Hidrográfica obtida a partir das linhas de fluxo acumulado	58
Anexo 5 – Estatística descritiva	59

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - Visão geral

A caracterização do meio físico de uma região constitui o primeiro passo para avaliar e planear o uso e ocupação do solo de forma adequada e coerente com suas limitações naturais de uso, quer sejam climáticas, topográficas ou pedológicas (Silva, 2005).

Segundo MICOA (2005), as regiões semiáridas são áreas importantes pela extensão de terras, pelo contingente populacional e potencial económico envolvido, assim como pelos desequilíbrios que podem provocar, quando mal geridas, no clima e biodiversidade. Apesar do grande potencial produtivo destas regiões, uma série de factores históricos e estruturais vêm condicionando os padrões de organização social e exploração dos recursos naturais, provocando perdas económicas e ambientais significativas, destruindo a produtividade da terra e contribuindo para o aumento da pobreza.

O processo erosivo promovido pelas águas da chuva, que tem início com o impacto da gota de água na superfície do solo, causando a erosão laminar, pode prosseguir na forma de sulcos ou ravinas, degradando os solos. Consequentemente, com a deposição dos sedimentos nos corpos de água, ocasiona grandes prejuízos ao meio ambiente. A erosão apresenta-se como um grande problema ambiental para a sociedade que por sua vez, por desconhecimento ou negligência, contribui em muitos casos para a aceleração e dinamização dos processos erosivos (Sætre et al., 1979). Segundo Oliveira et al. (1987), este fenómeno vem acarretando, através da degradação dos solos e, por consequência, das águas, um pesado encargo à sociedade, pois além de danos ambientais irreversíveis, produz também prejuízos económicos e sociais, diminuindo a produtividade agrícola, provocando a redução da produção de energia eléctrica e do volume de água para abastecimento urbano devido ao assoreamento de reservatórios, além de uma série de transtornos aos demais sectores produtivos da economia.

Tendo em conta estes factos torna-se portanto, importante a identificação das áreas cujos solos sejam susceptíveis a erosão, sobretudo, em regiões onde não existem planos de conservação (Parzanese, 1991), bem como o estudo dos factores e processos que possam agravar este fenómeno, visando a obtenção de uma metodologia de controlo do mesmo.

1.2 - Objectivo geral:

Determinar o Potencial Natural de Erosão e avaliar os riscos de degradação dos solos no Distrito de Sussundenga, província de Manica, com base na aplicação das tecnologias de informação geográfica.

Para tal, pretende-se, identificar áreas de alto risco, a fim de direccionar melhor os esforços de mitigação, elaborar o mapa de Potencial Natural de Erosão e posteriormente interpretar os condicionantes do meio físico que determinam uma maior ou menor susceptibilidade ao processo.

1.3 - Justificação do estudo

A gestão de riscos e redução de desastres naturais tem sido um tema com prioridade na agenda internacional e na política e programas nacionais, onde milhares de pessoas se encontram em situações de risco (Sætre et al., 1979). Desta forma, a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (CCD), representa um avanço a nível nacional e internacional, no que se refere a esta problemática, impulsionando a participação dos países e organismos internacionais, proporcionando a optimização na aplicação de recursos nacionais e internacionais e incorporando toda uma nova filosofia de participação das comunidades afectadas. Moçambique não está isento destes problemas, visto que é tido como um país com acrescidas responsabilidades na implementação da CCD, particularmente no que se refere ao melhoramento da gestão dos ecossistemas mais frágeis associados aos climas áridos, à degradação das terras nas regiões semiáridas, incluindo a zona costeira que abarca cerca de 45% da sua população. Aqui, a erosão dos solos continua a ser um dos principais problemas de gestão ambiental, fazendo parte do quadro das prioridades do Ministério para a Coordenação da Acção Ambiental.

Os recursos naturais em Moçambique são abundantes e constituem uma base para o desenvolvimento do país. Ecologicamente o país já se ressentido de altos índices de erosão de solos, especialmente nas zonas costeiras (CNDS, 2002). A erosão de solos afecta muitos pontos do país, resultando em prejuízos materiais e económicos avultados, incluindo a degradação de infra-estruturas sociais e económicas, perda de fertilidade dos solos, perturbação de ecossistemas sensíveis, entre outros.

1.4 - Organização da dissertação

Esta dissertação está dividida em seis capítulos, incluindo a introdução e as conclusões, e encontra-se organizada de acordo com os objectivos definidos.

No capítulo 1 faz-se uma introdução. No capítulo 2 apresenta-se o estado actual do conhecimento. Mostram-se os principais desenvolvimentos realizados por diversos autores relativamente ao processo de erosão dos solos e os modelos e tecnologias desenvolvidas.

Apresenta-se no capítulo 3 a descrição da área de estudo, incluindo a sua localização geográfica, caracterização climática e topográfica.

Apresenta-se no capítulo 4 a caracterização dos materiais e descrição das metodologias de trabalho. São determinados os factores de erosividade, erodibilidade e topográfico.

No capítulo 5 apresenta-se os resultados da aplicação da equação do Potencial Natural de Erosão dos solos e faz-se a interpretação dos mesmos.

No capítulo 6 apresentam-se as principais conclusões obtidas ao longo deste trabalho, as recomendações e os desenvolvimentos futuros.

2 - ESTADO ACTUAL DO CONHECIMENTO

2.1 - Enquadramento teórico

O tema da erosão do solo tem sido uma preocupação a nível global. Vários trabalhos de investigação têm sido realizados com o objectivo de minimizar os impactos no meio ambiente.

Neste capítulo é feita uma breve revisão de alguns tópicos importantes tais como os vários conceitos de erosão, sua classificação e a situação da erosão em Moçambique. São também descritos os modelos de erosão do solo, dando ênfase à Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), que é fundamental para a determinação do Potencial Natural de Erosão (PNE), incluindo a importância da aplicação de SIG.

2.1.1 - EROSÃO DO SOLO

A erosão do solo constitui, sem dúvida, a principal causa da degradação acelerada das terras, sendo o seu conceito diferente de autor para autor. Nkeshimana (2008) refere-se à erosão como um processo de duas fases que consiste na separação de partículas da massa do solo e seu transporte por agentes erosivos, tais como água corrente e vento. Por outro lado, o Instituto de Pesquisa Tecnológica de São Paulo (1986) refere-se à erosão como um processo de desagregação e remoção de partículas do solo ou fragmentos de rocha, pela acção combinada da gravidade com a água, vento, gelo ou organismos, enquanto Mutchker et al. (1994) citado por Nkeshimana (2008), aponta como sendo a separação ou arrastamento de partículas do solo, distinguindo-a da deposição do sedimento ou sedimentação e transporte. Para Morgan (2005), a erosão do solo pode ser entendida como um processo insidioso, que ataca em primeiro lugar as camadas superficiais do solo, podendo causar posteriormente a diminuição da sua produtividade por períodos prolongados.

No contexto de Moçambique, o MICOA (2007) define a erosão do solo como um processo de separação, remoção, transporte e deposição de partículas de solo causado pela influência da chuva e vento, que pode ser acelerado pela actividade do Homem, destacando-se o abate de árvores, as queimadas descontroladas, as práticas agrícolas inadequadas e o uso e aproveitamento de terras em áreas propensas à erosão de solos. Esta é uma das maiores ameaças relacionadas com a perda da fertilidade do solo para a produção de alimentos e com a poluição dos ecossistemas aquáticos (IPT, 1986). Tais perdas são muito sensíveis ao clima e ao uso da terra (Licciardello et al., 2009), esperando-se um aumento com as alterações climáticas (Nearing et al., 2004).

Até ao momento, medições da erosão dos solos e produção de sedimentos são relativamente escassas e limitadas para regiões de reduzida dimensão, ou seja, grande parte dos estudos existentes focam-se em pequenas áreas e os resultados produzidos não são aplicáveis a nível do

país. Assim, a avaliação efectiva dos processos de erosão do solo é de uma grande importância para a gestão e prevenção de futuros problemas ambientais associados.

2.1.2 - TIPOS DE EROSÃO

Segundo Lima (1987), o estabelecimento de qualquer processo erosivo requer, antes de tudo, um agente (água ou vento) e o material (solo), sobre o qual agirá, desprendendo e desagregando as partículas e transportando-as. A interacção entre o material e o agente consiste na busca de um estado de um novo equilíbrio, antes desfeito de forma natural ou devido a acções antropogénicas.

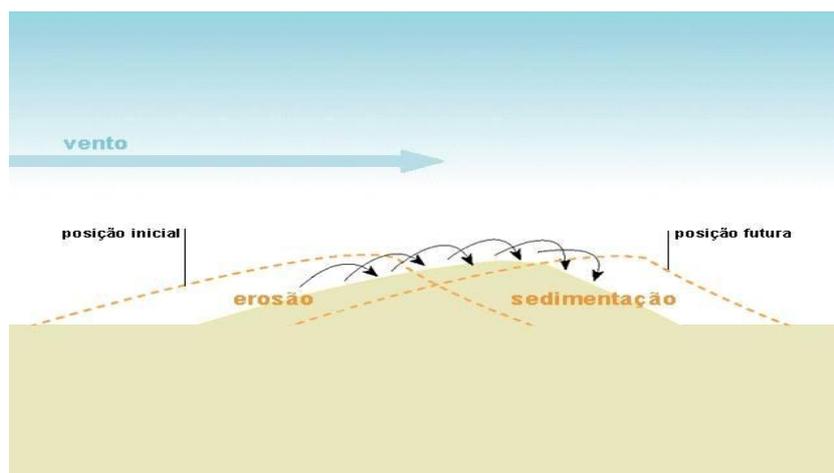


Fig. 2.1- Processo de erosão por acção do vento

Fonte: <http://defpraiasmatosinhos.no.sapo.pt/Dunas.htm>

Para Carvalho et al. (2006) a erosão é classificada quanto à forma como surge, e pode-se dividir em dois grandes grupos: a erosão natural ou geológica e a erosão antrópica ou acelerada, sendo a geológica ocasionada por factores naturais, enquanto a antrópica esta relacionada com a acção humana. O mais comum, no entanto, é classificar a erosão em dois grandes grupos: erosão hídrica e erosão eólica.

Embora sejam o vento e a água os agentes de maior importância no processo erosivo, neste trabalho foca-se a erosão acelerada provocada pela água, devido aos elevados danos que provoca na cobertura pedológica da paisagem, originando grandes prejuízos ao meio ambiente (Silva, 2000).

2.1.3 - EROSÃO HÍDRICA

É um processo físico de desagregação, transporte e deposição das partículas do solo, provocados pela acção da água das chuvas e do escoamento superficial (Cassol & Lima, 2003). O processo erosivo inicia-se com o impacto da massa de água com o solo, provocando o escoamento superficial, a partir da acumulação de água em volume suficiente para propiciar o transporte das partículas desagregadas (IPT, 1990), ou seja, a água cai sob forma de chuva e exerce acção erosiva sobre o solo que, estando desprotegido de vegetação ou mesmo de práticas conservacionistas, sofre uma

acção de desagregação com o impacto da gota de chuva, que depois o arrasta, principalmente durante os primeiros minutos da chuva. A quantidade de solo arrastado depende muito do seu tipo, do declive do terreno e da intensidade da chuva (CDASP, 2007).

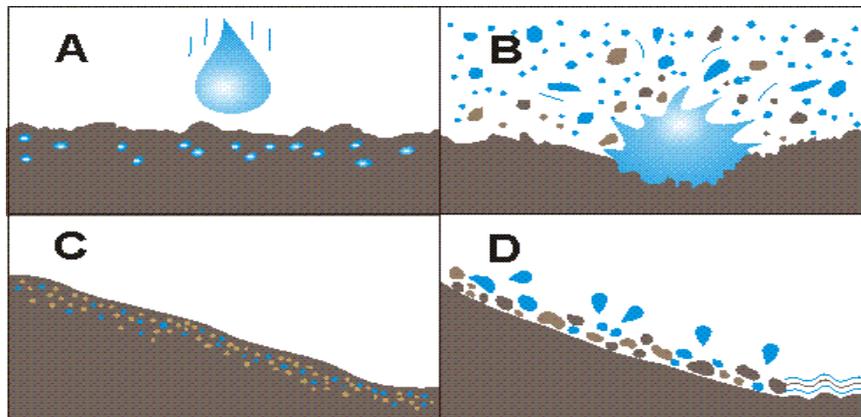


Fig. 2.2- Impacto da gota de chuva na superfície do solo

Fonte: Derpsch, R (2011)

Existem várias formas de erosão causadas pela água (Yoshioka, 2005), as quais são geralmente classificadas, segundo seu estágio de evolução, em erosão laminar, erosão em sulcos e erosão em ravinas (Carvalho et. al., 2001).

A erosão laminar surge do escoamento da água que não se infiltra. Ela está associada ao transporte, seja das partículas ou agregados desprendidos do solo pelo impacto das gotas de chuva, seja das partículas ou agregados arrancados pela força abrasiva desenvolvida entre a água e o solo. O poder erosivo da água em movimento e sua capacidade de transporte dependem da densidade e da velocidade de escoamento, bem como da espessura da lâmina de água e, principalmente, da inclinação da vertente. A formação de caminhos no fluxo superficial amplia o potencial de desprendimento e arrastamento das partículas de solo, dando, quase sempre, origem aos sulcos que evoluem para ravinas (Carvalho et al., 2006).

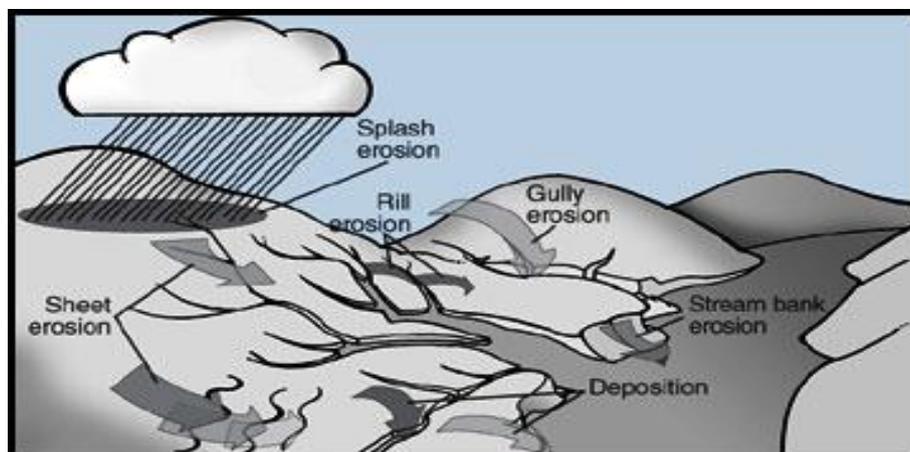


Fig. 2.3- Tipos de erosão hídrica

Fonte: Broz et al. (2011)

2.2 - Erosão dos solos em Moçambique

Grande parte do território moçambicano enfrenta problemas sérios de erosão, em particular a zona costeira. As razões para a ocorrência deste processo são diversas destacando-se a disposição do relevo (em forma de escadaria), actividade humana (maiores aglomerados populacionais que se localizam ao longo da faixa costeira), localização geográfica do país (susceptível aos eventos extremos), queimadas descontroladas, prática de agricultura e uso de terra para outros fins em locais susceptíveis à erosão, entre outras (Cuco, 2000).

Tendo em conta que a erosão constitui um processo dinâmico, a informação sobre os tipos de erosão carece de actualização permanente com vista à definição de acções prioritárias para áreas de risco. Em geral, a erosão dos solos tem a água como agente erosivo, provocando um escoamento superficial elevado, evoluindo, na maioria dos casos, para ravinas.

Os factores que estão na origem deste processo podem ser naturais ou antropogénicos. Das categorias naturais fazem parte a velocidade do vento, a precipitação, o aumento da temperatura atmosférica e o aumento do teor de gases de efeito estufa na atmosfera, enquanto nas categorias antropogénicas encontram-se o desflorestação para construção, para o aproveitamento do combustível lenhoso e outros fins, as queimadas descontroladas, a movimentação de veículos, a compactação pela maquinaria, o sobrepastoreio, a prática de agricultura de subsistência e a abertura de acessos (caminhos) (Cuco, 2000).

A velocidade com que o vento transporta as partículas do solo, depende do teor de humidade do solo e da taxa de cobertura do mesmo. Nas zonas áridas, quanto maior for a velocidade do vento maior é a distância de transporte das partículas do solo. Do mesmo modo, o transporte das partículas por escoamento superficial, aumenta com o aumento da intensidade de precipitação. O aumento do teor dos gases do efeito estufa está na origem do aquecimento global da terra. Ou seja, o seu aumento provoca alteração nos factores climáticos, incluindo o aumento da temperatura média do ar atmosférico. Este por sua vez tem grande influência na flora e fauna, através da diminuição da cobertura do solo e da actividade dos organismos no solo.

A desflorestação e as queimadas descontroladas não só aumentam a exposição do solo à acção das chuvas e do vento, como também provoca o aumento da desagregação das partículas do mesmo, através da diminuição da matéria orgânica. Por outro lado, a movimentação de veículos, o uso de equipamento agrícola e o pisoteio provocam a compactação da superfície do solo e, no caso de equipamentos de preparação dos solos, a incorporação dos resíduos vegetais elimina a cobertura dos solos e diminui a taxa de infiltração dos mesmos (Duley, 1939). À semelhança do uso de equipamentos agrícolas, o sobre pastoreio pode provocar a diminuição da cobertura do solo, deixando-o vulnerável à acção dos agentes erosivos.

A prática da agricultura de uma forma inadequada ocorre em zonas em que a população não tem capacidades para assegurar um conjunto de condições mínimas básicas. Sendo a agricultura um

sector de desenvolvimento económico do país, existe cada vez mais pessoas a praticar esta actividade de forma descontrolada, como forma de sustento da família.

2.3 - Modelos de erosão dos solos

A validade de um modelo é assegurada pela capacidade de atingir a sua finalidade (Toy et al., 2002). Os recursos necessários para o modelo, a disponibilidade de dados de entrada, a facilidade de uso e a robustez do mesmo, igualmente contribuem para a sua avaliação. Uma das características primordiais de um modelo é a sua facilidade do uso, ou seja, um modelo mesmo que produza resultados precisos, se for difícil de usar, os utilizadores muitas vezes preferem a facilidade de uso, em vez da precisão dos resultados.

Nas últimas décadas, foram desenvolvidos vários modelos para a melhoria dos conhecimentos sobre os processos de erosão do solo. Estes modelos são utilizados para a previsão da perda do solo e a produção de sedimentos em áreas de reduzida dimensão. De acordo com Bhattarai et al. (2008), os modelos actualmente disponíveis, dividem-se em dois grupos: empíricos e orientados para os processos. O primeiro grupo baseia-se em medições em bacias hidrográficas ou terrenos de pequena área e na sua extrapolação para grandes áreas (Kinnell, 2008), como a *RUSLE2* (Foster, 2005), *WATEM* (Van Oost et al., 2000), *AnnAGNPS* (Bingner, 2001) ou *AGNPS-UM* (Kinnell, 2005). Esses modelos têm uma origem comum: todos incluem uma versão adaptada da equação empírica (*R*)*USLE* (Wischmeier & Smith, 1978; citado por Renard et al., 1997). São amplamente aceites pela sua simplicidade e disponibilidade relativa de parâmetros. Contudo apresentam duas grandes desvantagens quando usados em bacias hidrográficas de grande dimensão: a impossibilidade de prever a deposição de sedimentos (Renard et al., 1997), e a dificuldade de cálculo de parâmetros topográficos (Hickey, 2000).

O segundo grupo é composto por modelos baseados em princípios físicos. Modelos como *EUROSEM* (Morgan et al., 1998), *EROSION-3D* (Schmidt, 1999), *LISEM* (De Roo et al., 1996), *WEPP* (Flanagan, 1995) e *SWAT* (Neitsch et al., 2005) estão entre os modelos de processos que se encontram em contínuo desenvolvimento. Estes modelos são geralmente exigentes em termos de dados e de computação, o que limita a sua ampla aplicabilidade na prática de gestão, sendo no entanto ferramentas com um elevado potencial, particularmente com a evolução do conhecimento de ensaios em laboratório (Kirkby et al., 1998).

Caracteriza-se assegurar alguns dos modelos de predição de perdas de solo baseados em dados empíricos.

