

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

¹Berta Lúcia Cumbane; ²Manuel Armando Valeriano Madeira; ³Maria da Graça Abrantes

Dissertação para obtenção do grau de mestre em Gestão e Conservação de Recursos Naturais no Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa

¹Assistente Estagiária; Universidade Zambeze; Tete, Moçambique; blcumbane@gmail.com

²Professor Catedrático; Universidade Técnica de Lisboa; Lisboa, Portugal; mavmadeira@isa.ulisboa.pt

³Professora auxiliar; Universidade Técnica de Lisboa; Lisboa, Portugal; gracia@isa.utl.pt

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 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%.

Termos de indexação: PNE, SIG, Solo.

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 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%.

Index terms: EPS, GIS, Soil.

INTRODUÇÃO

A caracterização do meio físico de uma região constitui o primeiro passo para avaliar e planejar 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.

MATERIAL E MÉTODOS

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.

Caracterização da área de estudo

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 Zònué, 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 (**Figura 1**), (Famba, 2011).

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. É um dos Distritos definidos como prioritários na estratégia de desenvolvimento nacional (MAE, 2005).

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.

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 2).

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).

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 1**, 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.

$$R = -295 + 10.2 * p_i \dots \dots \dots (1)$$

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 3).

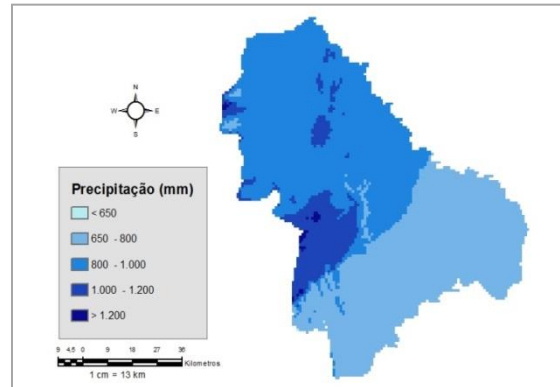


Figura 3 - Distribuição espacial da precipitação média dos meses compreendidos entre Novembro a Março, inclusive (época das chuvas)

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 (Figura 4).

Os valores de R por sua vez foram classificados de acordo com a intensidade, conforme a Tabela 1.

Tabela 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)

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 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 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 (Figura 5) foi extraída da cartografia dos solos em que se atribuiu duas classes, segundo a tabela 2.

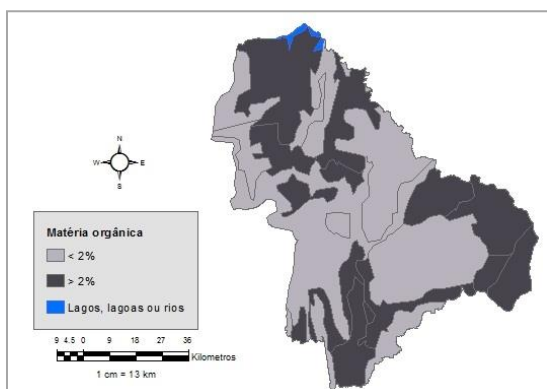


Figura 5 – Distribuição espacial do teor de matéria orgânica dos solos do Distrito de Sussundenga de acordo com IIAM (1995)

O mapa de solos (Figura 6), 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.

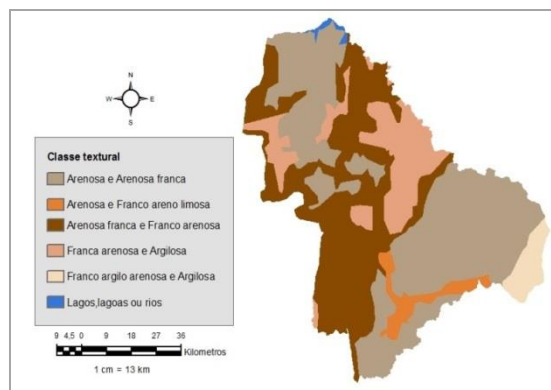


Figura 6 – Distribuição espacial da textura dos solos do Distrito de Sussundenga de acordo com IIAM (1995)

De seguida, os dados matriciais do solo foram submetidos a uma reclassificação tendo como base a Tabela 2 e os valores indicados na figura 6, tendo-se como resultado um mapa que ilustra a distribuição espacial dos valores do factor de erodibilidade ao longo do Distrito.

