



FERNANDA DA MOTA CUNHA

**FATORES DA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DO SOLO
PARA A ÁFRICA OCIDENTAL**

LAVRAS-MG

2023

FERNANDA DA MOTA CUNHA

**FATORES DA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DO SOLO PARA A ÁFRICA
OCIDENTAL**

Trabalho de conclusão de curso submetido à
Universidade Federal de Lavras, como parte
das exigências do Curso de Engenharia
Florestal, para a obtenção do título de
Bacharel.

Prof. Dr. Marx Leandro Naves Silva
Orientador

Ms. Beatriz Macêdo Medeiros
Coorientadora

LAVRAS-MG

2023

A Deus, por me dar forças e sabedoria para enfrentar essa trajetória.

A minha família. Em especial Roseli Guedes, minha mãe, e Lucas Agenor, meu irmão, por serem meu exemplo e a minha base.

Aos meus avós, exemplo de vida.

A minha madrinha, Maria da Conceição, por sempre me apoiar.

A minha segunda mãe que sempre cuidou de mim, Mãe Sandra.

Ao meu namorado, Gilberto Coelho, por me apoiar e incentivar.

Dedico.

AGRADECIMENTO

Agradeço a toda minha família, meus avós, meus tios, meus primos, meu padrinho e a minha madrinha por sempre me apoiar, por ter um carinho e cuidado tão grande por mim, sempre me recepcionar tão bem na sua casa. Ao meu pai Norberto Eustáquio pelo apoio durante todos esses anos, a minha mãe Roseli Guedes e ao meu irmão Lucas Agenor, por todo amor, incentivo, por serem a minha base ao longo dessa jornada. Obrigado por me apoiarem nas minhas escolhas e me incentivarem a conquistar meus sonhos, sem a ajuda deles o sonho de uma faculdade federal não teria acontecido. A minha mãe Sandra por ter contribuído para minha criação, cuidar sempre muito bem de mim e me dá muito amor e carinho.

A Universidade Federal de Lavras pela oportunidade de realizar o curso de graduação em Engenharia Florestal e a todos os seus professores e servidores técnicos que de alguma forma contribuíram em minha trajetória acadêmica.

Ao meu orientador Marx Leandro Naves Silva pela paciência e ensinamento passado ao longo do tempo que permaneci no grupo de estudo do Departamento de Solos e durante o desenvolvimento deste trabalho.

A minha coorientadora Beatriz Macêdo Medeiros por acreditar em mim, que esteve sempre disponível a me ajudar, a tornar esse processo do desenvolvimento desse trabalho mais tranquilo e as palavras de incentivo.

A todos os professores do curso de Engenharia Florestal pelos ensinamentos passados e por aqueles que contribuíram para o meu crescimento pessoal e profissional.

A empresa Floresta Jr. pelos anos que passei na empresa, pela oportunidade de conhecer pessoas maravilhosas, e por todo aprendizado que adquiri durante os 2 anos de permanência na empresa, contribuiu muito com o meu crescimento pessoal e profissional, além de proporcionar momentos inesquecíveis.

A República BoaZona, por ser minha casa e a minha família de Lavras, por proporcionar momentos de diversão e de carinho nessa trajetória. Um abraço especial para a Franciele Ferreira (Neura), Bárbara Carvalho (Chinchila), Natália Sales (K-lada), Nadja Loch (Inxoval), Isabelle (Beleléu), Gabriela Silva (Laika), Maria Luiza (Princess), agradeço pela companhia durante esses anos, pelas gargalhadas compartilhadas, pelas jantãs e cafés e por todo momento feliz que passamos juntas.

Aos meus amigos da graduação, obrigado pelo apoio nessa trajetória, aos momentos de tensão compartilhados, mas também aos momentos de descontração juntos.

Ao meu companheiro, amigo e namorado Gilberto Coelho, por toda palavra de apoio, por ser meu lugar de refúgio, me passar tranquilidade e por sempre me incentivar a buscar o melhor para mim.

A Deus, pois só ele sabe por tudo que passei para estar finalizando essa etapa da minha vida, agradeço por me dá forças para continuar e não desistir.

Agradeço a todos que, de forma direta ou indiretamente, contribuíram para a construção deste trabalho.

Por fim, agradeço aqueles que em certo momento passaram pela minha vida e contribuíram para o meu crescimento pessoal e profissional.

Muito obrigada!

RESUMO

Na África a degradação do solo pela erosão hídrica é bastante crítica e as perdas de solo, em muitos casos, atingem valores superiores a tolerância do solo. Além destas, ocorrem também as perdas de água por escoamento superficial, comprometendo o volume de água precipitado total anual, ocasionando o déficit hídrico, notadamente nas regiões norte e ocidental, estes registros assumem importância social, econômica e ambiental. Uma maneira de diagnosticar e realizar previsões de eventos críticos de erosão hídrica é por meio do uso da modelagem, sendo que o modelo mais estudado no mundo é a Revised Universal Soil Loss Equation (R)USLE. Portanto, pretendeu-se neste estudo de revisão sistemática realizar uma compilação de registros de literatura dos fatores envolvidos no processo erosivo utilizando os modelos USLE/RUSLE para a África. O banco de dados dos fatores da USLE/RUSLE foi investigado na literatura nas principais bases científicas, considerando estudos até o ano de 2022. Os fatores estudados foram erosividade da chuva (Fator R), que expressa o potencial da chuva em causar erosão hídrica, sendo a variação de valores obtidos no estudo de 68 a 15.752 MJ·mm·ha⁻¹·h⁻¹·ano⁻¹. Especial ênfase foi dada aos solos, estes apresentam uma capacidade diferente de resistir à erosão hídrica, denominada erodibilidade do solo (Fator K), com variação de 0,017 a 0,69 t·ha·h·ha⁻¹·MJ⁻¹·mm⁻¹. Um fator de grande importância é o topográfico (Fator LS), fator adimensional, que envolve a declividade e o comprimento de rampa, atualmente gerado através do Modelo de Elevação Digital (DEM). A sua determinação, em ambiente digital possibilitou a sistematização e a padronização metodológica. Um dos componentes extremamente importante na aplicação de modelos de erosão está relacionado às plantas, denominando-se fator cobertura (Fator C), com valores de 0,314, 0,415 e 0,122, para as culturas de milho-feijão café e banana, respectivamente. O fator de práticas conservacionistas (Fator P) foi o fator que apresentou o menor banco de dados, sendo grande parte obtido na literatura e atribuído ao valor 1, indicando ausência de práticas conservacionistas. Pode-se concluir que existe uma grande necessidade de aumentar a rede de estações climatológicas automatizadas para a coleta de dados de precipitações, de estações sedimentologias fluviais nas principais bacias hidrográficas (por exemplo o Rio Niger e o Senegal), de parcelas padrão e de estudos adicionais para a determinação dos fatores da RUSLE, notadamente para a região ocidental. Verificou-se também a necessidade de desenvolvimento de técnicas para validação dos fatores da USLE/RUSLE para o continente africano.

Palavras-chave: Erosividade. Erodibilidade. Cobertura Vegetal. Perdas de solo. Perdas de água. Práticas conservacionistas.

ABSTRACT

In Africa, soil degradation by water erosion is very critical and soil losses, in many cases, reach values above the soil tolerance. In addition to these, there are also water losses due to runoff, compromising the total annual precipitation, causing a water deficit, notably in the western region, these records assume social, economic and environmental importance. One way to diagnose and make predictions of critical water erosion events is through the use of modeling, and the most studied model in the world is the Revised Universal Soil Loss Equation (R)USLE. Therefore, the aim of this systematic review was to compile literature records of the factors involved in the erosion process using the USLE/RUSLE models for Africa. The USLE/RUSLE factor database was investigated in the literature in the main scientific bases, considering studies up to the year 2022. The factors studied were rainfall erosivity (Factor R), which expresses the potential of rainfall to cause water erosion, being the range of values obtained in the study from 68 to 15,752 $\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$. Special emphasis was given to soils, which have a different ability to resist water erosion, called soil erodibility (K Factor), with a variation from 0.017 to 0.69 $\text{Mg}\cdot\text{ha}\cdot\text{h}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$. A factor of great importance is the topographical factor (Factor LS), a dimensionless factor, which involves the slope and the length of the ramp generated through the Digital Elevation Model (DEM). Its determination, in a digital environment, enabled methodological systematization and standardization. One of the extremely important components in the application of erosion models is related to the plants, called the coverage factor (Factor C), with values of 0.314, 0.415 and 0.122, for corn-bean crops, coffee and banana, respectively. The practical conservationist factor (Factor P) was the factor that presented the smallest database, most of which was obtained from the literature and assigned a value of 1, due to the lack of information. It can be concluded that there is a need to increase the network of automated stations for collecting data on precipitation, river sediments in the main hydrographic basins, standard plot and additional studies to determine the C and P factors, notably for the region western. There was also a need to develop techniques for validating the USLE/RUSLE factors for the African continent.

Keywords: Erosivity. Erodibility. Planta Cover. Soil losses. Losses of water. Conservation practices.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - EI_{30} médio mensal ($MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot ano^{-1}$) derivado dos dados Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA) de 3 horas.....	19
Figura 2 - Mapa de erosividade média anual ($MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot ano^{-1}$) derivado de dados de 3 horas do TMPA 3B42 para 1998–2012. As cruzes vermelhas indicam os locais para os quais os valores do fator R (de medições de intensidade de chuva de longo prazo) estavam disponíveis na literatura.....	22
Figura 3 – Infográfico da média da erodibilidade do solo entre os metadados, no eixo x as regiões africanas e no eixo y a erodibilidade em $Mg \cdot ha \cdot h \cdot ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}$	25
Figura 4 - Mapa do fator LS para a região da África Ocidental.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de erosividade da chuva (Fator R) para a região da África.	20
Tabela 2 - Valores de erodibilidade do solo (Fator K) para a região da África.	23
Tabela 3 - Valores do fator cobertura e manejo do solo (Fator C) para a região da África.	27
Tabela 4 - Valores do fator práticas conservacionistas (Fator P) para a região da África.	29
Tabela 5 - Valores do fator topográfico (Fator LS) para a região da África.	32
Tabela 6 - Valores de perda de solo (A) para a região da África.	34

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1 Fator Erosividade da Chuva (R)	12
2.2 Fator Erodibilidade do Solo (K)	13
2.3 Fator Topográfico (LS).....	14
2.4 Fator Cobertura e Manejo do Solo (C)	15
2.5 Fator Práticas Conservacionistas (P)	16
3 MATERIAL E MÉTODO	17
3.1 Metadados.....	17
3.2 Mapa do fator topográfico (LS).....	17
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
4.1 Fator R	18
4.2 Fator K.....	22
4.3 Fator C	26
4.4 Fator P	29
4.5 Fator LS	31
4.6 Perda Média Anual de Solo (A)	33
4.7 Custo da erosão.....	36
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

1 INTRODUÇÃO

O solo é a base de sistemas de produção da agropecuária, além de possuir importantes funções ecossistêmicas como a infiltração e o armazenamento de água. Portanto é um recurso natural fundamental para a sustentabilidade ambiental, econômica e social do planeta.

Em questão ao uso agrícola do solo, o correto manejo e uso deste recurso, por meio de práticas de conservação do solo e da água, permite a geração de matérias primas, energia e alimentos sem degradá-lo, que visa a sustentabilidade e o aumento do desempenho das atividades que dependem do solo.

A degradação do solo pode causar problemas que envolvem vários fatores, como a baixa produtividade, lixiviação, contaminação das águas, assoreamento de rios, erosão, afloramento de rochas, compactação, dentre outros. Causam perdas para a atividade agrícola, além de prejuízos econômicos, sociais e ambientais. Com a aplicação correta de práticas de conservação do solo e da água é possível manter a fertilidade do solo, elevar o fornecimento de nutrientes e de água, bem como promover a atividade biológica.

No entanto, ainda existem muitos agricultores e países com baixo acesso a informações a respeito do uso correto da terra, não sabendo como trabalhar ou manejar o solo de maneira adequada, assim acarretando a erosão e conseqüentemente a degradação do solo. A erosão é constituída pelo arraste de partículas constituintes do solo, pela ação da água em movimento, resultante da precipitação pluviométrica, ou pela ação dos ventos e das ondas (ALVES, 1983). A erosão é um sério desafio ambiental global.

O nível de erosão do solo é afetado principalmente pela cobertura vegetal, características topográficas, variáveis climáticas e características do solo. As atividades antrópicas e os desenvolvimentos em grande escala alteram a cobertura da vegetação, impactando na taxa de erosão do solo (NI; LI, 2003). A erodibilidade do solo, que representa a suscetibilidade do solo à erosão, é afetada principalmente pela estabilidade estrutural dos agregados, permeabilidade, textura, profundidade, matéria orgânica e pedregosidade (MORGAN, 2005).

A degradação do solo associado a perda de nutrientes tem profundos encadeamentos econômicos em países com baixa renda (ERKOSSA et al., 2015). Como é verificado no continente africano, países com baixa renda enfrentam um declínio da produtividade agrícola por consequência da degradação das terras (BATIONO et al., 2006).

