

Variabilidade espacial da erodibilidade no estado de Mato Grosso, Brasil

Spatial variability of erodibility in Mato Grosso State, Brazil

Luis Augusto Di Loreto Di Raimo^{1,*}, Ricardo Santos Silva Amorim², Gilmar Nunes Torres¹, Edwaldo Dias Bocuti¹ e Eduardo Guimarães Couto²

¹Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, Faculdade de Agronomia e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil

²Departamento de Solos e Engenharia Rural, Faculdade de Agronomia e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil

(*E-mail: luis.diloreto@hotmail.com)

<https://doi.org/10.19084/RCA18122>

Recebido/received: 2018.04.21

Recebido em versão revista/received in revised form: 2018.08.16

Aceite/accepted: 2018.08.20

RESUMO

Erodibilidade (K) é a susceptibilidade do solo aos processos erosivos. Conhecer os valores de K de uma região é importante para o planejamento de atividades de conservação do solo que considerem a sua capacidade de uso, nomeadamente em regiões onde a atividade agropecuária é predominante, como no estado de Mato Grosso. Dessa forma, objetivou-se com o presente trabalho estimar e mapear a variabilidade espacial do K no estado de Mato Grosso, com o intuito de definir áreas susceptíveis à erosão e, ordens e características de solo que regem suas variações. Foram estimados valores de K para 427 perfis de solo no Mato Grosso e, posteriormente, estes foram espacializados a partir de geoestatística e krigagem. O Mato Grosso possui na maioria do seu território (98%), solos de baixa e média erodibilidade. As áreas mais críticas, de erodibilidade alta, ocupam 1,95% do Estado. Os valores de K nas classes baixa e média foram predominantes nos perfis estudados, no entanto, com exceção dos Gleissolos, em todas as ordens de solo ocorreram ao menos um perfil de alta erodibilidade. Plintossolos e Nitossolos apresentaram as maiores proporções de perfis de alta erodibilidade, com 20% e 33,3%, respectivamente, e os Latossolos a menor, com 2,4%.

Palavras-chave: erosão, USLE, SIG, escoamento superficial, estabilidade de agregados, conservação do solo.

ABSTRACT

Erodibility (K) is the soil susceptibility for erosive processes. Knowing the K values of a region is extremely important for the planning of soil conservation activities, especially in regions where agricultural activity is predominant, as in Mato Grosso State. In this way, the objective of this work was estimate and map the spatial variability of K in Mato Grosso State, in order to define susceptible areas for erosion process and, orders and characteristics that determine these variations. K values were estimated for 427 soil profiles in Mato Grosso State, later these estimates were spatialized by geostatistics and kriging. The Mato Grosso State has in most of its territory (98%) soils of low and medium erodibility. The most critical areas, with high erodibility, occupied 1.95% of the total area. K values in the low and middle classes were predominant in the studied profiles, however, with the exception of the Gleysols, in all the orders of soil occurred at least one profile of high erodibility. Plinthosols and Nitosols presented the highest proportions of high erodibility profiles, with 20% and 33.3%, respectively, and Latosols the lowest, with 2.4%.

Keywords: erosion, USLE, SIG, surface runoff, stability of aggregates, soil conservation.

INTRODUÇÃO

A erosão hídrica é o processo de desprendimento e arrastamento acelerado de partículas de solo causado pela água. Nesse processo interatuam forças ativas, como a chuva, declividade e comprimento do declive, e passivas, como cobertura do solo e a resistência que o solo exerce contra a ação erosiva da água (Bertoni e Lombardi Neto, 1985). A maior ou menor resistência do solo à erosão depende de suas características intrínsecas e é definida, na Equação Universal de Perda de Solo (USLE), como erodibilidade (K) (Wischmeier e Smith, 1978).

O método padrão para a obtenção do K é realizado no campo, em parcelas experimentais submetidas a chuvas naturais ou simuladas. Nessas condições, os valores de K podem ser obtidos pela razão entre a quantidade de solo removido da parcela experimental e o respectivo valor de erosividade, ou a partir do coeficiente angular de uma função linear contendo essas duas variáveis (Bertol *et al.*, 2007; Martins *et al.*, 2011; Eduardo *et al.*, 2013; Schick *et al.*, 2014). A erodibilidade é expressa em quantidade de solo desprendido (Mg ha^{-1}) por unidade de energia cinética acumulada da chuva ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$).

Utilizando o método padrão, Schick *et al.* (2014), em um Cambissolo, obtiveram valor de K igual a $0,175 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. Marques *et al.* (1997b) obtiveram valores de K iguais a 0,002 e 0,033 $\text{Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, respectivamente para um Latossolo e um Argissolo. Bertol *et al.* (2007) em um Nitossolo, encontraram valor de K equivalente a $0,012 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. Mesmo que exequível, o uso do método padrão para obtenção do fator K é laborioso, de alto custo e moroso, por exigir vários e sucessivos anos de estudos de campo. Por esse motivo, a sua determinação é muitas vezes impossibilitada ou evitada.

Visando facilitar a obtenção do fator K, importante para o planejamento de práticas de conservação do solo, diversos autores desenvolveram e vêm desenvolvendo equações para sua obtenção a partir de atributos do solo. Wischmeier e Smith (1978) foram pioneiros nessa atividade, desenvolvendo uma equação capaz de estimar o fator K para solos do território dos Estados Unidos da América (EUA),

a partir de informações de conteúdo de matéria orgânica, areia fina, silte, argila, características de permeabilidade e agregação do solo.

No entanto, a equação de Wischmeier e Smith (1978), desenvolvida para os EUA, se mostrou incompatível em alguns solos brasileiros. Diante desta incompatibilidade, Denardin (1990) desenvolveu uma equação adequada aos solos brasileiros. Porém, em alguns casos o desempenho desses métodos ainda é variável e pouco acurado, o que fez e ainda faz com que novos estudos sejam desenvolvidos, visando melhorar tais estimativas (Silva *et al.*, 1999; De Sá *et al.*, 2004).

A facilidade proporcionada pelos métodos de estimativa do fator K, gerados pelas diferentes equações desenvolvidas, fez com que aumentasse a quantidade de dados dessa natureza no Brasil. Esse aumento na disponibilidade e facilitação na geração de valores de K para diversas regiões, unidos aos princípios de geoestatística, possibilitam a geração de mapas que representem a variabilidade espacial do K e identificação de áreas susceptíveis, ao nível de bacias hidrográficas, municípios e até Estados (Arraes *et al.*, 2010; Demarchi e Zimback, 2014). Objetivando conhecer o potencial erosivo da bacia hidrográfica do Rio Sapucaia, Durães e Mello (2016) determinaram a variabilidade espacial do fator K a partir de mapas pedológicos e valores obtidos na literatura. Contudo, tal procedimento pode não ser eficiente para representar a variabilidade espacial do K, considerando as possíveis variações de erodibilidade em uma mesma ordem de solo.