A tabela 3 indica a classificação dos índices de erodibilidade do solo segundo Ranzani (1980).

Tabela 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)

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 (2004):

$$LS=L \times S \dots\dots\dots (2)$$

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 3** desenvolvida pela ERSI (2010).

$$s = \frac{sV}{sH} \times 100 \dots \dots \dots (3)$$

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**.

Tabela 0- 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 4**, proposta por Wischmeier & Smith (1978):

$$S = 0,00654 s^2 + 0,0456s + 0,065 \dots \dots \dots (4)$$

Onde:

- S – factor declive [adimensional]
- s – declive [%].

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):

$$L_{i,j} = \frac{[(A_{i,j-in} + D^2)^{m+1} - (A_{i,j-in})^{m+1}]}{[D^{m+2} X_{i,j}^m (22.13^m)]} \dots \dots \dots (5)$$

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.

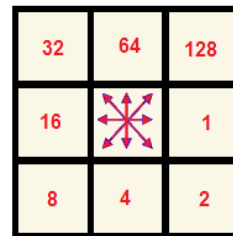


Figura 7 – Códigos de direcção de fluxo
Fonte: ArcGis 10 (adaptado do original)

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.

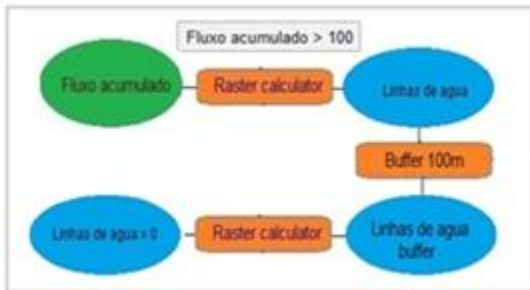


Figura 8 – Determinação das linhas de água do distrito de Sussundenga em ambiente SIG

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 8).

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

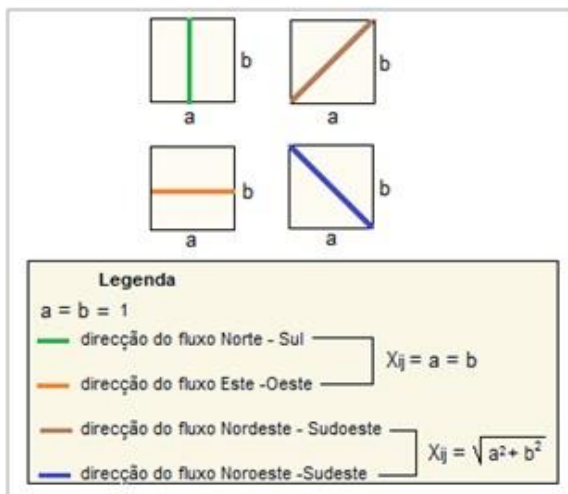


Figura 9 – Ilustração dos valores de Xij

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

$$A_{i,j-in} = \text{Flujo acumulado} * D^2 \dots\dots\dots (6)$$

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 6**.

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.

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

$$\frac{[\text{Power} ("A"+ 92.597 ** 2, "m"+1) - \text{Power} ("A", "m" + 1)]}{[\text{Power} (22.13, "m") * \text{Power} (92.597, "m"+2) * \text{Power} ("X", "m")]} \dots\dots\dots(7)$$

Estimativa do potencial natural de erosão

O mapa esquemático do PNE foi obtido pela aplicação da **equação 8**, proposta por Bueno & Stein (2005), usando como dados de entrada os mapas de factor erosividade das chuvas, factor erodibilidade dos solos e o factor topográfico, acima calculados.

$$PNE = R * K * LS \dots\dots\dots (8)$$

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].