Quando o solo fica exposto por um longo período à erosão, as perdas de solo e os custos de se recuperar a área se tornam um efeito acumulativo, a cada ano o volume do acúmulo de sedimentos aumenta, se alguma ação não for tomada. Logo, o volume de insumos necessário para devolver o que foi perdido se torna maior, a fim de restaurar a fertilidade do solo a taxas que garantam uma produtividade adequada, pode ser oneroso e até economicamente inviável. Portanto, a manutenção da cobertura do solo é essencial para minimizar os efeitos negativos da erosão nas terras agrícolas (DECHEN, et al., 2015).

Na África, os agricultores mudavam de uma área cultivada para uma outra ainda não cultivada para evitar que um declínio significativo no rendimento das colheitas pudesse ocorrer, deixando os campos para reabastecer a fertilidade do solo sob rebrota natural. Porém com aumento populacional, os períodos de pousio diminuíram, com isso a retirada da vegetação natural para o aumento de áreas agrícolas e pastagens levou ao aumento de perdas de solo e ao crescimento de afloramentos rochosos, o que desencadeou o esgotamento da base de nutrientes dos solos e redução do rendimento das terras (ERKOSSA et al., 2015).

De acordo com Smaling (1995), a maior parte dos solos africanos apresentam fertilidade natural baixa se comparado a outras partes do mundo, isso se deve por decorrência dos fatores formadores do solo. Porém quando as floresta ou savana são retiradas, para plantio de culturas agrícolas, o equilíbrio é rompido e essa fertilidade decai a uma taxa que depende da intensidade do cultivo e reposição das perdas dos nutrientes. Sendo assim, o continente africano sofre com ciclos de intemperismo, lixiviação e erosão, causando uma perda acentuada de nutriente do solo.

A avaliação da possibilidade de erosão é uma importante ferramenta que pode ser usada para o planejamento de ações eficazes de conservação do solo e da água visando a redução da erosão. Contudo, não existe um modelo de erosão do solo desenvolvido localmente para esse fim. Os cientistas, portanto, confiam em modelos de países temperados, que são adaptados às condições locais. Um desses modelos empíricos é a Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE).

A RUSLE estima a perda média anual de solo por erosão hídrica e considera fatores naturais e antrópicos, com a multiplicação destes fatores: Erosividade da chuva (R), erodibilidade do solo (K), comprimento e inclinação de rampa (Topográfico) (LS), cobertura e manejo do solo (C) e práticas conservacionistas (P). Tais fatores possuem valores atribuídos diferentes, podendo ser determinados a campo (parcela de campo), em laboratório (atributos

intrínsecos do solo, morfológicos, físico, químico e mineralógico) e proveniente de estações meteorológicas (pluviosidade e intensidade de chuva).

Embora a equação de RUSLE seja amplamente usada, os fatores analisados na equação não atendem adequadamente às condições dos solos encontrados na África, podendo subestimar ou superestimar a taxa de erosão em determinados locais. A região africana carece de estudos voltados para as características locais, há a necessidade de se realizar a validação e a calibração do modelo para as diferentes condições encontradas no continente africano (MATI; VEIHE, 2001).

Portanto, levando em consideração a limitação de dados sobre o solo africano e a importância de mapear e avaliar as áreas suscetíveis à perda do solo, o objetivo deste estudo de revisão sistemática foi desenvolver um acervo de artigos científicos dos fatores envolvidos no processo erosivo utilizando os modelos USLE/RUSLE para a África, para que seja possível validar os estudos em desenvolvimento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A Equação Universal de Perdas de Solo Revisada (RUSLE, do inglês Revised Universal Equation of Soil Loss), é uma equação (1) derivada da Equação Universal de Perda de Solos (USLE), sendo uma das equações mais usadas no mundo. Foi desenvolvida no Departamento de Agricultura dos EUA, na década de 1950, no qual propõe estimar o processo erosivo, sob diversas condições de cobertura e uso do solo que podem ser responsáveis pelas perdas de solo, possibilitando assim a separação da paisagem em glebas em níveis de instabilidade, possibilitando ações mais efetivas de planejamento e conservação ambiental (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

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

Onde A representa a perda de solo, geralmente em base anual ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$); R é o fator de erosividade da chuva ($\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$); K é o fator de ($\text{Mg}\cdot\text{ha}\cdot\text{h}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$); LS é o fator topográfico (adimensional); C é o fator cobertura e manejo do solo (adimensional, variando entre 0 e 1); e P é fator de práticas conservacionistas (adimensional, variando entre 0 e 1).

2.1 Fator Erosividade da Chuva (R)

O fator de Erosividade da chuva (R) depende dos dados climáticos, uma vez que quantifica a capacidade de separação das partículas do solo com o impacto da gota de chuva e pode fornecer dados referente à taxa e a quantidade de escoamento associado à precipitação. O fator R é o produto entre a quantidade de energia cinética total (EC_t) e a intensidade máxima em 30 minutos (I_{30}) (WISCHMEIER; SMITH, 1978), sendo representada matematicamente conforme a equação (2):

$$R = EC_t \times I_{30} \quad (2)$$

Em que R representa o fator de erosividade da chuva ($MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot ano^{-1}$); EC_t a energia cinética total da chuva ($MJ \cdot ha^{-1}$); I_{30} a intensidade máxima da chuva em 30 min ($mm \cdot ha^{-1}$).

A chuva é o principal fator de erosão hídrica e está relacionado ao fator R, que depende dos dados climáticos, tal fator está diretamente relacionado às características específicas da precipitação, como a distribuição espacial, intensidade, quantidade, sazonalidade, duração e entre outros, todos esses pontos irão influenciar na estimativa desse fator, além da grande oscilação da distribuição e intensidade da chuva durante os anos (LE BISSONNAIS et al., 2002; EFTHIMIOU, 2018).

No entanto, comumente medições de precipitação não estão disponíveis para as áreas de estudo, notadamente nos países africanos, sendo necessário usar equações para estimar o fator R, como a de Hurni (1985), com base na precipitação média anual desenvolvida para a Etiópia da seguinte forma (Equação 3):

$$R = (0,562) \times P^{-8,12} \quad (3)$$

Em que R representa a erosividade da chuva ($MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot ano^{-1}$); P é a precipitação média anual ($mm \cdot ano^{-1}$).

Países da África Ocidental têm a maior parte dos seus territórios influenciados por climas áridos ou semiáridos, a precipitação média anual destes países varia de 120 a 1.300 $mm \cdot ano^{-1}$, sendo bastante variáveis dentro do território e na maioria das vezes se concentra em apenas um período do ano (WORLD BANK, 2021).

Alguns países da África Ocidental sofrem a interferência do “Harmattan” que segundo Kinross Gold (2015, online) “é um vento alísio nordeste frio, seco e empoeirado que varre a parte inferior do Oeste da África nos primeiros meses do ano”, esse fenômeno se estende até o início das primeiras chuvas que são em meados de fevereiro a março (MULLER, 2015).

Tendo em vista esse fenômeno, os solos sofrem com erosão eólica por conta dos fortes ventos que acometem a região, e por ser também uma época seca e com clima quente, as vegetações tendem a ficar mais esparsas, deixando o solo exposto, propenso para no início da época de chuva, esse solo fique sem uma vegetação como forma de proteção, tornando-os mais vulneráveis e sofra um impacto maior da energia das gotas de chuva, podendo resultar em erosão hídrica (MARONDEDZE; SCHUTT, 2020).

2.2 Fator Erodibilidade do Solo (K)

O fator de erodibilidade do solo (K), é determinado a partir da caracterização do efeito das propriedades e características do perfil do solo com o impacto da chuva, desta forma, representa a vulnerabilidade do solo à erosão (RENARD et al., 1997). Deve ser analisado independentemente dos efeitos dos demais fatores, pois ele pode sofrer mudanças de acordo com diferentes efeitos da precipitação, da declividade, cobertura e manejo do solo. Cada solo possui uma suscetibilidade natural à erosão (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

O fator K é estimado com base nas características físicas e químicas do solo como a textura do solo (porcentagem de argila, areia e silte), teor de carbono orgânico, estrutura, profundidade e permeabilidade. A textura do solo tem uma grande importância neste fator, dependendo do resultado da análise granulométrica, pode mostrar se um solo é mais ou menos erodível, o quanto é mais suscetível a quebra dos agregados instáveis, causando o colapso dos poros e transporte de partículas (PARWADA; VAN TOL, 2016; GURMU et al., 2021). Uma das equações (4) que podem ser usadas para se estimar o fator K é a proposta por Wischmeier e Smith (1978).

$$K = \left[\frac{(2,1 \times 10^{-4} \times M^{1,14} (12 - OM) + 3,25(s - 2) + 2,5(p - 3))}{100} \right] \times 0,1317 \quad (4)$$

Onde K representa a estimativa de erodibilidade do solo; M é a textura do solo, onde $M = (M_{\text{silt}} + M_{\text{vfs}}) \times (100 - M_c)$, $M_c = [\%]$ fração de teor de argila ($<0,002$ mm), $M_{\text{silt}} = [\%]$ fração de

silte (0,002– 0,05 mm), Mvfs = [%] fração de areia muito fina (0,005–0,1 mm); OM = [%] matéria orgânica; s = classe de estrutura do solo; p = classe de permeabilidade.

A matéria orgânica apresenta um papel importante no controle da erosão, um baixo teor de matéria orgânica presente no solo, indica uma maior vulnerabilidade à erosão, o acúmulo e a adição de matéria orgânica no solo trazem estabilidade dos agregados (PARWADA; VAN TOL, 2016). Isso indica que o fator K é fortemente dependente dos métodos de cultivo, das culturas usadas, da cobertura do solo, uma vez que áreas com vegetação densa apresentam alta rugosidade, o que reduz o escoamento superficial e aumenta a infiltração da água de forma mais lenta, reduzindo assim a possibilidade de a energia cinética da água agir nos agregados, conservando a estrutura do solo. (ROOSE; SARRAILH (1990) apud WARREN et al., 2001, p. 82).

Camadas de ferricrete são amplamente distribuídas nos solos da África Ocidental (Duricrust rico em ferro), onde se formam camadas endurecidas sob ou dentro do solo, as partículas dos solos são cimentadas por óxidos de ferro minerais (BUTT; BRISTOW, 2013). No estudo de Butt e Bristow (2013), na região de Burkina Faso e Mali, foi observado ferricretes com mais de 5m de espessura, que continha partículas grosseiras cimentadas, como quartzo, formando crostas na superfície do solo, tal característica afeta as práticas agrícolas. A plintita é altamente presente no cráton da África Ocidental, que é uma mistura rica em óxido de ferro, presente nos solos associados a presença de argilas do tipo caulinita, quartzo e outros minerais, normalmente pobres em matéria orgânica. A plintita é uma característica presente em solos intemperizados (SANTOS et al., 2023; BRITANNICA, 2016).

2.3 Fator Topográfico (LS)

O fator LS, representa o relevo, sendo L o comprimento da rampa e S a inclinação, refletem o efeito da topografia do terreno sobre a erosão. Segundo Wischmeier e Smith (1978), a definição do fator topográfico consiste no comprimento da encosta (L) sendo a distância do início do escoamento superficial até um ponto onde ocorre uma mudança na inclinação ou o fluxo se concentra em depressões. Demonstrou-se que o aumento do comprimento do talude e da inclinação do talude podem produzir maior escoamento superficial, velocidade de fluxo e conseqüentemente, uma maior exposição à erosão. Além disso, a perda bruta de solo é consideravelmente mais sensível às mudanças na inclinação do declive do que às mudanças no comprimento do declive (MCCOOL et al., 1987).

Os dados necessários para se obter o fator LS nem sempre estão disponíveis, principalmente em regiões com pouco estudo. Deste modo, muitas pesquisas usam Sistemas de Informações Geográficas (SIG) através de técnicas de geoprocessamento para o mapeamento do fator LS, a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) proveniente de imagens de sensoriamento remoto (THLAKMA et al., 2018).

A África Ocidental é constituída por planaltos e planícies, com variações de ondulações (BUTT; BRISTOW, 2013). Informações de declividade e inclinação da área da África em campo são mais escassas, conforme observado nas buscas realizadas nas literaturas científicas.

2.4 Fator Cobertura e Manejo do Solo (C)

Segundo Renard et al. (1991, p. 32) “o fator C é talvez o mais importante fator da RUSLE porque representa condições que podem ser gerenciadas mais facilmente para reduzir a erosão”. A cobertura e manejo do solo (C), irá depender em partes da quantidade de chuva erosiva que ocorre durante o período que a terra está em pousio, ou seja, é a razão da perda de solo quando as terras estão sendo cultivadas sob condições específicas e a perda de solo quando este está com uma menor área de cobertura de proteção (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

O solo exposto é uma das várias maneiras que podem favorecer a erosão do solo, e com essa condição, abre um leque maior para que outros fatores atuem de maneira mais intensa. Um solo com cobertura, uma vegetação densa e bem distribuída, proporciona uma proteção ao solo, favorecendo uma maior infiltração da água no solo e pode reduzir o escoamento superficial, reduzindo o impacto de forma direta da água com o solo (PRUSKI, 2009).