Conhecer a variabilidade espacial do K é importante para o planejamento e desenvolvimento de atividades agropecuárias, principalmente em regiões com grandes extensões cultivadas. Se tratando de grandes extensões cultivadas, o Mato Grosso, por exemplo, destaca-se no cenário nacional de produção de grãos, com aproximadamente 16 milhões de hectares cultivados, o que resulta em 17% de sua área total e 25% da área destinada à produção de grãos do território brasileiro (CONAB, 2018). Diante do exposto, objetivou-se com o presente trabalho estimar e mapear a variabilidade espacial do K no estado de Mato Grosso, com o intuito de definir áreas susceptíveis à erosão e, ordens e características de solo que regem suas variações.

MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do estudo foi utilizado o banco de dados produzido no Zoneamento Socioeconômico Ecológico de Mato Grosso (SEPLAN, 2008), que contém informações de 427 perfis de solo (ordem dos solos, teores de areia grossa, areia fina, silte, argila, carbono orgânico, características de drenagem, descrição dos horizontes e coordenadas geográficas), situados em diferentes localidades do Estado (Figura 1). Esses 427 perfis contemplam, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, as ordens dos Argissolos, Cambissolos, Gleissolos, Latossolos, Neossolos, Nitossolos e Plintossolos ou, de acordo com o "World Reference Base for Soil Resources" (WRB), os Acrisols, Cambisols, Gleysols, Ferralsols, Arenosols, Nitisols e Plinthosols, respetivamente (Santos *et al.*, 2013).

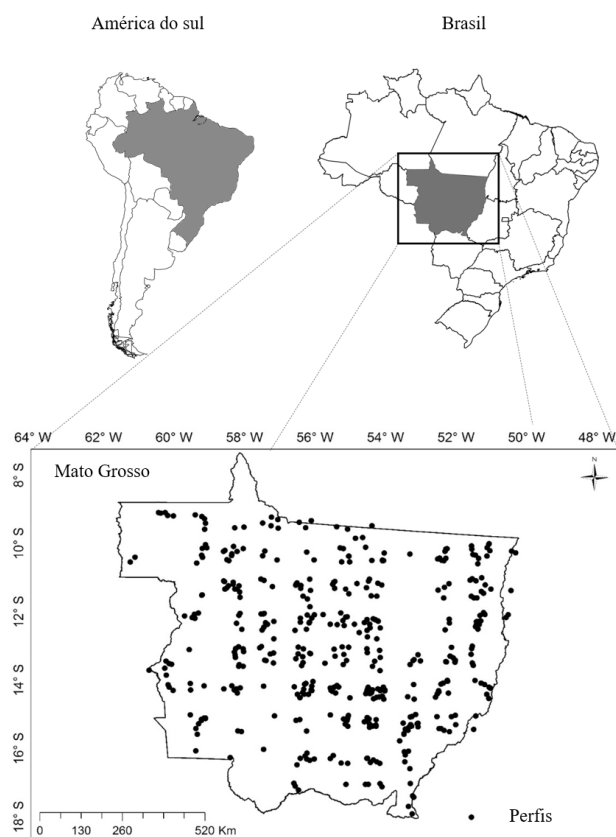


Figura 1 - Localização geográfica dos perfis de solo utilizados no presente estudo.

Com as informações disponíveis para cada um dos 427 perfis, foram calculados valores de erodibilidade utilizando as equações 1 e 2, propostas, respectivamente, por Wischmeier e Smith (1978) e Denardin (1990).

$$K = \left[\frac{2,1 \times 10^{-4} \times (12 - MO) \times M^{1,14} + 3,25 \times (s - 2) + 2,5 \times (p - 3)}{100} \right] \times 0,1318 \quad (1)$$

em que:

K = Erodibilidade, Mg ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹; MO = Teor de matéria orgânica, dag kg⁻¹; M = (% areia fina + % silte) x [(100 - % argila)]; s = Classe de estrutura do solo, adimensional; e p = Permeabilidade do perfil, adimensional.

$$K = 7,48 \times 10^{-6} M + 4,48059 \times 10^{-3} p - 6,31175^2 \text{ DMP} + 1,039567 \times 10^{-2} R \quad (2)$$

em que:

K = Erodibilidade, Mg ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹; M (%) = (% areia fina + % silte) x [(% areia fina + % silte) + % areia grossa]; p = Permeabilidade do perfil, adimensional; R = [% areia grossa x teor de matéria orgânica / 100]; e DPM = diâmetro médio ponderado das partículas de solo (mm), calculado pela equação 3:

$$\text{DMP} = \left[\frac{(0,65 \times \% \text{ AG}) + (0,15 \times \% \text{ AF}) + (0,0117 \times \% \text{ S}) + (0,00024 \times \% \text{ A})}{100} \right] \quad (3)$$

em que:

AG = areia grossa; AF = areia fina; S = Silte; e A = argila.

O teor de matéria orgânica foi obtido a partir do produto entre carbono orgânico do solo e o coeficiente 1,72, seguindo a metodologia descrita em Vasconcellos e Pereira (1998). Os fatores permeabilidade (p) e classe de estrutura do solo (s) foram definidos conforme valores descritos nos Quadros 1 e 2, e a partir da interpretação de informações referentes à drenagem e estruturação dos perfis, respectivamente.

Considerando que os dois métodos de estimativa de K (Wischmeier e Smith, 1978; Denardin, 1990) podem ser pouco precisos em condições diferentes das quais foram desenvolvidos (Silva *et al.*, 1994; Marques *et al.*, 1997a; Silva *et al.*, 2000; Martins *et al.*, 2011), ambos foram aplicados para todos

Quadro 1 - Valores de p atribuídos aos perfis de solo, de acordo com suas respectivas informações de drenagem

Drenagem	Valores de permeabilidade dos perfis (p)
Rápida	1
Moderada à rápida	2
Moderada	3
Lenta à moderada	4
Lenta	5
Muito lenta	6

Quadro 2 - Valores de s atribuídos aos perfis de solo, de acordo com seus respectivos tipos de estrutura

Classe de estrutura do solo	Valor de classe de estrutura do solo (s)
Granular muito pequena	1
Granular pequena	2
Granular média a grande	3
Blocos, laminar ou maciça	4

os perfis do presente estudo. Posteriormente, em cada um dos perfis definiu-se qual o valor mais coerente e que deveria ser utilizado no processo de espacialização da erodibilidade. Para isso, os valores de erodibilidade estimados por cada um dos métodos foram comparados a faixas de valores geradas a partir de um levantamento bibliográfico. Esse levantamento bibliográfico reuniu apenas valores de erodibilidade obtidos pelo método padrão, em parcelas montadas em campo e submetidas a chuva natural ou simulada.

Os perfis classificados nas ordens dos Neossolos, Cambissolos, Gleissolos, Plintossolos e Nitossolos foram diferenciadas apenas até o primeiro nível categórico (Santos *et al.*, 2013), em função do menor volume de informações disponíveis na literatura. Os perfis contidos nas ordens dos Latossolos e dos Argissolos, que apresentam maior volume de informações na literatura, foram diferenciados até o segundo nível categórico, apresentando as subordens Vermelho e Vermelho-Amarelo. Tal diferenciação entre ordens de solos gerou um total de nove grupos (Argissolos Vermelhos, Argissolos Vermelho-Amarelos, Cambissolos, Gleissolos, Latossolos Vermelhos, Latossolos Vermelho-Amarelos, Neossolos, Nitossolos e Plintossolos),

para os quais foram definidas faixas de variação de valores de K .

