

Erodibilidade entressulcos e sua relação com atributos de solos do Cerrado

Interrill erodibility and its relationship with attributes of Cerrado soils

Edwaldo Dias Bocuti^{1,*}, Ricardo Santos Silva Amorim², Tulio Gonçalves dos Santos¹, Luis Augusto Di Loreto Di Raimo¹ e Henrique Gomes Pereira³

¹Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, Brasil

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

³Faculdade de Agronomia e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, Brasil

(*E-mail: ed.bocuti@hotmail.com)

<https://doi.org/10.19084/RCA18130>

Recebido/received: 2018.04.28

Recebido em versão revista/received in revised form: 2018.09.24

Aceite/accepted; 2018.10.08

RESUMO

Objetivou-se com o trabalho determinar a erodibilidade entressulcos (K_i) do solo de seis áreas localizadas no Cerrado mato-grossense e estabelecer atributos do solo com potencial para serem variáveis preditoras da K_i . O trabalho foi desenvolvido em áreas que contemplam solos de texturas arenosa, média e argilosa e os usos: pasto (ponto 1 e 2 - Pp1 e Pp2), agrícola (ponto 1, 2 e 3 - Ap1, Ap2 e Ap3) e Cerrado 1 (C1). O estudo foi subdividido em caracterização dos atributos físicos dos solos, determinação da K_i utilizando simulador de chuva a campo e na avaliação da correlação entre K_i e as características dos solos. O tratamento estatístico dos dados consistiu na aplicação de teste de Kruskal-Wallis e correlação de Pearson entre variáveis. Os valores médios obtidos de K_i variaram de $8,56 \times 10^4$ a $1,32 \times 10^6$ Kg.s.m⁻⁴. A K_i foi maior na área Ap2 em relação a C1. Maiores correlações entre K_i e os atributos foram obtidas agrupando inicialmente os solos por classe textural. A areia (grossa, média e fina), diâmetro médio ponderado e índice de estabilidade dos agregados apresentam maior potencial de predição da K_i .

Palavras-chave: Erosão hídrica, chuva simulada, Cerrado Mato-Grossense.

ABSTRACT

The objective of this work was to determine in field the interrill erodibility (K_i) in soils of the Cerrado Mato-Grossense and find physical characteristics that better correlate and are predictors of K_i . The work was developed in six areas contemplating soil textures sandy, medium and clayey and the following uses: pasture (Pp1 and Pp2), agricultural (Ap1, Ap2 and Ap3) and Cerrado (C1). The study consisted in the physical characterization of the soils; determination of the interrill erodibility (K_i) using field rain simulator and evaluation of the correlation between K_i and soil characteristics. Statistical treatment of the data consisted in the application of the Kruskal-Wallis test and Pearson's correlation between variables. The mean values K_i ranged from $8,56 \times 10^4$ to $1,32 \times 10^6$ Kg.s.m⁻⁴. The K_i was higher in Ap2 than in C1. Larger correlations between K_i and soil physical characteristics were obtained by grouping soils by textural classes. The attributes coarse sand, very fine sand, medium sand, weighted average diameter and stability index of the aggregates present a higher prediction potential of K_i .

Keywords: Water erosion, simulated rain, Cerrado Mato-Grossense.

INTRODUÇÃO

A erosão hídrica causa elevadas perdas de solos em áreas de produção agrícola, pois a ação conjunta dos impactos das gotas de chuva seguidas de escoamento superficial, arrastam as partículas de solo

em suspensão e transportam nutrientes, matéria orgânica e defensivos agrícolas. Sendo assim, a erosão hídrica contribui diretamente para a redução da capacidade produtiva dos solos (Nunes e Cassol, 2008), principalmente quando é adotado um manejo inadequado em áreas susceptíveis a erosão.