O fator C pode ser facilmente influenciado pela ação antrópica, tanto de forma positiva como negativa. Com o aumento populacional da região, acarretou a necessidade pela busca por alimento e conseqüentemente a ocupação por áreas para o aumento de plantação. Áreas de florestas sendo convertidas para plantações e o período de recuperação da terra sendo reduzido pelo aumento da necessidade por alimentos, dessa maneira acarretando a perda de nutrientes do solo e mudando sua composição e estrutura, se tornando mais frágeis, e logo mais susceptíveis a erosão. Deste modo o solo fica sem uma cobertura de proteção, com pequena reserva de nutrientes, o solo não irá conseguir se recuperar e apresentar novas brotações. Pela necessidade de alimentos em quantidade para a sobrevivência, aspectos importantes da manutenção e manejo do solo são negligenciados. Por outro lado, o homem pode apresentar uma influência positiva em questão da cobertura do solo, usando de maneira sustentável, buscando alternativas

para a recuperação da área e não seu esgotamento, aplicando práticas de manejo que busquem pela máxima proteção do solo, o que infelizmente não é a realidade de muitos países do continente africano (WARREN et al., 2001).

Em um desmatamento ocorre a retirada da vegetação e muitas vezes a queima da área, o solo fica nu, removendo a serrapilheira e a biomassa, deixando o solo exposto a radiação solar direta, vento e chuva. Com essa exposição e também com o método de desmatamento utilizado pode intensificar os danos causados no solo, alterando os atributos físicos e químicos do solo, resultando em um desequilíbrio no sistema, causando rápida mineralização da matéria orgânica e diminuindo a atividade biológica. É esse declínio na atividade biológica que impede melhorias na estrutura do solo e no estado nutricional dos horizontes superficiais. Sendo assim, o solo fica em desequilíbrio, e propenso a maiores taxas de erosão e perda de solo (OUÉDRAOGO et al., 2017).

2.5 Fator Práticas Conservacionistas (P)

O fator de práticas conservacionistas (Fator P) segundo Wischmeier e Smith (1978, p. 34) “é a razão entre a perda de solo com uma prática conservacionista específica e a perda correspondente com a cultura em subida e descida cultivada morro-a-baixo.” Entretanto, os valores obtidos do fator P podem ser menos confiáveis por causa de pequenas mudanças que ocorrem em campo que podem ser difíceis de detectar, podendo ter consideráveis mudanças no resultado (RENARD et al., 1991).

Preparar o solo para receber uma determinada cultura, realizar o plantio utilizando plantio de nível, terraceamento ou plantio em faixas são práticas conservacionistas que podem influenciar na redução dos processos erosivos, conseqüentemente, uma redução na perda do solo. São maneiras de modificar o sistema de cultivo, não só ajudando no controle de processos erosivos, mas também há benefícios com aumento da fertilidade do solo, aumentando a produtividade (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

Ouédraogo et al. (2017) realizaram um estudo em cinco países da África Ocidental (Burkina Faso, Gana, Mali, Níger e Senegal), onde houve um levantamento de dados para observar quais as práticas conservacionistas usadas por famílias de agricultores como forma de conseguir mudar o cenário da agricultura da região. As práticas mais difundidas adotadas pelas famílias foram o uso de adubo orgânico, a preparação precoce da terra, a mecanização e a queima interrompida.

3 MATERIAL E MÉTODO

Tendo em vista a limitação de dados sobre a perda de solo no continente africano e a necessidade de avaliação de áreas suscetíveis à perda do solo, o estudo foi desenvolvido por meio de uma revisão sistemática de artigos científicos referentes aos Fatores da Equação Universal de Perda do Solo (USLE/RUSLE) para o continente africano.

3.1 Metadados

Artigos acadêmicos relacionados a (R)USLE foram selecionados utilizando os termos de indexação, como: “Erosivity”, “Erodibility”, “Cover factor”, “Soil losses”, “Losses of water”, “Conservation practices”, “Africa”, “Erosion”, “RUSLE”, “Sediment”, “West African” e “Costs of Soil Erosion”. Os termos foram buscados nas bases de dados científicas Scopus, Web of Science e ScienceDirect. As buscas resultaram em inúmeros trabalhos, sendo selecionados os artigos de periódicos científicos publicados em todo o mundo para cobrir a área objetivo do estudo e filtrados com base no ano de publicação, foram selecionados artigos até 2022. Os artigos obtidos nas buscas foram comparados e os repetidos removidos. O acervo de dados foi composto por 32 artigos que avaliaram a perda de solos.

Os metadados foram organizados em um documento de planilha onde foi possível realizar a separação das informações de interesse, tais como: país/região de estudo de cada artigo, a metodologia usada para se obter os valores de cada fator, o valor estimado do fator, o ano realizado e as características específicas de cada fator, como a precipitação da área de estudo, tipos de solos, a inclinação do terreno, a cobertura vegetal e as práticas conservacionistas usualmente utilizadas. Posteriormente foi realizado uma análise entre os metadados dos artigos e os seus respectivos resultados. Foi feito também uma busca por artigos que retratasse sobre o custo da erosão do solo, para que fosse possível ter uma noção de quanto é para se recuperar a fertilidade de uma área. Apesar dos artigos selecionados para a revisão sistemática englobarem regiões de toda a África, o presente estudo tem como foco a África Ocidental, onde a compilação de metadados poderá servir como base para outros estudos.

3.2 Mapa do fator topográfico (LS)

Para a geração do mapa do fator topográfico, foi necessário fazer download das imagens de satélite de elevação (Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) com resolução de 250 m

para a região de interesse, a África Ocidental, no site do USGS - Science for a Changing World. Foram coletadas imagens de cada país da África Ocidental para gerar o mapa do fator LS e posteriormente foi realizado um mosaico de todas as imagens, que consiste em juntar todas elas em um só arquivo raster, esse processo foi feito no software livre QGIS 3.30.2 (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2023). O mosaico realizado foi reprojetoado para o sistema de coordenadas cônica de Albers para a África e foi feito o preenchimento dos pixels vazios resultante do mosaico, utilizando a ferramenta “Fill nodata”. A estimativa do fator LS foi realizada utilizando a ferramenta disponível no QGIS, a “Ls-Factor, Field Based”, pelo método de Desmet e Govers (1996) (Equação 5):

$$L_{i,j} = \frac{(A_{i,j-in} + D^2)^{m+1} - A_{i,j-in}^{m+1}}{D^{m+2} \times X_{i,j}^m \times 22,13^m} \quad (5)$$

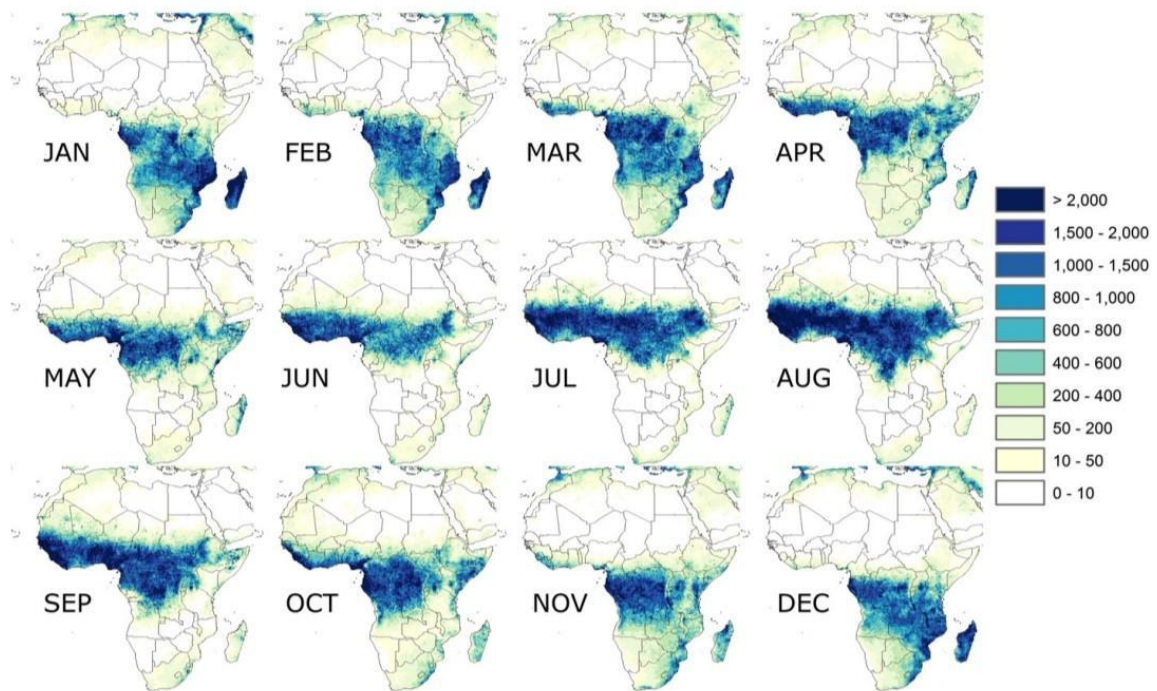
Onde $L_{i,j}$ fator de comprimento de vertente de uma célula com coordenadas (i, j); $A_{i,j-in}$ a área de contribuição da célula em de coordenadas (i, j) (m^2); D o tamanho da célula; x é o coeficiente função do aspecto para grade de célula em coordenadas (i, j); m é o coeficiente função da declividade para grade de célula com coordenada (i, j).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Fator R

As chuvas e as tempestades de alta intensidade não são distribuídas de forma uniforme ao longo do ano, em algumas regiões se concentra em determinados meses, o que pode coincidir com momentos de cobertura vegetal limitada, aumentando as taxas de erosão. Havendo assim uma importância de se estudar o aspecto de sazonalidade (VRIELING et al., 2014), como é mostrado na Figura 1, onde apresenta a relação do EI₃₀ médio mensal, mostrando a variabilidade da erosividade da África dentre os meses.

Figura 1 - EI_{30} médio mensal ($MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot ano^{-1}$) derivado dos dados Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA) de 3 horas.



Fonte: Vrieling et al. (2014).

Para uma avaliação correta do fator erosividade (R), o ideal é que tenha registros pluviométricos de vários anos e intervalo de tempo curto, o que não é a realidade de muitas áreas. Visto que para obtenção de dados detalhados faz-se necessário de estações meteorológicas bem alocadas e em perfeito funcionamento. Tendo em vista esta limitação, outras alternativas para obter o fator R por equações matemáticas são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores de erosividade da chuva (Fator R) para a região da África.

País/Região	Método	Estimado/Determinado	Precipitação		Fonte
			Mm	MJ·mm·ha ⁻¹ ·h ⁻¹ ·ano ⁻¹	
Gana (África Ocidental)	Hurni (1985)	Determinado	800 - 1.000	494 a 579	Agyare e Salifu (2021)
Quênia (África Oriental)	Renard e Freidmund (1994)	Determinado	1.500	8.527	Angima et al. (2003)
Marrocos (Norte da África)	Y. Ostovari et al. (2021); L. Bou-Imajjane (2020)	Determinado	394	67,630 a 69,778	Aouichaty et al. (2022)
Etiópia (África Oriental)	Hurni (1985)	Determinado	1.651	840 a 949	Desalegn et al. (2018)
Etiópia (África Oriental)	Hurni (1985)	Estimado	800	436 ⁽¹⁾ e 440 ⁽²⁾	Gurmu et al. (2021)
Lesoto (África Meridional)	Aghius e Aghius (2011)	Determinado	500 - 1.000	610,98 a 9,314.94	Makara (2013)
Zimbabwe (África Oriental)	WS. Merritt, et al. (2003); C. Tundu (2018)	Determinado	822	2000- 329 2018- 315	Maronedzede e Schutt (2020)
Nigéria (África Ocidental)	Wischmeier e Smith (1978)	Determinado	1985 - 195 2000 - 194 2015 - 248	1985 - 1,6 a 1.032 2000 - 0 a 764,8 2015 - 4,2 a 1.105,7	Njoku et al. (2017)
Província Eastern Cape (África Meridional)	Wischmeier e Smith (1978)	Determinado	671	814 a 1060	Phinzi et al. (2020)
Etiópia (África Oriental)	Renard e Freimund (1993)	Estimado	167,6 - 860,19	264,68	Sisay et al. (2014)
Marrocos (Norte da África)	Nguyen (1996)	Determinado	270 - 953	88 a 262	Taher et al. (2022)
Continente Africano	Renard e Frei Mund (1994)	Estimado	-	640 a 15.752	Vrieling et al. (2010-2014)

(1) Arata-Chufa e (2) Ketar

Legenda: País/Região - da área do estudo em específico; Método - o modelo matemático utilizado para estimar/determinar o fator erosividade; Precipitação - da área do estudo em específico em Mn; Fator R - valor obtido do fator erosividade; Fonte - autores dos artigos; Hífen “-” - ausência de dados.

Fonte: Da autora (2023).