2.3.1 - WATEM/SEDEM

O modelo WATEM/SEDEM foi criado no Laboratório de Geomorfologia Experimental (KU Leuven, Bélgica). Dentro do modelo WATEM/SEDEM, a determinação da perda de solo é baseada no modelo *RUSLE* (Renard et al., 1997). Para além da perda de solo, o modelo calcula a quantidade de sedimentos que é exportado para as águas superficiais, tendo em conta a possível deposição de

sedimentos. Esta deposição é controlada por uma capacidade de transporte, que é calculada para cada parcela estudada (WATEM/SEDEM, 2006).

2.3.2 - AGNPS

AGNPS é um modelo de distribuição baseado em eventos que simulam o escoamento superficial de sedimentos e transporte de nutrientes, principalmente a partir de bacias hidrográficas. Os nutrientes incluem o azoto e fósforo, ambos essenciais para as plantas e principais contribuintes para a poluição das águas superficiais. O modelo usa equações e metodologias que estão bem estabelecidas e amplamente utilizados por agências como o Serviço de Conservação do Solo da United States Department of Agriculture (USDA).

Através da interface AGNPS/RAISON é possível extrair automaticamente a informação necessária para calcular os dados de entrada do modelo. No modelo, algumas variáveis são relacionadas com a topografia, enquanto outras são em função do tipo e uso do solo. A extracção automática dos dados, incluídos na interface AGNPS, requer um Modelo Digital do Terreno, informação sobre o tipo de solo e sistema de uso do mesmo (Bingner, 2001).

2.3.3 - USLE/RUSLE1/RUSLE2

A USLE, desenvolvida por Wischmeier & Smith (1978), é o modelo empírico de erosão do solo mais utilizado em todo o Mundo. A sua ampla utilização na planificação e gestão de terras, na estimativa da perda anual do solo, bem como a simplicidade de aplicação e disponibilidade de dados, permite uma aplicação praticamente universal, o que faz com que se torne, de acordo com a Sociedade Internacional de Conservação do Solo e da Água, uma ferramenta fundamental para fins de planeamento (Tánago, 1991). Tem sido uma ferramenta inestimável para inventariação dos recursos naturais em vários países, sendo usada na análise dos efeitos da erosão sobre a produtividade das culturas.

Para aperfeiçoar ou adaptar a formulação da USLE para outras finalidades, foram introduzidas modificações em alguns de seus factores. Exemplos mais conhecidos destes são a MUSLE (Williams, 1975), desenvolvida para a predição da entrada de sedimentos, e a RUSLE (Renard et al., 1997), uma actualização da USLE, modificando os factores K, C e LS.

Estas equações são usadas para estimar a erosão com base em condições específicas do local como alternativas de controlo de erosão. O objectivo actual de conservação do solo é a protecção contra a erosão acelerada, mesmo quando o objectivo principal é o controlo da deposição de sedimentos num determinado local.

Segundo Wischmeier & Smith, (1978), citado por Beskow et al. (2009), matematicamente a equação de perda de solo é denotada como:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \dots \dots \dots (1)$$

Onde:

- A – perda de solo média anual [t/ha];
- R – factor erosividade da chuva [MJ mm/(ha h)];
- K – factor erodibilidade do solo [(t h)/(MJ*mm)];
- L – factor comprimento da vertente [adimensional];
- S – factor declive [adimensional];
- C – cobertura do solo [adimensional];
- P – prática de controlo de erosão [adimensional].

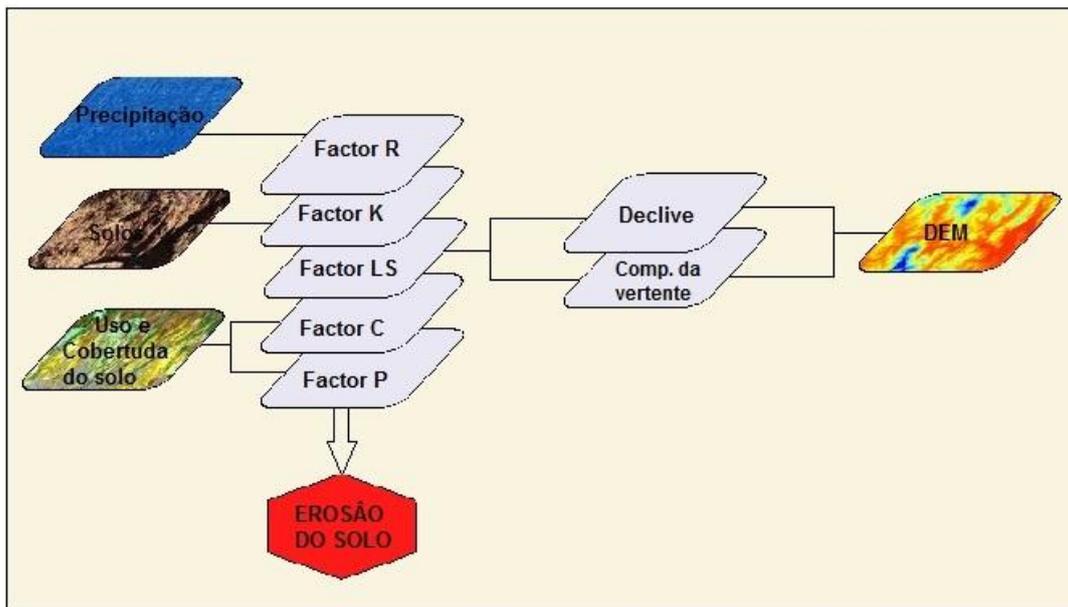


Fig. 2.4- Ilustração da aplicação da USLE

Fonte: Adaptado de Silva (2011)

2.3.4 - SLEMSA

O modelo de estimativa de perdas do solo para a África Austral (SLEMSA) foi inicialmente desenvolvido para as condições do Zimbabwe, por Elwell (1978), para prever, a longo prazo, a perda anual de solo por erosão em sulcos em áreas agrícolas de pequena escala, para determinadas combinações de condições físicas e de gestão (Schulze, 1979). Desde então, tem sido amplamente usado para prever a perda de solo em ambientes africanos (Elwell & Stocking, 1982). O SLEMSA é essencialmente um modelo para a estimativa de remoção do solo. No entanto, pode ser considerado como um modelo útil na diferenciação de áreas de elevado ou baixo potencial de erosão (Schulze, 1979).

As variáveis de controlo de erosão importantes que foram identificados e expressas numericamente (Elwell, 1978) no modelo SLEMSA incluem a energia cinética da chuva, a cobertura vegetal, o índice

de erodibilidade do solo, o declive e o comprimento da vertente. Essas variáveis foram combinadas em três factores, formando o modelo SLEMSA:

$$Z = K \times X \times C \dots\dots\dots (2)$$

Onde:

- Z – perda anual de solo [t/ha];
- K – média de perda anual de solo [t/(ha ano)];
- X – factor topográfico [adimensional];
- C – cobertura do solo [adimensional].

2.4 - Potencial Natural de Erosão

A avaliação do risco de erosão tem sido tradicionalmente realizada pela aplicação de um dos muitos modelos matemáticos disponíveis (Boardman et al., 2009). A presente abordagem considera três recursos elementares envolvidos no processo de erosão: o clima, o relevo e o solo. Esta abordagem é o Potencial Natural de Erosão do Solo, que é definido como o risco inerente de erosão, independentemente do uso actual da terra ou cobertura vegetal (Grimm et al., 2002).

Segundo Bueno & Stein (2005), o Potencial Natural à Erosão Laminar representa a interacção dos principais factores naturais do meio físico intervenientes no processo da erosão laminar. Isto corresponde às estimativas de perda de solo em áreas destituídas de cobertura vegetal e de intervenção antrópica. Os mesmos autores afirmam que os valores não devem ser observados quantitativamente, no entanto, pode ser feita uma ordenação qualitativa, distinguindo os níveis potenciais de erosão laminar.

O PNE é calculado utilizando os factores relacionados com o ambiente físico (erosividade da chuva, erodibilidade do solo e factor topográfico) da USLE. Os factores C e P (Equação 1), relacionados com a influência antrópica, não são considerados. Assim, o modelo de PNE dado por Bueno & Stein (2005) é o seguinte:

$$PNE = R \times K \times LS \dots\dots\dots (3)$$

Onde:

- PNE – potencial natural de erosão [t/ha];
- R – factor erosividade da chuva [MJ mm/(ha h)];
- K – factor erodibilidade do solo [(t h)/(MJ*mm)];
- L – factor comprimento da vertente [adimensional];
- S – factor declive [adimensional].

2.4.1 - EROSIVIDADE (R)

O processo de perda de solo está intimamente relacionado com a precipitação, por um lado pelo impacto da gota de chuva ao atingir a superfície do solo e, por outro, através da contribuição da

chuva no escoamento superficial (Morgan, 1994). Quanto maior for a precipitação maior será o escoamento superficial, aumentando assim a susceptibilidade de desprendimento e transporte das partículas do solo.

A erosividade da chuva é definida como a capacidade potencial que a precipitação tem de causar erosão e é uma função das características físicas das chuvas. Esta função é chamada de índice de erosividade das chuvas (R) e representa a distribuição espacial e temporal das chuvas, por isso é considerado neste estudo como parâmetro de entrada importante para a modelação da erosão.

Existem vários valores experimentais para o factor R, os quais variam com o autor e a área de estudo. Na Tabela 2.2 estão apresentadas algumas formas de cálculo em que este depende de valores da precipitação anual (P), da precipitação média anual (MAR), da precipitação média mensal (p) ou do índice de Fournier (F).

Tabela 2.1- Formas de determinação do factor R

Referência	Relação entre R e P ou R e F
Arnoldous (1980)	$R = (4.17F - 152) / 17.02$
Arnoldous (1980)	$R = 4.17F - 152$
YU & Rosewell (1996)	$R = 3.82 F^{1.41}$
Arnoldus (1977)	$R = 0.302 F^{1.93}$
Renald & Freimun (1994)	$R = 0.739F^{1.847}$
Renald & Freimun (1994)	$R = 0.0483P^{1.61}$
Roose (1991)	$R = P \times 0.5$
Kassam et al. (1992)	$R = 117.6 (1.00105 (MAR^*))$ para <2000mm
Samuel (1997)	$R = -295 + 12.2p$
Singh et al.(1981)	$R = 79 + 0.363P$

Fonte: Adaptado de Kassam (1992)

2.4.2 - ERODIBILIDADE DO SOLO (K)

Esse factor reflecte a sensibilidade dos diferentes tipos de solo à erosão. É considerado como uma propriedade inerente do solo com um valor constante para um dado tipo de composição física e química do solo (profundidade, textura, teor de matéria orgânica, etc.).

O factor de erodibilidade do solo (K) é melhor obtido a partir de medições directas em parcelas de escoamento natural. Estudos de simulação de chuva são pouco precisos, e as relações de previsão são ainda menos precisas (Romkens, 1986). Portanto, muita atenção tem sido dada à estimativa da erodibilidade do solo a partir de atributos do mesmo, tais como a distribuição granulométrica, o teor de matéria orgânica, a estrutura do solo e a permeabilidade do mesmo (Wischmeier et al., 1971).

A Figura 2.5 representa o nomograma usado para determinar o factor K para um solo, com base na sua textura, teor de matéria orgânica e permeabilidade.

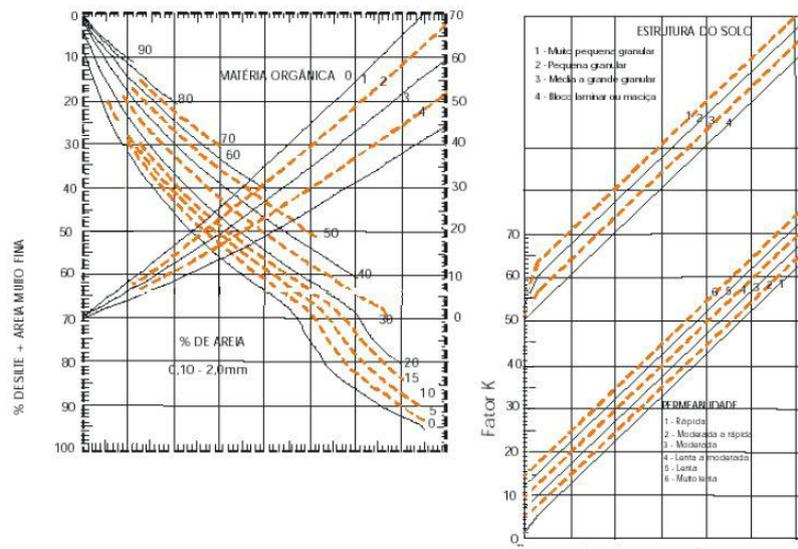


Fig. 2.5- Nomograma de Wischmeier & Smith (1978) para a determinação do factor K

Fonte: Domingos (2006)

2.4.3 - DECLIVE (S) E COMPRIMENTO DA VERTENTE (L)

O declive e o comprimento da vertente (S e L, respectivamente) representam o efeito da topografia na erosão do solo. Podem ser estimados através de medições de campo ou de um Modelo Digital do Terreno (MDT). O comprimento da vertente é definido como a distância da fonte de escoamento até o ponto onde começa a deposição. A interacção declive e comprimento da vertente têm um efeito sobre a magnitude da erosão. Como resultado dessa interacção, o efeito do comprimento da vertente e do grau de inclinação devem ser sempre considerados em conjunto (Edwards, 1987).

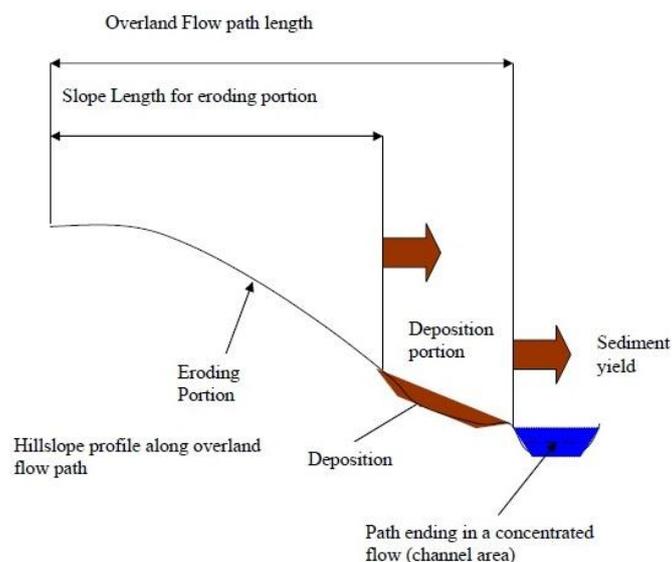


Fig. 2.6- Esquema representativo do declive, comprimento da vertente, zonas de deposição e sedimentação das partículas do solo

Fonte: Esther (2009)

Com a incorporação de Modelos Digitais do Terreno em SIG, o gradiente de inclinação (S) e comprimento da vertente (L) podem ser determinados com precisão e combinados para formar um único factor conhecido como o factor topográfico LS. A precisão com a qual pode ser estimado depende da resolução do Modelo Digital do Terreno (MDT).

2.5 - SIG

Segundo Matos (2008), um Sistema de Informação Geográfica é um conjunto de informação contendo informação cuja dimensão espacial está associada à sua localização na superfície da terra, em um determinado período de tempo. Este é composto por uma base de dados, *software*, hardware, procedimentos e recursos humanos. Marcellini (2002), no seu trabalho, detalha a importância dos SIG na planificação urbana, em pesquisas de mercado, cartografia, controlo de cheias, engenharia sanitária, planificação de transporte, processamento de imagens de satélite, navegação, gestão e planificação do uso do solo, na agricultura, na fotogrametria, foto interpretação, recursos hídricos, análise dos recursos ambientais e na administração dos recursos naturais. Para Marcellini (2002), o *software* SIG apresenta as seguintes funcionalidades:

I - Entrada de dados

Converte os dados da forma de origem para um formato compatível com os SIG. Esta é uma das fases mais demoradas na integração de um sistema a um *software* SIG e muitas vezes compromete a evolução do trabalho. Por este motivo, os métodos de entrada de dados e o padrão de qualidade dos dados devem ser cuidadosamente considerados.

II - Gestão dos dados

Inclui funções necessárias para armazenar e recuperar os dados da base de dados. Aqui, os métodos utilizados para implementar as funções afectam o desempenho das operações com os dados. O modo como os dados são armazenados e a estrutura dos mesmos, afectam a recuperação e a velocidade da mesma. Portanto, é importante a avaliação de um especialista em banco de dados para se ter um bom desempenho nesta fase.

III - Análise e modelação

Esta fase inclui a estatística espacial, a transformação e manipulação dos dados e determina a informação que pode ser gerada pelos SIG.

IV - Saída dos dados

As funções que geram os relatórios de saída de um *software* SIG variam em qualidade, precisão e facilidade de uso e na capacidade disponível. Os resultados podem ser gerados na forma de mapas, tabelas ou relatórios. As funções necessárias são determinadas pelas necessidades dos utilizadores.

2.6 - Análise espacial

Segundo Teixeira et al. (1997), a análise espacial é muitas vezes definida como uma série de técnicas para analisar eventos geográficos. Um evento geográfico é um conjunto de pontos, linhas ou

áreas, localizados num espaço geográfico o qual está relacionado a um ou mais valores de atributo. A análise espacial tem como objectivos efectuar a descrição precisa e exacta de eventos num espaço geográfico, explorar sistematicamente modelos de eventos e associá-los no espaço para obter um melhor entendimento dos processos e melhorar a capacidade de prever e controlar eventos que acontecem no espaço geográfico.

Em ambientes SIG, a análise espacial engloba quatro funções principais que vão desde a pesquisa da informação para a realização de operações (pesquisa gráfica e pesquisa de atributos), a função de sobreposição de mapas, as análises de vizinhança e a análise de conectividade. Estas funções tornam a análise espacial uma ferramenta de grande auxílio em modelos de tomada de decisão, como é o caso dos modelos ambientais.

2.6.1 - MODELAÇÃO AMBIENTAL

A modelação ambiental é uma ferramenta que consiste na construção de modelos matemáticos, através das diferentes características e atributos ambientais como forma de representação e simulação de comportamentos de processos que ocorrem na natureza. Os processos ambientais são dinâmicos, aleatórios, sofrem interferência de inúmeros factores e são tridimensionais, portando são de grande complexidade, e por esse motivo os modelos se tornam apenas uma representação da realidade (Poletti, 2010).

Os modelos ambientais ajudam a prever os acontecimentos e auxiliam na tomada de decisão sobre vários acontecimentos. A partir de um único sistema, ou área em estudo é possível obter diversos modelos, com visões ou variáveis diferentes.

Na definição de um modelo é necessário a formulação do problema e definição dos objectivos a atingir. Por outro lado, é importante conhecer as características do local onde se pretende aplicar o modelo e as variáveis que influenciam os resultados.

2.6.2 - SIG E MODELOS DE EROÇÃO DOS SOLOS

O SIG é uma ferramenta muito útil para lidar com o grande número de dados espaciais e a relação de várias fontes no processo de modelação de erosão. Existem algumas vantagens de ligar modelos de erosão do solo a um ambiente SIG, como o que se segue:

A possibilidade de rapidamente produzir dados de entrada para simular diferentes cenários.

Os SIG fornecem uma importante função para georreferenciar e sobrepor dados espaciais para desenvolver modelos de entrada de dados em várias escalas (Sharma et al., 1996).

A capacidade de utilização de uma área de captação muito grande, com muitas células, tornando a simulação mais precisa (De Roo, 1996).

A facilidade de exibir os resultados do modelo. A visualização pode ser usada para exibir e animar sequências de imagens de saída do modelo ao longo do tempo e do espaço.

3 - LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Neste capítulo caracteriza-se a área do Distrito de Sussundenga, incluindo os vários dados necessários para a análise da erosão dos solos. Informações como a localização geográfica, dados climáticos, caracterização dos solos e altitude são importantes para a determinação dos factores que participam na modelação da erosão.