Os dados de erodibilidade obtidos na literatura, para cada um dos grupos de solos, foram submetidos a estatística descritiva, com exceção dos grupos dos Gleissolos, Neossolos, Nitossolos e Plintossolos, nos quais essa etapa foi inviabilizada devido ao número reduzido de dados. A partir desse procedimento foram definidos os valores máximos, mínimos, médios e coeficientes de variação. Os grupos que não foram submetidos a estatística descritiva, apenas apresentaram valores máximos, mínimos e suas respectivas médias aritméticas.

A definição do método mais adequado para a estimativa do K , em cada um dos perfis de solo, foi realizada com base nas amplitudes de valores obtidas na literatura para cada um dos nove grupos. Deste modo foram estipulados os seguintes critérios: (1) quando os valores de K estimados por ambos os métodos (Wischmeier e Smith, 1978; Denardin, 1990) se encontravam dentro da faixa de amplitude de K obtida para aquele grupo de solo, optou-se pelo valor de K estimado pelo método proposto por Denardin; (2) quando os valores de K estimados por ambos os métodos se encontravam fora da faixa de amplitude obtida para o grupo, optou-se pelo valor de K estimado pelo método proposto por Denardin; (3) nos casos em que apenas uma das estimativas de K se encontrava dentro da faixa de amplitude obtida para o grupo, optou-se por esse valor. A preferência pelo método de Denardin, observada nos critérios 1 e 2, leva em consideração a maior confiabilidade deste método, justamente por ter sido desenvolvido com base nas condições edáficas brasileiras (Silva *et al.*, 1994).

Após definir o valor de erodibilidade, para cada um dos pontos amostrados, foram realizadas as análises geoestatísticas, com o objetivo de caracterizar a variabilidade espacial dos valores de K no estado de Mato Grosso. A escolha do melhor modelo de semivariograma foi baseada nos seguintes parâmetros: Alcance; Efeito pepita (C_0); variância estrutural ou patamar ($C_0 + C_1$); coeficiente de determinação do semivariograma (R^2_{sv}); coeficiente de determinação da validação cruzada (R^2_{vc}); e grau de dependência espacial (GDE). Para obtenção do GDE utilizou-se a equação

4 e sua classificação foi realizada de acordo com Cambardella *et al.* (1994): $\leq 25\%$, forte dependência espacial; $25\% \leq GDE \leq 75\%$, moderada dependência espacial; e $\geq 75\%$, fraca dependência espacial.

$$GDE = \frac{C_0}{C_0 + C_1} \times 100 \quad (4)$$

Após o ajuste do modelo de semivariância, utilizou-se a técnica de krigagem ordinária para gerar o mapa de erodibilidade para o estado de Mato Grosso. Os valores de erodibilidade contidos no mapa foram divididos em cinco classes, conforme apresentado na Quadro 3. Com o intuito de discutir de maneira mais clara as peculiaridades, situações críticas e eventos isolados regionalmente, o estado de Mato Grosso foi subdividido em 7 macrorregiões (noroeste, norte, nordeste, médio norte, oeste, centro sul e sudeste) conforme proposto em IMEA (2010).

Quadro 3 - Classes para a interpretação do K

K (Mg ha h MJ ⁻¹ mm ⁻¹)	Valor de erodibilidade (K)
Muito alta	> 0,065
Alta	0,046 a 0,065
Média	0,032 a 0,046
Baixa	0,013 a 0,032
Muito baixa	< 0,013

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dos 427 perfis estudados, a maioria corresponde as ordens dos Latossolos (245), Neossolos (67) e Argissolos (64), como se ilustra no Quadro 4. Esse predomínio ocorre devido à grande proporção do território do Estado (79%) ocupada por essas ordens de solo (Coutinho, 2005; SEPLAN, 2008) e destaca a representatividade do banco de dados utilizado.

No Quadro 4 constam, para cada um dos grupos de solos estudados, os valores máximos e mínimos de K obtidos no levantamento bibliográfico, seus coeficientes de variação, número de referências consultadas e respectivas fontes. Também estão apresentados no Quadro 4 a porcentagem de vezes que cada método foi mais preciso, de acordo com os critérios supracitados.

86% dos perfis apresentaram valores mais coerentes ao serem estimados pelo método de Denardin (Quadro 4). Silva *et al.* (1994) e Lima *et al.* (2007), no Brasil, também concluíram que o método de Denardin é mais preciso na estimativa de K, principalmente em Latossolos. Contudo, observa-se no Quadro 4 que o método de Wischmeier e Smith apresentou desempenho razoável para os Latossolos Vermelhos e Latossolos Vermelho-Amarelos, representando os valores de K de 50 perfis, 21% do total desta ordem. Tais resultados, a princípio, discordam daqueles apresentados por Silva *et al.* (1994). No entanto, a explicação para essa aparente incoerência se dá em função dos teores médios de argila observados nesses perfis de Latossolos (27% de argila). Segundo Lima *et al.* (2007), o método de Wischmeier e Smith apresenta limitações quando aplicado em Latossolos com alto teor de argila, porém, quando a proporção dessa fração no perfil é menor, suas estimativas são adequadas.

Na Figura 2 está ilustrado o semivariograma utilizado para estimar o K no estado de Mato Grosso, juntamente com seus parâmetros de avaliação. Segundo Cambardella *et al.* (1994), os pontos distribuídos no Estado apresentam entre si uma dependência espacial classificada como moderada ($25\% \leq GDE \leq 75\%$), sendo 37,5% da variância estrutural atribuída ao acaso. Arraes *et al.* (2010) e Weill e Sparovek (2008) utilizaram semivariogramas com grau moderado de dependência espacial para espacialização do K em

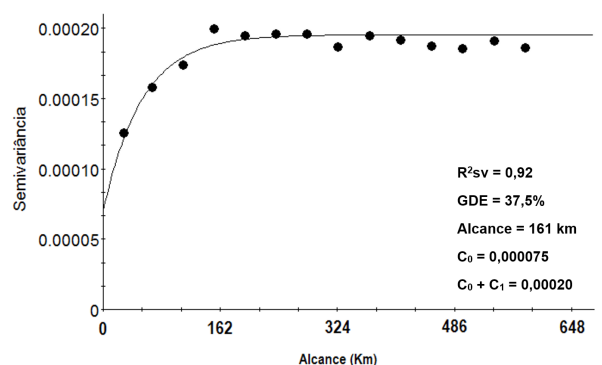


Figura 2 - Semivariograma utilizado para a estimativa da erodibilidade dos solos do estado de Mato Grosso (R^2_{sv} , coeficiente de determinação da validação cruzada; GDE, grau de dependência espacial; C_0 , efeito pepita; $C_0 + C_1$, variância estrutural ou patamar).