A susceptibilidade de um solo à erosão hídrica é representada pela erodibilidade, característica intrínseca do solo que varia de acordo com as suas propriedades físicas, químicas, mineralógicas e biológicas (Wischmeier e Mannering, 1969; Gonçalves, 2008). A erodibilidade é dividida em entressulcos e no sulco, sendo a erodibilidade entressulcos (K_i) entendida como a susceptibilidade do solo à desagregação das partículas causada pelos impactos das gotas de chuva e pelo escoamento laminar (Foster *et al.*, 1985).

A erodibilidade entressulcos tende a diminuir em solos tropicais que apresentam aumento dos teores de argila total, carbono orgânico e óxidos de ferro (Franco, 2012; Reichert e Norton, 2013). Isso porque o carbono orgânico e os óxidos de ferro são atributos do solo que atuam como agentes cimentantes no processo de formação de agregados, conferindo ao solo maior resistência aos impactos das gotas de chuva, tornando-o mais estável e dificultando o seu carreamento pelo escoamento superficial.

Gonçalves (2008) obteve em campo, por meio de chuva simulada, valor médio para a erodibilidade em entressulcos igual a $3,062 \times 10^6 \text{ kg s m}^{-3}$ para um Argissolo Vermelho – Amarelo de textura argilosa, enquanto, Bezerra e Cantalice (2006), para um Argissolo Vermelho-Amarelo de textura média argilosa, verificaram valor médio de erodibilidade de $1,870 \times 10^6 \text{ kg s m}^{-4}$. Esses valores mostram que solos de taxonomia semelhante apresentam valores médios de erodibilidade entressulcos distintos, evidenciando que a magnitude da erodibilidade entressulcos de um solo é dependente de sua textura.

A quantificação da K_i em campo possibilita a determinação de valores confiáveis mas, por outro lado, é bastante demorada e muito dispendiosa (Dantas *et al.*, 2014), motivo pelo qual têm sido propostos modelos matemáticos que permitam a obtenção do K_i de forma indireta. Contudo, para a elaboração de modelos matemáticos precisos e acurados é necessário o desenvolvimento de trabalhos que objetivam definir os atributos do solo com maior potencial de predição do K_i .

Nesse contexto, poucos estudos têm sido desenvolvidos em solos do Cerrado Mato-Grossense com o objetivo de determinar atributos preditores da erodibilidade entressulcos. Desta

forma, objetivou-se com o presente trabalho determinar a erodibilidade em entressulcos do solo de quatro microbacias localizadas no Cerrado Mato-Grossense e estabelecer alguns atributos físicos do solo com potencial para serem variáveis preditoras da K_i .

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no estado de Mato Grosso em solos de quatro microbacias localizadas nos municípios de Campo Verde e Santo Antônio de Leverger. Os ensaios para determinação da erodibilidade entressulcos foram realizados em seis pontos delimitados em quatro microbacias (Quadro 1), contemplando solos de texturas arenosa, média e argilosa e os seguintes usos: pasto (Ponto 1 e 2 – Pp1 e Pp2), agrícola (Pontos 1,2 e 3 – Ap1, Ap2 e Ap3) e Cerrado 1 (C1).

O estudo foi desenvolvido em três etapas distintas: caracterização dos atributos físicos dos solos das áreas que foram realizados os ensaios de campo; realização dos ensaios para determinação da erodibilidade entressulcos (K_i); e avaliação da correlação entre K_i e as características dos solos.

Para a etapa de caracterização foram colhidas, em cada ponto, amostras deformadas, preservadas e semi-preservadas de solo, em quatro mini trincheiras na profundidade de 0 a 20 cm, para a determinação em quadruplicata da granulometria, fracionamento da areia, teor de carbono total, grau de floculação, e a determinação em quatro repetições de porosidade total, macroporosidade, microporosidade, densidade do solo, diâmetro médio ponderado, diâmetro médio geométrico e índice de estabilidade de agregados.