3.1 - Localização

Moçambique situa-se na Costa Oriental da África Austral, entre os paralelos 10° 27' e 26° 52' de Latitude Sul e os meridianos 30° 12' e 40° 51' de Longitude Este. A Norte faz fronteira com a República da Tanzânia, a Oeste com Malawi, Zâmbia, Zimbabwe, África do Sul e Swazilândia, a Sul com a África do Sul e a Este é banhado pelo Oceano Índico. O país ocupa uma área de cerca de 799.380 km², dos quais cerca de 786.380 km² são de terra firme e 13.000 km² de águas superficiais. O clima é tropical húmido com duas estações distintas: a estação seca ou de inverno e a estação chuvosa ou de verão. O relevo moçambicano é marcado pela presença de zonas planas baixas nas regiões costeiras, registando-se um aumento de altitude à medida que se caminha para o interior e para o norte do país. A altitude média é de 370 m. As zonas de maior altitude (Zona montanhosa de Manica, Alta Zambézia, Planaltos de Angónia, Marávia e Lichinga) são também zonas de maiores precipitações (Sætre et al., 1979).

3.1.1 - DISTRITO DE SUSSUNDENGA

Sussundenga localiza-se na província de Manica, entre as latitudes 19° 00' e 20° 30' Sul e longitude 32° 30' e 34° 00' Este. Faz fronteira a Norte com os Distritos de Manica e Gondola através dos rios Revué e Zònue, a Sul com o Distrito de Mussurize e a Província de Sofala, a Este com o Distrito de Buzi (Província de Sofala) e a Oeste com a República do Zimbabwe (Famba, 2011).

A área total do Distrito de Sussundenga é de 7060 km² e estende-se por cerca de 100 km de Oriente para Ocidente e por cerca de 120 km de Norte a Sul.

De acordo com o censo de 1997, o Distrito tem 92 622 habitantes, resultando uma densidade populacional de 13,1 habitantes/km². É um Distrito com grande potencial agrícola, sendo considerado o celeiro da Província de Manica. É também o maior centro de ecoturismo pois é onde se localiza o ponto mais alto do país, o Monte Binga (MAE, 2005).

O Distrito está dividido em quatro postos administrativos, compostos pelas seguintes localidades: Posto Administrativo de Dombe, Posto Administrativo de Muhoa, Posto Administrativo de Rotanda e Posto Administrativo de Sussundenga.

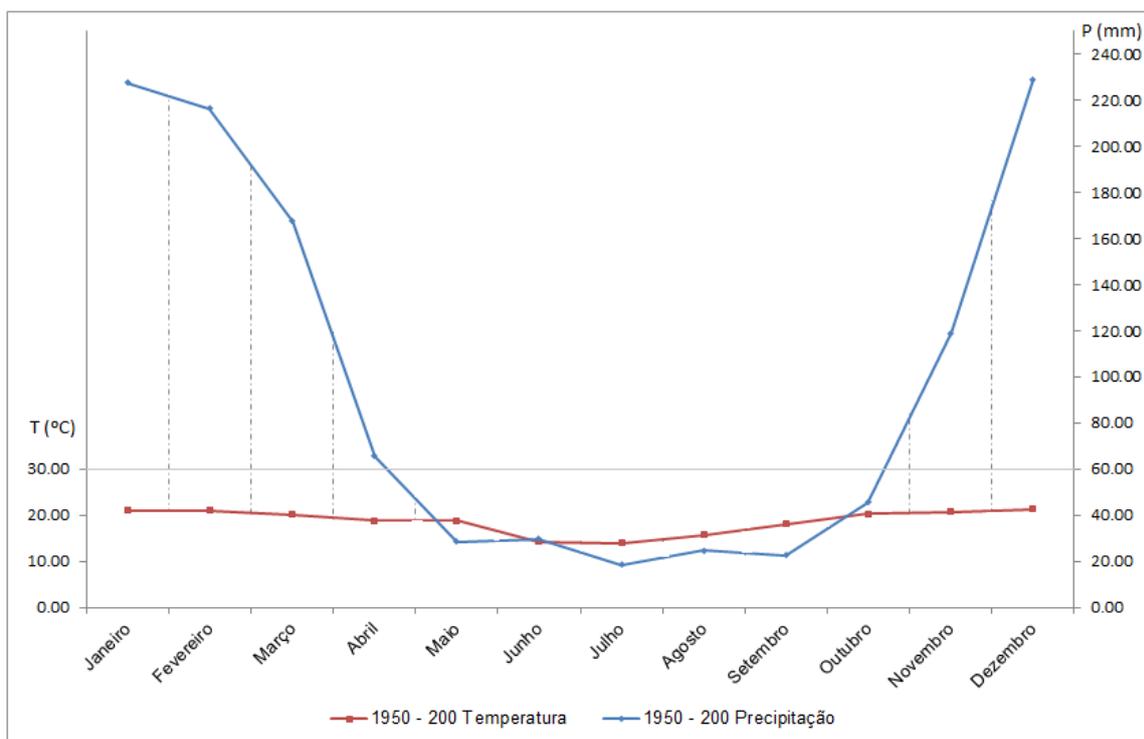


Fig. 3.2- Variação da precipitação e temperatura mensal do Distrito de Sussundenga considerando os valores médios dos postos administrativos no período de 1950 a 2000.

A Ocidente do Distrito ao longo da fronteira com o Zimbabwe existe uma zona de montanhas (Maciço de Chimanimani) com picos que se elevam acima de 1500 m e que cobre uma superfície de cerca de 1050 km², onde se localiza o ponto mais alto de Moçambique, o monte Binga com 2436 m de altitude.

Os solos predominantes são os Leptosolos, ocorrendo maioritariamente nas zonas montanhosas. Os Arenosolos ocupam também grandes áreas nos postos administrativos de Dombe, Rotunda e Muhoa. Os Ferralsolos e Acrisolos ocupam pequenas áreas na zona mais central do Distrito, enquanto os Haplic Arenosolos, os Cambisolos, os Lixisolos e os Fluvisolos aparecem predominantemente mais a Sul, com maior abundância no posto administrativo de Dombe.

O Distrito de Sussundenga é um dos Distritos definidos como prioritários na estratégia de desenvolvimento nacional. Na planificação e realização das actividades, o sector agrário do Distrito baseia-se nas políticas nacionais e prioridades reflectidas no PROAGRI (MAE, 2005).

4 - MATERIAL E MÉTODOS

Este capítulo descreve os procedimentos do modelo USLE e a metodologia usada para estimar os três parâmetros necessários na determinação do PNE. A metodologia foi desenvolvida em ambiente SIG, com base na informação de dados climáticos, classes de altitude, cartografia dos solos e resultados de outros estudos relevantes. Arquivos em SIG foram criados para cada factor e combinados por meio de processos de modelação em ArcGis 10 para prever a perda de solo em um domínio espacial.

4.1 - Material

Várias fontes de dados foram usadas para analisar a perda de solo no Distrito de Sussundenga. O MDT com a resolução de 90 metros, produzido pela NASA, foi usado para o cálculo do declive e o comprimento da vertente da área de estudo. A cartografia dos Solos na escala 1:1.000.000, elaborado pelo INIA (actualmente IIAM), foi usado para a determinação do factor K que explica a erodibilidade dos solos. A análise da erosividade das chuvas, factor R, foi feita com base na precipitação média mensal de um período de 50 anos (de 1950 a 2000), disponíveis no mapa global de clima, com a resolução de 1 quilómetro quadrado.

4.1.1 - PRECIPITAÇÃO

WorldClim é um conjunto de informação de clima global com uma resolução espacial de trinta arc segundo (aproximadamente 1 quilómetro quadrado), que podem ser usadas para o mapeamento e modelação espacial em SIG ou outros programas computacionais. Foi desenvolvido no Museu de Zoologia de Vertebrados da Universidade da Califórnia, em colaboração com CIAT e Rainforest CRC, onde os dados foram gerados por interpolação de médias mensais de registos climáticos de várias estações. As variáveis incluídas são a precipitação média mensal, a temperatura média, mínima e máxima, e 19 variáveis bioclimáticas derivadas em um período de 50 anos a partir de 1950.

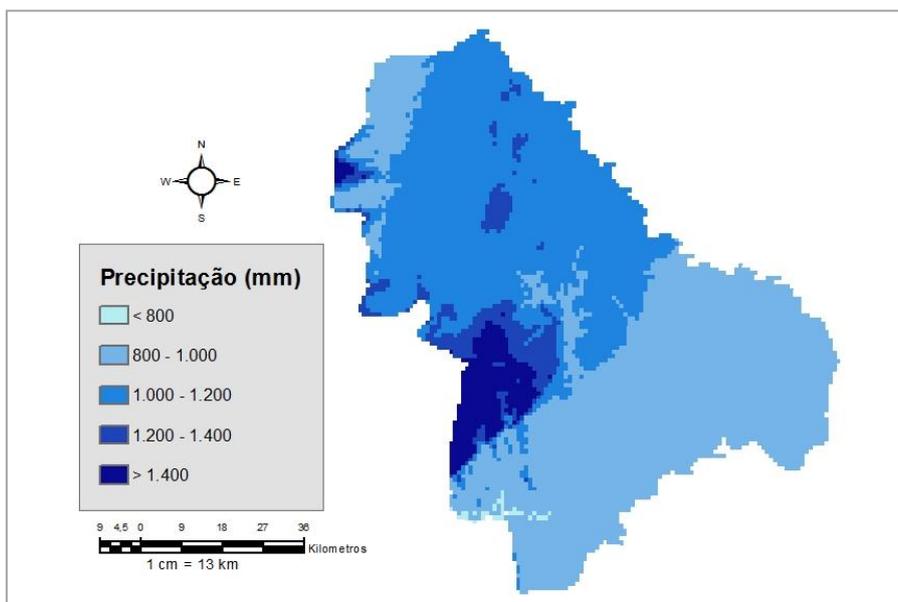


Fig. 4.1- Distribuição espacial da precipitação média anual no Distrito de Sussundenga

4.1.2 - HIPSOMETRIA

O Modelo Digital do Terreno SRTM, produzido originalmente pela NASA, é um grande avanço no mapeamento digital do mundo, e na acessibilidade dos dados de alta qualidade de elevação para grande parte dos trópicos e outras áreas do mundo em desenvolvimento. Esses dados foram desenvolvidos como um esforço para promover o uso da ciência e aplicações geoespaciais para o desenvolvimento sustentável e a conservação dos recursos naturais.

O MDT SRTM 90 m está disponível em três arc segundo no equador, ou seja, tem uma resolução aproximada a 90 m (CGIAR-CSI).

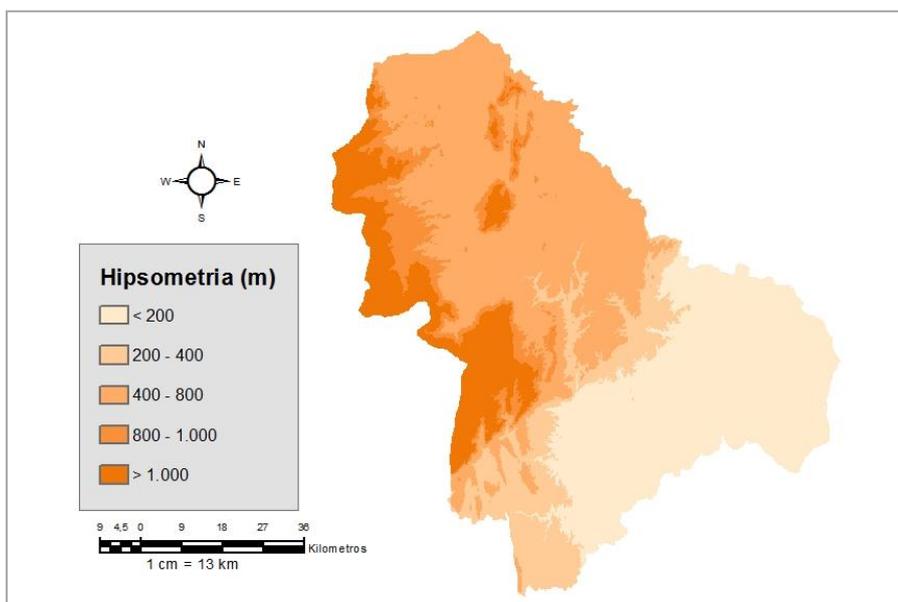


Fig. 4.2- Classes de hipsometria do Distrito de Sussundenga

4.1.3 - SOLOS

A inventariação dos recursos de solos de Moçambique, com o objectivo de divulgar a distribuição geográfica dos diferentes tipos de solos e estabelecer alguns instrumentos de auxílio na planificação e definição de projectos regionais de desenvolvimento, teve início na década 60 (IIAM, 1995). O processo passou por várias etapas, dentre as quais se destacam algumas compilações da informação existente de modo a produzirem-se cartas de solos, nacionais e regionais, à escala adequada ao grau de detalhe da informação disponível. A Cartografia dos Solos de Moçambique, na escala 1:1.000.000, foi feita pelo Departamento de Terra e Água do IIAM e se encontra subdividida por Províncias, para que a informação seja mais acessível aos diferentes utilizadores (IIAM, 1995).

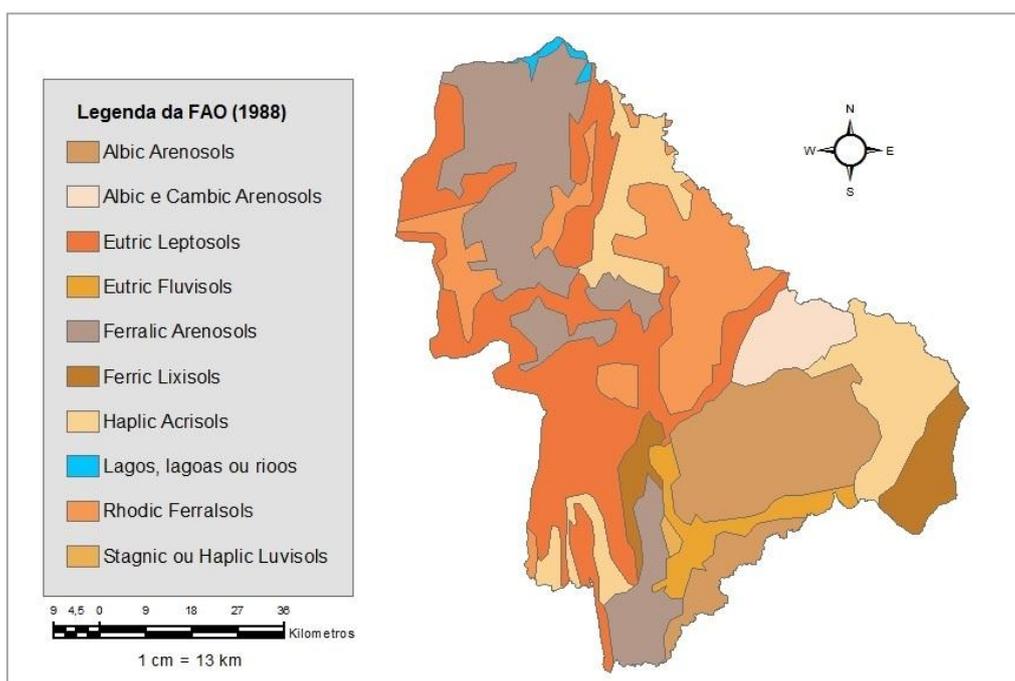


Fig. 4.3- Distribuição espacial dos principais tipos de solo que ocorrem no Distrito de Sussundenga

4.2 - Análise e Processamento dos dados

Esta fase teve lugar no Departamento de Recursos Naturais, Ambiente e Território (DRAT) do Instituto Superior de Agronomia (ISA), da Universidade Técnica de Lisboa (UTL), e consistiu na introdução e análise dos dados para se alcançar os objectivos do trabalho. De acordo com a natureza dos dados e recursos disponíveis, escolheu-se o Software ArcGis 10 como plataforma para a análise e a metodologia definida foi a aplicação da USLE, usando apenas os parâmetros relacionados com o ambiente físico (Figura 4.4).

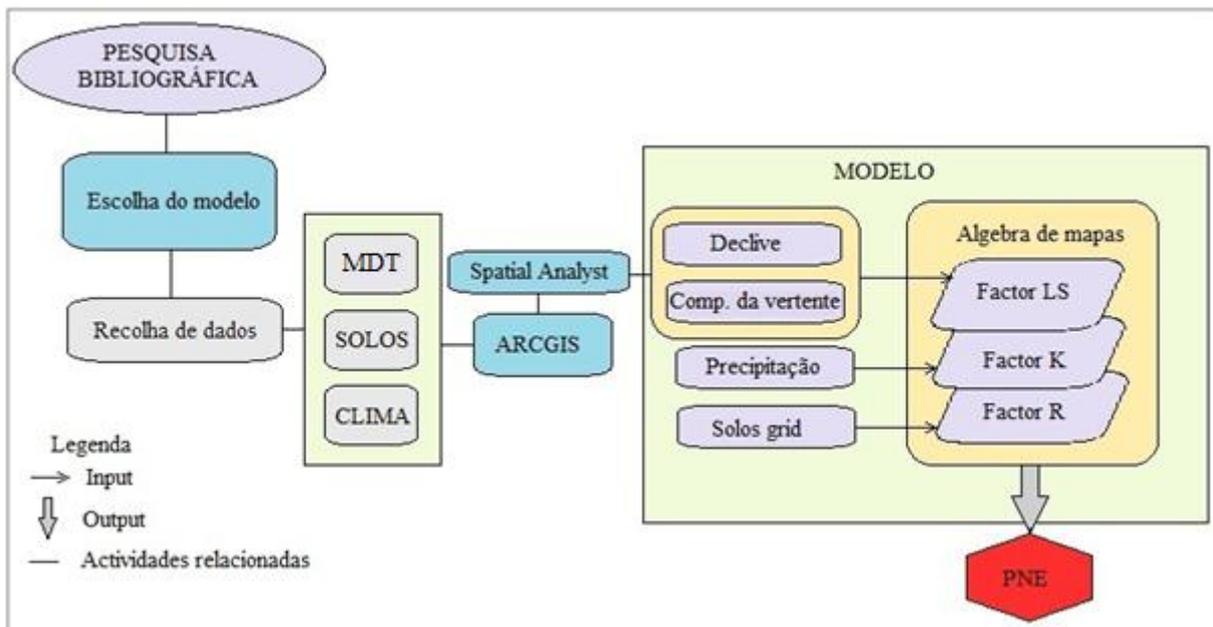


Fig. 4.4 – Esquema geral da metodologia de trabalho

4.2.1 - ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS

A análise dos dados foi feita no *software* ArcGis 10, onde os dados acima mencionados foram processados usando a extensão Spatial Analyst. Esta extensão fornece uma variedade de ferramentas de análise e modelação espacial (ESRI, 2010).

4.2.1.1 - EROSIVIDADE DA CHUVA (R)

O cálculo do factor de erosividade (R) é relativamente complexo e carece de registos udográficos de grande precisão, correspondendo à média anual da soma dos índices de erosividade EI30 para todos os eventos de precipitação que ocorrem durante o ano. Só são considerados no cálculo do índice EI30 os eventos pluviométricos de altura superior a 12,5 mm em que não existam intervalos de mais de seis horas sem precipitação, a não ser que pelo menos 6,5 mm ocorram em 15 minutos (Wischmeier & Smith, 1978). Uma vez que este tipo de dados não existe para as estações meteorológicas e postos udométricos da área de estudo, usou-se para a determinação do factor R, a equação 4, proposta por Cordeiro (1996), citado por Samuel (1997). Esta equação foi obtida por correlação entre valores observados de precipitação nas províncias de Maputo e Beira e os índices de erosividade obtidos nessas áreas, com o objectivo de desenvolver um método expedito para a determinação do factor R em estudos futuros.

$$R = -295 + 10.2 * p_i \dots \dots \dots (4)$$

Onde:

p_i – precipitação média mensal (mm)

Os dados de precipitação, para serem usados na determinação do índice de erosividade, foram processados usando a álgebra de mapas, com a finalidade de produzir mapas de valores da precipitação dos meses mais chuvosos (Figura 4.5).