Quadro 4 - Grupos de solos estudados e suas respectivas faixas de valores obtidas na literatura, coeficientes de variação, fontes consultadas, número de fontes consultadas, porcentagem de vezes em que cada método foi mais preciso e número de perfis

Grupos	Erodibilidade observada			CV%	NV	Fontes	Adequação aos dados obtidos na literatura (%)		NP
	(Mg ha h ha ⁻¹ MJ ⁻¹ mm ⁻¹)						Ws	Dn	
	Min.	Méd.	Máx.						
Argissolo Vermelho	0,0040	0,0192	0,0340	56%	9	6, 16	16	84	12
Argissolo Vermelho-Amarelo	0,0040	0,0262	0,0550	50%	16	2, 3, 9, 6, 20	4	96	52
Cambissolo	0,0115	0,0311	0,0508	47%	5	1, 4, 15, 13, 18, 21	5	95	37
Gleissolo	0,0	0,0180	0,0360	-	2	2, 15	0	100	5
Latossolo Vermelho	0,0019	0,0094	0,0260	38%	26	1, 4, 5, 7, 8, 9, 11, 12, 16, 18	27	73	132
Latossolo Vermelho-Amarelo	0,0020	0,0156	0,0340	63%	10	1, 5, 10, 11	14	86	113
Neossolo	0,0296	0,0296	0,0296	-	1	14	0	100	63
Nitossolo	0,0110	0,0173	0,0237	-	2	15, 17	0	100	3
Plintossolo	0,0170	0,0170	0,0170	-	1	19	0	100	10

⁽¹⁾ Denardin e Wunsche (1980); ⁽²⁾ Bertoni e Lombardi Neto (1985); ⁽³⁾ Campos Filho *et al.* (1992); ⁽⁴⁾ Adaptado de Lombardi Neto e Moldenhauer (1992); ⁽⁵⁾ Silva *et al.* (1994); ⁽⁶⁾ Marques *et al.* (1997a); ⁽⁷⁾ Hernani *et al.* (1997); ⁽⁸⁾ Silva *et al.* (1997); ⁽⁹⁾ Marques *et al.* (1997b); ⁽¹⁰⁾ Andrade *et al.* (1999); ⁽¹¹⁾ De acordo com Silva *et al.* (2000); ⁽¹²⁾ Carvalho e Hernani (2001); ⁽¹³⁾ Bertol *et al.* (2002); ⁽¹⁴⁾ Fujihara (2002); ⁽¹⁵⁾ Silva e Alvares (2005); ⁽¹⁶⁾ Adaptado de Silva *et al.* (2005); ⁽¹⁷⁾ Bertol *et al.* (2007); ⁽¹⁸⁾ Silva *et al.* (2009); ⁽¹⁹⁾ Martins *et al.* (2011); ⁽²⁰⁾ Eduardo *et al.* (2013); ⁽²¹⁾ Schick *et al.* (2014). **Min.** – Mínimo; **Méd.** – Médio; **Máx.** – Máximo; **CV%** - Coeficiente de variação; **NV** – Número de valores obtidos na literatura; **Ws** – Wischmeier e Smith; **Dn** – Denardin; **NP** – Número total de perfis.

microbacias de São Paulo, indicando que mesmo em áreas menores que o estado de Mato Grosso, com menor tendência a variabilidade espacial, semivariogramas com moderada dependência espacial são aplicáveis.

O modelo de semivariograma que melhor representou a variação dos valores de K no Estado foi o exponencial. O alcance do semivariograma foi de 161 km, ou seja, dentro de um círculo com este raio, os pontos apresentam-se correlacionados espacialmente. Com este alcance, conclui-se que a densidade de perfis utilizada para o mapeamento do K é satisfatória, uma vez que as distâncias entre pontos são sempre inferiores a 161 km. Conclusão similar foi obtida por Branco *et al.* (2013) no estado do Piauí. Esses autores mencionaram ainda que a densidade de perfis para estimativa do K poderia ser reduzida, sem comprometer a confiabilidade das informações geradas.

Teoricamente, se tratando da variabilidade espacial de solos, esperava-se um alcance menor, uma vez

que a variação de tipos de solo comumente se dá em distâncias menores que 161 km. Porém, dois fatores podem explicar o (grande) alcance observado no presente estudo: (1) A homogeneidade na distribuição das ordens de solos no estado de Mato Grosso, evidenciada pelo predomínio de Latossolos (41%), Argissolos (25%) e Neossolos Quartzarênicos (13%) (Coutinho, 2005; SEPLAN, 2008); e (2) a quantidade e densidade de amostras utilizadas para caracterização da variabilidade espacial no presente estudo que, apesar de grande e representativa para o cumprimento dos objetivos aqui propostos, não é capaz de representar as variações das características de solos em pequenas escalas.

No gráfico de validação cruzada (Figura 3), observa-se o valor de R²vc igual a 0,3. Ainda que apresente valor reduzido de R²cv, analisando o padrão mantido entre os valores subestimados e superestimados, representados pela linha de tendência, a capacidade de generalização do modelo pode ser considerada aceitável.

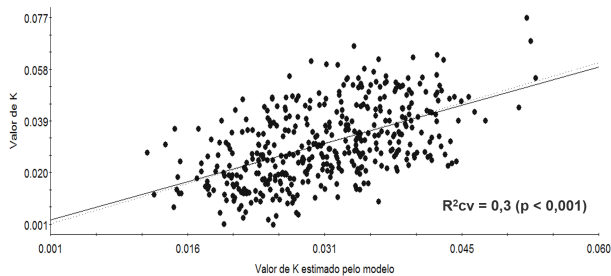


Figura 3 - Dispersão dos pares de dados observados e estimados pelo modelo de semivariograma ajustado (R^2_{cv} , coeficiente de determinação da validação cruzada).

Das cinco classes de K propostas por Freire e Pessotti (1974), foram identificadas no Estado as classes muito baixa, baixa, média e alta (Figura 4). Dos 93,1 milhões de hectares ocupados pelo estado de Mato Grosso, 202.997 (0,22%) correspondem à classe muito baixa de erodibilidade, 51.470.990 (55,28%) à classe baixa, 39.612.510 (42,55%) à classe média e 1.813.503 (1,95%) à classe alta. De acordo com a Figura 4, as áreas mais críticas (alta erodibilidade) se concentraram predominantemente nas macrorregiões nordeste, noroeste e oeste (municípios de Juína, Sapezal, Brasnorte, Cocalinho e Nova Nazaré).