A análise granulométrica e o grau de floculação foram realizados por meio do método da pipeta (EMBRAPA, 2011), o fracionamento da areia foi efetuado por tamisação a seco, seguindo a escala do Soil Survey Staff (1993). O teor de carbono total foi obtido utilizando o analisador de Carbono Orgânico Total -COT, modelo N/C 3100 acoplado ao equipamento HT 1300 Solids Module.

A porosidade total, macroporosidade, microporosidade e da densidade do solo foram

Quadro 1 - Identificação e localização das unidades pedológicas

| Mb | Área | Localização | Veg. | S (%) | I.A. | Textura | C.S. |
|-----|------|--------------------------------|---------|-------|---------------------------|----------|---------------------|
| I | Pp1 | S 15° 48.527' W 55°20.052' | Pasto | 13,6 | Presença de cascalho | Arenosa | Arenosol Neossolo |
| | Pp2 | S 15° 48.493' W 55° 19.793' | Pasto | 3,7 | Ausência de cascalho | Arenosa | Arenosol Neossolo |
| II | Ap1 | S 15° 44.484' W 55°21.797' | Pousio | 5,3 | 5 anos de pousio | Argilosa | Ferralsol Latossolo |
| | Ap2 | S 15° 44.865' W 55° 2.278' | Milho | 1,6 | Milho recém colhido | Argilosa | Ferralsol Latossolo |
| III | C1 | S 15° 47.628' W 55° 20.300' | Cerrado | 5,6 | Raízes de plantas nativas | Média | Ferralsol Latossolo |
| IV | Ap3 | S 15° 50.600' W 55° 20.400' | Milho | 6,7 | Milho recém colhido | Argilosa | Ferralsol Latossolo |

Mb, Microbacia; Pp1, Pasto ponto 1; Pp2, Pasto ponto 2; Ap1, Agrícola ponto 1; Ap2, Agrícola ponto 2; C1, Cerrado 1; Ap3, Agrícola ponto 3; Veg., Vegetação; S, Declive do local; I.A., Informação adicional; C.S., World Reference Base (2015) e Embrapa Solos (2018) - nível Ordem.

determinadas com base no manual de métodos de análise de solos (EMBRAPA, 2011).

A avaliação de estabilidade de agregados foi realizada utilizando as amostras semi-preservadas passadas em peneira com abertura de malha de 4 mm e retidas na de 2 mm, para obtenção dos agregados, e posteriormente por tamisamento via úmido pelo método de Yoder (1936).

O diâmetro médio ponderado (DMP) foi obtido por meio da Eq. 1, proposta por Van Bavel (1949), enquanto o índice de estabilidade dos agregados (IEA) foi determinado utilizando a Eq. 2, proposta por Castro Filho *et al.* (1998), e o diâmetro médio geométrico (DMG) usando a Eq. 3, propostas por Schaller e Stockinger (1953).

$$DMP = \sum(C_{mm} P) \quad (1)$$

Em que, DMP é o diâmetro médio ponderado, C_{mm} representa o centro das classes (mm); P é a proporção do peso de cada fração de agregados em relação ao total da amostra.

$$IEA = \frac{(MS - W_{p0,25} - \text{arsia})}{(MS - \text{arsia})} \times 100 \quad (2)$$

Em que, IEA é o índice de estabilidade de agregados; MS representa a massa da amostra seca (g); $W_{p0,25}$ é a massa de agregados da classe < 0,25 mm.

$$DMG = 10^X \quad (3)$$

$$X = \frac{\sum(n \log C_{mm})}{\sum n} \quad (4)$$

Em que DMG é o diâmetro médio geométrico e n representa a percentagem de agregados nas diversas classes das peneiras.

Para a determinação da K_i utilizou-se a metodologia proposta pelo Serviço de Pesquisas Agrícolas do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos - ARS/USDA (Elliot *et al.*, 1989). Em cada um dos pontos de estudo foi utilizado um espaço com dimensões 10x10 m, onde foram demarcadas com chapas galvanizadas três parcelas experimentais, de dimensões 0,70x1,00 m, com a maior dimensão no sentido do declive da área de estudo.