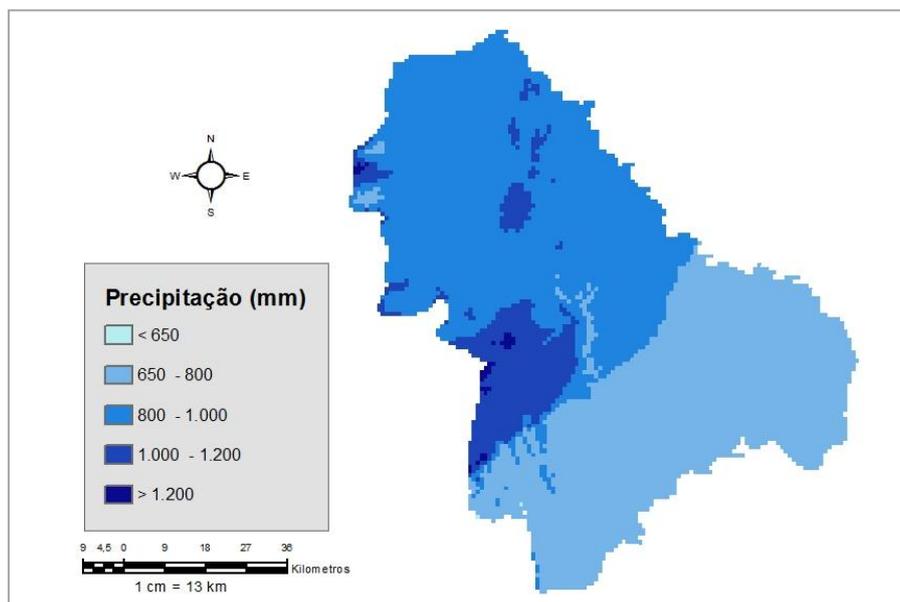


Fig. 4.5 - Distribuição espacial da precipitação média dos meses compreendidos entre Novembro a Março, inclusive (época das chuvas)

Fez-se o somatório dos valores de R dos meses que vão de Novembro a Março, de forma a obter o factor de erosividade para a área em estudo.

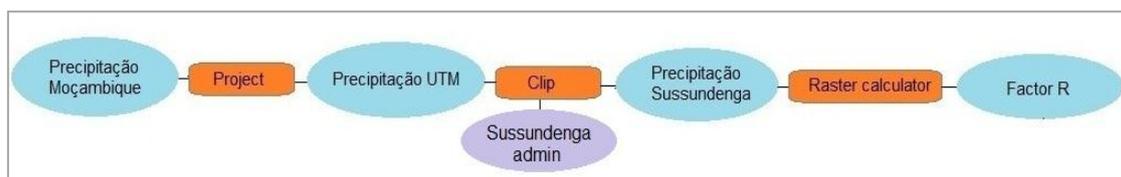


Fig. 4.6 – Determinação do factor R em ambiente SIG

Os valores de R por sua vez foram classificados de acordo com a intensidade, conforme a Tabela 4.1.

Tabela 4.1- Classes do índice de erosividade das chuvas obtido através do cálculo do factor R

Valores de R	Grau de Erosividade
< 5000	Fraco
5000 - 7500	Moderado
7500 - 10000	Forte
> 10000	Muito Forte

Fonte: (Chueh, 2004).

4.2.1.2 - ERODIBILIDADE DO SOLO (K)

Embora exista escassa informação sobre as formas de determinação do factor K para os solos de Moçambique, usou-se neste estudo a metodologia proposta por Stone (2000) (Tabela 4.2), em que o valor do factor erodibilidade é determinado a partir da classe de textura do solo seguindo a legenda da FAO (1983) e o teor de matéria orgânica.

Tabela 4.2-Valores do factor K em função da textura e do teor de matéria orgânica do solo

Classes de textura do solo	Teor de matéria orgânica		
	Média	< 2 %	> 2 %
Argiloso	0.22	0.24	0.21
Franco argiloso	0.30	0.33	0.28
Franco	0.30	0.34	0.26
Arenoso franco	0.04	0.05	0.04
Arenoso	0.02	0.03	0.01
Franco argilo arenoso	0.20	—	0.20
Franco arenoso	0.13	0.14	0.12
Franco limoso	0.38	0.41	0.37
Argilo limoso	0.26	0.27	0.26
Franco argilo limoso	0.32	0.35	0.30

Fonte: Stone (2000)

A informação sobre o teor de matéria orgânica foi extraída da cartografia dos solos em que se atribuiu duas classes, segundo a tabela 4.2

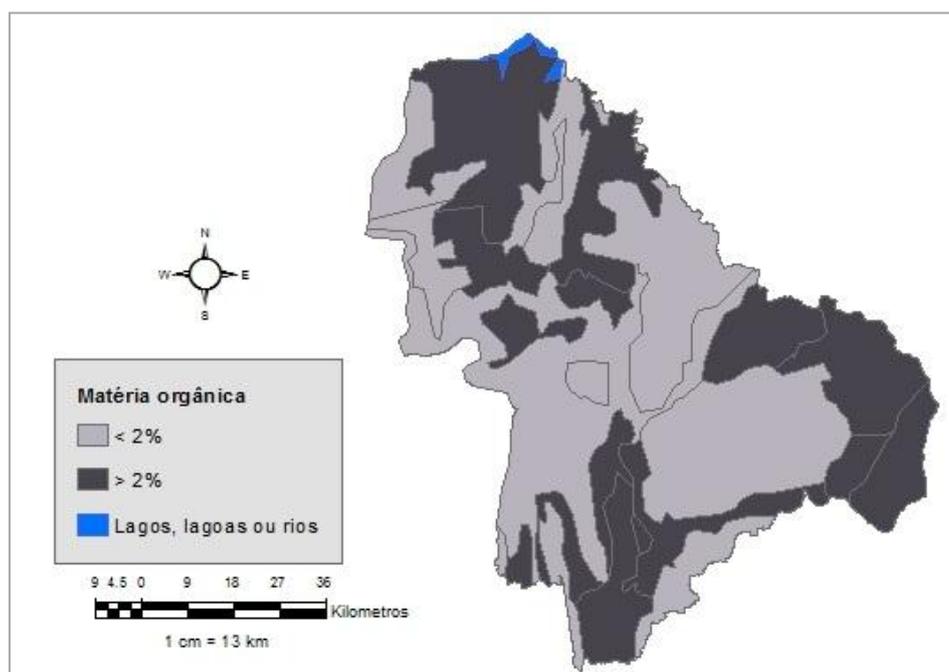


Fig. 4.7 – Distribuição espacial do teor de matéria orgânica dos solos do Distrito de Sussundenga de acordo com IIAM (1995)

O mapa de solos (Figura 4.8), por se apresentar em formato vectorial (estrutura baseada em coordenadas x, y e z) foi submetido a uma transformação para a forma matricial onde a informação espacial adquiriu uma organização em linhas e colunas, para poder ser usado na análise espacial.

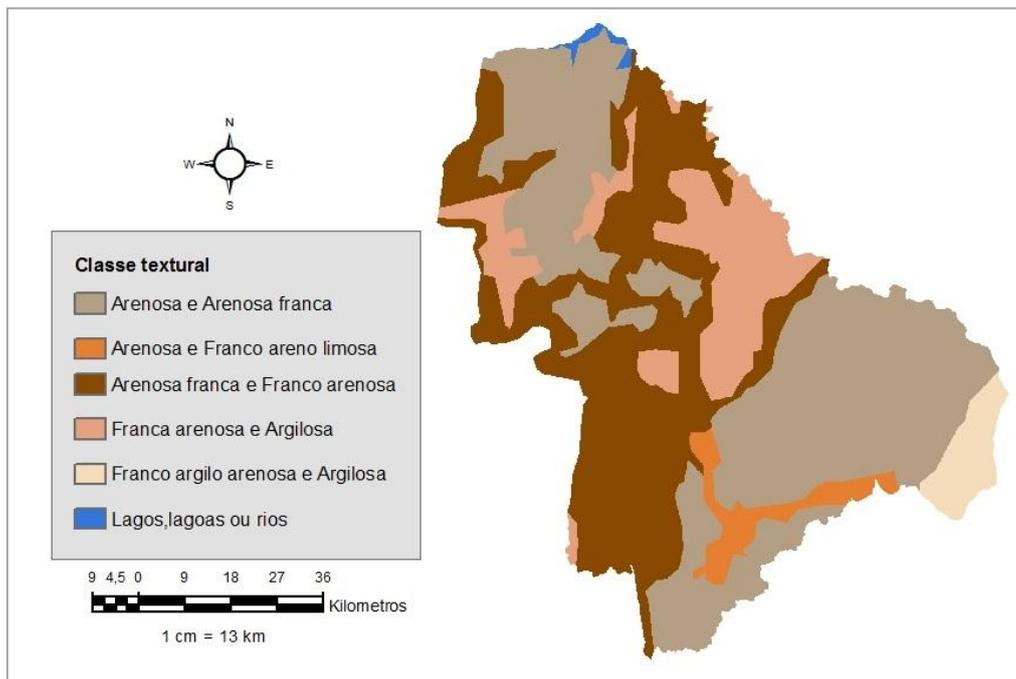


Fig. 4.8 – Distribuição espacial da textura dos solos do Distrito de Sussundenga de acordo com IIAM (1995)

De seguida, os dados matriciais do solo foram submetidos a uma reclassificação tendo como base a Tabela 4.2 e os valores indicados na figura 4.7, tendo-se como resultado um mapa que ilustra a distribuição espacial dos valores do factor de erodibilidade ao longo do Distrito.

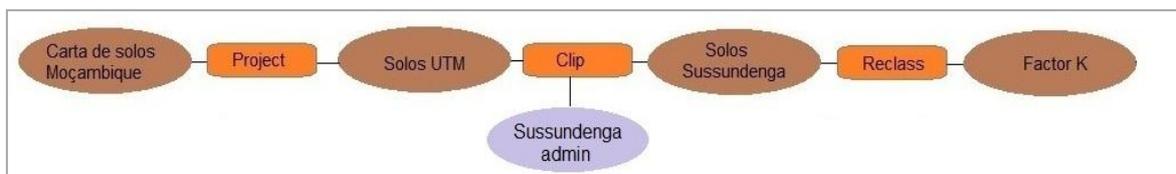


Fig. 4.9 – Determinação do factor K em ambiente SIG

Tabela 4.3- Classes de índice de erodibilidade do solo

Erodibilidade (t.h/MJ.mm)	Classe de erodibilidade
< 0,1	Muito baixa
0,1 - 0,25	Baixa
0,25 - 0,35	Média
0,35 - 0,50	Alta
> 0,50	Muito alta

Fonte: Ranzani (1980)

4.2.1.3 - FACTOR TOPOGRÁFICO (LS)

Wischmeier & Smith (1978) afirmam que tanto o declive como o comprimento da vertente afectam a intensidade de erosão hídrica. Estes dois efeitos são estudados separadamente e são representados por L e S, respectivamente. Entretanto, para aplicação prática, podem ser usados num único índice (LS), que expressa a proporção de perdas de solo.

A equação usada para determinar este parâmetro foi recomendada por Silva (2003):

$$LS=L \times S \dots\dots\dots (5)$$

Onde:

- L – factor comprimento da vertente [adimensional];
- S – factor declive [adimensional].

O Modelo Digital do Terreno foi usado para a determinação da inclinação e do comprimento da vertente.

Neste caso, o declive do terreno foi calculada usando a equação 6 desenvolvida pela ERSI (2010).

$$s = \frac{sV}{sH} \times 100 \dots\dots\dots (6)$$

Onde:

- s – Valor do declive em percentagem
- sV – Distância vertical (em metros)
- sH – Distância horizontal (em metros)

Os valores do declive foram classificados com base no declive dominante, seguindo os critérios da FAO (1983), como mostra a Tabela 4.4.

Tabela 4.4- Classes de declive dos solos

Limites de classes (%)	Descrição
< 2	Plano
2 - 5	Ondulado suave
5 - 10	Ondulado
10 - 15	Fortemente ondulado
15 - 30	Fracamente escarpado
30 a 45	Escarpado
> 45	Fortemente escarpado

Fonte: Grose (1999)

Estes valores serviram de dados de entrada para o cálculo do factor S, o qual foi obtido usando a equação 7, proposta por Wischmeier & Smith (1978):

$$S = 0,00654 s^2 + 0,0456s + 0,065 \dots\dots\dots (7)$$

Onde:

S – factor declive [adimensional]

s – declive [%].

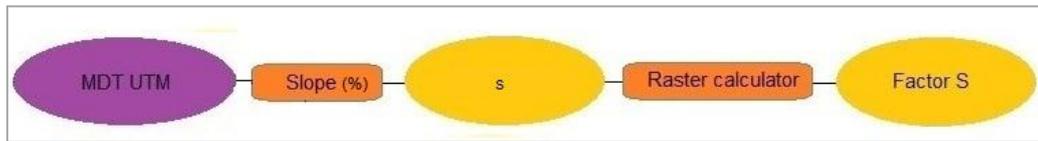


Fig. 4.10 – Determinação do factor S em ambiente SIG

O comprimento da vertente é muitas vezes difícil de estimar, devido à insuficiência de detalhes nos modelos digitais disponíveis. Entretanto, o MDT foi usado como dado de entrada para a determinação do factor comprimento da vertente de acordo com o algoritmo de Desmet & Govers (1996) citado por da Silva (2004):

$$L_{i,j} = \frac{[(A_{i,j-in} + D^2)^{m+1} - (A_{i,j-in})^{m+1}]}{[D^{m+2} X_{i,j}^m (22.13^m)]} \dots\dots\dots (8)$$

Onde:

$L_{i,j}$ - factor comprimento da vertente de uma célula com coordenadas (i, j)

$A_{i,j-in}$ - área de contribuição de uma célula, com coordenadas (i, j), para o fluxo acumulado [m^2]

D - dimensão das células [m]

$X_{i,j}$ - valor correspondente à direcção do fluxo

m - coeficiente que assume valores diferentes dependendo do declive.

$$m = \begin{cases} 0.5 & \text{se } s \geq 5\% \\ 0.4 & \text{se } 3\% \leq s < 5\% \\ 0.3 & \text{se } 1\% \leq s < 3\% \\ 0.2 & \text{se } s < 1\% \end{cases}$$

Fonte: Bizuwerk, et al. (2003)

O algoritmo de Desmet & Govers (1996), por considerar a contribuição das áreas de cada célula para a obtenção dos valores de comprimento da vertente, requer informação sobre a direcção de fluxo e a quantidade de fluxo que se acumula a montante da célula em análise.

A direcção do fluxo é uma operação que determina para qual das células vizinhas a água de uma célula central irá fluir. Um algoritmo, denominado “eight-direction pour point algorithm” (D-8) permite definir um código de direcção de escoamento para cada célula, considerando o critério de que a água vai escoar para uma das 8 possíveis direcções, em que a inclinação for máxima.

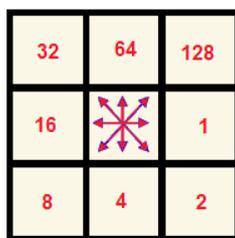


Fig. 4.11 – Códigos de direcção de fluxo

Fonte: ArcGis 10 (adaptado do original)

A direcção de fluxo foi utilizada como dado de entrada no cálculo do factor L e do fluxo acumulado. Neste último processo o sistema percorre cada célula, e verifica quantas células contribuem com fluxo para uma determinada célula, atribuindo para ela um valor. Desse modo, o programa gera um novo mapa com o fluxo acumulado para cada célula.

O fluxo acumulado por sua vez foi usado para a extracção da rede hidrográfica do Distrito através da selecção dos locais com valores superiores a 100. Partindo do princípio de que nessas zonas ocorre a deposição dos sedimentos, fez-se um *buffer* de 100 metros, os quais correspondem a áreas em que não ocorre erosão.

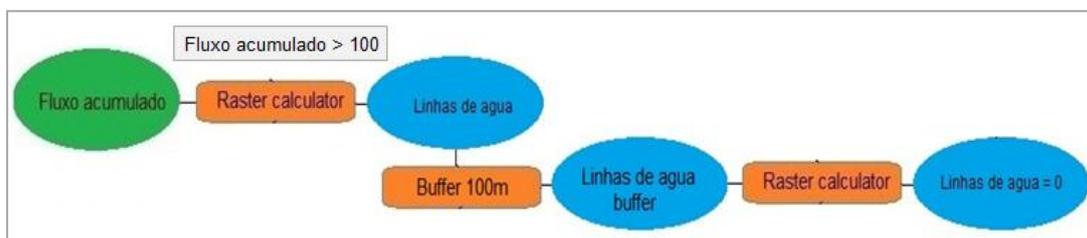


Fig. 4.12 – Determinação das linhas de água do distrito de Sussundenga em ambiente SIG

O mapa de direcção do fluxo passou por uma reclassificação em que foi atribuído o valor 1 ou o valor $\sqrt{2}$. Estes valores representam a distância percorrida pelo escoamento ao passar de uma célula para outra (figura 4.13).

$$X_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{se direcção do fluxo é N, S, E, W (1,4,16,64)} \\ \sqrt{2}=1.41 & \text{caso contrário (2, 8, 32, 128)} \end{cases}$$

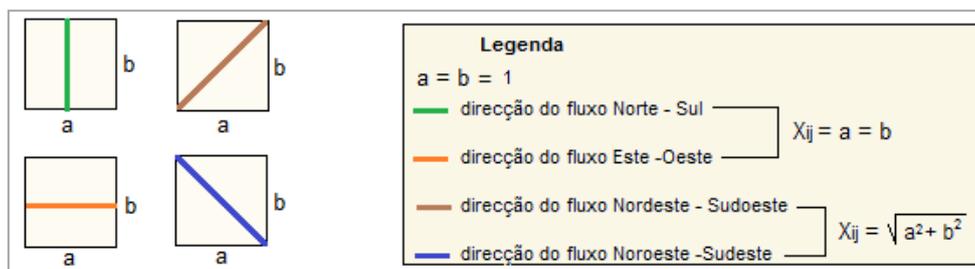


Fig. 4.13 – Ilustração dos valores de X_{ij}

A área de contribuição ($A_{i,j-in}$) foi gerada pelo produto do fluxo acumulado e pela área de cada célula.

$$A_{i,j-in} = \text{Fluxo acumulado} * D^2 \dots \dots \dots (9)$$

Onde:

$A_{i,j-in}$ - área de contribuição de uma célula, com coordenadas (i, j), para o fluxo acumulado [m^2]

D - dimensão das células [m]

Os temas área de contribuição e os valores da direcção do fluxo foram usados na determinação do factor comprimento da vertente, como indicado na equação 8.

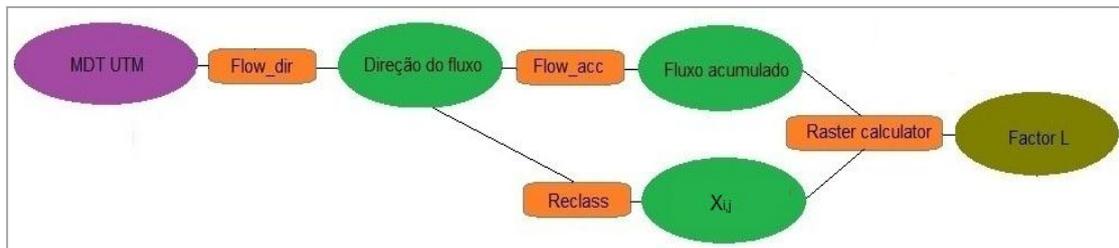


Fig. 4.14 – Determinação do comprimento da vertente em ambiente SIG

O factor L foi, combinado com as linhas de água de forma a obter um novo mapa de valores de L em que as áreas de deposição de sedimentos foram excluídas.