Na Figura 5 estão ilustradas as proporções de perfis contidas em cada uma das diferentes classes de K, para cada grupo de solo estudado. Assim como observado no mapa de K (Figura 4),

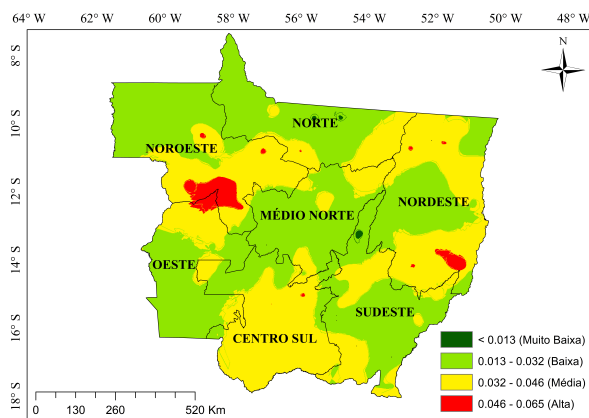


Figura 4 - Mapa de K ($\text{Mg ha h}^{-1} \text{MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$) para o estado de Mato Grosso, dividido em macrorregiões econômicas segundo o IMEA (2010).

as classes baixa e média foram predominantes e representam as maiores proporções dos valores de K dos perfis de Argissolos, Plintossolos, Latossolos, Neossolos e Cambissolos (Figuras 5a, 5b, 5c, 5d e 5e, respectivamente). Valores de K na classe muito baixa foram observados apenas para Argissolos e Neossolos, representando, respectivamente, 4,7% e 1,6% destes (Figuras 5a e 5d). Com exceção dos Gleissolos, com valores de K na classe baixa em todos os perfis (5g), em todas as demais ordens de solo ocorreram ao menos um valor classificado como alto. Destaque para os Plintossolos e Nitossolos, com 20% e 33,3% dos perfis na classe alta, respectivamente (Figuras 5b e 5f). A menor quantidade de perfis na classe alta foi observada para os Latossolos (2,4%) (Figura 5c), provavelmente devido suas características de drenagem e profundidade (Valladares *et al.*, 2012).

Para melhor compreensão das variações nos valores de K, esses foram relacionados com características contidas no banco de dados, referentes aos perfis de cada ordem de solo. As características escolhidas para explicar tais variações foram aquelas que proporcionaram as maiores amplitudes de K, quando seus valores máximos e mínimos foram aplicados nas fórmulas de estimativa desse fator.

A variação dos valores de erodibilidade na ordem dos Argissolos foi mais influenciada pelas porcentagens de areia fina e argila, apresentando relação positiva e negativa, respectivamente (Figura 6). Devido à pouca reatividade e massa reduzida, partículas de areia fina dificilmente formam agregados e exercem pouca resistência ao processo de arraste pelo escoamento superficial, fazendo com que os valores de K tenham relação positiva com a proporção desta fração no solo (Silva *et al.*, 1999; Corrêa *et al.*, 2015; Parwada e Van Tol, 2016). Em relação à argila, devido a sua influência na formação de agregados estáveis, a susceptibilidade do solo à erosão tende a diminuir conforme sua quantidade aumenta (Singh e Khera, 2009; Corrêa *et al.*, 2015; Parwada e Van Tol, 2016).

Outro fator de influência na variação de valores de K em Argissolos é a presença do horizonte B textural, responsável pela restrição subsuperficial à percolação de água. Solos com tal característica apresentam o horizonte A mais vulnerável aos processos erosivos, devido à maior probabilidade

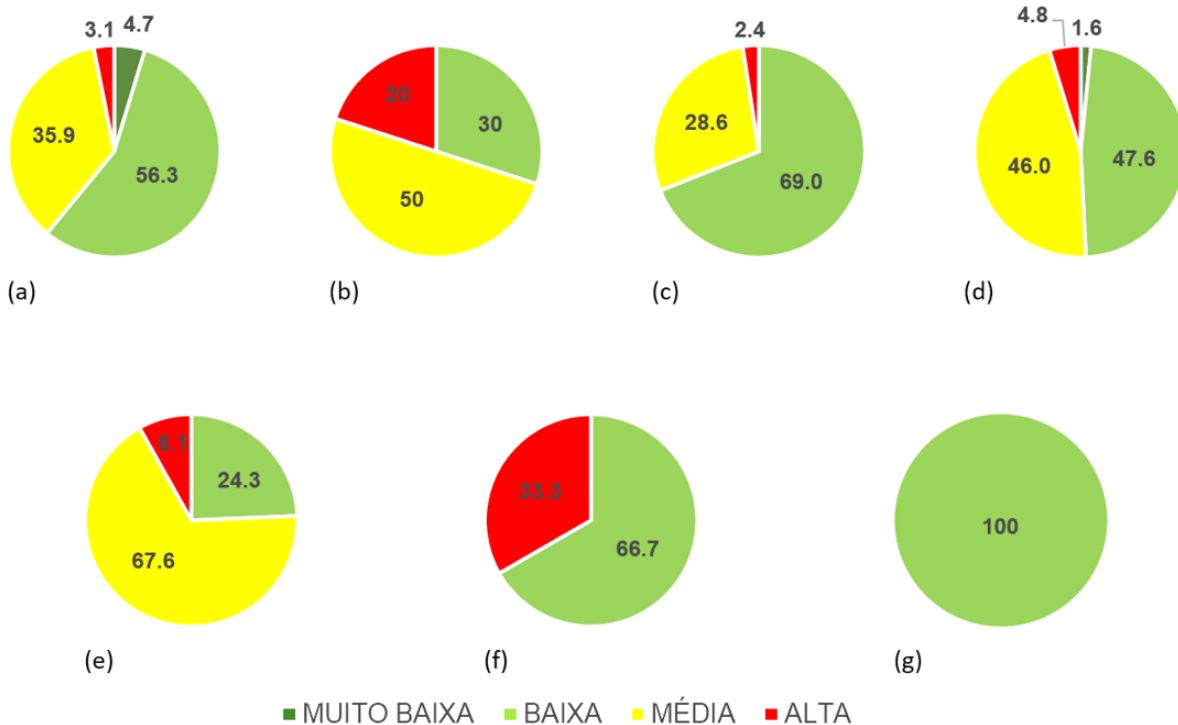


Figura 5 - Proporções (%) de perfis referentes a cada uma das classes de K nos nove grupos de solo estudados. Argissolos (a), Plintossolos (b), Latossolos (c), Neossolos (d), Cambissolos (e), Nitossolos (f) e Gleissolos (g).

de saturação e acúmulo de água na superfície, condições estas que facilitam a ocorrência de escoamento superficial (Arraes *et al.*, 2010; Santos *et al.*, 2013; Corrêa *et al.*, 2015). Argissolos que apresentam horizonte A com elevadas quantidades de areia fina e agregados de pouca estabilidade são mais susceptíveis à erosão.

Nos Plintossolos, assim como nos Argissolos, as variações nos valores de K foram mais influenciadas pela argila e areia fina (Figura 7). Outra semelhança é que os Plintossolos apresentam horizonte subsuperficial que dificulta a percolação de água (horizonte plíntico ou petroplíntico), tornando mais susceptíveis a erosão os solos que

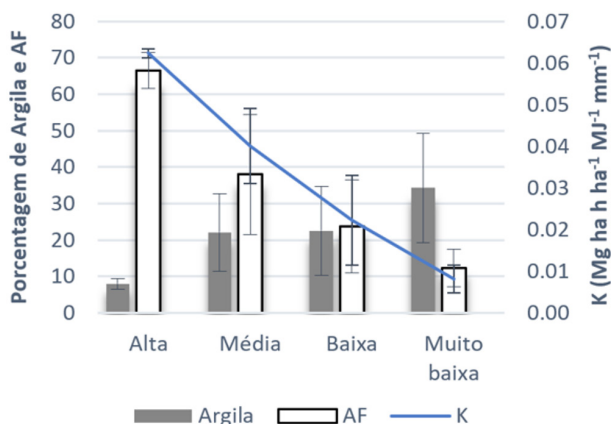


Figura 6 - Relação entre as porcentagens médias das frações texturais de maior influência e valores de K para o horizonte superficial dos perfis de Argissolos.