Cada parcela experimental foi preparada para formar um sulco central com dois pequenos taludes de cada lado, ambos com inclinação lateral de 30%, onde foi aplicado um único evento de chuva simulada, por parcela, com intensidade de aproximadamente 64 mm h⁻¹. O tempo de duração de cada evento foi até ao momento em que o escoamento superficial se tornasse constante, o que variou de 120 a 190 min.

A quantidade de sedimento transportado pelo escoamento superficial foi determinada pelo

método direto, coletando o volume de escoamento e sedimentos carregados, por um período de 30 segundos, a cada intervalo de cinco minutos.

O volume de escoamento nas parcelas das áreas, Pasto ponto 1 e Pasto ponto 2, foi insuficiente para transportar os sedimentos que chegavam até o canal coletor. Nessas parcelas ao fim de cada cinco minutos foi feita a lavagem do canal para coleta de sedimentos acumulados, usando aproximadamente 200 mL de água, obtendo assim o total de sedimentos acumulados a cada cinco minutos.

O material coletado foi levado ao laboratório e passado por filtro de papel poroso. Após a filtração completa de todo líquido coletado, o filtro com solo foi levado à estufa a 60°C, por 48 horas, para posterior determinação da massa seca a 60°C.

A massa total de solo liberado foi obtida pela soma dos sedimentos retido no filtro e dos sedimentos em suspensão do filtrado. A taxa de perda de solo nas áreas foi utilizada para calcular a erodibilidade entressulcos a partir da Eq. 5, proposta por Foster (1982).

$$K_i = \frac{D_i}{I_p^2 S_f C_i} \quad (5)$$

Em que, K_i é a erodibilidade entressulcos ($\text{kg s}^{-1} \text{m}^{-4}$), D_i é a taxa de perda de solo nas áreas entressulcos ($\text{kg s}^{-1} \text{m}^{-2}$), I_p é intensidade de precipitação (m s^{-1}), S_f é o fator de ajuste relativo à declividade (Eq. 6) e C_i é o parâmetro que considera a cobertura do solo. Neste trabalho o C_i assumiu o valor 1, dado que se manteve o solo totalmente descoberto.

$$S_f = 1,05 - 0,85^{-4 \text{ sen } \theta} \quad (6)$$

Em que, θ é o declive em graus. Para as condições do presente estudo, em que a declive lateral do talude foi igual a 30%, o valor de S_f utilizado foi de 0,78.

O tratamento estatístico das informações consistiu na aplicação do teste de Kruskal-Wallis com a finalidade de comparar as áreas a partir dos atributos físicos do solo, visto que o estudo não apresentou delineamento experimental pré-definido. Posteriormente, foi avaliada a correlação entre erodibilidade entressulcos e os

demais atributos físicos dos solos, para tal, foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson entre variáveis. Nesta etapa fez-se análise de correlação global e correlação subdividindo os pontos estudados em dois grupos, A e B, utilizando a textura como indicador do agrupamento. O grupo A foi composto por Pasto ponto 1 - Pp1, Pasto ponto 2 - Pp2 e Cerrado - C1, e o Grupo B composto por Agrícola ponto 1 - Ap1, Agrícola ponto 2 - Ap2 e Agrícola ponto 3 - Ap3.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Quadro 2 estão mostrados os valores médios dos atributos físicos dos solos dos pontos de estudos, onde se pode verificar que os solos de Pasto ponto 1 (Pp1) e Pasto ponto 2 (Pp2) não diferem estatisticamente (Kruskal Wallis – $p \leq 0,05$) entre si em todos os atributos. Pelo contrário, esses solos têm relevante semelhança entre suas propriedades físicas, pelo fato de pertencerem a mesma microbacia, possuírem igual uso e manejo e serem da classe textural arenosa (Quadro 1).