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 5**:

Tabela 4- 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 et al. (2010)

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

São apresentados os mapas resultantes das operações feitas em ambiente SIG, algumas tabelas e gráficos representativos da distribuição dos valores dos factores por classes.

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 10**) 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).

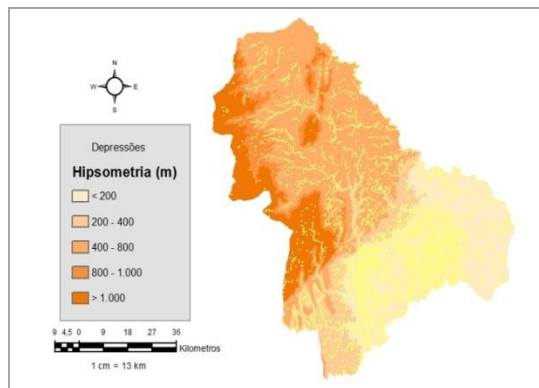


Figura 10 – Falhas no Modelo Digital do Terreno

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.

Declive

O declive do terreno (**Figura 11**) 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 4** e ao factor topográfico, sendo que os maiores valores são observados em zonas com declives superiores a 30%.

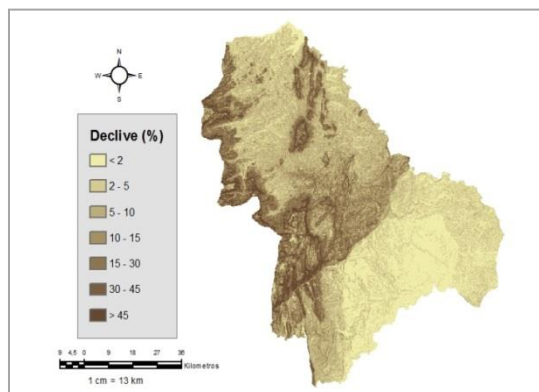


Figura 11 – Classes de declive do solo no Distrito de Sussundenga

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.

Erosividade da chuva (R)

Os valores da precipitação no Distrito de Sussundenga apresentam uma distribuição espacial irregular, como mostra a **Figura 12**. 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.

Tendo em conta as variações de ocorrência de precipitação para o Distrito e os valores da erosividade indicados na **Figura 13**, conclui-se que os meses compreendidos entre Novembro e Março possuem elevada susceptibilidade a erosão dos solos.

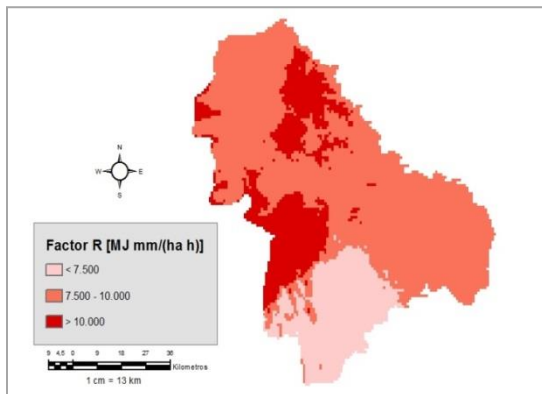


Figura 13 – Distribuição do factor R na área do Distrito de Sussundenga

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.

Tal como mostram as **Figuras 13 e 14**, 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 6**), 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 6- 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.

Erodibilidade do solo (K)

No Distrito de Sussundenga ocorrem 7 tipos principais de solos, segundo a legenda da FAO (1983). 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 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 7**.

Tabela 7- 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 15**). 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.