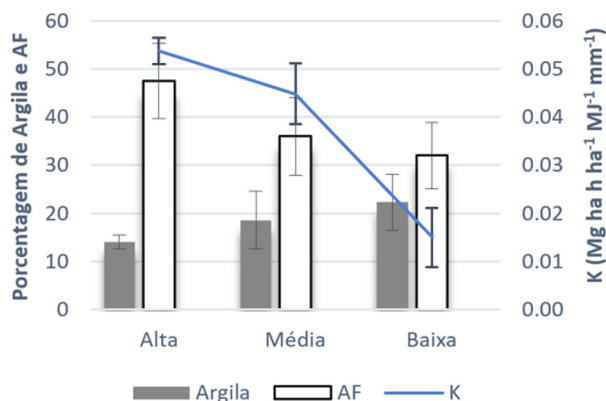


Figura 7 - Relação entre as porcentagens médias das frações texturais de maior influência e valores de K para o horizonte superficial dos perfis de Plintossolos.

apresentem horizonte A mais frágil (Arraes *et al.*, 2010; Santos *et al.*, 2013; Corrêa *et al.*, 2015).

A variação nos valores de K dos Latossolos foi mais influenciada pela porcentagem de argila e areia grossa dos perfis, apresentando relação negativa com ambas (Figura 8). Quanto à argila, essas variações se dão devido sua ação agregante e aos óxidos. Os óxidos de ferro e alumínio, que compõem parte da fração argila dos Latossolos, influenciam na formação de agregação granular, características pelo seu “desarranjo” (ausência de ajuste face a face entre partículas). Tal peculiaridade faz com que os valores de permeabilidade de Latossolos aumentem, proporcionalmente ao aumento do conteúdo de argila (Silva *et al.*, 1994, 2005, 2009; Amorim *et al.*, 2010). Quanto à areia grossa, mesmo que pouco reativa para formação de agregados, com aumento de sua proporção no solo os valores de K tendem a diminuir, devido à sua massa elevada, que lhe confere resistência ao processo de arraste pela água (Silva *et al.*, 1999; Corrêa *et al.*, 2015).

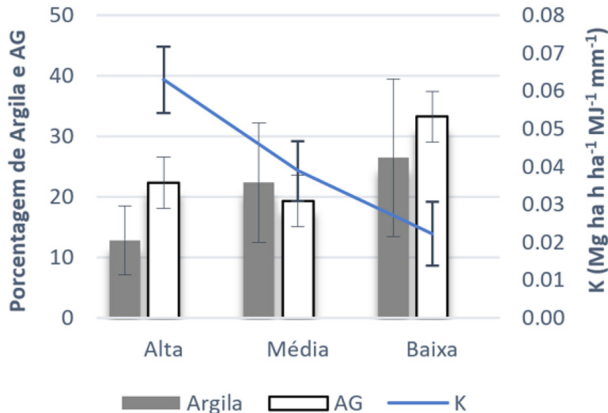


Figura 8 - Relação entre as porcentagens médias das frações texturais de maior influência e valores de K para o horizonte superficial dos perfis de Latossolos.

Na Figura 9, observa-se que as características de maior influência nos Neossolos foram as frações areia fina e areia grossa. Assim como discutido para as variações de areia fina nos Argissolos e Plintossolos, e areia grossa nos Latossolos, observou-se que à medida que as suas proporções diminuíram e aumentaram, respectivamente, os valores de K tenderam à redução. Isso ocorre

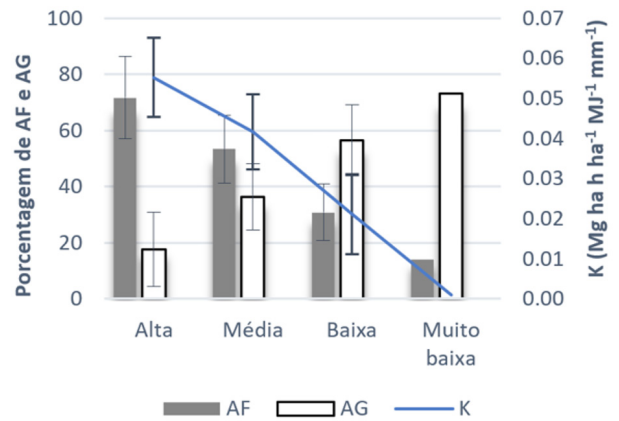


Figura 9 - Relação entre as porcentagens médias das frações texturais de maior influência e valores de K para o horizonte superficial dos perfis de Neossolos.

devido à influência da massa destas partículas, que oferecem, respectivamente, menor e maior resistência ao arraste pelo escoamento superficial.

As características de maior influência nos Cambissolos foram a argila e o silte. Assim como nos Argissolos, Plintossolos e Latossolos, os valores de K dos Cambissolos reduziram-se conforme o conteúdo de argila no horizonte superficial aumentou (Figura 10). Quanto ao silte, a relação com os valores de K é positiva.

A fração silte, assim como a areia fina, possui massa reduzida e pouca propensão a formar agregados, sendo facilmente desprendida e arrastada pela água. Desta maneira, estas partículas quando desprendidas e arrastadas podem, tanto serem retiradas do sistema, quanto serem responsáveis pelo entupimento de poros de drenagem, ao percolarem. Sendo assim, ocorrerá a diminuição da capacidade de infiltração no solo e, conseqüentemente, será gerado um maior volume de fluxo superficial em função do chamado “selamento superficial” (Brandão *et al.*, 2006; Corrêa *et al.*, 2015; Durães e Mello, 2016).

Assim como nos Cambissolos, os valores de K nos Nitossolos foram mais influenciados pela quantidade de argila e silte dos perfis (Figura 11). Acompanhando as variações apresentadas nos valores de K dos perfis de Nitossolo deste trabalho, na Figura 11 apresenta-se em destaque os valores

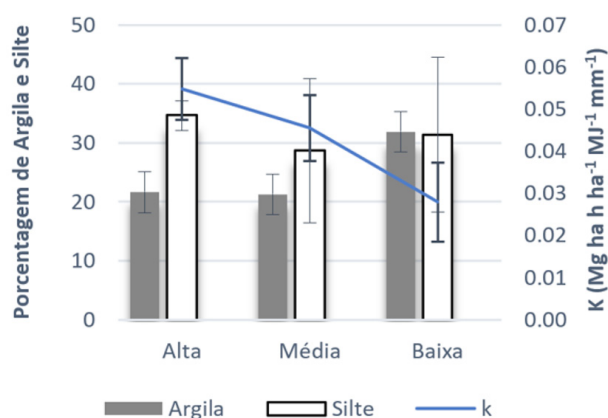


Figura 10 - Relação entre as porcentagens médias das frações texturais de maior influência e valores de K para o horizonte superficial dos perfis de Cambissolos.