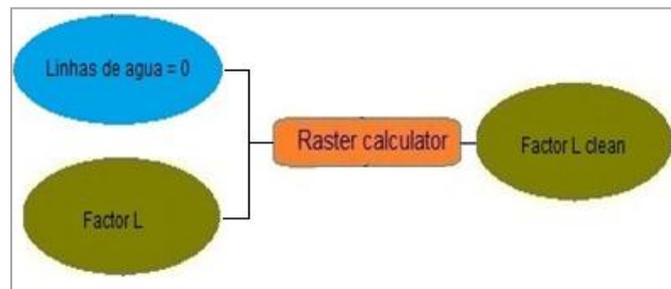


Fig. 4.15 – Determinação do comprimento da vertente corrigido em ambiente SIG

A álgebra de mapas usada no cálculo do factor LS é a que se segue:

$$\frac{[\text{Power} ("A"+ 92.597 ** 2, "m")+1] - \text{Power} ("A", "m" + 1)]}{[\text{Power} (22.13, "m") * \text{Power} (92.597, "m")+2) * \text{Power} ("X", "m")]$$

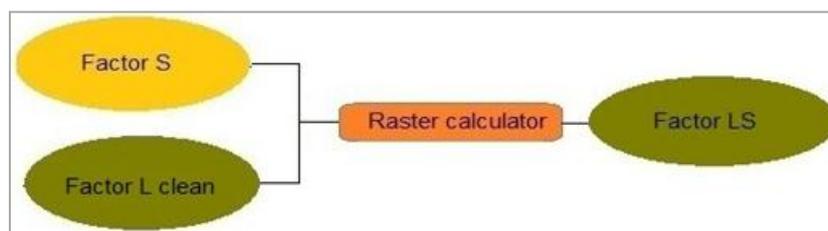


Fig. 4.16 – Determinação do factor LS em ambiente SIG

4.2.2 - ESTIMATIVA DO POTENCIAL NATURAL DE EROSÃO

O mapa esquemático do PNE foi obtido pela aplicação da equação 3, usando como dados de entrada os mapas de factor erosividade das chuvas, factor erodibilidade dos solos e o factor topográfico, acima calculados.

A combinação dos mapas foi feita usando o *Raster calculator*, associado a extensão *Spatial Analyst* e a sua classificação foi feita com base na tabela 4.5:

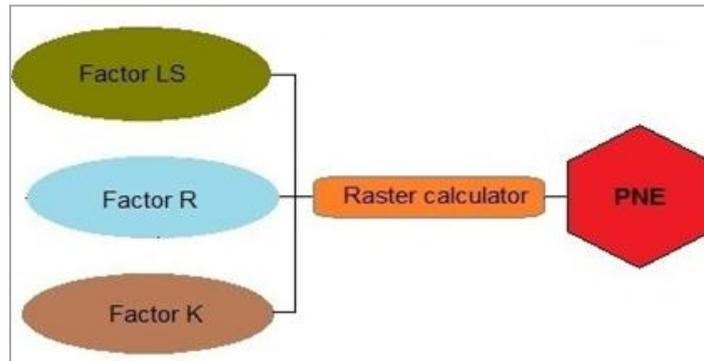


Fig. 4.17 – Determinação do PNE em ambiente SIG

Tabela 4.5- Intervalos de classes de PNE

PNE (t/ha)	Classes
< 500	Potencial baixo
500 - 1.500	Potencial moderado
1.500 - 5.000	Potencial elevado
> 5.000	Potencial muito elevado

Fonte: Carvalho (2010)

5 - ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Apresenta-se neste capítulo a síntese dos resultados obtidos da aplicação da metodologia proposta e a discussão dos mesmos. São apresentados os mapas resultantes das operações feitas em ambiente SIG, algumas tabelas e gráficos representativos da distribuição dos valores dos factores por classes.

5.1 - MDT, problemas e limitações

O modelo digital do terreno é a peça fundamental no estudo da erosão do solo. Desta forma, é importante salientar os problemas que se pode encontrar, os quais tem impacto directo nos factores declive e comprimento da vertente.

Ao importar o MDT para o ambiente SIG, observou-se a existência de valores incoerentes, casos de altitudes negativas. Estes são erros característicos de dados SRTM e estão relacionados com o processo de formação dos dados, sobretudo para as áreas em que a diferença de altitude é reduzida.

Os valores negativos foram eliminados do MDT usando a ferramenta *Con* da extensão *Spatial analyst* em que se fez a selecção de valores de altitude maior que zero.

Após este processo, verificou-se a existência de algumas depressões (Figura 5.1) que podem provocar a interrupção do fluxo de água, fazendo com que na determinação do factor topográfico estas áreas sejam consideradas como áreas de deposição de sedimentos. Ou seja, as áreas aparecem como áreas de declive igual a zero. Estas depressões já foram observadas por vários pesquisadores, os quais concluíram que as mesmas são comuns nos dados do SRTM e dependem da topografia local, observando-se maior incidência em terrenos com relevo escarpado ou montanhoso (Falorni et al., 2005).

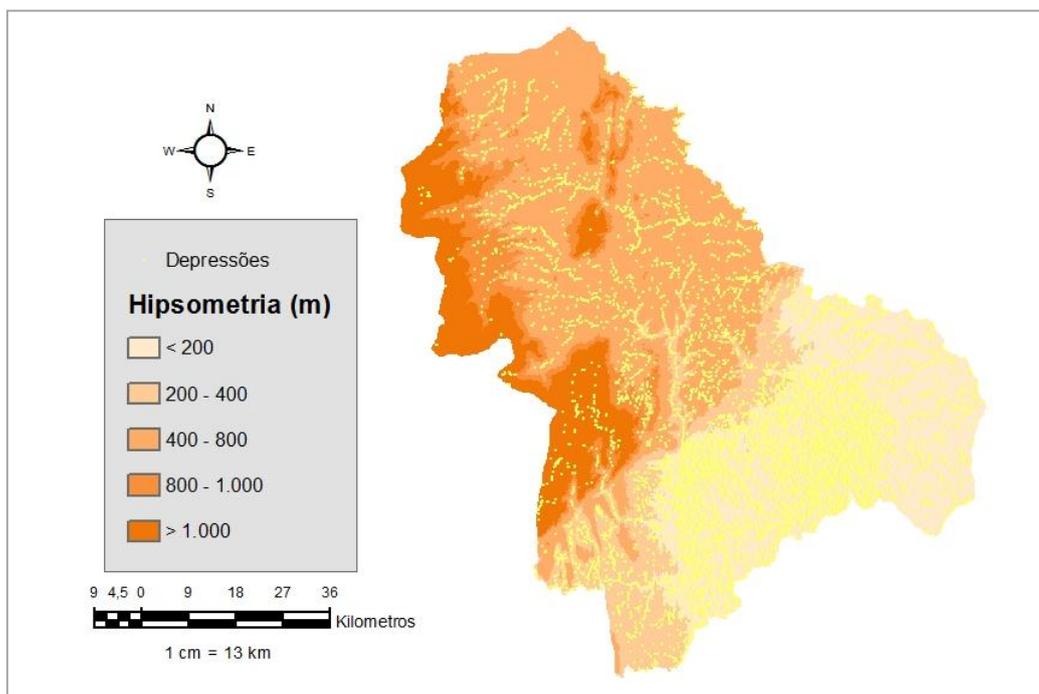


Fig. 5.1 – Falhas no Modelo Digital do Terreno

As falhas acima referidas são originadas pela ocorrência de corpos de água ou de relevo acidentado, sobretudo devido ao sombreamento ocasionado no radar (Ludeling et al., 2007).

Para resolver este problema usou-se a ferramenta *Fill* da extensão Spatial analyst, cuja função é a remoção de picos e o preenchimento de depressões existentes nos dados.

5.2 - Declive

O declive do terreno (Figura 5.2) foi obtido através da operação *Slope* da análise espacial dentro do ambiente SIG. Este mostrou-se directamente proporcional ao factor declive obtido pela aplicação da equação 7 e ao factor topográfico, sendo que os maiores valores são observados em zonas com declives superiores a 30%.

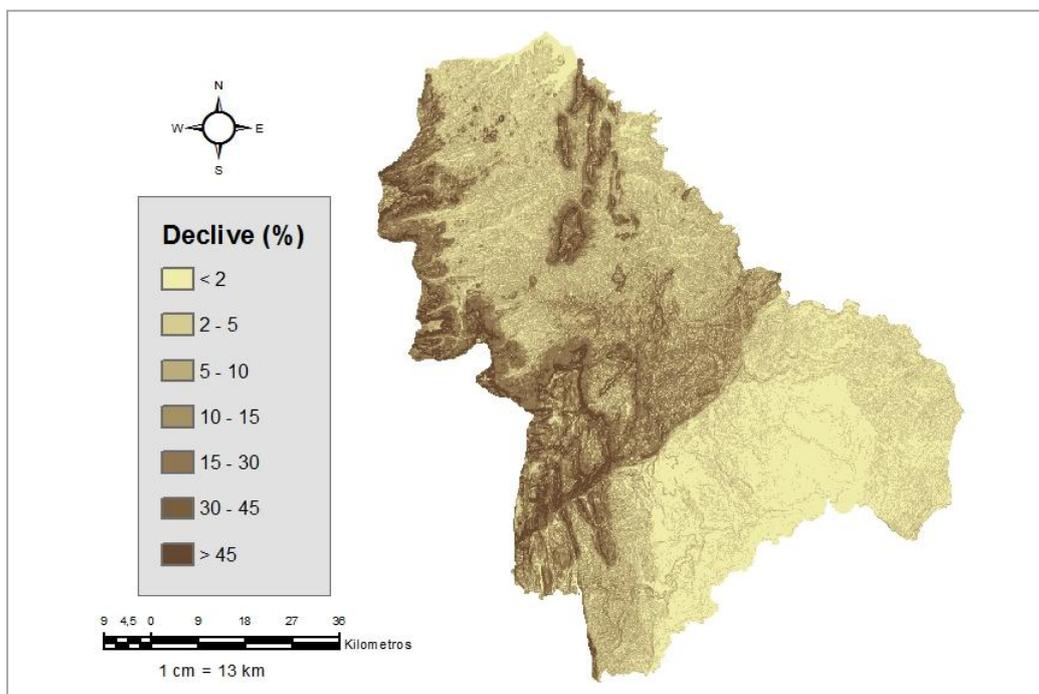


Fig. 5.2 – Classes de declive do solo no Distrito de Sussundenga

Segundo a classificação de Samuel (1997), as classes de declive predominantes no Distrito de Sussundenga correspondem aos declives inferiores a 2%, correspondendo a zonas de topografia plana em que, segundo o Ministério do Ambiente de Portugal (1999), podem ser consideradas como áreas de deposição de sedimentos. Ou seja, nestas zonas independentemente dos valores de comprimento da vertente, o potencial natural de erosão dos solos é praticamente nulo.

As zonas com declives ondulados representam zonas de elevado risco de erosão e associadas a valores elevados de comprimento do declive, conferem ao factor topográfico valores elevados.

5.3 - Erosividade da chuva (R)

Os valores da precipitação no Distrito de Sussundenga apresentam uma distribuição espacial irregular, como mostra a Figura 5.3. Sendo o factor erosividade das chuvas, uma função que varia com a precipitação, a sua distribuição também se apresenta irregular para diferentes épocas do ano.

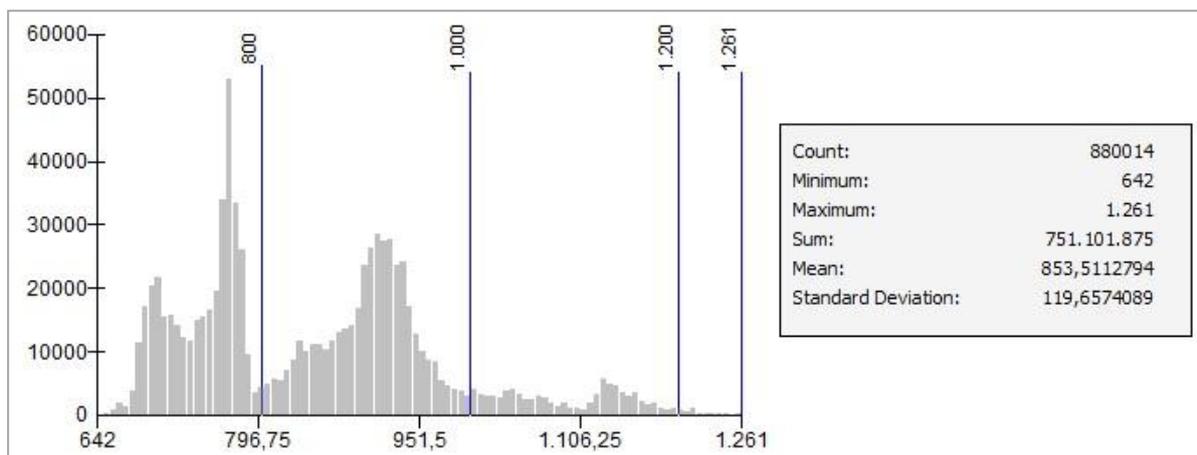


Fig. 5.3 – Histograma dos valores da precipitação no Distrito de Sussundenga

Tendo em conta as variações de ocorrência de precipitação para o Distrito e os valores da erosividade indicados na Figura 5.4, conclui-se que os meses compreendidos entre Novembro e Março possuem elevada susceptibilidade a erosão dos solos.

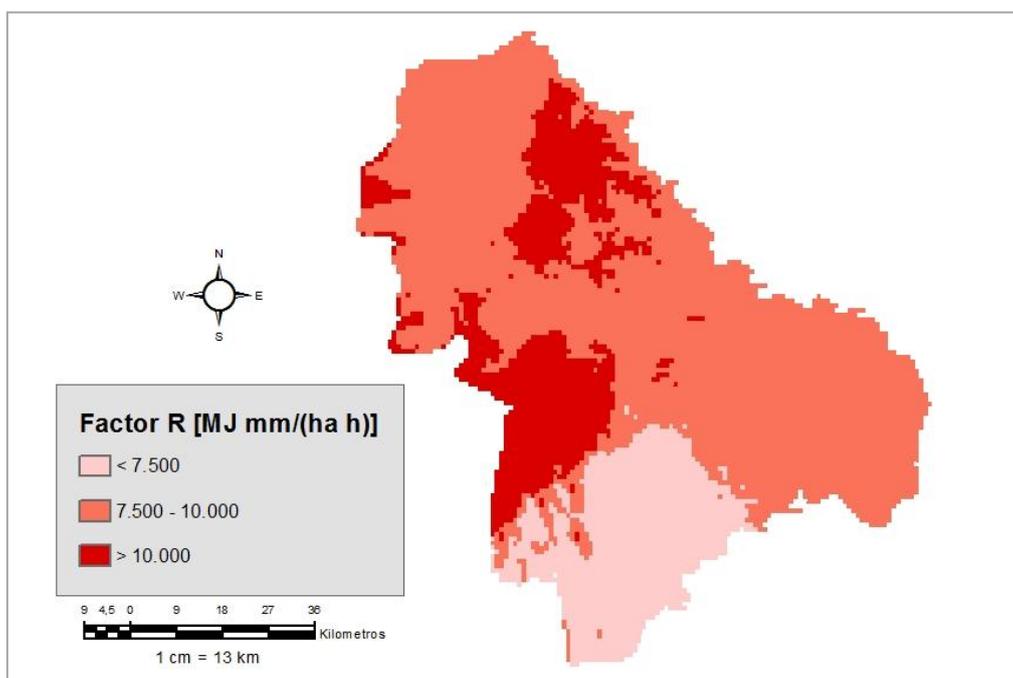


Fig. 5.4 – Distribuição do factor R na área do Distrito de Sussundenga

Os valores da erosividade das chuvas para período escolhido variam de 6.357,4 Mj mm/(ha ano) a 13.909, 19 Mj mm/(ha ano), apresentando um coeficiente de variação igual a 16,33% o que, segundo Pina (2005), significa que os valores apresentam uma dispersão forte.

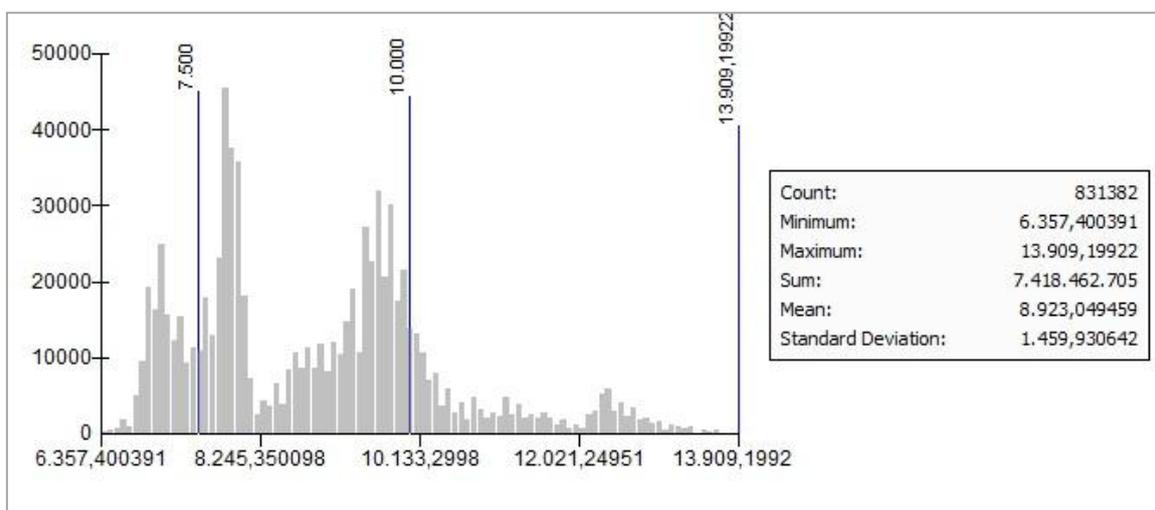


Fig. 5.5 – Histograma dos valores do factor R

Tal como mostram as Figuras 5.4 e 5.5, o factor erosividade das chuvas no Distrito de Sussundenga apresenta-se maioritariamente no intervalo de 7.500 a 10.000 Mj mm/(ha ano) que corresponde a erosividade forte, estando presente em todos os postos administrativos, ocupando 64,44% da área total.

Os valores mais baixos ocorrem a Sul do Distrito, coincidindo com as áreas de declives planos e suavemente ondulados, onde ocupam cerca de 17% da área total (Tabela 5.1), enquanto, valores mais elevados, correspondente a um nível de erosividade muito forte, segundo a classificação Oliveira (1996), são observados na zona central e mais a Norte do Distrito, onde os declives são igualmente elevados, ocupando 18,6% da área total.

Tabela 5.1- Percentagem de ocorrência do factor R

Valores de R	Grau de Erosividade	Área (ha)	% Ocorrência
< 5000	Fraca	0	0
5000 a 7500	Moderada	120813,21	16,95
7500 a 10000	Forte	459378,22	64,44
> 10000	Muito Forte	132652,34	18,61

De modo geral, o Distrito de Sussundenga possui um nível de erosividade elevado, o que torna necessário o estudo de outros factores que influenciam no processo de erosão dos solos, tais como as características do solo, a cobertura do solo, entre outros.

5.4 - Erodibilidade do solo (K)

No Distrito de Sussundenga ocorrem 7 tipos principais de solos, segundo a legenda da FAO (1988). São eles os arenosolos, os fluvisolos, os acrisolos, os leptosolos, ferralsolos, os luvisolos e os lixisolos.

A determinação da erodibilidade do solo é feita com base na textura de cada tipo de solos, no teor de matéria orgânica e na permeabilidade do mesmo. Contudo, devido a insuficiência de informação

sobre as características do solo, segundo Cardoso (1965), expressões analíticas ou valores tabelados foram adaptados para este cálculo, mostrando resultados satisfatórios.

Neste caso, os valores da erodibilidade do solo foram calculados de acordo com a Tabela 4.2, e estes variam de 0 a 0,21 t h/ (MJ*mm), o que segundo Mannigel et al. (2002), pertencem aos níveis de erodibilidade baixa a muito baixa, como mostra a Tabela 5.2.

Tabela 5.2- Percentagem de ocorrência do factor K

Erodibilidade (t.h/MJ.mm)	Classe de erodibilidade	Área (ha)	% Ocorrência
< 0,1	Muito baixa	342306,14	49,22
0,1 a 0,25	Baixa	353199,41	50,78
0,25 a 0,35	Média	0	0
0,35 a 0,50	Alta	0	0
> 0,50	Muito alta	0	0

No nível de erodibilidade muito baixa encontram-se os arenosolos, fluvisolos e acrisolos, com uma percentagem de ocorrência igual a 49,22% da área total, estando maioritariamente presentes no posto administrativo de Dombe, a Sul do Distrito (Figura 5.6). Estes valores estão associados a granulometria dos solos, as quais permitem maior taxa de infiltração, diminuindo o escoamento superficial e o transporte das partículas do solo.