Os solos das áreas Agrícola ponto 1, 2 e 3 (Ap1, Ap2 e Ap3), também não diferem estatisticamente (Kruskal Wallis – $p \leq 0,05$) em todos os atributos (Quadro 2), no entanto verifica-se por meio do Quadro 1 que Ap1 e Ap2 estão localizadas na Microbacia II e Ap3 na Microbacia IV, contudo a semelhança entre os atributos é devida as áreas Ap1, Ap2 e Ap3 terem solo de textura argilosa e com o mesmo tipo de uso.

No Quadro 2 é verificado que o solo de Pp1 apresenta maiores teores de areia muito grossa (AMG), soma de areia muito grossa com areia grossa (AMG + AG) e de macroporosidade (Macro), quando comparada Ap1 (Kruskal Wallis – $p \leq 0,05$), o que confere a Pp1 melhor potencial de infiltração e percolação de água no solo. O mesmo ocorre ao comparar Pp1 e Ap3, exceto para a macroporosidade.

O solo de Pp2 apresentou valores superiores de areia, areia grossa (AG), areia média (AM) e areia fina (AF), quando comparado aos solos de Ap1 e Ap3 (Kruskal Wallis – $p \leq 0,05$). Esse fato é atribuído ao teor de areia em Pp2, que é de aproximadamente 946 g kg^{-1} de solo (Quadro 2), equivalente ao triplo

Quadro 2 - Comparação das áreas de estudo frente aos valores médios dos atributos físicos dos solos

| | Áreas | | | | | |
|-------------|--------------------|------------|-----------|------------|------------|-----------|
| | Pp1(1) | Pp2(2) | Ap1(3) | Ap2(4) | C1(5) | Ap3(6) |
| | g kg ⁻¹ | | | | | |
| Argila | 30,80 b | 31,80 b | 519,70 ab | 521,10 ab | 135,30 ab | 572,10 a |
| Silte | 43,20 b | 21,80 b | 179,80 a | 123,50 ab | 117,10 ab | 119,80 ab |
| Areia | 925,80 ab | 946,30 a | 300,40 c | 355,30 abc | 747,60 abc | 308,10 bc |
| AMG | 95,30 a | 198,00 abc | 6,10 bc | 8,30 abc | 21,30 ab | 6,10 c |
| AG | 68,10 ab | 91,60 a | 37,60 bc | 38,50 abc | 46,10 abc | 36,20 c |
| AMG +AG | 163,40 a | 111,40 ab | 43,80 bc | 46,80 abc | 67,40 abc | 42,20 c |
| AM | 162,90 ab | 251,60 a | 90,10 b | 96,10 ab | 160,30 ab | 89,90 b |
| AF | 479,10 ab | 508,30 a | 128,50 bc | 159,50 abc | 399,10 abc | 127,20 c |
| AMF | 120,30 ab | 74,80 abc | 38,10 c | 52,80 abc | 120,60 a | 50,80 bc |
| Ctotal | 0,56 bc | 0,40 c | 33,80 ab | 29,40 abc | 14,40 abc | 36,90 a |
| | mm | | | | | |
| DMG | 1,22 c | 1,63 bc | 2,21 ab | 1,85 abc | 2,76 a | 2,10 abc |
| DMP | 1,76 b | 2,19 b | 2,56 ab | 2,48 ab | 2,89 a | 2,54 ab |
| | % | | | | | |
| IEA | 78,59 bc | 26,59 c | 93,45 abc | 86,93 abc | 96,06 a | 93,99 ab |
| Gf | 45,49 c | 57,66 abc | 71,85 ab | 67,14 abc | 50,34 bc | 97,25 a |
| Macroporos. | 27,36 a | 24,61 ab | 10,56 b | 23,37 ab | 27,07 a | 19,89 ab |
| Microporos. | 12,87 c | 18,93 bc | 46,34 a | 38,34 abc | 24,44 abc | 40,56 ab |