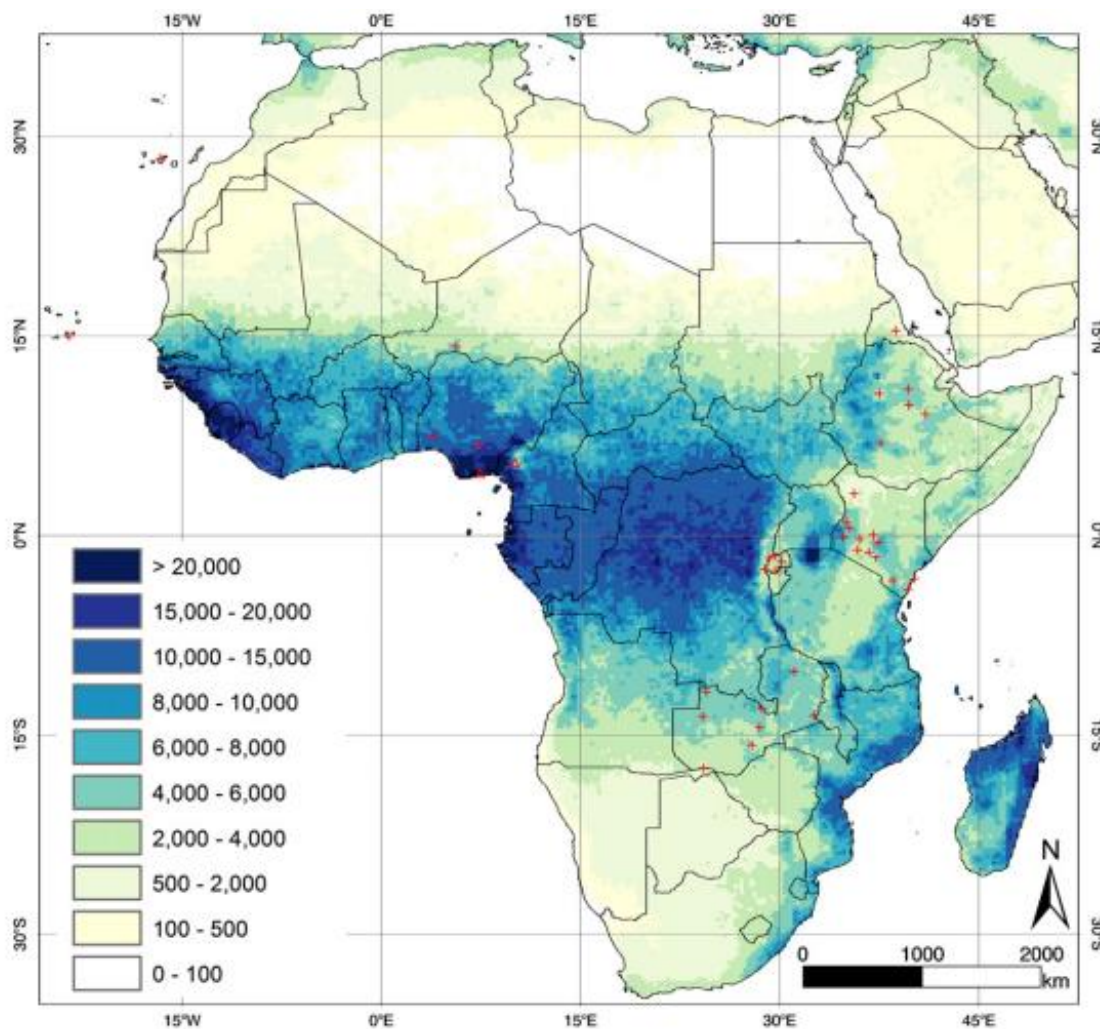
Dentre os estudos analisados na Tabela 1, dados de precipitação foram obtidos por estações meteorológicas disponíveis na área. Na literatura de Vrieling et al. (2010, 2014) foi abordado sobre a erosividade da chuva (Fator R) no continente africano, fazendo uma correlação entre valores de R com base em literaturas da região com a análise da variabilidade da erosividade da chuva usando os dados de precipitação derivados do The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA) que fornece dados a cada 3 horas, resultando em estimativas de precipitação de vários satélites (HUFFMAN et al. 2010). A estimativa foi realizada seguindo o procedimento padrão para cálculo de erosividade descrito por Renard e Freimund (1994).

Foram apresentados 39 estudos com valores do fator R, variando de 640 a 15.752 $\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$, onde o maior valor 15.752 $\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$, como mostra na Tabela 1, foi identificado em uma cidade na Nigéria (África Ocidental), podendo observar a correlação dos valores das literaturas com o mapa gerado a parti dos dados de 3 horas do TMPA, onde apresenta também altos índices na região da Nigéria. O valor de 640 $\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$, menor valor, foi obtido em uma ilha chamada Tenerife, que está localizada próxima a costa da África Ocidental. No mapa gerado, pode-se observar cores claras na área da ilha, assim como no Norte da África, indicando um baixo índice do fator erosividade da chuva.

Maiores índices de erosividade foi observado na região subsaariana, região situada ao sul do Deserto do Saara, que apresenta uma variação maior de períodos de chuva, com maior intensidade em menos tempo e apresentam vegetações mais esparsas, podendo aumentar a ocorrência de erosão.

Os valores apresentados nas demais literaturas da Tabela 1 apresentaram certa proximidade com a variação de dados apresentado no estudo de Vrieling et al. (2010, 2014), contudo uma diferença de valor reportado por Aouchaty et al. (2022) com valores menores, mas que ainda sim tem uma relação com a Figura 2, onde apresenta índices menores, cores mais claras.

Figura 2 - Mapa de erosividade média anual ($\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$) derivado de dados de 3 horas do TMPA 3B42 para 1998–2012. As cruzes vermelhas indicam os locais para os quais os valores do fator R (de medições de intensidade de chuva de longo prazo) estavam disponíveis na literatura.



Fonte: Vrieling et al. (2014).

4.2 Fator K

A equação de RUSLE é mundialmente difundida, sendo possível encontrar várias equações para se estimar os diferentes fatores. No presente estudo foram identificados 14 métodos que abordam sobre a erodibilidade do solo, com principal presença na África Oriental e sendo 2 na África Ocidental, região foco do presente estudo. Dentre os estudos, que estão descritos na Tabela 2, foram identificados 3 diferentes tipos de métodos para obtenção do fator K, utilizando nomograma para estimativa da erodibilidade do solo (WISCHMEIER; SMITH, 1978), classificação do solo (NJOKU et al., 2017; TAHER et al., 2022) e com base em literatura

para determinados locais (GURMU et al., 2021; PHINZI et al., 2020). Para cálculo do fator erodibilidade, os dados de entrada foram adquiridos por coletas em campo e, ou, banco de dados de solos disponível gratuitamente.

Tabela 2 - Valores de erodibilidade do solo (Fator K) para a região da África. (Continua)

País/Região	Método	Classes de Solo	Fator K (Mg·ha·h·ha⁻¹ ·MJ⁻¹·mm⁻¹)	Fonte
Gana (África Ocidental)	Wischmeier e Smith (1978); Renard et al. (1997)	-	0,016 a 0,019	Agyare e Salifu (2021)
Quênia (África Oriental)	El-Swaify and Dangler (1976)	Nitossolos	0,016	Angima et al. (2003)
Marrocos (Norte da África)	Neitsch et al. (2000)	Argilosos	0,034 a 0,040	Aouichaty et al. (2022)
Etiópia (África Oriental)	Hurni (1985); Helldén (1987)	Neossolos Litólicos, Cambissolos	0,150 a 0,200	Desalegn et al. (2018)
Etiópia (África Oriental)	Williams (1995)	Vertissolos	0,157 ⁽¹⁾ e 0,195 ⁽²⁾	Gurmu et al. (2021)
Lesoto (África Meridional)	Wischmeier e Smith (1958)	Chernossolos e Argilosos	0,180 a 0,590	Makara (2013)
Zimbabwe (África Oriental)	Sharpley, A.N et al. (1990)	Neossolos Flúvicos a Argilosos	0,060 e 0,090	Marondedze e Schutt (2020)
Nigéria (África Ocidental)	Classificação de solo	Argissolos a Neossolos Quartzarênico	0,050 a 0,140	Njoku et al. (2017)
Ntabelanga (África Meridional)	Nomógrafo Wischmeier et al. (1971)	-	0,073	Parwadaa e Van Tola (2016)
Província Eastern Cape (África Meridional)	Rosewell's (1993)	Argissolos e Neossolos Quartzarênico	0,021 e 0,086	Phinzi et al. (2020)
Etiópia (África Oriental)	Bewket e Teferi (2009)	Nitossolos e Cambissolos Neossolos Flúvicos e Vertissolos Argissolos e Neossolos Litólicos Luvisolos Nitossolos	0,250 0,150 0,350 0,300 0,200	Sinshaw et al. (2021)
Etiópia (África Oriental)	Wischmeier et al. (1978)	Luvisolos, Nitossolos e Vertissolos	0,017 a 0,700	Sisay et al. (2014)

(Conclusão)

País/Região	Método	Classes de Solo	Fator K	Fonte
			(Mg·ha·h·ha ⁻¹ ·MJ ⁻¹ ·mm ⁻¹)	
Marrocos (Norte da África)	Classificação de solo da FAO	Luvissolos e Neossolos Flúvicos	0,200 a 0,340	Taher et al. (2022)
Nigéria (África Ocidental)	USDA (1978)	Neossolos Quartzarênico e Luvissolos	0.020 e 0.690	Thlakma et al. (2018)
Etiópia (África Oriental)	Wischmeier e Smith (1978)	-	0,130 a 0,300	Wolka et al. (2015)

(1) Arata-Chfa e
(2) Ketar

Legenda: País/Região - da área do estudo em específico; Método - o modelo matemático utilizado para estimar/determinar o fator erodibilidade; Solo – classe de solo presente na área, classificados de acordo com o SiBCS; Fator K – valor obtido do fator erodibilidade; Fonte – autores dos artigos; Hífen “-” – ausência de dados.

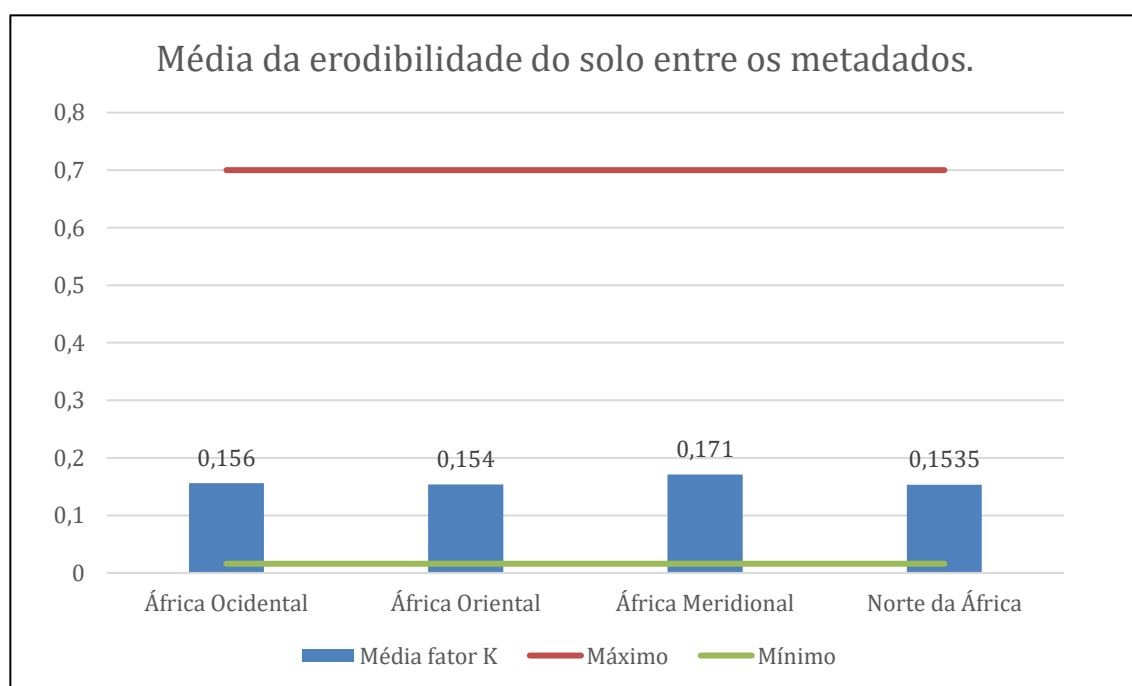
Fonte: Da autora (2023).

O maior valor de erodibilidade do solo foi encontrado nos solos da Etiópia (África Oriental) com 0,700 Mg·ha·h·ha⁻¹ MJ⁻¹mm⁻¹ (SISAY et al., 2014) e na Nigéria (África Ocidental) com 0,690 Mg·ha·h·ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹ (THLAKMA et al., 2018). O estudo de Sisay et al. (2014) não fez nenhum detalhamento sobre o resultado obtido na pesquisa, trazendo uma não confiabilidade no resultado descrito, o que pode ter influenciado no alto valor calculado. Porém podemos inferir que esse resultado pode ser por consequência das classes de solo presente na área, o Luvissolos, que são solos rasos a pouco profundos e são sujeitos aos processos erosivos em virtude da grande diferença textural entre o horizonte A e o horizonte B (EMBRAPA, 2021).