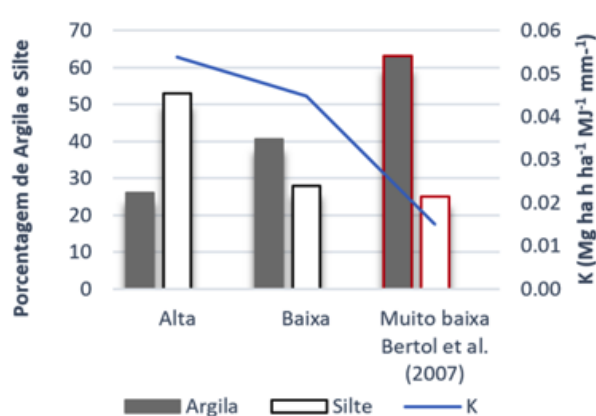


Figura 11 - Relação entre as porcentagens médias das frações texturais de maior influência e valores de K para o horizonte superficial dos perfis de Nitossolos.

de K, argila e silte obtidos em um Nitossolo estudado por Bertol *et al.* (2007). Tal comparação confirma a diminuição da susceptibilidade a erosão em função do aumento na proporção de argila e diminuição na proporção de silte, em perfis desta ordem de solos.

Dos perfis de Gleissolos estudados, todos apresentaram valores na classe baixa de erodibilidade. De acordo com suas características, os Gleissolos encontram-se permanentemente ou periodicamente saturados por água (Santos *et al.*, 2013), fazendo com que na maioria das vezes apresentem baixa capacidade de drenagem e, conseqüentemente, altos valores de K. Contudo, os perfis de Gleissolos deste trabalho apresentaram características de boa drenagem, fazendo com que em eventos chuvosos o escoamento superficial seja reduzido e, conseqüentemente, os valores de K também.

CONCLUSÕES

O estado de Mato Grosso possui na maioria do seu território (98%) solos de baixa e média erodibilidade.

As áreas mais críticas (alta erodibilidade), correspondentes a apenas 1,95% do Estado, se localizam predominantemente nas macrorregiões nordeste, noroeste e oeste.

Para todas as ordens de solo com perfis avaliados, à exceção dos Gleissolos, ocorreram pontos de alta erodibilidade. No entanto, os valores de erodibilidade baixos e médios foram predominantes.

Plintossolos e Nitossolos foram as ordens de solos que apresentaram maiores proporções de perfis de alta erodibilidade (20% e 33,3%, respectivamente), enquanto os Latossolos apresentaram a menor proporção (2,4%).

Diversos estudos, principalmente aqueles que visam aplicar modelos matemáticos de predição de perda de solo (USLE e RUSLE), definem a variabilidade espacial da erodibilidade (de uma região, microbacia ou Estado) a partir do mapa de solos da região, obtendo da literatura os valores referentes a cada ordem de solo contida no mapa. Contudo, a partir do presente estudo conclui-se que, dentro de uma mesma ordem de solo, os valores de erodibilidade podem ser diversos, dependendo de características como textura e drenagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amorim, R.S.S.; Silva, D.D.; Pruski, F.F. & Matos, A.T. (2010) - Avaliação do desempenho dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para diferentes condições edafoclimáticas do Brasil. *Engenharia Agrícola*, vol. 30, n. 6, p. 1046-1049. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162010000600006>
- Andrade, A.P.; Silva, I.F.; Diniz, E.J.; Santiago, R.D. & Oliveira, P.K.B. (1999) - Perda de solo e água por erosão num Latossolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes práticas agrícolas. *Agropecuária Técnica*, vol. 20, n. 1, p. 14-19.
- Arraes, C.L.; Paes Bueno, C.R. & Tarle Pissarra, T.C. (2010) - Estimativa da erodibilidade do solo para fins conservacionistas na microbacia Córrego do Tijuco, SP. *Bioscience Journal*, vol. 26, n. 6, p. 849-857.
- Bertol, I.; Schick, J.; Batistela, O.; Leite, D. & Amaral, A.J. (2002) - Erodibilidade de um Cambissolo Húmico aluminico léptico, determinada sob chuva natural entre 1989 e 1998 em Lages (SC). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 26, n. 2, p. 465-471. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832002000200020>
- Bertol, I.; Leite, D.; Engel, F.L.; Cogo, N.P. & González, A.P. (2007) - Erodibilidade de um nitossolo háptico aluminico determinada em condições de campo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 31, n. 3, p. 541-549. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000300014>
- Bertoni, J. & Lombardi Neto, F. (1985) - *Conservação do solo*. Piracicaba: Livrocere, 392 p.
- Branco, S.B.; Salviano, A.A.; Matias, S.S.; Marques JR, J. & Santos, H.L. (2013) - Influência do relevo e erodibilidade nos atributos químicos em área degradada de Gilbués, PI. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, vol 8, n. 2, p. 324-330. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v8i2a2418>
- Brandão, V.S.; Cecílio, R.A.; Pruski, F.F. & Silva, D.D. (2006) - *Infiltração de água no solo*. 3ª ed. Atualizada e ampliada – Viçosa: Ed. UFV.
- Cambardella, C.A.; Moorman, T.B.; Parkin, T.B.; Karlen, D.L.; Novak, J.M.; Turco, R.F. & Konopka, A.E. (1994) - Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*, vol. 58, n. 5, p. 1501-1511. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>
- Campos Filho, O.R.; Da Silva, I.D.F.; De Andrade, A.P. & Leprun, J.C. (1992) - Erosividade da chuva e erodibilidade do solo no agreste de Pernambuco. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 27, n. 9, p. 1363-1370.
- Carvalho, M.P. & Hernani, L.C. (2001) - Parâmetros de erosividade da chuva e da enxurrada correlacionados com perdas de solo e erodibilidade de um Latossolo Roxo de Dourados (MS). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 25, n. 1, p. 137-146. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832001000100015>
- CONAB (2018) - *Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v. 5 - Safra 2017/18*, n. 7 - Sétimo levantamento. Companhia Nacional De Abastecimento.
- Corrêa, E.A.; Moraes, I.C. & Pinto, S.D.A.F. (2015) - Estimativa da erodibilidade e tolerância de perdas de solo na região do centro leste paulista. *Geociências*, vol. 34, n. 4, p. 848-860.
- Coutinho, A.C. (2005) - *Dinâmica das queimadas no Estado do Mato Grosso e suas relações com as atividades antrópicas e a economia local*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo – ESALQ, 308 p.
- De Sá, M.A.C.; Curi, N.; Lima, J.; Marques, J. & Massaroto, J. (2004) - Estimativa da erodibilidade pela desagregação por ultra-som e atributos de solos com horizonte B textural. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 39, n. 7, p. 691-699. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2004000700011>
- Demarchi, J.C. & Zimback, C.R.L. (2014) - Mapeamento, erodibilidade e tolerância de perdas de solo na sub-bacia do Ribeirão das Perobas. *Revista Energia na Agricultura*, vol. 29, n. 2, p. 102-114. <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2014v29n2p102-114>
- Denardin, J.E. & Wunsche, W.A. (1980) - Erodibilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro. In: *Encontro nacional de pesquisa sobre conservação do solo, 3., Recife*. Anais. Recife, UFRPE, 1981, 219 p.
- Denardin, J.E. (1990) - *Erodibilidade de solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos*. Tese de Doutorado. Piracicaba, Universidade de São Paulo – ESALQ, 81 p.
- Durães, M.F. & Mello, C.R.D. (2016) - Distribuição espacial da erosão potencial e atual do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí, MG. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, vol. 21, n. 4, p. 677-685. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522016121182>