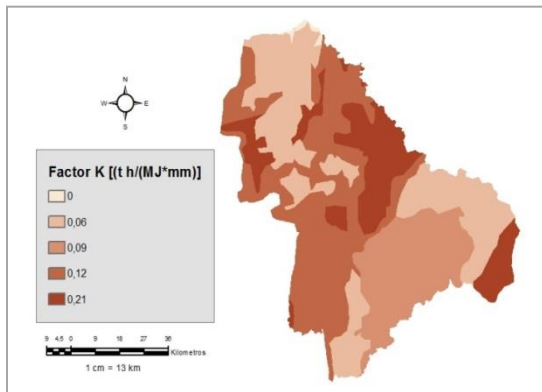


Figura 15 - Distribuição espacial do factor K ao longo do Distrito de Sussundenga

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.

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.

Factor topográfico (LS)

O factor declive (**Figura 17**), 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 & Alvares (2005) matematicamente funcionam como valores amenizadores da erosão dos solos, pois na USLE, os valores abaixo de 1 diminuem a influência dos outros factores e representam zonas possíveis de deposição de sedimentos, como já foi referido.

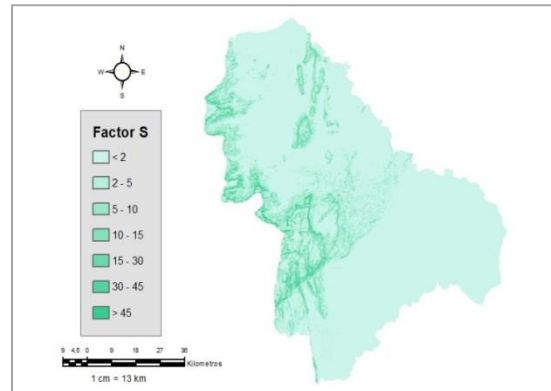


Figura 17 – Distribuição espacial do factor S no Distrito de Sussundenga

O factor comprimento da vertente (**Figura 18**) 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 & Alvares, 2005).

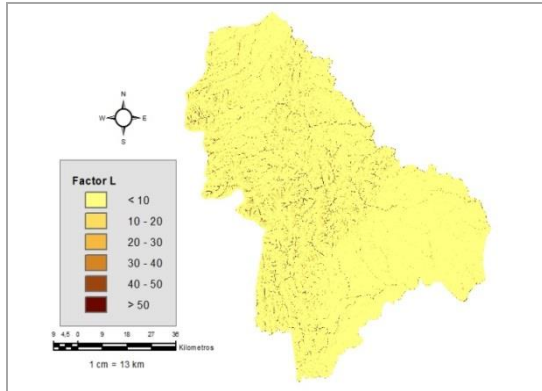


Figura 18 – Distribuição espacial do factor L no Distrito de Sussundenga

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 19 e 20 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 8).

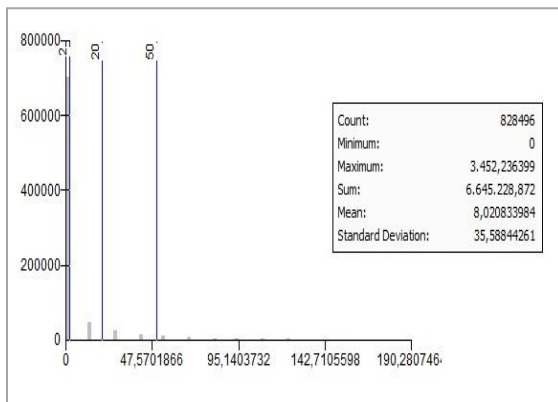


Figura 19 – Histograma dos valores do factor LS

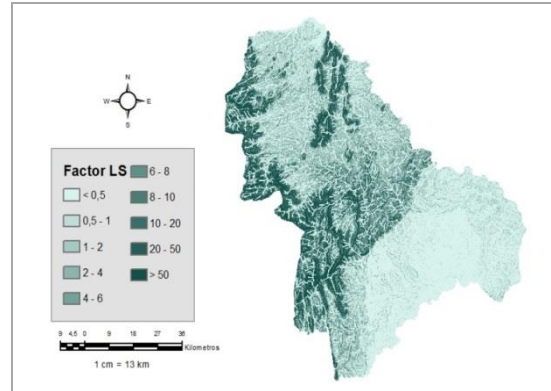


Figura 20 – Distribuição espacial do factor topográfico no Distrito de Sussundenga

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 8).