Já Thlakma et al. (2018), relataram que o resultado de 0,690 Mg·ha·h·ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹, foi observado em áreas que tinha presença de solo do tipo Neossolos Quartzarênico, que são solos de textura arenosa que carecem de qualquer desenvolvimento significativo do perfil do solo, além de possuir baixo teor de matéria orgânica, são desprovidos de acúmulo de argila no subsolo, possuem um baixo teor de nutrientes e alta permeabilidade do solo à água, por conter maior quantidade de macroporos e baixo de microporos, armazenando menos água. São comumente encontrados em áreas áridas (DRIESSEN, et al., 2000), ou seja, são solos propensos à erosão. Devido ao solo apresentar baixo teor de matéria orgânica, isto significa que não apresenta agregação das partículas, e nem estabilidade dos agregados.

Já o menor valor de erodibilidade do solo foi observada no Quênia (África Oriental) com um resultado de $0,016 \text{ Mg}\cdot\text{ha}\cdot\text{h}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ (ANGIMA et al., 2003) esse valor pode ser explicado pela presença de solos muito argilosos (mais de 65% de argila), profundos, pouca areia presente e alta saturação por base, indicando ser um de solo fértil (solos eutróficos). Solos argilosos possuem uma maior capacidade de retenção de água, por conter maiores quantidades de macroporos, são mais profundos e as partículas de argila comportam-se como elemento agregante do solo. Uma amplitude de $0,016$ a $0,019 \text{ Mg}\cdot\text{ha}\cdot\text{h}\cdot\text{ha}^{-1} \cdot \text{MJ}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ foi obtida no estudo de Agyare e Salifu (2021), na região de Gana (África Ocidental), essa variabilidade foi explicada devido às classes de textura do solo e ao conteúdo de silte no solo. Foi feita uma relação entre a erodibilidade do solo com a taxa de erosão do solo, onde se obteve uma relação positiva, altas taxas de erosão foram observadas em áreas com taxa de erodibilidade alta, sugerindo, portanto, que as áreas de alta erodibilidade expuseram as partículas do solo a um grande desprendimento de partículas devido ao impacto das gotas de chuva. Conforme observado no Figura 3, os metadados do fator erodibilidade do solo apresentaram médias similares para o continente africano.

Figura 3 – Infográfico da média da erodibilidade do solo entre os metadados, no eixo x as regiões africanas e no eixo y a erodibilidade em $\text{Mg}\cdot\text{ha}\cdot\text{h}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$.



Fonte: Da autora (2023).

Apesar de médias similares entre si, o valor máximo ficou bem além da média, apresentando um valor elevado e distante do valor mínimo apresentado no infográfico, destoando os dados. O resultado obtido pelos autores SISAY et al. (2014) ficou mais elevado do que os demais resultados, as classes de solos presentes na área de estudo, Etiópia, era Luvissoles, Nitossolos e Vertissolos, mesma classe de solos presente nos estudos de Gurmu et al. (2021) e Sinshaw et al. (2021) na Etiópia, porém esses estudos obtiveram amplitudes mais baixas do fator erodibilidade do solo, podendo induzir que o resultado de SISAY et al. (2014) pode ter sofrido alguma interferência.

4.3 Fator C

Dentre os estudos que foram analisados, a maioria enfatizou a importância do fator cobertura e manejo do solo (Fator C) na redução do efeito da erosão no solo. Somente os estudos de Angima et al. (2003) e Roose (1977) trouxeram os valores do fator C para as culturas da região. Já Angima et al. (2003) abordaram as culturas de milho-feijão (*Zea mays*–*Phaseolus vulgaris*), café (*Coffea arabica*) e banana (*Musa sapientum*) e para o cálculo dos valores do fator C criaram um banco de dados, com os valores de resíduos remanescentes após a colheita, população de plantas e linha de espaçamento para cada cultura. Posteriormente foi feita uma ponderação pelo percentual que cada cultura ocupava no terreno e foi definido um valor médio do fator C. No estudo de Roose (1977) estava presente culturas com uma variação de valores entre elas, isso pode ser explicado por diferentes culturas apresentarem cobertura foliar diferente uma das outras, assim como algumas culturas apresentam uma deposição de resíduo no solo maior que outras, servindo como proteção ao solo. Já a área de floresta densa e savana apresentou um valor do fator C de 0,001 a 0,010 (ROOSE, 1977) pois apresenta copa quase completa e cobertura de superfície para proteção contra erosão. Os demais estudos não apontaram as culturas usadas na região, mas sim a classificação de uso do solo, que foram florestas densas, pastagens abertas/terras ruins, solos descobertos, corpos d'água, plantações e construções, conforme exposto na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores do fator cobertura e manejo do solo (Fator C) para a região da África.
(Continua)

País/Região	Método	Culturas/ Coberturas	Fator C	Fonte
			Adimensional	
Gana (África Ocidental)	Jong et al. (1998) (NDVI)	Floresta, arbustos e fazendas	0,003, 0,003 e 0,5	Agyare e Salifu (2021)
Quênia (África Oriental)	Banco de dados	Milho-feijão, café e banana	0,314, 0,415 e 0,122	Angima et al. (2003)
Marrocos (Norte da África)	Imagem Landsat-8, ArcGIS	-	0,003 a 1	Aouichaty et al. (2022)
Etiópia (África Oriental)	LANDSAT, software ENVI 5.0	Florestas densas a pastagens	0,001 a 0,40	Desalegn et al. (2018)
Etiópia (África Oriental)	Banco de dados	Florestas densas a solos descobertos	0,13 a 0,40 ⁽¹⁾ e de 0 a 0,4 ⁽²⁾	Gurmu et al. (2021)
Lesoto (África Meridional)	Arghius e Arghius (2011) (NDVI)	-	-0,95 a 1,47	Makara (2013)
Zimbabwe (África Oriental)	Observação em campo e imagens de satélites	Plantação de sequeiro	0 a 0,239	Maronedze e Schutt (2020)
Nigéria (África Ocidental)	Prasanna et al. (2012) (NDVI)	-	1985 - 0,34 a 1,32 2000 - 0,42 a 2,46 2015 - 0,3 a 0,8	Njoku et al. (2017)
Província Eastern Cape (África Meridional)	Van der Knijff e Montanarella (1999, 2000) (NDVI)	-	0,01 a 0,84	Phinzi et al. (2020)
África Ocidental	Wischmeier e Smith (1978)	Floresta densa e savana	0,001 e 0,010 0,40 a 0,90 0,10 a 0,20 0,500 0,20 a 0,80 0,10 a 0,30 0,01 a 0,50	Roose (1977)
		Milho, sorgo, mileto		
		Arroz		
		Algodão e fumo		
		Amendoim, mandioca e inhame		
		Palmeira, seringueira, café Abacaxi com resíduo queimado, incorporado e à superfície		
Etiópia (África Oriental)	De Jong (1994) (NDVI)	-	0 a 1	Sinshaw et al. (2021)
Etiópia (África Oriental)	Morgan (1986 e 2005)	Plantação florestal a terra agrícola	0,001 a 0,6	Sisay et al. (2014)

(Conclusão)				
País/Região	Método	Culturas/ Coberturas	Fator C	Fonte
			Adimensional	
Marrocos (Norte da África)	Hurni (1985); Reusing et al. (2000)	Matagal	0 a 0,2	Taher et al. (2022)
Nigéria (África Ocidental)	Zhou et al. (2009); Kouli et al. (2009) (NDVI)	-	0,01 a 0,5	Thlakma et al. (2018)

(1) Arata-Chufa
e (2) Ketar

Legenda: País/Região - da área do estudo em específico; Método - o método utilizado para estimar/determinar o fator cobertura e manejo do solo; Culturas/ Coberturas – cobertura vegetal presente na área; Fator C – valor obtido do fator cobertura e manejo do solo; Fonte – autores dos artigos; Hífen “-” – ausência de dados.

Fonte: Da autora (2023).

Além do banco de dados utilizado para a estimativa do fator C, foram mencionados outros métodos para obtenção do fator cobertura e manejo do solo, como o uso de imagem de satélite e processamento em softwares (AOUICHATY et al., 2022; DESALEGN et al., 2018), base em literaturas (SISAY et al., 2014; ROOSE, 1977) e cálculo a partir do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) (SINSHAW et al., 2021; THLAKMA et al., 2018). Para se obter o mapa de uso e cobertura da região por meio de SIG e imagens de satélites, geralmente se utiliza da técnica de classificação de imagem digital supervisionada. Tal classificação é realizada na finalidade de usar tais imagens como dado de entrada para gerar o fator manejo de cobertura (DESALEGN et al., 2018). O NDVI, que é um indicador de saúde e vigor da vegetação, é usado para obtenção do fator cobertura e manejo do solo, associando a uma fórmula para gerar a imagem do valor do fator C e posteriormente estimava-se o fator C por meio de um SIG (THLAKMA et al., 2018).

Gurmu et al. (2021) trouxeram uma comparação de local que deixa claro a importância da cobertura do solo para se reduzir o efeito da erosão do solo. Arata-Chufa e Ketar são dois esquemas de irrigação da Etiópia, Arata-Chufa apresentou um valor do fator C de 0,13 a 0,40, pois apresentava sedimentação do escoamento superficial que era consequência de uma estrada de cascalho e havia a presença de uma área aberta de pastagem, enquanto que a área de Ketar apresentava uma maior cobertura vegetal, com arbustos, plantações e florestas abertas, porém também havia a presença de áreas desnudas, o que resultou em um fator C menor, de 0 a 0,40.

Makara (2013) e Njoku et al. (2017) apresentaram valores fora da escala de valores do fator C, pois ele varia de 0 a 1 e os autores expuserem valores negativos e maiores que 1, os mesmos não explicaram o que pôde causar essa distorção dos valores, não trazendo confiabilidade aos resultando obtidos.

4.4 Fator P

O fator P, práticas conservacionistas, tende a ser menor quando se é implementado práticas que reduzem a perda do solo. Aplicação de práticas conservacionistas tem como objetivo de reduzir a velocidade do escoamento e que flua diferentemente para baixo da encosta (DESALEGN et al., 2018). O valor do fator P em diversos estudos foi atribuído ao número 1, o que pode remeter a uma área sem práticas de conservação do solo, podendo assim analisar o estágio atual da erosão, analisando o pior cenário, ou até mesmo pode referir a ausência de dados e estudos na área.

Não só ocorre a falta de dados, mas como também dados incompletos sobre as práticas adquiridas, como mencionado em Desalegn et al. (2018), onde o Governo da Etiópia implementou o uso da prática de terraços no programa de extensão agrícola, porém sem a participação da população, o que ocasionou a não aderência da prática. Logo a área que foi construído o terraço estava mal conservado, o que possivelmente afetou o resultado do fator P. As práticas conservacionistas comumente usadas (Tabela 4) foram o uso de terraços, plantio em contorno, permanência da biomassa da colheita no solo, uso de diques e cultivo em faixa.

Tabela 4 - Valores do fator práticas conservacionistas (Fator P) para a região da África.
(Continua)

País/Região	Método	Práticas conservacionistas	Fator P	Fonte
			Adimensional	
Quênia (África Oriental)	Banco de dados	Terraços	0,5 e 0,7	Angima et al. (2003)
Marrocos (Norte da África)	Ausência de dados	-	1	Aouichaty et al. (2022)
Etiópia (África Oriental)	Bewket e Teferi (2009)	Terraços	0,1 a 1	Desalegn et al. (2018)
Etiópia (África Oriental)	Taye et al. (2018)	Contorno, diques e biomassa de colheita	0,75 a 0,80 (1) e de 0,65 a 1 (2)	Gurmu et al. (2021)

(Conclusão)

(País/Região)	Método	Práticas conservacionistas	Fator P	Fonte
			Adimensional	
Lesoto (África Meridional)	Arghius e Arghius (2011)	.	0,8 a 1	Makara (2013)
Zimbabwe (África Oriental)	Ausência de dados	-	1	Maronedze e Schutt (2020)
Nigéria (África Ocidental)	Ausência de dados	-	1	Njoku et al. (2017)
Província Eastern Cape (África Meridional)	Wener's (1981)	Contorno	0,002 a 0,774	Phinzi et al. (2020)
África Ocidental	Wischmeier e Smith (1978)	Aradura em contorno e aradura com cordões em contorno, aradura e faixas de vegetação em contorno, cordões em contorno, faixas antierosão, cobertura morta, pastagem temporária ou plantas em cobertura, muros de pedras, aradura com cultivo a enxada em contorno	0,01 a 0,75	Roose (1977)
Etiópia (África Oriental)	Wischmeier e Smith (1978)	Área cultivada com baixo declive a terras não agrícolas	0,2 a 1	Sinshaw et al. (2021)
Etiópia (África Oriental)	Morgan (2005)	-	0,25 a 0,89	Sisay et al. (2014)
Marrocos (Norte da África)	Karra (2021); Belasri (2016)	Culturas a áreas sem práticas conservacionistas	0,56 a 1	Taher et al. (2022)
Nigéria (África Ocidental)	Zhou et al. (2009); Kouli et al. (2009)	Cultivo em faixa e contorno	0,55 a 1	Thlakma et al. (2018)
Etiópia (África Oriental)	Wischmeier e Smith (1978)	Cultivo em faixa	0,1 a 0,37	Wolka et al. (2015)

(1) Arata-Chufa
e (2) Ketar

Legenda: País/Região - da área do estudo em específico; Método - o método utilizado para estimar/determinar o fator práticas conservacionistas; Práticas Conservacionistas – prática presente na área; Fator P – valor obtido do fator práticas conservacionistas; Fonte – autores dos artigos; Hífen “-” – ausência de dados.