- Eduardo, E.N.; Carvalho, D.; Machado, R.L.; Soares, P.F.C. & Almeida, W. (2013) - Erodibilidade, fatores cobertura e manejo e práticas conservacionistas em Argissolo Vermelho-Amarelo, sob condições de chuva natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 37, n. 3, p. 796-803. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000300026>
- Freire, O. & Pessoti, J.E.S. (1974) - Erodibilidade dos solos do estado de São Paulo. *Anais da ESALQ*, vol. 31, p. 333-350. <http://dx.doi.org/10.1590/S0071-12761974000100026>
- Fujihara, A.K. (2002) - *Predição de erosão e capacidade de uso do solo numa microbacia do oeste paulista com suporte de geoprocessamento*. Tese de Doutorado. Piracicaba, Universidade de São Paulo – ESALQ, 136 p.
- Hernani, L.C.; Salton, J.C.; Fabricio, A.C.; Dedecek, R. & Alves Jr, M. (1997) - Perdas por erosão e rendimentos de soja e de trigo em diferentes sistemas de preparo de um Latossolo Roxo de Dourados (MS). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 21, n. 4, p. 667-676. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06831997000400018>
- IMEA (2010) - *Mapa de macrorregiões do IMEA*. [cit. 2017-03-20]. <http://www.imea.com.br/upload/publicacoes/arquivos/justificativamapa.pdf>.
- Lima, J.E.F.W.; Silva, E.D.; Eid, N.J.; Martins, E.S.; Koide, S. & Reatto, A. (2007) - Desenvolvimento e verificação de métodos indiretos para a estimativa da erodibilidade dos solos da bacia experimental do Alto Rio Jardim DF. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, vol. 8, n. 2, p. 23-36. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v8i2.92>
- Lombardi Neto, F. & Moldenhauer, W.C. (1992) - Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP. *Bragantia*, vol. 51, n. 2, p. 189-196. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87051992000200009>
- Marques, J.J.G.S.M.; Curi, N.; Ferreira, M.M.; Lima, J.D.; Silva, M.L.N. & Sá, M.D. (1997a) - Adequação de métodos indiretos para estimativa da erodibilidade de solos com horizonte B textural no Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 21, n. 3, p. 447-456. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06831997000300014>
- Marques, J.J.G.S.M.; Alvarenga, R.C.; Curi, N.; Santana, D.P. & Silva, M.L.N. (1997b) - Índices de erosividade da chuva, perdas de solo e fator erodibilidade para dois solos da região dos cerrados-primeira aproximação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 21, n. 3, p. 427-434. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06831997000300011>
- Martins, S.G.; Avanzi, J.C.; Silva, M.L.N.; Curi, N. & Fonseca, S. (2011) - Erodibilidade do solo nos Tabuleiros Costeiros. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, vol. 41, n. 3, p. 322-327.
- Parwada, C. & Van Tol, J. (2016) - Soil properties influencing erodibility of soils in the Ntabelanga area, Eastern Cape Province, South Africa. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B, Soil & Plant Science*, vol 67, n. 1, p. 67-76. <https://doi.org/10.1080/09064710.2016.1220614>
- Santos, H.G.; Jacomine, P.K.T.; Anjos, L.H.C.; Oliveira, V.A.; Lumberras, J.F.; Coelho, M.R.; Almeida, J.A.; Cunha, T.J.F. & Oliveira, J.B. (2013) - *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3ª ed. revisada e ampliada. Brasília: Embrapa, 353 p.
- SEPLAN (2008) - *Zoneamento Sócio-Econômico-Ecológico do Estado de Mato Grosso, ZSEE*. Secretaria de Estado e Planejamento. Governo do Estado de Mato Grosso. Cuiabá, 338 p.
- Schick, J.; Bertol, I.; Cogo, N.P. & González, A.P. (2014) - Erodibilidade de um Cambissolo Húmico sob chuva natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 38, n. 6, p. 1906-1917. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000600025>
- Silva, A. M.; & Alvares, C. A. (2005). Levantamento de informações e estruturação de um banco dados sobre a erodibilidade de classes de solos no estado de São Paulo. *Geociências (São Paulo)*, vol. 24, n. 1, p. 33-41.
- Silva, M.L.N.; Oliveira, M.S.; Ferreira, M.M. & Neto, F.L. (1994) - Comparação entre métodos direto e indiretos para determinação da erodibilidade em Latossolos sob cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 29, n. 11, p. 1751-1761.
- Silva, M.L.N.; Freitas, P.D.; Blancaneaux, P.; Curi, N. & Lima, J.M.D. (1997) - Relação entre parâmetros da chuva e perdas de solo e determinação da erodibilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro em Goiânia (GO). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 21, n. 1, p. 131-137.
- Silva, M.L.N.; Curi, N.; Ferreira, M.M.; Lima, J.D. & Ferreira, D.F. (1999) - Proposição de modelos para estimativa da erodibilidade de Latossolos brasileiros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 34, n. 12, p. 2287-2298. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X1999001200016>
- Silva, M.L.N.; Curi, N.; Lima, J.D. & Ferreira, M.M. (2000) - Avaliação de métodos indiretos de determinação da erodibilidade de Latossolos brasileiros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 35, n. 6, p. 1207-1220. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2000000600018>

- Silva, A.D.; Silva, M.L.N.; Curi, N.; Lima, J.D.; Avanzi, J.C. & Ferreira, M.M. (2005) - Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 40, n. 12, p. 1223-1230. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2005001200010>
- Silva, A.M.; Silva, M.L.N.; Curi, N.; Avanzi, J.C. & Ferreira, M.M. (2009) - Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, sul de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 33, n. 6, p. 1811-1820. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000600029>
- Singh, M.J. & Khera, K.L. (2009) - Nomographic estimation and evaluation of soil erodibility under simulated and natural rainfall conditions. *Land Degradation & Development*, vol. 20, n. 5, p. 471-480. <https://doi.org/10.1002/ldr.923>
- Valladares, G.S.; Gomes, A.; Torresan, F.E.; Rodrigues, C.A.G. & Grego, C.R. (2012) - Modelo multicritério aditivo na geração de mapas de suscetibilidade à erosão em área rural. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 47, n. 9, p. 1376-1383.
- Vasconcellos, C.A. & Pereira, E.A.G. (1998) - *Metodologias simplificadas para a análise da matéria orgânica dos solos*. Comunicado técnico. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. n. 8, 6 p.
- Weill, M.D.A.M. & Sparovek, G. (2008) - Estudo da erosão na microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP): I-Estimativa das taxas de perda de solo e estudo de sensibilidade dos fatores do modelo EUPS. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 32, n. 2, p. 801-814. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000200034>
- Wischmeier, W.H. & Smith, D.D. (1978) - *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. Agriculture Handbook, 537. Washington, United States Department of Agriculture, 58 p.