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 8- Percentagem de ocorrência do factor LS

LS	Área (ha)	% Ocorrência
0,1 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.

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 21**).

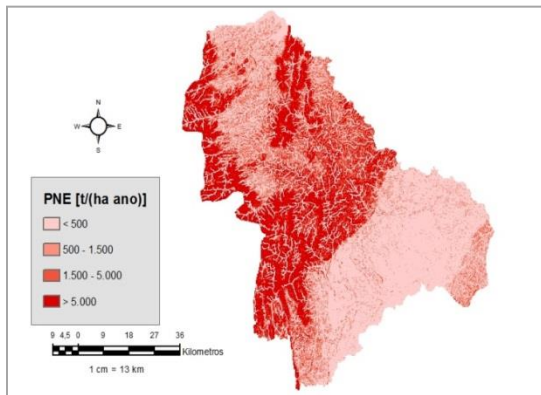


Figura 21 – Distribuição espacial do potencial natural de erosão no Distrito de Sussundenga

A distribuição dos níveis de erosão do solo apresentada na **Figura 22** 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 com 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.

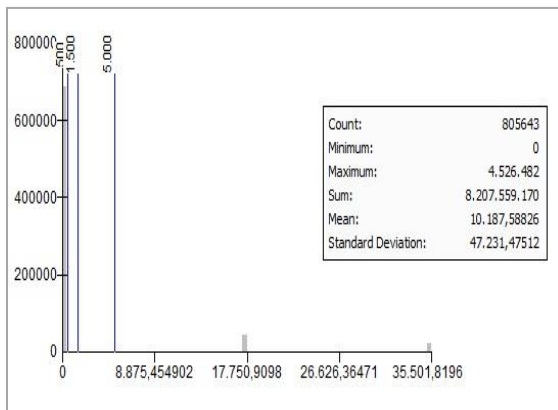


Figura 22 – Histograma dos valores do PNE

Apresenta-se na **Tabela 9** 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 9- 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 23**).

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.

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.

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.

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 sementeira direta *Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.* (Tese de doutoramento).
- Bizuwerk, A., Taddese, G., & Getahun, Y. (2003). Application of GIS for modelling soil loss rate in Awash River Basin. *Project of ILRI Addis Ababa.*
- 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.*
- 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).
- 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.abstr> act (consultado a 15 - 07 -2011)
- ESRI (2010). Spatial Analyst Tutorial. in <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/pdf/spatial-analyst-tutorial.pdf> (consultado a 10/10/2011).

- 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. (1983). Guidelines: Land evaluation for rainfed agriculture. *Soils Bulletin No. 52. Rome: FAO.*
- 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.*
- IIAM. (1995). Inventariação dos recursos de solos de Moçambique.
- 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.
- MICOA. (2005). Medidas de adaptação as mudanças climáticas. *Moçambique.*
- 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- Parapanema. *Simpósio Nacional de Controle de Erosão, São Paulo:ABGE*, 351-71.
- 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). Gênese e desenvolvimento de voçorocas em solos originados de rochas granitóides na região de Cachoeirado Campo. *Universidade Federal de Viçosa* (Dissertação de Mestrado).
- Pina, A. P. B. d. (2005). Investigação e estatística com EpiInfo. *Gabinete de Investigação e estatística - Delegação Regional do Algarve do Instituto de droga e toxicodependência.*
- Ranzani, G. (1980). Erodibilidade de alguns solos do Estado do Amazonas. *Acta Amazonica 10 (2).*
- 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).
- 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, 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.*
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning.*