Fonte: Da autora (2023).

Os menores valores obtidos para o fator P foram nos estudos onde era adotado o uso de práticas conservacionistas, como no estudo de Roose (1977) e Phinzi et al. (2020). No estudo de Phinzi et al. (2020) foi estimado o valor de 0,002 (adimensional), que levou em consideração

no cálculo a práticas conservacionistas utilizada, o plantio em contorno, e a inclinação do terreno. O menor valor foi observado em partes centrais onde a inclinação tende a ser menor e com a presença de terras agrícolas (PHINZI et al., 2020). As áreas nas regiões sudoeste, oeste e norte da África Meridional, que apresentaram maior inclinação, e por consequência de o uso do solo ser por áreas construídas, terrenos em pousio e áreas já erodidas, apresentaram valores do fator P mais elevados, próximo a 1. No estudo de Roose (1977) obteve o menor valor do fator prática conservacionista usando a cobertura morta sobre o solo, com valor de 0,01 (adimensional).

4.5 Fator LS

O fator topográfico, representado pela multiplicação da declividade do terreno (S) e comprimento do declive (L). A inclinação do solo (S) pode influenciar mais a perda do solo do que o comprimento da encosta (L), por decorrência de aumentar a velocidade da água pela superfície, porém alta inclinação com comprimentos de encostas extensos aumentam o volume do escoamento, causando uma perda de solo maior e acúmulo de sedimentos na porção mais baixa da encosta (DESALEGN et al., 2018).

Como citado no estudo de Angima et al. (2003), um solo com alto teor de argila, apesar de possuir atributos desfavoráveis a sofrer erosão em sulcos e entre sulcos, por se situar em área de declive acentuado, apresentará um fator LS elevado, e assim, o solo está mais propenso à sofrer erosão. Como pode ser analisado na Tabela 5, o valor do fator LS do estudo de Angima et al. (2003), mesmo que considerado um valor de LS propenso a sofrer erosão, ainda assim é baixo se comparado com outras literaturas científicas, como Makara (2013) e Phinzi et al. (2020), que apresentaram valores bem superiores.

Isso poderia ser explicado em partes pela declividade de cada área, porém apenas 3 dos 13 estudos apresentaram a informação de declividade da área. Angima et al. (2003) salientaram sobre a importância dos fatores C e P no resultado do fator LS, pois eles afetam a forma como o escoamento flui nas encostas. Mesmo havendo encostas íngremes, a cobertura do solo e as práticas conservacionistas podem ajudar a diminuir o fluxo e a velocidade da água. Angima et al. (2003) relataram o uso de culturas (milho-feijão, café e banana) além do uso da prática de terraços. Por outro lado, Makara (2013) não apresentou nenhuma prática conservacionista e nem informações de cobertura da área. Phinzi et al. (2020) apresentaram um alto valor do fator

C e o fator P apesar de usar a prática de contorno ainda sim apresentou valores altos, além das áreas que apresentaram maiores valores de LS serem localizados em terrenos inclinados.

Tabela 5 - Valores do fator topográfico (Fator LS) para a região da África.

País/Região	Método	Fator LS	Fonte
		Adimensional	
Gana (África Ocidental)	Moore e Wilson (1992)	0,3 a 2,1	Agyare e Salifu (2021)
Quênia (África Oriental)	McCool et al. (1997)	0,8 a 23	Angima et al. (2003)
Marrocos (Norte da África)	Mitasova et al. (1996); Hoffman et al. (2013)	0 a 95,9	Aouichaty et al. (2022)
Etiópia (África Oriental)	Griffin ML et al. (1988)	0 a 7,46	Desalegn et al. (2018)
Lesoto (África Meridional)	Rooyani e Badamchian (1986)	0 a 692,93	Makara (2013)
Zimbabwe (África Oriental)	DEM – (SRTM), software SAGA 2.3	0 a 21,74	Maronedze e Schutt (2020)
Nigéria (África Ocidental)	Moore et al. (1991)	0 a 1	Njoku et al. (2017)
Província Eastern Cape (África Meridional)	Moore e Burch (1986)	29 a 1253	Phinzi et al. (2020)
Etiópia (África Oriental)	-	0 a 33	Sinshaw et al. (2021)
Etiópia (África Oriental)	DEM, software ArcGIS	0 a 644	Sisay et al. (2014)
Marrocos (Norte da África)	Moore e Wilson (1992)	0 a 22	Taher et al. (2022)
Nigéria (África Ocidental)	Moore e Burch 1986)	0 a 7,4	Thlakma et al. (2018)
Etiópia (África Oriental)	McCool et al. (1989)	0 a 120	Zhang et al. (2013)

(1) Arata-Chufa e (2) Ketar

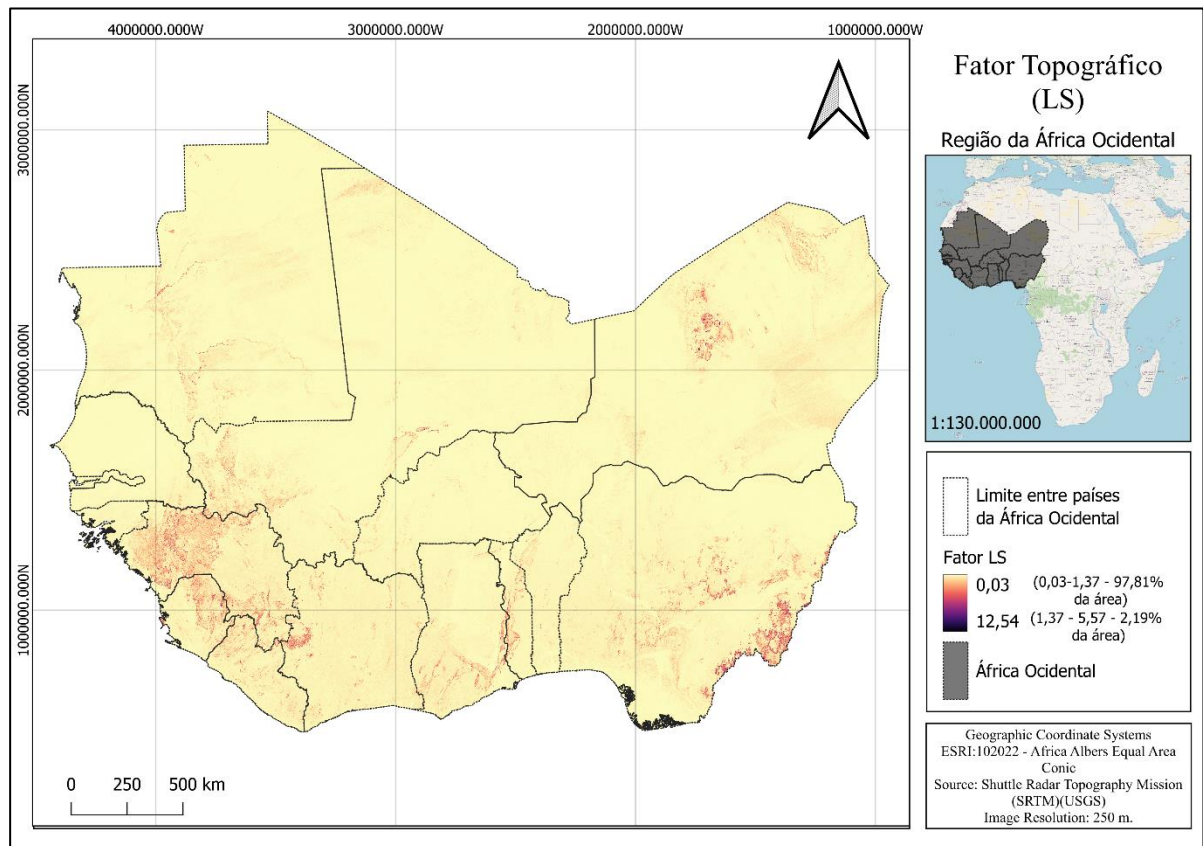
Legenda: País/Região - da área do estudo em específico; Método - o método utilizado para estimar/determinar o fator topográfico; Fator LS – valor obtido do fator topográfico; Fonte – autores dos artigos; Hífen “-” – ausência de dados.

Fonte: Da autora (2023).

O mapa do fator LS foi calculado para a região de estudo, a África Ocidental, como pode ser observado na Figura 4, onde apresentou uma amplitude de 0,03 a 5,57, sendo que a maior parte da área de estudo contemplava a classe de valores do fator LS de 0,03 a 1,37, conforme exposto na legenda da figura, mostrando que a área apresentou valores de declividade do comprimento de rampa baixos. Esses valores obtidos pelo cálculo do fator LS estão em concordância com os valores observado nas literaturas consultadas para a África Ocidental,

alguma diferença de parâmetros pode ser explicada pelo método utilizado para a estimativa do valor, nesse presente estudo utilizou-se o método de Desmet e Govers (1996).

Figura 4 - Mapa do fator LS para a região da África Ocidental.



Fonte: Da autora (2023).

4.6 Perda Média Anual de Solo (A)

Sabe-se que a erosão do solo é um problema altamente grave, principalmente para aqueles que dependem da terra para a sobrevivência, e essa perda do solo vem aumentando em decorrência da demanda por alimentos, devido ao crescimento populacional as terras florestais estão sendo convertidas em terras aráveis. Isso pode ser observado na Tabela 7, onde mostra na maioria dos trabalhos apresentaram altos índices de perda de solo.

Tabela 6 - Valores de perda de solo (A) para a região da África.

País/Região	Método	Perda de solo	Fonte
		Mg·ha ⁻¹ ·ano ⁻¹	
Gana (África Ocidental)	Renard et al. (1997)	1 a 100	Agyare e Salifu (2021)
Quênia (África Oriental)	USDA-ARS. (2001); Renard et al. (1997)	LS de 0 a 10 - 134 LS de 10 a 20 - 420 LS de 20 a 30 - 549	Angima et al. (2003)
Marrocos (Norte da África)	Beskow et al. (2009)	0 a 15	Aouichaty et al. (2022)
Etiópia (África Oriental)	Hurni (1985)	22,3	Desalegn et al. (2018)
Etiópia (África Oriental)	Wischmeier e Smith (1978)	0 a 18	Gurmu et al. (2021)
Lesoto (África Meridional)	Renard et al. (1997)	1986 - (-12,027.1 a 16,920.2) 1997 - (-30,643.7 a 23,050.6) 2009 - (-11,226.6 a 51,202.1)	Makara (2013)
Zimbabwe (África Oriental)	Renard et al. (1997)	2000 - 1,31 2018 - 1,12	Maronedze e Schutt (2020)
Nigéria (África Ocidental)	Renard et al. (1997)	1985 - 0 e 4,614 2000 - (-1,239 a 1,189) 2015 - 0 e 3,784	Njoku et al. (2017)
Província Eastern Cape (África Meridional)	Renard et al. (1997); Wischmeier e Smith (1978)	12 a 150	Phinzi et al. (2020)
Etiópia (África Oriental)	Renard et al. (1994)	25,53	Sinshaw et al. (2021)
Etiópia (África Oriental)	Morgan (2005)	2,5 a 60	Sisay et al. (2014)
Marrocos (Norte da África)	Wischmeier e Smith (1978)	0 a 19,5	Taher et al. (2022)
África Subsaariana (SSA)	Renard et al. (1997)	75	Tamene e Le (2015)
Nigéria (África Ocidental)	Renard et al. (1997)	0 a 3,5	Thlakma et al. (2018)
Etiópia (África Oriental)	Wischmeier e Smith (1978)	2,52 a 85,64	Wolka et al. (2015)

(1) Arata-Chufa e (2)
Ketar

Legenda: País/Região - da área do estudo em específico; Método - o método utilizado para estimar/determinar a perda média anual de solo; Perda de Solo – valor obtido da perda média anual de solo; Fonte - autores dos artigos; Hífen “-” - ausência de dados.

Fonte: Da autora (2023).

Há uma variação de valores entre as literaturas consultadas do continente africano, isso se deve às características físicas da área de estudo, a metodologia utilizada para a estimativa da perda de solo e o período de precipitação escolhido. Contudo a maioria desses estudos tem em comum é a afirmação de que a maioria dos altos valores da perda de solo são explicadas pelas condições topográficas (Fator LS) e a alta taxa de precipitação (Fator R).