O valor médio de cada atributo foi obtido a partir de quatro repetições. Médias seguidas de letras iguais minúsculas na mesma linha não diferem entre si estatisticamente no nível de 5 % de probabilidade pelo teste de KRUSKAL-WALLIS. Pp1, Pasto ponto 1; Pp2, Pasto ponto 2; Ap1, Agrícola ponto 1; Ap2, Agrícola ponto 2; C1, Cerrado 1; Ap3, Agrícola ponto 3; AMG, Areia muito grossa; AG, Areia grossa; AMG +AG, Soma de areia muito grossa e areia grossa, AM, Areia média; AF, Areia fina; AMF, Areia muito fina, DMG, Diâmetro médio geométrico; DMP, Diâmetro médio ponderado, IEA, Índice de estabilidade de agregados, Gf, Grau de floculação de argila.

contida nas áreas Ap1 ou Ap3.

Essas diferenças no teor de areia e suas frações, verificadas pela comparação de Pp1, Pp2, Ap1 e Ap3, de modo geral, ocorreram pelo fato da Microbacia I ser composta por Neossolo arenoso (Arenosol), enquanto as Microbacias II e IV por Latossolos argilosos (Ferralsol), ou seja, os solos das microbacias são de diferentes classes e texturas (Quadro 1).

O teor de silte e a microporosidade do solo em Ap1 foram maiores em relação às áreas Pp1 e Pp2 (Kruskal Wallis – $p \leq 0,05$). A área Ap1, tendeu a apresentar valores mais elevados de conteúdos de partículas finas do solo (argila e silte), o mesmo ocorre com Ap2 e Ap3, logo o arranjo das partículas permitiu que essas áreas tendessem a apresentar maiores valores de microporosidade e, conseqüentemente, maior potencial de retenção de água no solo.

No Quadro 2 é verificado que o solo de Ap3 apresenta maior teor de carbono total (C. total) que Pp1 e Pp2. Essa diferença pode ser explicada

devido os diferentes tipos de usos e manejos dos solos, uma vez que em Ap3 tem cultivo de soja/milho em sucessão em sistema de cultivo mínimo, o que promove a adição de matéria orgânica no solo. Segundo Carvalho *et al.* (2010), os diferentes tipos de usos e manejos dos solos interfere no aporte de matéria orgânica, assim como no armazenamento de carbono no solo.

Outro fator que auxiliou indiretamente no acúmulo de carbono total em Ap3 quando comparado a Pp1 e Pp2, possivelmente, foi o maior teor de argila de Ap3, pois possibilitou que os agregados do solo de Ap3 tendessem a apresentar maior diâmetro médio geométrico (DMG) e um maior índice de estabilidade (IEA), favorecendo a proteção física da matéria orgânica no solo. Segundo Santos *et al.* (2011), a formação e a estabilidade de agregados são mais difíceis de ocorrer em solos arenosos. Sendo assim, a proteção física da matéria orgânica em Pp1 e Pp2 pelos agregados do solo foi diminuída.

Por outro lado, em Pp1 e Pp2, usados para pastagem permanente, o aporte de matéria orgânica foi prejudicado, devido ao grande número de invasoras

e grandes falhas na pastagem, o que demonstrava aparentemente um elevado grau de degradação da forrageira. Salton *et al.* (2011) verificaram que maiores estoques de carbono no solo ocorreram em sistemas de pastagens permanente em solos de textura argilosa e muito argilosa, quando comparados a área de produção agrícola, porém não encontraram indícios de degradação do pasto.

O diâmetro médio ponderado (DMP), DMG e o IEA em C1 mostrou-se superior ao das áreas Pp1 e Pp2 (Quadro 2). A área C1 além de ter apresentado teor médio de carbono orgânico de 14,4 g kg⁻¹ de solo é, dentre as áreas de estudo, a única que não é utilizada para fins de exploração agropecuária e tem como cobertura a mata nativa, sendo assim, possivelmente, a combinação entre teor de argila, teor de carbono orgânico e o não revolvimento do solo condicionaram a formação de agregados mais estáveis.