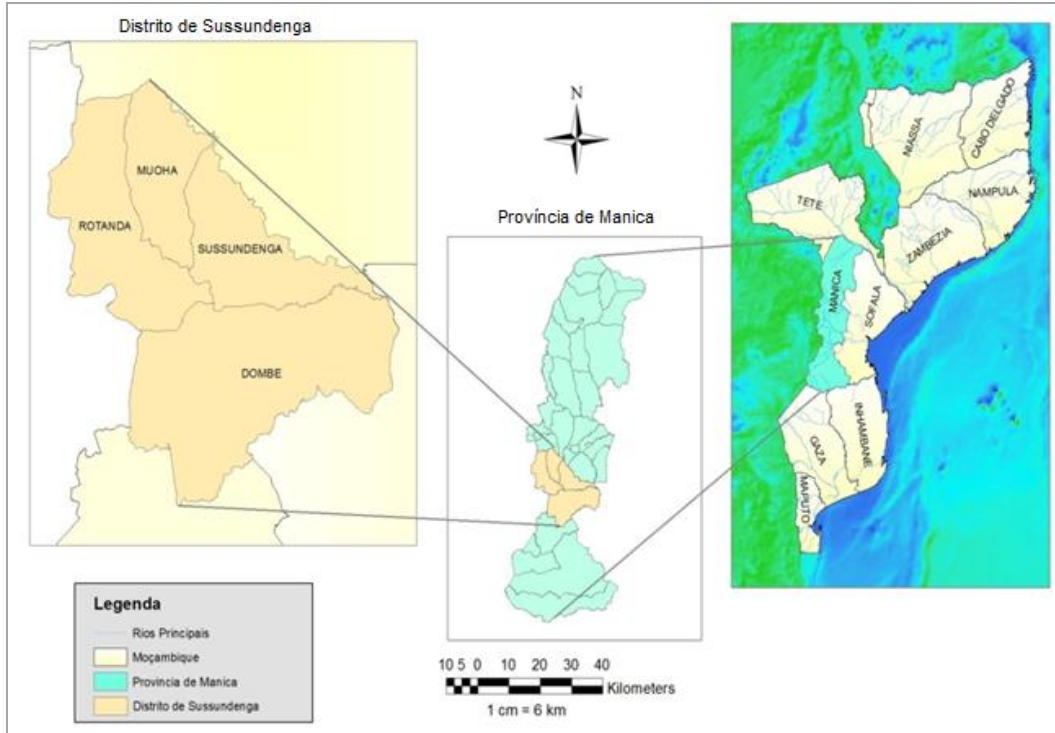


Figura 1- Localização geográfica do Distrito de Sussundenga.