Njoku et al. (2017) observaram altos valores da perda de solo e uma variação entre os anos, isso é pode ser explicado primeiro pela cobertura vegetal onde teve um aumento do valor do NDVI de 1985 a 2015, foi de 0,79 a 2,0, onde o aumento do NDVI indica melhor condição da cobertura vegetal do solo. Apesar do ano de 1985 apresentar uma perda de solo maior que o ano de 2015, mesmo com o regime hídrico do ano de 2015 sendo maior, a vegetação presente no ano de 2015 pode ter contribuído para esse resultado, mostrando a importância que a cobertura vegetal tem na proteção do solo.

Uma curiosidade é que no ano de 2000 apresentou um valor negativo na variação, valores negativos representam áreas com deposição de materiais do solo pela força erosiva da chuva e do fluxo superficial da água. Essa deposição ocorre quando o sedimento é transportado encosta abaixo principalmente pela água e quando esse volume de sedimentos ultrapassa a capacidade de transporte de sedimentos, ocorre a deposição (QUAN, X. et al. 2020).

Como pode observar, valores negativos, deposição de sedimentos, também esteve presente nos resultados obtidos no estudo de Makara (2013). Além dos valores negativos, a área Lesoto apresentou altos valores de perda de solo, os fatores que constitui a equação da perda do solo (RUSLE) apresentaram altos valores, o que pode ser explicado, principalmente o fator LS (0 a 692,93) e o fator C que apresentou um comportamento diferente e fora do padrão, levando em consideração que ele varia de 0 a 1, nesse estudo apresentou uma variação de -0,95 a 1,47, podendo ter alterado o resultado da perda de solo.

No estudo de Taher et al. (2022) os autores explicam que os valores mais baixos obtidos na área da bacia foram em decorrência da cobertura vegetal presente, o matagal, sendo a classe de cobertura dominante na área de estudo, essa cobertura foi de extrema importância para a proteção do solo, principalmente pelo impacto da gota da chuva e o fornecimento de carbono orgânico.

Todos os fatores (R, K, LS, C e P) tem a sua importância dentro da estimativa da perda do solo, uns impactando mais que os outros, como a erosividade da chuva, o quanto a força de uma chuva em um determinado período com uma certa intensidade, pode causar o

desprendimento e escoamento das partículas dos solos, o quanto um solo pode ser mais susceptível a sofrer erosão ou não e o que a inclinação e comprimento do talude pode impactar mais ainda na perda do solo.

Porém esses fatores são menos passíveis de mudança e controle, demandando mais tempo, no entanto alguns fatores não podem ser alterados, como a precipitação. Portanto o investimento em monitoramento regular deve ser um ponto importante a ser realizado, levando em consideração o conhecimento mais detalhado da intensidade e frequência da precipitação, conhecendo os tipos de solos presentes na área, e como é a declividade do terreno. Estudos podem ser focados na busca de coberturas vegetais mais adaptáveis a área e práticas conservacionistas específicas para cada região e as respectivas bacias hidrográficas, tendo em vista que esses dois fatores (Fator C e P) são passíveis de mudança mais imediatas e adequação. Ambos os fatores C e P podem melhorar o efeito de uma área mais declivosa, sendo que a vegetação protege o solo do poder erosivo das chuvas, assim como sistemas radiculares e a adição de matéria orgânica no solo, mantém os agregados unidos e estáveis e com o uso de práticas conservacionistas corretas.

Com essas adequações, os dados de entrada para cálculo da perda média do solo será mais preciso, visto que a maioria das literaturas consultadas não tinham mapeadas as coberturas vegetais utilizadas nem as práticas conservacionistas, gerando assim um mapa mais representativo e podendo ser usado com mais segurança como uma ferramenta de validação para o estudo de uma gestão das bacias hidrográficas, direcionando intervenções, incentivando a população local e garantindo a conservação dos solos, que é a subsistência das populações africanas.

Assim como os fatores C e P, os metadados dos demais fatores também apresentaram ausência de informações, sendo importante que junto ao resultado do fator erosividade venha apresentado o dado de precipitação, assim como a classe de solo presente na área que resultou no fator erodibilidade do solo. É importante para que possa avaliar e comparar as características específicas de cada região.

4.7 Custo da erosão

A análise do mapa de perda de solo pode ser utilizada para orientar o planejamento e prever ações para se evitar a perda do solo em áreas vulneráveis e evitar o declínio da área. Com o aumento da densidade populacional, a busca por terreno para garantir a sobrevivência das

famílias vem aumentando, zonas marginais, com solos pobres e de elevada altitude vieram a ser ocupadas, o que torna a terra ainda mais vulnerável à ação da erosão hídrica. A perda do solo vai além da remoção da camada superficial do solo, mas reflete também em questões econômicas, devido ao esgotamento dos recursos do solo e os impactos da degradação das terras. Segundo um estudo realizado em Ruanda, País da África Oriental, a erosão do solo resulta em uma perda de 1,4 milhões de toneladas de solo por ano, o que equivale a uma perda econômica de 34.320.000 dólares americanos, ou seja, quase 2% do PIB do país (KABIRIGI et al., 2017).

Medidas mitigadoras poderiam ser feitas desde o início da execução da atividade na terra, entretanto, algumas regiões da África não tem uma rede de apoio para essa iniciativa. A realidade é que o custo de se implementar ações de prevenção da erosão hídrica muitas das vezes pode se tornar mais oneroso do que a renda que irá se obter com as atividades agrícolas, sendo assim, a terra é utilizada de forma intensiva sem um período de pousio, degradando fortemente os solos, esgotando os nutrientes e a matéria orgânica, tornando os solos incapazes de suportar uma biomassa vegetal, o que resultará em uma queda gradual do potencial de produtividade da terra (KABIRIGI et al., 2017)

O desembolso perdido em decorrência da redução da produtividade agrícola e o custo de repor a fertilidade do solo por meio de fertilizantes minerais deve ser analisado, assim como a aplicação de medidas de conservação do solo. Bishop e Allen (1989, p. 22) relata que:

As únicas tecnologias para as quais os custos de implementação são comparáveis às perdas estimadas são simples captação de água e medidas de controle de erosão, como lavoura de contorno, linhas rochosas ou cômoros de contorno e faixas de grama.

Já a perda de nutrientes, segundo um levantamento em bacias hidrográficas no estudo de Kabirigi et al. (2017), a área teve uma perda de 28 a 32 Mg·ha⁻¹·ano⁻¹, sendo que a perda média de nitrogênio (N) foi de 155 kg·ha⁻¹·ano⁻¹, a de fósforo (P) foi de 3 kg·ha⁻¹·ano⁻¹ e o de potássio (K) foi de 111 kg·ha⁻¹·ano⁻¹, levando em consideração que um NPK 17:17:17 custa 555Rwf/kg (Moeda franco ruandês), o que equivale a 0,47 USD (Dólar dos EUA), o gasto para reposição dos nutrientes ao solo seria de 167507Rwf para N (143,23 USD), 3309Rwf para P (2,82 USD) e 120189Rwf para K (102,77 USD). O preço para se recuperar uma terra degradada provavelmente é alto o suficiente para se justificar o investimento de práticas mínimas e mais simples que conservem o solo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A (R)USLE se mostrou um modelo empírico eficiente para se estimar os possíveis riscos de erosão na área, através da integração de técnicas de sensoriamento remoto e SIG para calcular os fatores, possibilitando uma abrangência maior nas áreas. Porém, houve uma recorrência de escassez de dados dos fatores em determinadas regiões, sendo necessário à procura de informações em banco de dados já existentes, o que pode causar uma certa imprecisão associada a esses métodos. Dados esses, essenciais para o entendimento do resultado obtido do fator, como por exemplo, a falta de informação de qual classe de solo havia presente na área para se obter o resultado do fator erodibilidade do solo.

Por decorrência dos resultados estarem diretamente relacionado à precisão dos dados de entrada, pode ocorrer subestimativa ou superestimativa dos resultados e não representando a área do estudo, comprometendo o resultado final. O mapa gerado sobre a perda do solo, que deveria orientar o planejamento e a conservação do solo e da água, não estará de acordo com a realidade.

Pode-se concluir que existe uma necessidade de aumentar a rede de estações climatológicas automatizadas para a coleta de dados de precipitações, de estações sedimentologias fluviais nas principais bacias hidrográficas (por exemplo o Rio Niger e o Senegal), de parcela padrão e de estudos adicionais para a determinação dos fatores da RUSLE, notadamente para a região ocidental. Verificou-se também a necessidade de desenvolvimento de técnicas para validação dos fatores da USLE/RUSLE para o continente africano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGYARE, W; SALIFU, E. **Análise espaço-temporal do impacto potencial da erosão do solo na produção de milho e amendoim no norte de Gana**. *Jornal Internacional de Pesquisa Geoespacial Aplicada*, [S. l.], v. 5, n. 2, p. 486- 493, 2021. ISSN Online: 2579-3608. <https://doi.org/10.30871/jagi.v5i2.3271>. Acesso em: 21 jun. 2023.

ALVES, E. R. A. **Aspectos econômicos da conservação do solo**. Brasília, EMBRAPA-DDT, p. 13, 1983. (EMBRAPA-DDT. Documentos, 15). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/86220/1/Aspectoseconomicosdaconservacao.pdf>. Acesso em: 23 mai. 2022.

ANGIMA, S. D. et al. **Previsão da erosão do solo usando RUSLE para as condições das terras altas do Quênia central**. *Agricultura, Ecossistemas & Meio Ambiente*, Netherlands,

v. 97. p. 295-308, 2003. ISSN online: 1873-2305. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\)00011-2](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00011-2). Acesso em: 2 fev. 2023.

AOUICHATY, N. et al. **Estimativa da erosão hídrica em pedreiras abandonadas usando a combinação do modelo RUSLE e método geostatístico**. Africano Científico, [África], v. 16, e. 01153, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2022.e01153>. Acesso em: 27 jun. 2022.

BATIONO, A. et al. **Solos africanos: sua produtividade e lucratividade do uso de fertilizantes**. Cúpula Africana de Fertilizantes, Abuja, Nigeria, v. 9, n. 13, pp. 30, jun. 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/40106705_African_soils_their_productivity_and_profitability_of_fertilizer_use_background_paper_for_the_African_Fertilizer_Summit_9-13th_June_2006_Abuja_Nigeria. Acesso em: 02 fev. 2022.

BISHOP, J.; ALLEN, J. **Os custos locais da erosão do solo no Mali**. Documento de trabalho ambiental nº 21, p. 5-71, 1989. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/264878386_The_On-site_Costs_of_Soil_Erosion_in_Mali. Acesso em: 21 jun. 2023.

BRITANNICA. Os Editores da Enciclopédia. **Plintosol**. Encyclopedia Britannica, nov. 2016. Disponível em: <https://www.britannica.com/science/Plinthosol>. Acesso em 06 jun. 2023.

BUTT, C. R. M.; BRISTOW, A. P. J. **Inversão do relevo na evolução geomorfológica da África Ocidental Subsaariana**. Geomorfologia, [S. l.], v. 185, p. 16–26, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.11.024>. Acesso em: 2 mai. 2023.

DECHEN, et al. **Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo**. Bragantia, [S. l.], v. 74, n. 2, p. 224–233, 2015. doi:10.1590/1678-4499.0363.

DESALEGN, A.; GESSESSE, AT; TESFAY, F. **Desenvolvendo Mapa de Erosão do Solo Baseado em GIS Usando RUSLE da Bacia Hidrográfica de Andit Tid, Planalto Central da Etiópia**. Jornal de Pesquisa Científica e Relatórios, [S. l.], v. 19, n. 1, p. 1–13, 2018. DOI: 10.9734/JSRR/2018/40841. Disponível em: <https://journaljsrr.com/index.php/JSRR/article/view/867>. Acesso em: 15 jan. 2023.

DESMET, P. J. J.; GOVERS, G. **Um procedimento GIS para calcular automaticamente o fator USLE LS em unidades de paisagem topograficamente complexas**. Revista de Conservação do Solo e da Água, [S. l.], v. 51, n. 5, p. 427-433, 1996. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/233425999_A_GIS_procedure_for_automatically_calculating_the_USLE_LS_factor_on_topographically_complex_landscape_units

DRIESSEN, P. et al. **Notas de aula sobre os principais solos do mundo**. (No. 94). Relatórios Mundiais de Recursos do Solo, Roma: Organização de Alimentação e Agricultura (FAO), Roma, pp 334, 2000. ISSN 0532-0488. Disponível em: <https://www.fao.org/3/y1899e/y1899e.pdf>. Acesso em: 22 out. 2022.

EFTHIMIOU, N. **Avaliando o desempenho de diferentes fórmulas empíricas do fator de erosividade (R) da chuva usando medições de produção de sedimentos.** CATENA, [S. l.], v. 169, p. 195–208, 2018. ISSN 0341-8162. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.05.037>. Acesso em: 16 fev. 2023.

EMBRAPA. **Bioma Caatinga.** Rio de Janeiro. Embrapa Solos, Boletim de pesquisa e Desenvolvimento, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-caatinga/solos/luvisolos>.