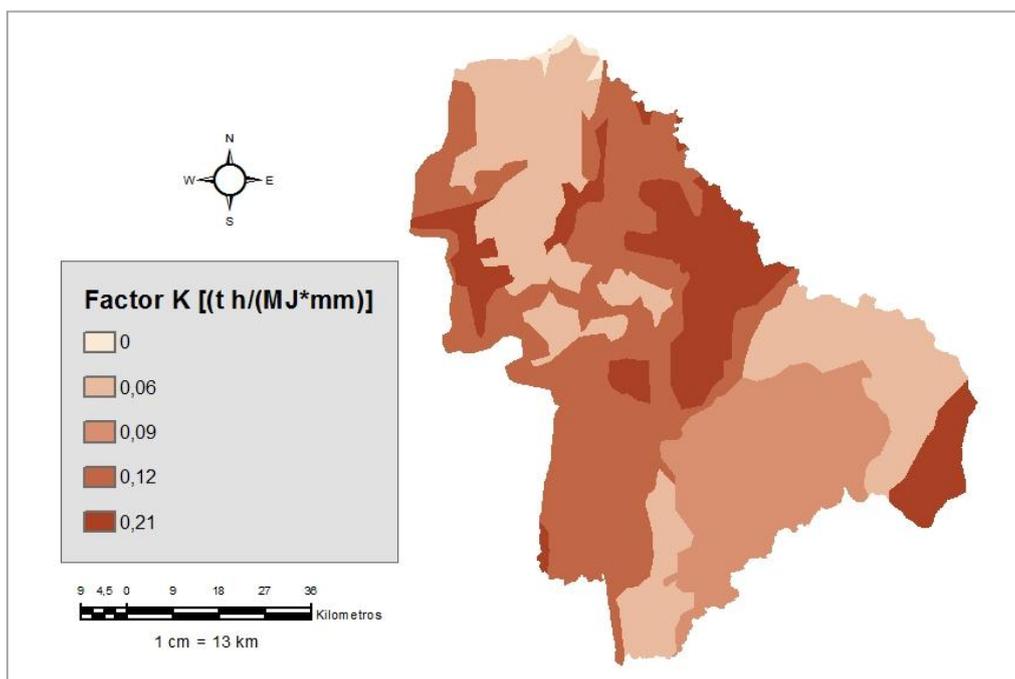


Fig. 5.6 - Distribuição espacial do factor K ao longo do Distrito de Sussundenga

O nível de erodibilidade baixa ocorre em 50,78% da área, estando presente em todos os postos administrativos, com maior abundância nas zonas de declives elevados, incluindo as zonas montanhosas onde a velocidade do escoamento superficial é elevado.

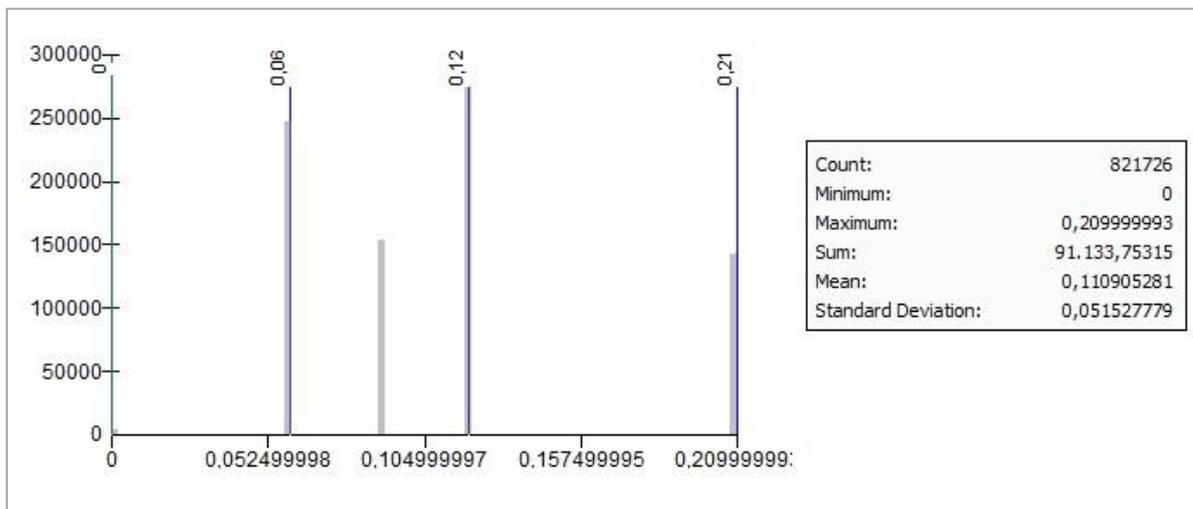


Fig. 5.7 – Histograma dos valores do factor K

Com isto, percebe-se que os solos do Distrito de Sussundenga, independentemente do clima e do relevo, possuem fraca susceptibilidade a erosão e o índice de erodibilidade dos solos entra na equação de perdas do solo como atenuante da erosão.

5.5 - Factor topográfico (LS)

O factor declive (Figura 5.8), como função do declive, exerce também uma forte influência no factor topográfico. Portanto, este factor sugere que os valores mais elevados do factor topográfico estão associados aos elevados valores de altimetria, incluindo as zonas montanhosas e o monte Binga, que é o ponto mais alto do país. Por outro lado, valores baixos do factor declive conferem valores baixos ao factor topográfico, os quais segundo Silva et al. (2005) matematicamente funcionam como valores amenizadores da erosão dos solos, pois na USLE, os valores abaixo de 1 diminuem a influencia dos outros factores e representam zonas possíveis de deposição de sedimentos, como já foi referido.

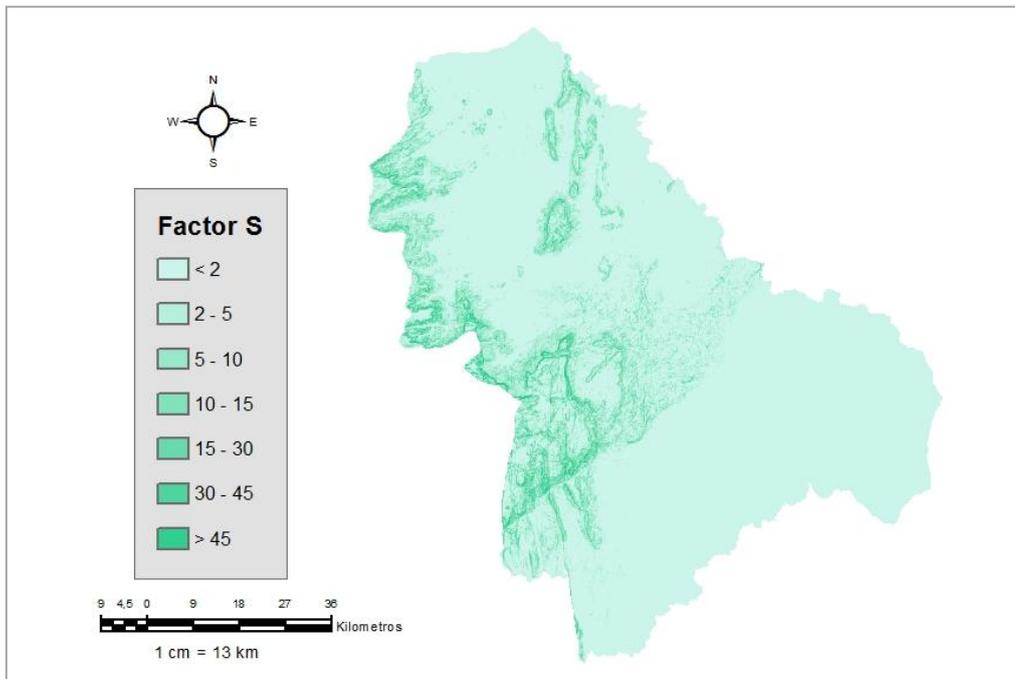


Fig. 5.8 – Distribuição espacial do factor S no Distrito de Sussundenga

O factor comprimento da vertente (Figura 5.9) é determinante na análise da velocidade do escoamento superficial. Quanto maior for o comprimento da vertente maior é a velocidade do escoamento e a distancia de transporte de sedimentos, excepto em zonas de declives planos (Silva et al., 2005).

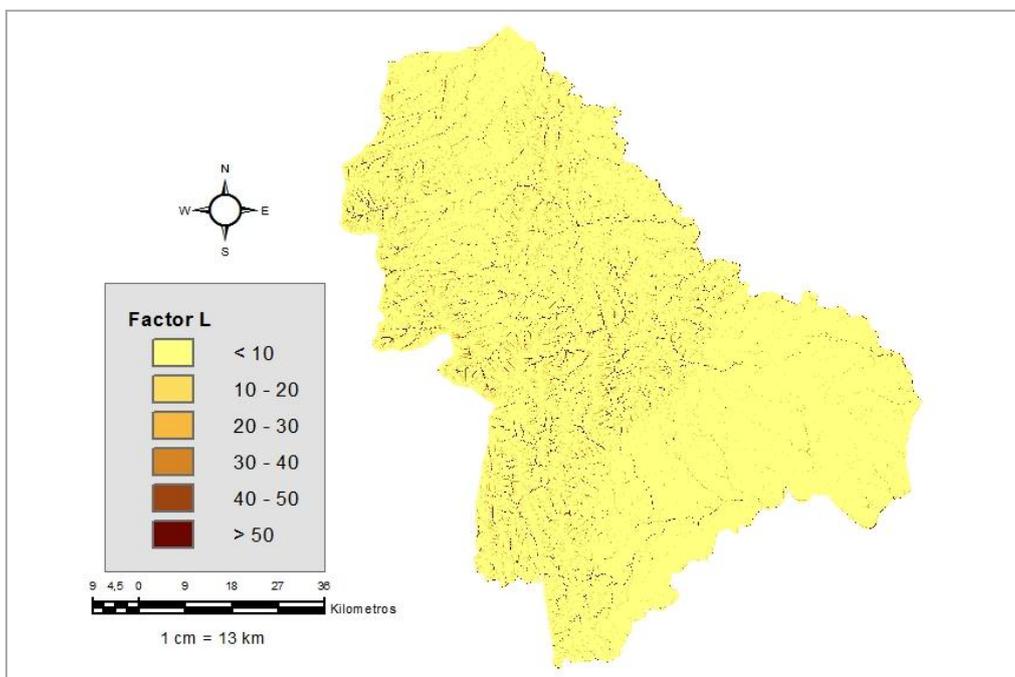


Fig. 5.9 – Distribuição espacial do factor L no Distrito de Sussundenga

Embora existam valores de declives elevados, são poucas as áreas em que o comprimento da vertente é superior a 50. Segundo Amaral (2010), isto tem uma influência positiva no processo de

erosão dos solos visto que estes valores se encontram acima do valor limite para o estabelecimento de um processo de erosão hídrica.

As Figuras 5.10 e 5.11 ilustram a distribuição do factor topográfico para o Distrito de Sussundenga, em que valores abaixo de 2 ocorrem em todos os postos administrativos, com uma percentagem de ocorrência de aproximadamente 53%, dos quais 43.87% correspondem a valores inferiores a 0,5, com maior predominância nas zonas de declives planos (Tabela 5.3).

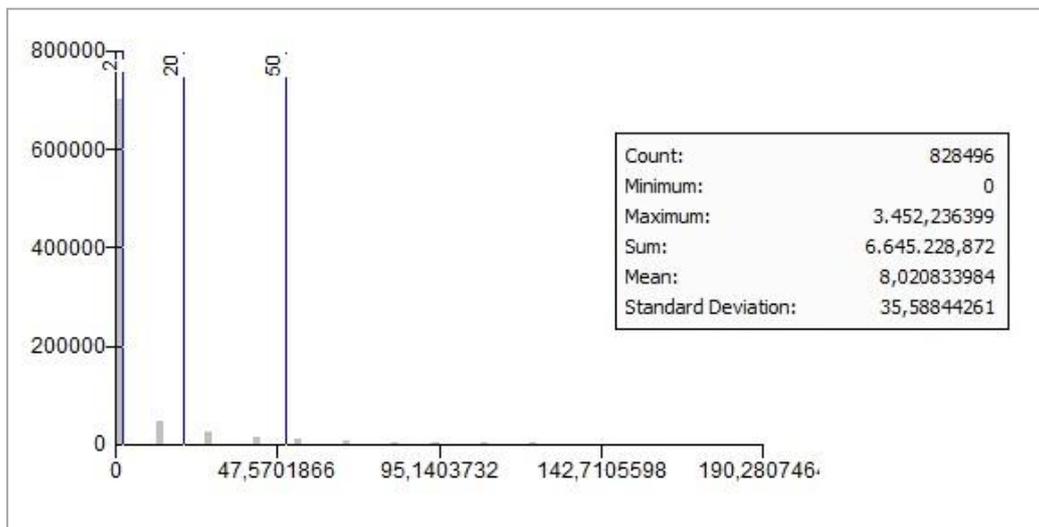


Fig. 5.10 – Histograma dos valores do factor LS

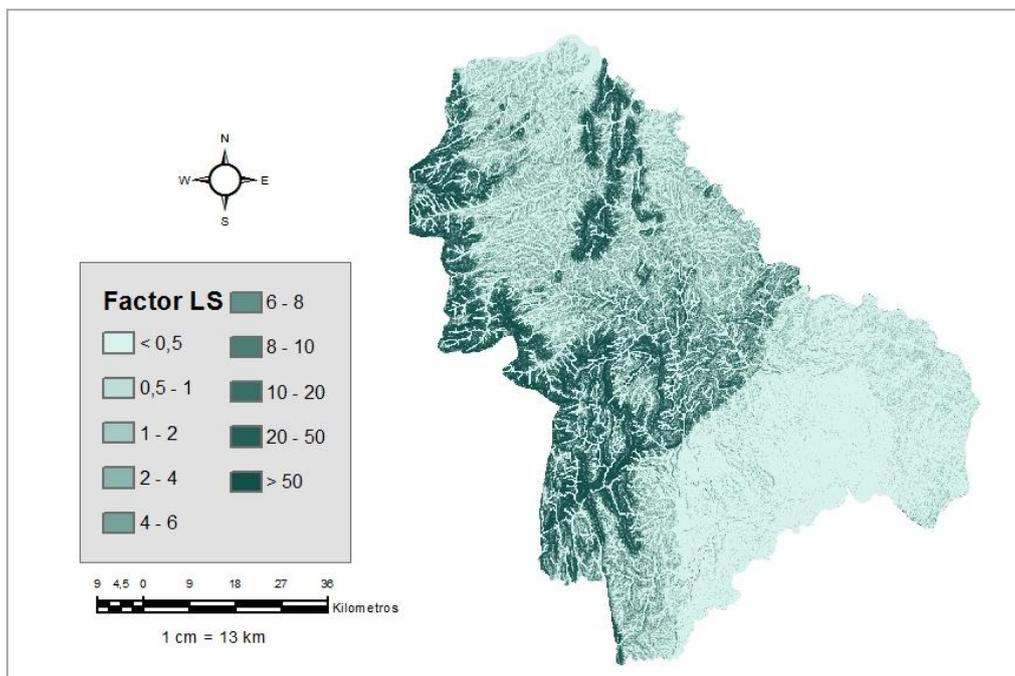


Fig. 5.11 – Distribuição espacial do factor topográfico no Distrito de Sussundenga

Valores superiores a 20 estão associados aos valores de altimetria elevados, ocorrendo um pouco por cada posto administrativo, estando concentrados ao longo das zonas montanhosas, ocupando cerca de 12% da área total (Tabela 5.3).

Estes tem forte ocorrência nas zonas de declives e comprimentos da vertente mais elevado, o que aumenta a susceptibilidade de ocorrência da erosão dos solos.

Tabela 5.3- Percentagem de ocorrência do factor LS

LS	Área (ha)	% Ocorrência
1 a 0,5	311622,36	43,87
0,5 a 2	70296,84	9,90
2 a 3	70039,19	9,86
3 a 4	62698,25	8,83
4a 6	32537,80	4,58
6 a 8	20277,73	2,85
8 a 10	14944,27	2,10
10 a 20	42794,05	6,02
20 a 50	46966,02	6,61
> 50	38140,07	5,37

É de salientar que a distribuição espacial do factor topográfico reflecte claramente a hipsometria e as formas de relevo do distrito.

5.6 - Potencial Natural de Erosão do solo (PNE)

O mapa do potencial natural de erosão dos solos foi calculado no ambiente SIG através da integração dos factores R, K e LS, aplicando a equação 3. Este mapa mostrou para o Distrito de Sussundenga 4 níveis de erosão desde o potencial baixo ao muito elevado (Figura 5.12).

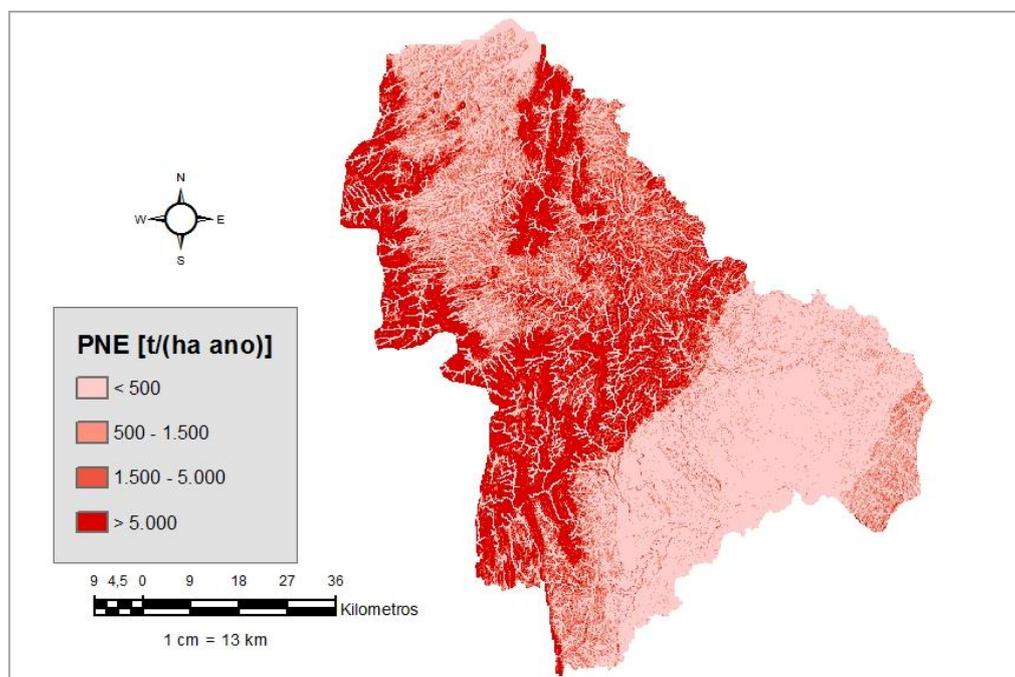


Fig. 5.12 – Distribuição espacial do potencial natural de erosão no Distrito de Sussundenga

A distribuição dos níveis de erosão do solo apresentada na Figura 5.13 assemelha-se à distribuição do factor topográfico, o que indica elevada contribuição deste factor no processo de erosão. Ou seja, As áreas de elevado potencial de erosão dos solos coincidem não só com as áreas de maior comprimento da vertente como também co as de declives elevados.

Os índices de erodibilidade dos solos, como já tinha sido referido, têm fraca contribuição no processo de perdas do solo, agindo como amenizador na equação de perdas do solo.

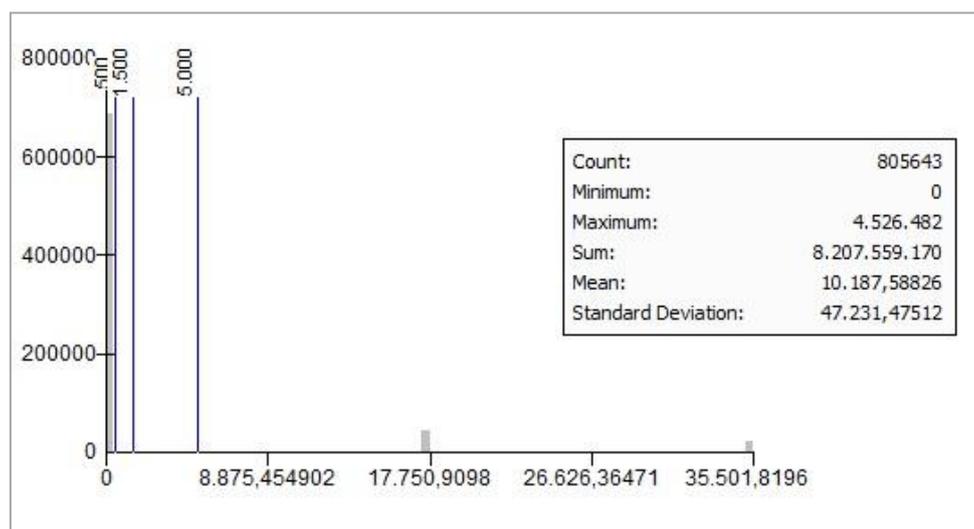


Fig. 5.13 – Histograma dos valores do PNE

Apresenta-se na Tabela 5.4 os valores das perdas do solo ao longo do Distrito de Sussundenga. Os níveis predominantes são os de baixo potencial em que as perdas de solo são inferiores a 500 t/(ha ano), ocupando 48,74% da área do Distrito. Estas áreas têm maior incidência no posto administrativo de Dombe, seguindo o posto administrativo de Rotanda, Sussundenga e Muhoa, respectivamente.