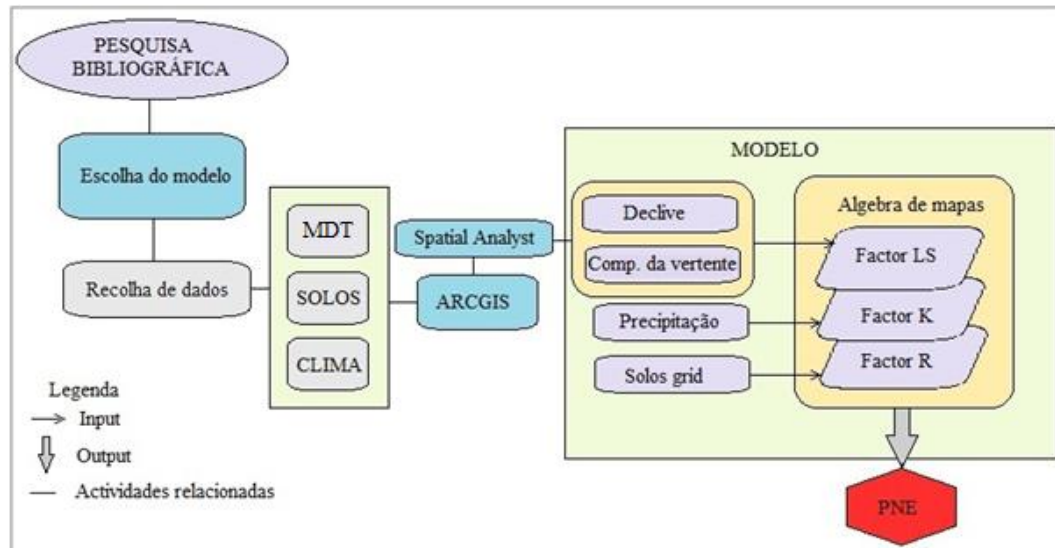


Figura 2 – Esquema geral da metodologia de trabalho

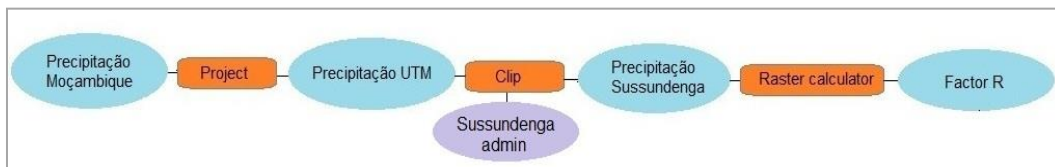


Figura 4 – Determinação do factor R em ambiente SIG

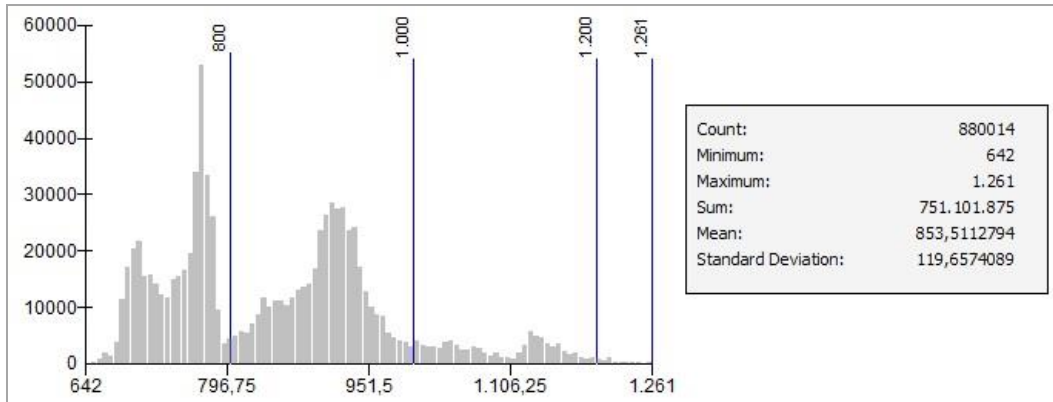


Figura 12 – Histograma dos valores da precipitação no Distrito de Sussundenga