ERKOSSA, T., et al. **Vinculando a erosão do solo ao custo financeiro local: lições das bacias hidrográficas da bacia do Nilo Azul.** Discussões da Terra Sólida, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 565-594, 2015. DOI: 10.5194/sed-7-565-2015. Disponível em: <https://se.copernicus.org/preprints/7/565/2015/sed-7-565-2015.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2022.

GURMU, Z.A. et al. **Influxo de sedimentos e seus impulsionadores em esquemas de irrigação administrados por agricultores na Etiópia.** Water, [S. l.], v. 13, p. 1747, 2021. ISSN: 2073-4441. <https://doi.org/10.3390/w13131747>. Acesso em: 18 mar. 2023.

HUFFMAN, G. J. et al. **A Análise de Precipitação Multi-Satélite TRMM (TMPA).** Aplicações de precipitação de satélite para hidrologia de superfície. Springer, Dordrecht, pp 3–22, 2010. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2915-7_1. Acesso em: 25 abr. 2023.

HURNI, H. **Manual de Conservação do Solo para a Etiópia: Um Guia de Campo para a Implementação da Conservação.** Ministério da Agricultura: Adis Abeba, Etiópia, 1985.

KABIRIGI, M. et al. **Estimativa do risco de erosão do solo, sua avaliação e implicações econômicas para a produção agrícola na parte ocidental de Ruanda.** Jornal de Biologia Experimental e Ciências Agrícolas, [S. l.], v. 5, n. 4, p. 525-536, set. 2017. [http://dx.doi.org/10.18006/2017.5\(4\).525.536](http://dx.doi.org/10.18006/2017.5(4).525.536). Acesso em: 21 jun. 2023.

LE BISSONNAIS, Y. et al. **Mapeamento do risco de erosão para solo cultivado na França.** CATENA, [S. l.], v. 46, n. 2-3, p. 207–220, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(01\)00167-9](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(01)00167-9). Acesso em: 06 jan. 2023.

MAKARA, M. **Avaliação da perda de solo espacial e temporal dentro e fora do Lesoto usando o modelo RUSLE e GIS.** 2013. Tese (Mestre em Ciência em Gestão Integrada de Recursos Hídricos) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade do Zimbábue, Zimbábue, 2013.

MARONDEDZE, A. K.; SCHUTT, B. **Avaliação da erosão do solo usando o modelo RUSLE para o distrito de Epworth da província metropolitana de Harare, Zimbábue.** Sustentabilidade, [S. l.], v. 12, n. 20, 8531, 2020. <https://doi.org/10.3390/su12208531>. Acesso em: 22 out. 2022.

MATI, B. M.; VEIHE, A. **Aplicação do USLE em um ambiente de savana: experiências comparativas da África Oriental e Ocidental.** Revista de Geografia Tropical de Singapura, [Singapura], v. 22, n. 2, p. 138–155, 2001. <https://doi.org/10.1111/1467-9493.00099>. Acesso em: 19 nov. 2022.

MCCOOL, D. K. et al. **Fator de inclinação do talude revisado para a equação universal de perda de solo.** Sociedade Americana de Engenheiros Agrícolas e Biológicos, [S. l.], v. 30, n. 5, p. 1387–1396, 1987. DOI: 10.13031/2013.30576. Disponível em: <https://scihub.se/10.13031/2013.30576>. Acesso em: 25 mai. 2023.

MORGAN, R. P. C. **Erosão e Conservação do Solo.** Editora Blackwell, Oxford, Londres. 3. ed. *Jornal Europeu de Ciências do Solo*, [S. l.], v. 56, n. 5, p.686-686, 2005. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2005.0756f.x>. Acesso em: 15 nov. 2022.

MULLER, M. S. **Classificação climática segundo Köppen e Thornthwaite e zoneamento agrícola das culturas de milho e soja na União Econômica e Monetária do Oeste Africano.** 2015. Tese de Doutorado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

Nas fotos: os ventos Harmattan em Chirano. **Kinross Gold**, 2015. Disponível em: <<https://kinrossworld.kinross.com/pt-br/nas-fotos-os-ventos-harmattan-em-chirano/#:~:text=O%20Harmattan%20%C3%A9%20um%20vento,uma%20delicada%20n%C3%A9voa%20de%20poeira.>>. Acesso em: 29 de março de 2023.

NI, J. R.; LI, Y. K. **Abordagem para avaliação da erosão do solo em termos de mudanças na estrutura de uso da terra.** *Revista de Conservação do Solo e da Água*, [S. l.], v. 58, n. 3, p. 158-169, jun. 2003. Disponível em: <https://link.gale.com/apps/doc/A110531651/AONE?u=anon~3cf51957&sid=googleScholar&xid=41f08c41>. Acesso em: 21 de janeiro de 2022.

NJOKU, J. D.; AMANGABARA, G.T.; NKOCHO, U.D. **Avaliação Temporal da Perda de Solo usando o Modelo da Equação Universal de Perda de Solo Revisada (Rusle) e Técnicas Geoespaciais.** *Revista Científica e de Engenharia Research*, Índia, v. 4, n. 6, p. 1-14, 2017. ISSN: 2394-2630. Disponível em: <http://jsaer.com/download/vol-4-iss-6-2017/JSAER2017-04-06-01-14.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2023.

OUÉDRAOGO, M. et al. **Os mercados e o clima estão levando a mudanças rápidas nas práticas agrícolas na savana da África Ocidental.** *Mudança Ambiental Regional*, [S. l.], v. 17, p. 437– 449, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10113-016-1029-9>. Acesso em: 22 agos. 2022.

PARWADA, C.; VAN TOL, J. **Propriedades do solo que influenciam a erodibilidade dos solos na área de Ntabelanga, Província do Cabo Oriental, África do Sul.** *Acta Agriculturae Scandinavica, Seção B — Ciência do Solo e das Plantas*, [S. l.], v. 67, n.1, p. 67–76, 2016. ISSN:1651-1913. <https://doi.org/10.1080/09064710.2016.122061>. Acesso em: 15 abr. 2022.

Perfis de países de risco climático. **World Bank Group. 2021.** Disponível em: <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country-profiles>. Acesso em: 02 mai. 2023.

PHINZI, K.; NGETAR, N. S.; EBHUOMA, O. **Avaliação do risco de erosão do solo na bacia hidrográfica de Umzintlava (T32E), Cabo Oriental, África do Sul, usando RUSLE e algoritmos de floresta aleatória.** *Jornal geográfico sul-africano, África*, v. 103, n. 2, p. 139-162, 2020. DOI: 10.1080/03736245.2020.1716838. Acesso em: 01 jun. 2023.

PRUSKI, F. F. Prejuízos decorrentes da erosão hídrica e tolerância de perdas de solo. In:(ed.). **Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. 2.ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2009a. pp. 13-23. ISBN: 85-7269-264-9.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System**. 2023. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>. Acesso em: 02 jun. 2023.

QUAN, X. et al. **Erosão do solo e características de deposição de superfícies de taludes para dois solos loess usando experimento de chuva simulada em ambiente interno**. Pesquisa de Solo e Cultivo, [S. l.], v. 204, 104714, 2020. DOI:10.1016/j.still.2020.104714. Acesso em: 01 jul. 2023.

RENARD, K. G. et al. **RUSLE: Equação Universal de Perda de Solo Revisada**. Revista de Conservação do Solo e da Água, [S. l.], v. 46, n. 1, p. 30-33, 1991. Disponível em: <https://www.tucson.ars.ag.gov/unit/publications/pdffiles/775.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2022.

RENARD, K.G.; FREIMUND, J.R. **Usando dados mensais de precipitação para estimar o fator R no USLE revisado**. Revista de Hidrologia, [S. l.], v. 157, p. 287-306, 1994. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694\(94\)90110-4](http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694(94)90110-4). Acesso em: 23 dez. 2022.

RENARD, K. G. et al. **Preveno a erosão do solo pela água: um guia para planejamento de conservação com a Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE)**. U.S. Departamento de Agricultura, Agricultura Handbook No. 703, pp. 404, 1997. ISBN: 0-16-048938-5. Disponível em: https://www.ars.usda.gov/arsuserfiles/64080530/rusle/ah_703.pdf. Acesso em: 23 nov. 2022.

ROOSE, E. J. **Aplicação da equação universal de Perda de Solo de Wischmeier e Smith na África Ocidental**. Na Groenlândia, DJ e Lal, R. (eds.) Conservação e Manejo do Solo nos Trópicos Úmidos. John Wiley and Sons, Chichester, West Sussex, Reino Unido, p. 177-87,1977.

SANTOS, T. E. D. et al. **Caracterização detalhada de solos plúnticos no sul do Mali, África Subsaariana, como uma base segura para o manejo específico do solo e segurança alimentar**. Catena, [S. l.], v. 226, jun. 2023. ISSN 0341-8162. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107088>. Acesso em: 25 mar. 2023.

SINSHAW, B. G. **Erosão do solo baseada em bacias hidrográficas e modelagem de produção de sedimentos na bacia hidrográfica Rib da Bacia do Nilo Azul Superior, Etiópia**. Nexus de energia, [S. l.], v. 3, 100023, dez. 2021. ISSN 2772-4271, <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2021.100023>. Acesso em: 24 jun. 2022.

SISAY, A. et al. **Modelagem de erosão do solo em escala de paisagem e mapeamento de riscos de áreas montanhosas na escarpa oriental da bacia hidrográfica de Wondo Genet, Etiópia**. Jornal de Pesquisa Internacional de Ciências Agrícolas e Ciências do Solo, [S. l.], v. 4, n. 6, p. 107-116, jul. 2014. ISSN: 2251-0044. DOI: <http://dx.doi.org/10.14303/irjas.2014.040>. Acesso em: 24 jun. 2022.

SMALING, E.M.A. **O equilíbrio pode parecer bom quando não há nada que você possa minerar: estoques e fluxos de nutrientes nos solos da África Ocidental.** Seminário sobre o Uso de Recursos Minerais Locais para a Agricultura Sustentável na África Ocidental, In H Gerner e AU Mokwunye. (Eds.), IFDC-Africa, p. 21-23, nov.1995.

TAHER, M. et al. **Uma estimativa dos pontos quentes da taxa de erosão do solo por métodos integrados de USLE e GIS: um estudo de caso da represa e bacia de Ghiss no nordeste do Marrocos.** Geomática e Engenharia Ambiental, Cracóvia, v. 16, n. 2, p. 95–110, 2022. <https://doi.org/10.7494/geom.2022.16.2.95>. Acesso em: 19 jun. 2023.

TAMENE, L.; LE, Q. B. **Estimando a erosão do solo na África Subsaariana com base no mapeamento de similaridade da paisagem e usando a equação universal revisada de perda de solo (RUSLE).** Ciclagem de Nutrientes em Agroecossistemas, [S. l.], v. 102, n. 1, p. 17–31, 2015. <https://doi.org/10.1007/s10705-015-9674-9>. Acesso em: 16 nov. 2022.

THLAKMA, S.R. et al. **Avaliação do risco de erosão do solo na bacia hidrográfica de Mubi South, estado de Adamawa, Nigéria.** Jornal Internacional de Sensoriamento Remoto Avançado e GIS, [Índia]. v. 7, n. 1, p. 2518-2539, 2018. ISSN 2320 – 0243. Crossref: 10.23953/cloud.ijarsg.340. Acesso em: 20 jun. 2023.

VRIELING, A.; HOEDJES, J. C. B.; VAN DER Velde, M. **Rumo ao monitoramento em larga escala da erosão do solo na África:** contabilizando a dinâmica da erosividade das chuvas. Mudança Global e Planetária, [S. l.], v. 115, P. 33–43, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2014.01.009>. Acesso em: 16 out. 2022.

VRIELING, A.; STERK, G.; JONG, S. M. **Estimativa baseada em satélite da erosividade das chuvas para a África.** Revista de Hidrologia, [S. l.], v. 395, 3-4 ed., p. 235–241, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.10.035>. Acesso em: 16 out. 2022.

WARREN, A.; BATTERBURY, S.; OSBAHR, H. **Erosão do solo no Sahel da África Ocidental:** Uma revisão e aplicação de uma abordagem de "ecologia política local" no Sudoeste do Níger. Mudança Ambiental Global, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 79–95, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(00\)00047-9](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(00)00047-9). Acesso em: 22 agos. 2022.

WISCHIMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Prevenção de perdas por erosão pluvial:** Um guia para planejamento de conservação. No. 537. O Manual Agrícola do USDA, Washington, 1978.

WOLKA, K., et al. **Avaliação do risco de erosão do solo na bacia hidrográfica de Chaleleka, Vale do Rift Central da Etiópia.** Pesquisa de Sistemas Ambientais, [S. l.], v. 4, n. 1, 2015. <https://doi.org/10.1186/s40068-015-0030-5>. Acesso em: 22 agos. 2022.

ZHANG, H. et al. **Extensão de um procedimento GIS para calcular o fator LS da equação RUSLE.** Computação e Geociências, [S. l.], v. 52, p. 177–188, mar. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2012.09.027>. Acesso em: 18 nov. 2022.