Tabela 5.4- Percentagem de ocorrência do PNE

PNE	Classes	Área (ha)	% Ocorrência
< 500	Potencial baixo	336652,32	48,74
500 a 1.500	Potencial moderado	86558,38	12,53
1.500 a 5.000	Potencial elevado	83249,48	12,05
> 5.000	Potencial muito elevado	184257,28	26,68

Embora os valores sejam abaixo de 500 t/(ha ano), é de salientar que estes valores encontram-se concentrados em intervalos mais baixos (Figura 5.14).

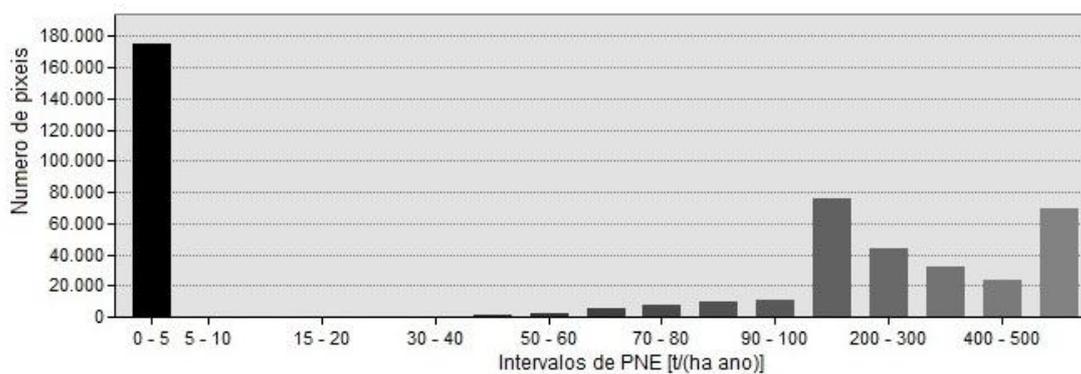


Fig. 5.14 – Frequência de ocorrência dos valores do PNE

A segunda classe com forte ocorrência neste Distrito é a classe de potencial muito elevado. Isto deve-se, provavelmente ao facto de nessas áreas para além de existirem valores elevados do factor topográfico, uma vez que a estatística descritiva mostrou a existência de uma correlação positiva entre o factor e o PNE, tendo um coeficiente de correlação igual a 99,9%. Em relação ao factor R e K, não se verificou a correlação com o PNE.

6 - CONCLUSÕES, RECOMENDAÇÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

O trabalho desenvolvido no âmbito da presente dissertação pretendeu identificar as áreas com elevado nível de susceptibilidade a erosão dos solos no Distrito de Sussundenga através da integração de tecnologias de informação geográfica com o modelo empírico de perdas de solo.

Para tal fez-se a recolha de dados de clima, solo e altimetria a partir dos quais foi produzido o mapa de distribuição espacial do potencial natural de erosão.

Neste capítulo apresenta-se a síntese das principais conclusões referidas ao longo do estudo, assim como um resumo dos principais aspectos nele desenvolvidos. Refere-se ainda alguns temas que poderão ser objecto de desenvolvimentos futuros.

6.1 - Conclusões

De acordo com a metodologia usada e, tendo em conta os resultados do trabalho, pode-se concluir que:

- O uso de Sistemas de Informação Geográfica na determinação de áreas com elevado potencial a erosão dos solos usando a equação do PNE baseada na USLE ajudou a criar um modelo de previsão das perdas de solo, que possibilitou a identificação de áreas de risco potencial.
- Com este trabalho foi possível a aplicação de uma metodologia que permite a identificação de áreas prioritárias para um planeamento sustentável, e para intervenções com vista a reduzir as perdas de solo.
- Em função das limitações metodológicas relacionadas com a falta de dados do campo e a falta de informação actualizada sobre a área de estudo, os resultados devem ser tomados somente como indicativos das perdas de solo. Portanto, este trabalho pode ser considerado como um exercício metodológico para a determinação dos factores envolvidos no processo erosivo
- O facto de se ter 48% do Distrito com baixa susceptibilidade a erosão, não deve minimizar a importância da problemática e nem mesmo a urgência com que essas áreas devem ser estudadas e protegidas.
- As estimativas de PNE podem contribuir para restringir o uso e ocupação de áreas potencialmente susceptíveis à erosão, evitando custos de infra-estrutura e patologias em obras da construção civil.
- A ocorrência de chuvas intensas no período de Novembro a Março constitui um problema à estabilidade dos solos proporcionando maior risco de erosão.

6.2 - Recomendações

Tendo sido observados valores elevados de potencial natural de erosão para o Distrito de Sussundenga, torna-se necessário a aplicação de estratégias de redução da erosão do solo.

Manter a cobertura vegetal do solo principalmente nas zonas montanhosas ou fazer o reflorestamento e monitoramento das mudanças que ocorrem no solo, são as principais estratégias a ser consideradas.

No que diz respeito às áreas muito declivosas, tendo garantia da estabilidade do terreno e das condições de drenagem dos solos, de acordo com a particularidade de cada área, pode-se adoptar o terraceamento com objectivo de diminuir a velocidade do escoamento superficial. Por outro lado, nos declives menos acentuados a plantação em curvas de níveis é mais eficaz.

Recomenda-se também a avaliação pormenorizada do sistema de uso da terra para perceber as causas determinantes do processo erosivo, um sistema de rotação de culturas, de forma a manter o solo protegido e ajudando no processo de reposição de nutrientes.

Considerando a falta de conhecimento de grande parte da população para a protecção do meio ambiente e, para a prevenção dos processos erosivos que em muitas vezes resultam na desertificação, torna-se importante o papel das autoridades económicas locais não só na orientação e divulgação de informação sobre as técnicas adequadas para cada região, bem como na consciencialização e educação ambiental e na formação de quadros técnicos especializados, com capacidade de actuar em zonas cujo conhecimento sobre a degradação dos solos é fraco.

6.3 - Desenvolvimentos futuros

Como possíveis desenvolvimentos futuros nesta área, refira-se em termos dos estudos sobre a erosão dos solos de Moçambique, a necessidade de desenvolver métodos empíricos de determinação da erosividade das chuvas e erodibilidade dos solos para cada província, devido à dificuldade de obtenção de dados reais.

Outro aspecto pertinente será fazer a comparação dos resultados produzidos pelo modelo USLE e a SLEMSA para áreas com características climáticas e topográficas diferentes, como forma de avaliar o desempenho do modelo USLE quando aplicado em Moçambique.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amaral, A. J. d. (2010). Erosão hídrica e limites críticos de comprimento de declive em diferentes tipos e quantidades de resíduo cultural e dois modos de semeadura direta *Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo*. (Tese de doutoramento).
- Beskow S., C. R., Mello, L. D., Norton, N., Curi, M. R., Viola, J. C., & Avanzi, J. C. (2009). Avanzi, Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modelling, National Soil Erosion. *Research Laboratory, Purdue University, USA*.
- Bhattarai, R. & Dutta, D. (2008). A comparative analysis of sediment yield simulation by empirical and process-oriented models in Thailand. *Hydro. Sci. J* 53(6): 1253-1269.
- Bingner, R. L., Bingner, R. L. & Theurer, F. D. (2001.) AnnAGNPS: Estimating sediment yield by particle size for sheet & rill erosion. *Proceedings of the Seventh Federal Interagency Sedimentation Conference, Reno, Nevada* 1: 1-7.
- Bizuwerk, A., Taddese, G., & Getahun, Y. (2003). Application of GI'S for modelling soil loss rate in Awash River Basin. *Project of ILRI Addis Ababa*.
- Boardman, D. R., Wardlaw, B. R., & Nestell, M. K. (2009). Stratigraphy and conodont biostratigraphy of the Upper Carboniferous and Lower Permian from the North American midcontinent: Kansas Geological Survey. *Bulletin* 255.
- Broz, B., Pfof, D. & Thompson, A. Controlling Runoff and Erosion at Urban Construction Sites Biological Engineering Department, in <http://extension.missouri.edu/p/G1509> (consultado a 12-12-2011)
- Bueno, C. R. P., & Stein, D. P. (2005). Potencial Natural e Antrópico de erosão na região de Brotas, Estado de São Paulo. *Acta Scientiarum*, 26, 1-5.
- Cardoso, J. C. (1965). Os Solos de Portugal. Sua classificação, caracterização e génese. I A sul do Rio Tejo. *Direção Geral dos Serviços Agrícolas*.
- Carvalho, E. M., Pinto, S. d. A. F., Sepe, P. M., & Rossetti, L. A. F. G. (2010). Utilização do geoprocessamento para avaliação de riscos de erosão do solo em uma bacia hidrográfica: Estudo de caso do Rio Passa Cinco/SP. *III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação*.
- Carvalho, J. C. (2006). Processos Erosivos no Centro Oeste Brasileiro. *Editora FINATEC*.
- Cassol, E. A., & Lima, V. S. (2003). Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 38, 117- 124.
- CDASP. (2007). Adequação de causas, consequências e controle da erosão rural. *Caderno de estudos em conservação do solo e água - Companhia de desenvolvimento agrícola de São Paulo*, 1.
- Chueh, A. M. (2004). Análise do uso do solo e degradação ambiental na bacia hidrográfica do rio Pequeno São José dos Pinhais/PR, por meio do diagnóstico físico-conservacionista DFC. *Universidade Federal do Paraná* (Dissertação de Mestrado em Geografia e Ciências da Terra).

- CNDS. (2002). Relatório sobre a avaliação do grau de implementação da agenda 21 em Moçambique. *Moçambique*.
- Cordeiro, P. C. A. (1996). Correlação entre índices de erosividade e características da precipitação facilmente mensuráveis da Beira e Maputo. *Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal – UEM* (Tese de licenciatura).
- Cucu, A. (2000). Plano Nacional de Acção para o Combate à seca e Desertificação - O Papel da Floresta. *Ministério para a Coordenação de Acção Ambiental, Direcção Nacional de gestão Ambiental*.
- De Roo, A. P. J. (1996). Soil erosion assessment using GIS. *Geographical information systems in hydrology, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht; Boston*, 339-356.
- Derpsch, R. D., R., Roth, C. H., Sidiras, N., & Köpke, U. (1991). Controle da erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. *Sonderpublikation der GTZ, No. 245 Deutsche Gesellschaft für Technische*.
- Desmet, P. J. J. & Govers, G. (1996). A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of Soil and Water Conservation* 51(5): 427-433. in <http://www.jswnonline.org/content/51/5/427.abstract> (consultado a 15 - 07 - 2011)
- Domingos, J. L. (2006). Estimativa de perda de solo por erosão hídrica em uma bacia hidrográfica. *Departamento de Geografia, UFES. Vitória, Espírito Santo* (Monografia).
- Duley, F. L. (1939). Surface factors affecting the rate of intake of water by soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 4, 60-64.
- Edwards, L. M., & Burney, J. R. (1987). *Soil erosion losses under freeze/thaw and winter ground cover using a laboratory rainfall simulator* (Vol. 29).
- Elwell, H. A. (1978). Soil Loss Estimation: Compiled Works of the Rhodesian Multi-disciplinary Team on Soil Loss Estimation. *Inst. Agric. Engng, Salisbury, Harare - Zimbabwe*.
- Elwell, H. A., & Stocking, M. A. (1982). Developing a simple yet practical method of soil loss estimation. *Trop. Agric. (Trinidad)*, 59, 43-48.
- ESRI (2010). Spatial Analyst Tutorial. in <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/pdf/spatial-analyst-tutorial.pdf> (consultado a 10/10/2011).
- Esther, M. W. (2009). Using GIS techniques to determine RUSLE's R and LS factors for Kapingazi catchment. *Jomo Kenyatta University of Agriculture and Technology* (Master thesis).
- Falorni, G., Teles, V., Vivoni, E. R., Bras, R. L., & Amaratunga, K. S. (2005). Analysis and characterization of the vertical accuracy of digital elevation models from the Shuttle Radar Topography Mission. *Journal of Geophysical Research, Washington*, 110.
- Famba, S. I. (2011). Production Systems in Central Mozambique *University of Natural Resources and Life Sciences Vienna* (Thesis for obtaining a doctorate degree).
- FAO. (1981). Metodologia provisional para evaluation de la degradacion de los suelos. *FAO/PNUMA: UNEP: UNESCO*, 86.
- FAO. (1983). Guidelines: Land evaluation for rainfed agriculture. *Soils Bulletin No. 52. Rome: FAO*.

- Flanagan, D. C., & Nearing, M. A. (1995). USDA-Water Erosion Prediction Project (WEPP): Hillslope Profile and Watershed Model Documentation. *National Soil Erosion Research Laboratory, No. 10*.
- Foster, G. R. (2005). Revised Universal Soil Loss Equation, version 2 (RUSLE2). *Science Documentation, draft. USDA-Agricultural Research Service Washington, D.C., USA*.
- Grimm, M., Jones, R. J. A., & Montanarella, L. (2002). Soil erosion risk in Europe. *European Soil Bureau, Institute for Environment and Sustainability, JRC, Ispra, Italy*.
- Grose, C. J. (1999). Land Capability Handbook - Guidelines for the Classification of Agricultural Land in Tasmania. *Department of Primary Industries, Water and Environment Prospect Offices, 2nd*.
- Hickey, R. (2000). Slope Angle and Slope Length Solutions for GIS. *Cartography 29, 1, 1-8*.
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G. & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *DIVA-GIS in <http://www.diva-gis.org/climate> (consultado a 27/04/2011)*.
- <http://extension.missouri.edu/p/G1509> (consultado a 12-12-2011): Biological Engineering Department.
- IIAM. (1995). Inventariação dos recursos de solos de Moçambique.
- IPT. (1986). Fluorita: potencialidade geológica no Estado de São Paulo. *Relatório IPT, 24.039 (Fase 11)*.
- IPT. (1990). Bases conceituais e técnicas, diretrizes para o planejamento urbano e regional orientações para o controle de boçorocas urbanas. *Secretaria de Energia e Saneamento. Departamento de águas e energia elétrica de São Paulo(2)*.
- Jarvis, A., Reuter, H. I. A. & Nelson, E. G. (2008). Hole-filled SRTM for the globe Version 4. *CGIAR-CSI SRTM 90m Data base in <http://srtm.csi.cgiar.org/> (consultado a 17/03/2011)*.
- Kassam, A. H., Velthuisen, H. T., Mitchell, A. J. B., Fischer, G. W., & Shah, M. M. (1992). Agro-ecological land resources assessment for agricultural development planning. a case study of Kenya. resources data base and land productivity. technical annex 2. soil erosion and productivity. *World Soil Resources Reports (FAO). 0532-0488, no. 71 (2)*.
- Kinnell, P. I. A. (2005). AGNPS-UM: Agricultural Non Point Source Pollution Model using the USLE-M. *User guide, version 4.02. University of Canberra, Canberra, Australia*.
- Kinnell, P. I. A. (2008). Sediment delivery from hillslopes and the Universal Soil Loss Equation: some perceptions and misconceptions. *Hydrol. Processes, 22, 3168-3175*.
- Kirkby, M. J., Abrahart, R., McMahon, M. D., & Sao, J., Thornes, J.B. . (1998). soil erosion models for global change. *Geomorphology, 24, 35-49*.
- Licciardello, F., Govers, G., Cerdan, O., Kirkby, M. J., Vacca, A., & Kwaad, F. J. P. M. (2009). Evaluation of the PESERA model in two contrasting environments. *Earth Surf. Processes Landf., 34, 629-640*.
- Lima, G. S. A. (1987). Seleção de áreas para implantação de aterros sanitários: uma proposta baseada na análise de valor e lógica Fuzzy. *COPPE/UFRJ, RJ Dissertação de Mestrado*.
- Luedeling, E., Siebert, S., & Buerkert, A. (2007). Filling the voids in the SRTM elevation model A TIN-based delta surface approach. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing. New York, NY: John Wiley & Sons, 4*.