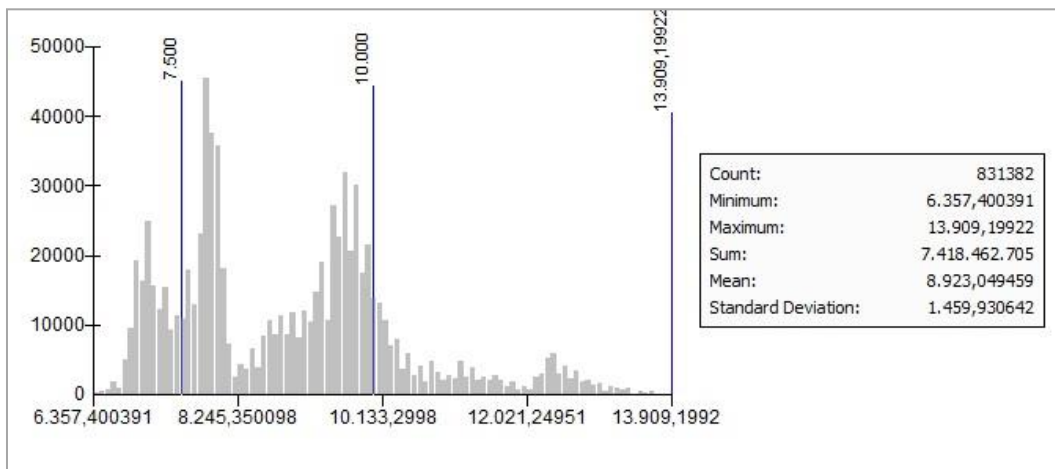


Figura 14 – Histograma dos valores do factor R

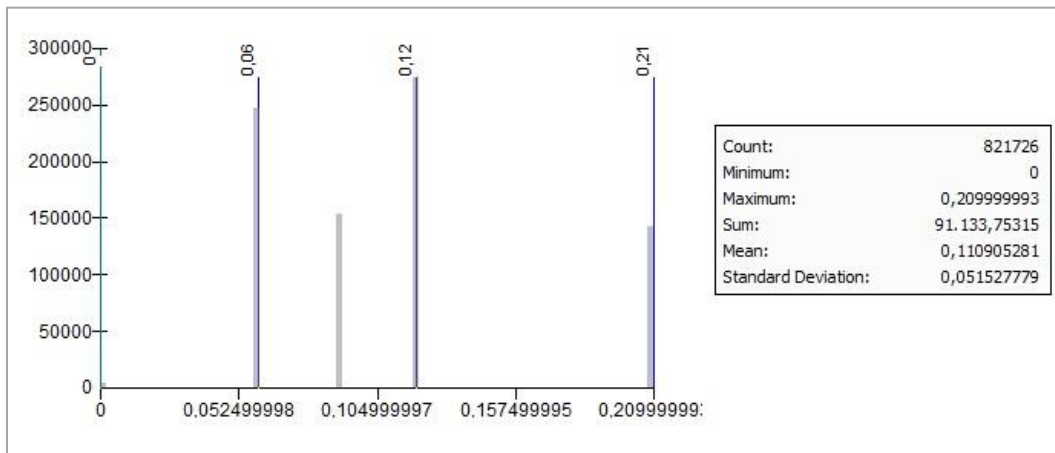


Figura 16 – Histograma dos valores do factor K

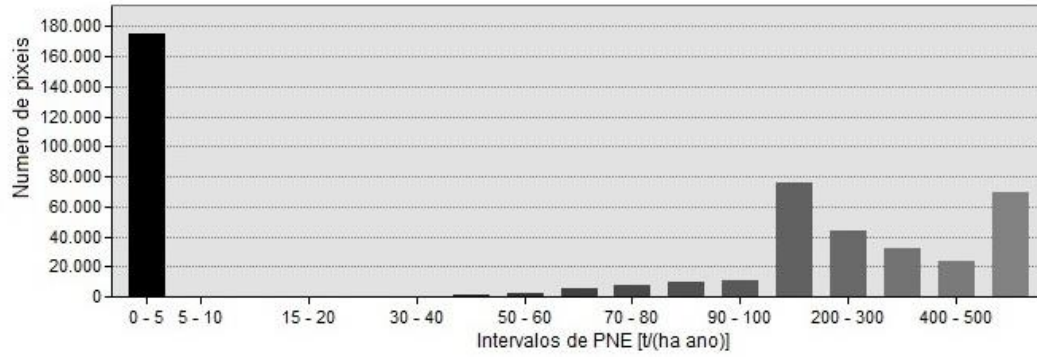


Figura 23 – Frequência de ocorrência dos valores do PNE