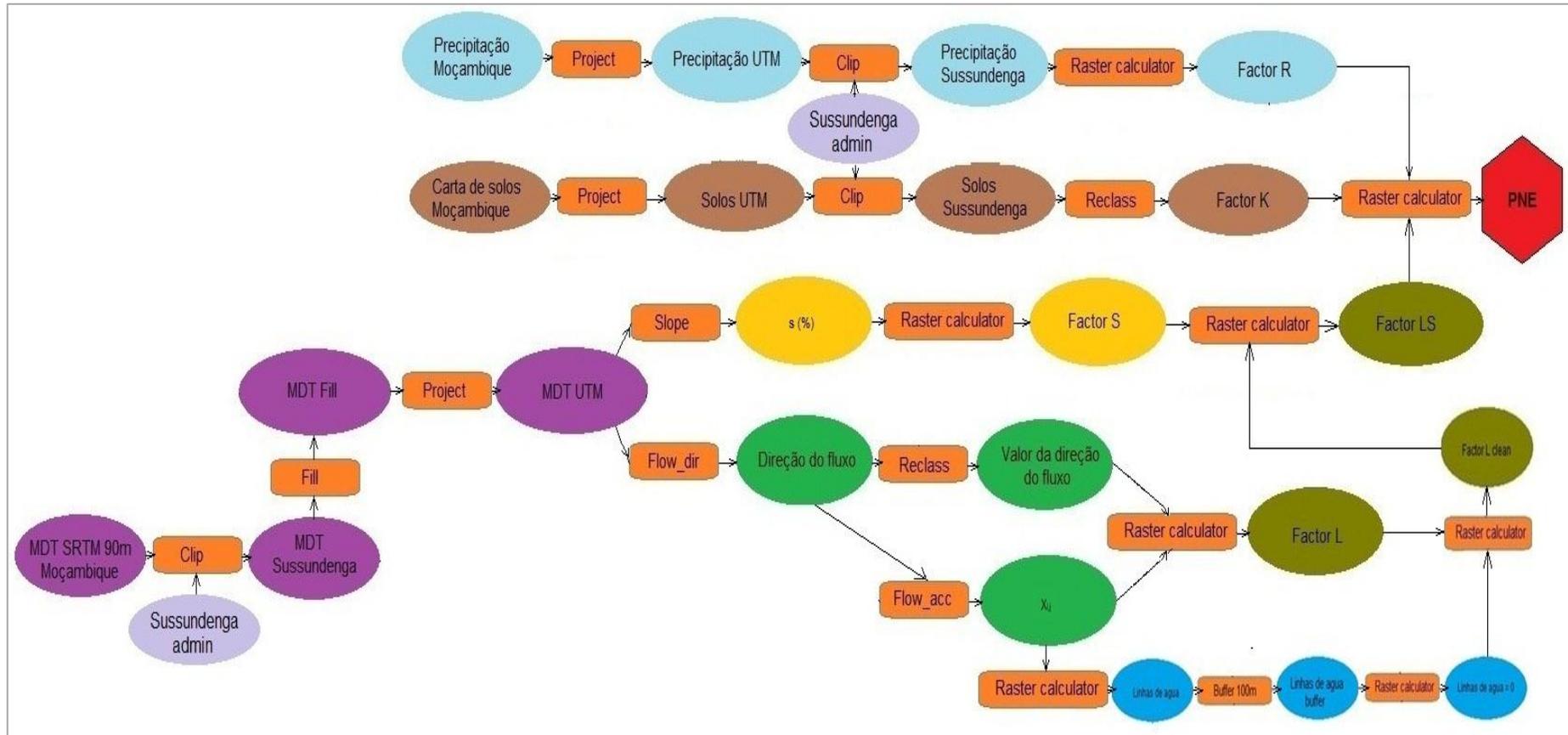
- MA-DRA. (1999). Plano de bacia hidrográfica das ribeiras do Algarve 1ª fase - Análise e diagnóstico da situação de referência. Anexo 12 - Situações de Risco - Tomo 12B – Transporte Sólido e Risco de Assoreamento.
- MAE. (2005). Perfil do distrito de Sussundenga. *Moçambique*.
- Mannigel, A. R., Carvalho, M. P., Moreti, D., & Medeiros, L. R. (2002). Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. *Acta Scientiarum, Maringá*, 1335-1340.
- Marcellini, S. S. (2002). Directrizes para a utilização de tecnologia de Sistemas de Informação Geográfica na exploração de informações hidrológicas - exemplo de aplicação. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- Matos, J. (2008). Fundamentos de informação geográfica. *Lidel - edições técnicas, lda, 5ª edição*.
- MICOA. (2005). Medidas de adaptação as mudanças climáticas. *Moçambique*.
- MICOA. (2007). Plano de acção para a prevenção e controlo da erosão do solo.
- Morgan, R. P. C. (1994). Soil Erosion and Conservation. *Silsoe College, Cranfield University*.
- Morgan, R. P. C. (2005). Soil erosion and conservation. *Blackwell publishing, Oxford, UK* (Third edition), 303.
- Morgan, R. P. C., Quinton, J. N., Smith, R. E., Govers, G., Poesen, W. A., Auerswald, K., . . . Styczen, M. E. (1998). The European Soil Erosion Model (EUROSEM): A dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. *Earth Surf. Processes Landf.*, 23, 527-544.
- Movimento de defesa das Praias de Matosinhos. in <http://defpraiasmatosinhos.no.sapo.pt/Dunas.htm> (consultado a 10-12-2011).
- Nearing, M. A., & Hairsine, P. B. (2011). The Future of Soil Erosion Modelling. *Handbook of Erosion Modelling*, 2124, 416.
- Nearing, M. A., Pruski, F. F., & O'Neal, M. R. (2004). Expected climate change impacts on soil erosion rates. *Soil Water Conservation*, 59, 43-50.
- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., & Williams, J. R. (2005). Soil and Water Assessment Tool (SWAT). *Blackland Research Center, Soil and Water Research Laboratory, Agricultural Research Service, Temple, TX, USA*.
- Nkeshimana, G. (2008). The Relation between Land Management Practices Soil Physical Properties and Erosion in Coffee Systems in South Rwanda. (MSc Thesis).
- Oliveira, A. M. S., Ponçano, W. L., Salomão, F. X. T., Donzeli, P. L., Rocha, G. A., & Filho, M. V. (1987). Questões metodológicas em diagnósticos regionais de erosão: a experiência pioneira da Bacia do Peixe- Paranapanema. *Simpósio Nacional de Controle de Erosão, São Paulo:ABGE*, 3 51-71.
- Oliveira, M. G. B. (1996). Estudo dos Processos Erosivos e avaliação da produção de sedimentos na Bacia Hidrográfica da Pampulha. *Departamento de Engenharia Hidráulica e recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais* (Dissertação de Mestrado).
- Parzanese, G. A. C. (1991). Génese e desenvolvimento de voçorocas em solos originados de rochas granitoides na região de Cachoeirado Campo. *Universidade Federal de Viçosa* (Dissertação de Mestrado).
- Pina, A. P. B. d. (2005). Investigação e estatística com Epilinfo. *Gabinete de Investigação e estatística - Delegação Regional do Algarve do Instituto de droga e toxicodependência*.

- Poletti, F. B., & Fujisawa, R. E. (2010). Modelagem matemática computacional da distribuição de matéria orgânica em rios. *Universidade Estadual Paulista*.
- Ranzani, G. (1980). Erodibilidade de alguns solos do Estado do Amazonas. *Acta Amazonica* 10 (2).
- Renard, K. G., Foster, G. A., Weesies, G. A., McCool, D. K., & Yoder, D. C. (1997). Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). *Agricultural Research Service - USDA Agricul.Handbook 703*.
- Romkens, M. J. M., Prasad, S. N., & Poesen, J. W. A. (1986). Soil erodibility and properties. *XIII Congress Int. Soil Science Soc, V*, 492-503.
- Sætre, R., & Silva, R. P. (1979). The marine fish resources of Mozambique. *Reports on surveys with R/V Dr. Fritjof Nansen. Serviços de Investigação Pesqueira. Maputo/ Institute of Marine Research, Bergen*, 179.
- Samuel, A. J. (1997). Aplicação de SOTER "World Soils and Terrain Digital Data Base " a uma área piloto em Gondola. *Universidade Eduardo Mondlane - FAEF-DER* (Trabalho de licenciatura).
- Schmidt, J., VonWerner, M., & Michael, A. (1999). Application of the EROSION 3D model to the CATSOP watershed, The Netherlands. 37, 449-456.
- Schulze, R. E. (1979). Soil loss in the key areas of the Drakensburg: a regional application of the soil loss estimation model for southern Africa (SLEMSA). *Hydrology and Water Resources of the Drakensburg, Natal Town and Regional Planning Commission, Pietermaritzburg, South Africa.*, 149-167.
- Sharma, K. D., Menenti, M., Huygen, J., & Fernandez, P. C. (1996c). Distributed numerical rainfall-runoff modeling in an arid region using Thematic Mapper data and a geographical information system. *Hydrological Processes* 10, 1229-1242.
- Sharma, K. D., Menenti, M., Huygen, J., & Vich, A. (1996b). Modeling spatial sediment delivery in an arid region using Thematic Mapper data and GIS. *Transactions of the ASAE* 39, 551-557.
- Silva, A. M., & Alvares, C. A. (2005). Erodibilidade dos solos paulistas: levantamento de informações e estruturação de um banco de dados. *Geociências*, 24, 33-42.
- Silva, A. M., Alvares, C. A., & Watanabe, C. H. (2011). Natural Potential for Erosion for Brazilian Territory. *InTech - Open Access Publisher*.
- Silva, A. M., Ranzini, M., Guandique, M. E. G., Arcova, F. C. S., & de Cicco, V. (2005). Estudo integrado do processo erosivo numa microbacia experimental localizada no município de Cunha - SP. *Geociências*, 24, 43-54.
- Silva, M. L. N., Curi, N., Lima, J. M. d., & Ferreira, M. M. (2000). Avaliação de métodos indiretos de determinação da erodibilidade de Latossolos brasileiros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35, 1207-1220.
- Silva, V. C. (2004). Estimativa da erosão atual da bacia do rio Paracatu (MG / GO / DF). *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 34 (3), 147-159.
- Stone, R. P., & Hilborn, D. P. (2000). Universal Soil Loss Equation (USLE). *Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs - Ontario, 00-001*.
- Tánago, M. G. (1991). La ecuación universal de pérdidas de suelo: Pasado, presente y futuro. *Ecología*, 5, 13-50.
- Teixeira, A. L. A., & Christofolletti, A. (1997). *Sistemas de Informação Geográfica - Dicionário Ilustrado*.

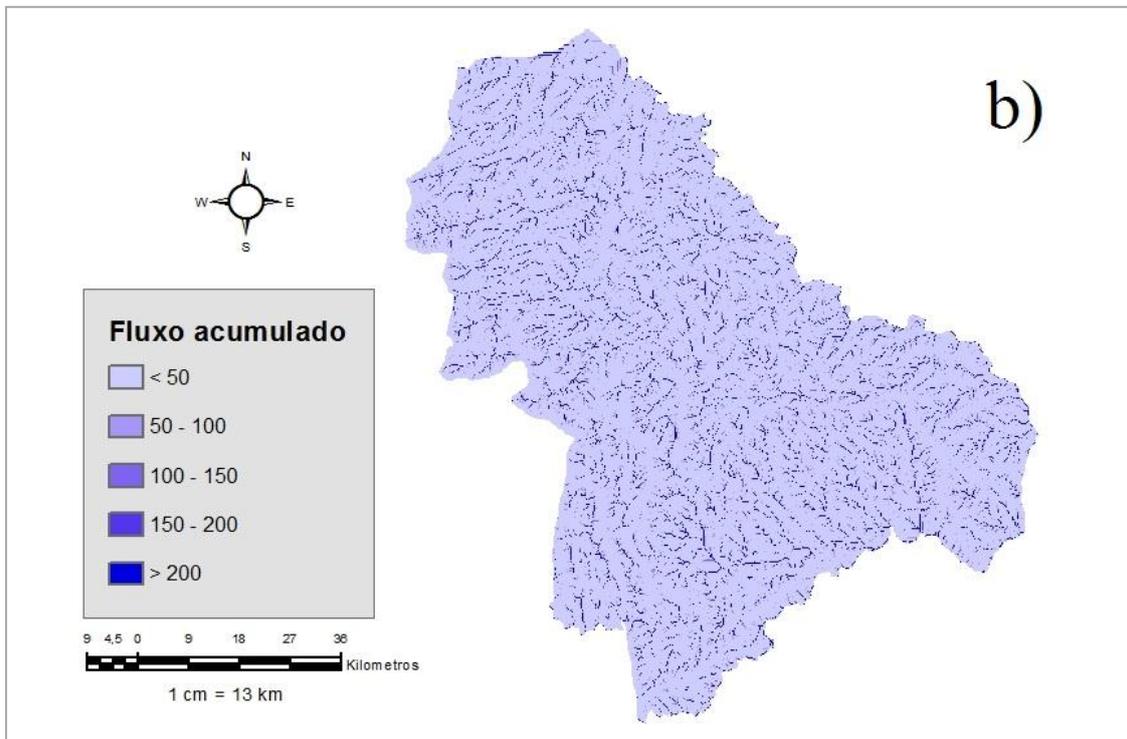
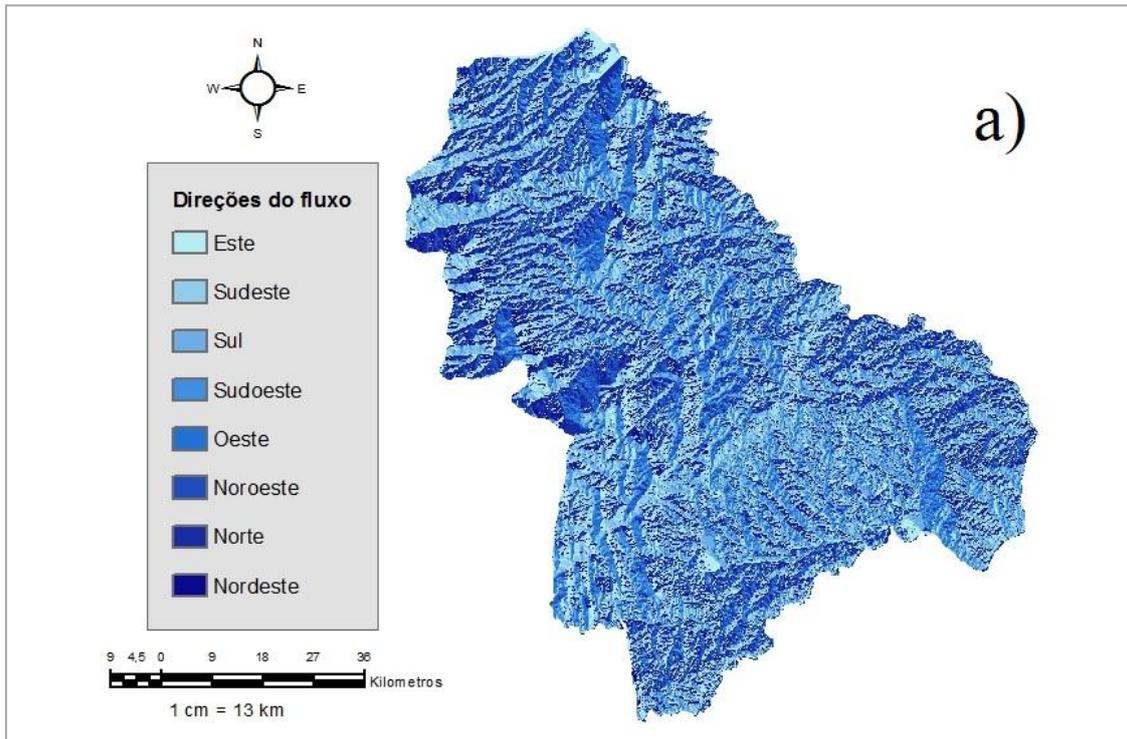
- Toy, T. J., Foster, G. R., & Renard, K. G. (2002). *Soil erosion: processes, prediction, measurement and control*.
- Van Oost, K., Govers, G., & Desmet, P. (2000). *Evaluating the effect of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage* (Vol. 15).
- WaTEM/SEDEM. (2006). Manual B. Physical and Regional Geography.
- Williams, J. R. (1975). Sediment - yield prediction with universal equation using runoff energy factor. *Proceedings of the sediment-Yield Workshop, USDA Sedimentation Laboratory, Oxford, Mississippi*.
- Wischmeier, J. C. B. (1971). *A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. Journal of soil and water conservation* (Vol. 26).
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*.
- Yoshioka, M. H. & Lima, M. R. (2005) Experimentotecade Solos: Erosão Eólica e Hídrica do Solo. *Projeto Solo na Escola – Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR*. In <http://www.escola.agrarias.ufpr.br/arquivospdf/experimentotecasolos5.pdf> 8consultado a 26 - 05 – 2011).

ANEXOS

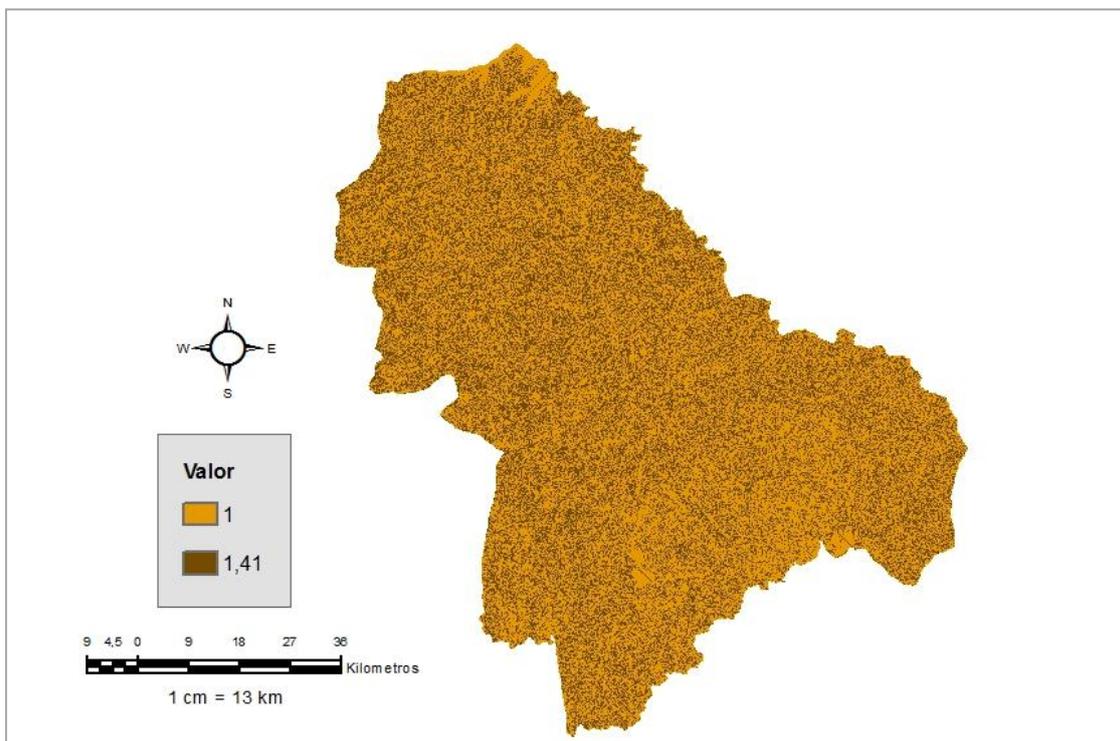
Anexo 1 – Processamento dos dados para a determinação do PNE em ambiente SIG



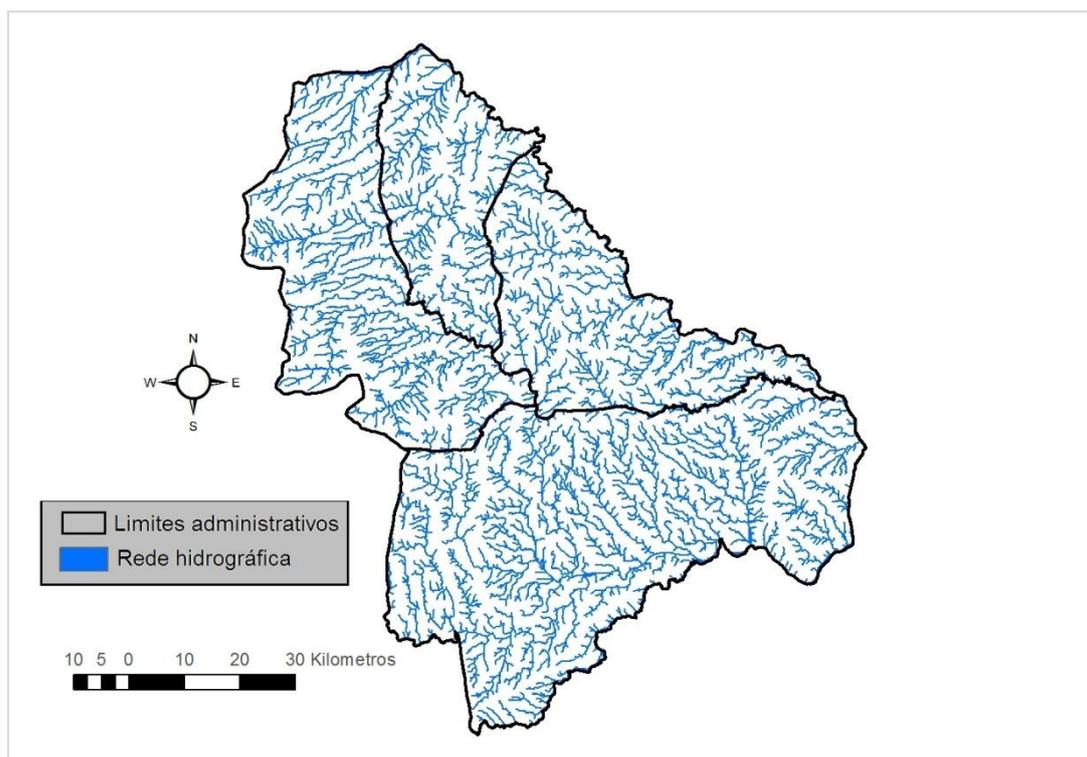
Anexo 2 – Direcção do fluxo (a) e fluxo acumulado (b)



Anexo 3 – Valores da direcção do fluxo



Anexo 4 – Rede Hidrográfica obtida a partir das linhas de fluxo acumulado



Anexo 5 – Estatística descritiva

	Coeficiente	Erro padrão	t	P
Constante	0,0474	0,0332	1,428	0,164
LS	0,985	0,00188	524,529	<0,001

N	R	R²	R² ajustado	Erro padrão
32	0,99	1,00	1,00	0,185

Regressão linear entre a percentagem de área ocupada pelo PNE e o factor LS

	DF	SS	MS	F	P
Regressão	1	9376,075	9376,075	275130,312	<0,001
Resíduo	30	1,022	0,0341		
Total	31	9377,098	302,487		

Análise de variância das áreas ocupadas pelo PNE e o factor LS

	Coeficiente	Erro padrão	t	P
Constante	5,865	4,293	1,366	0,182
R	- 0,877	0,956	- 0,917	0,367

N	R	R²	R² ajustado	Erro padrão
32	0,165	0,0272	0,000	17,437

Regressão linear entre a percentagem de área ocupada pelo PNE e o factor R

	DF	SS	MS	F	P
Regressão	1	255,490	255,490	0,840	0,367
Resíduo	30	9121,608	304,054		
Total	31	9377,098	302,487		

Análise de variância das áreas ocupadas pelo PNE e o factor R