Na Microbacia II, para os pontos Ap1 e Ap2 respectivamente, foram determinados valores médios de C total de 33,80 e 29,40 g kg⁻¹ de solo; 93,45 e 86,93% para IEA; 2,56 e 2,48 mm para DMP e 2,21 e 1,85 mm para DMG. Verifica-se uma tendência de maiores valores para os índices de avaliação de estabilidade e carbono total para Ap1 quando comparado a Ap2, podendo contribuir para tal o facto de Ap1 estar em pousio há 5 anos.

Na Figura 1 estão dispostas as taxas instantâneas de escoamento superficial e as taxas de liberação de sedimentos em função do tempo de aplicação da chuva simulada. No final de cada teste, quando as taxas instantâneas de escoamento superficial se estabilizaram, foram observadas as taxas médias de escoamento superficial de 3,28; 3,45; 42,26; 35,75; 31,66 e 11,49 mm h⁻¹ para Pp1, Pp2, Ap1, Ap2, Ap3 e C1, respectivamente. As taxas médias de escoamento superficial foram menores para as áreas com teores de areia total mais elevadas, devido à maior capacidade de infiltração e de percolação da água nesses solos.

A taxa média de escoamento estabilizada em Ap1 (Figura 1, Agrícola ponto 1) foi aproximadamente 12,8 vezes maior que a verificada em Pp1 (Figura 1, Pasto ponto 1), isso porque a microporosidade e a macroporosidade determinada em Ap1 foram de 46,34 e 10,56 %, enquanto em Pp1 foram de 12,87 e

27,36 %, o que conferiu a Ap1 maior microporosidade e menor macroporosidade, e conseqüentemente menor permeabilidade/movimentação da água no solo. Segundo Ramos *et al.* (2013), a microporosidade proporciona a retenção e armazenamento de água, enquanto, para Kunz *et al.* (2014), a diminuição da macroporosidade reduz a passagem rápida da água pelo solo. Dessa forma, pode-se inferir que a porosidade de Ap1 promoveu a redução expressiva da percolação da água no solo, aumentando a taxa média de escoamento superficial.

O grau de floculação da argila (Gf) de 71,80 e 45,49% para Ap1 e Pp1 (Quadro 2) é outro atributo que pode ter contribuído para que a taxa média de escoamento superficial em Ap1 fosse maior do que em Pp1, uma vez que 146,30 e 16,79 g de argila por kg⁻¹ de solo, respectivamente, em Ap1 e Pp1 correspondem a argila naturalmente dispersa em água, o que comprometeu a continuidade dos poros em Ap1, dificultando respectivamente a infiltração e a percolação da água no solo, beneficiando a ocorrência de escoamento superficial.

Em Pasto ponto 1, Pasto ponto 2 e Cerrado 1 (Figura 1) as taxas médias de liberações de sedimentos praticamente se mantiveram constantes do início ao final do teste. Isso porque em Pp1 e Pp2 os sedimentos que chegavam ao canal coletor foram exclusivamente pelo salpico das partículas de solo, causado pelas gotas de chuva. Entretanto, em Cerrado 1 isso ocorreu devido ao elevado índice de estabilidade de agregados do solo (96,06 %), evitando a liberação de partículas primárias e dificultando o carreamento pelo escoamento superficial. Franco *et al.* (2012) estudando erodibilidade entressulcos em Argissolo, também verificou que a taxa média de desagregação de sedimentos é dependente de características das unidades estruturais do solo.

Na Microbacia II, o área Ap1 (Figura 1, Agrícola ponto 1) apresentou taxa média de liberação de sedimentos quatro vezes menor que Ap2 (Figura 1, Agrícola ponto 2), influenciada pelo não revolvimento de solo nos últimos cinco anos (Quadro 1), possibilitando a Ap1 71,85 de Gf, 33,80 g kg⁻¹ de C. total, e conseqüentemente a tendência de maiores valores de IEA, DMG e DMP. O carbono influencia de forma relevante no processo de formação e estabilização dos agregados

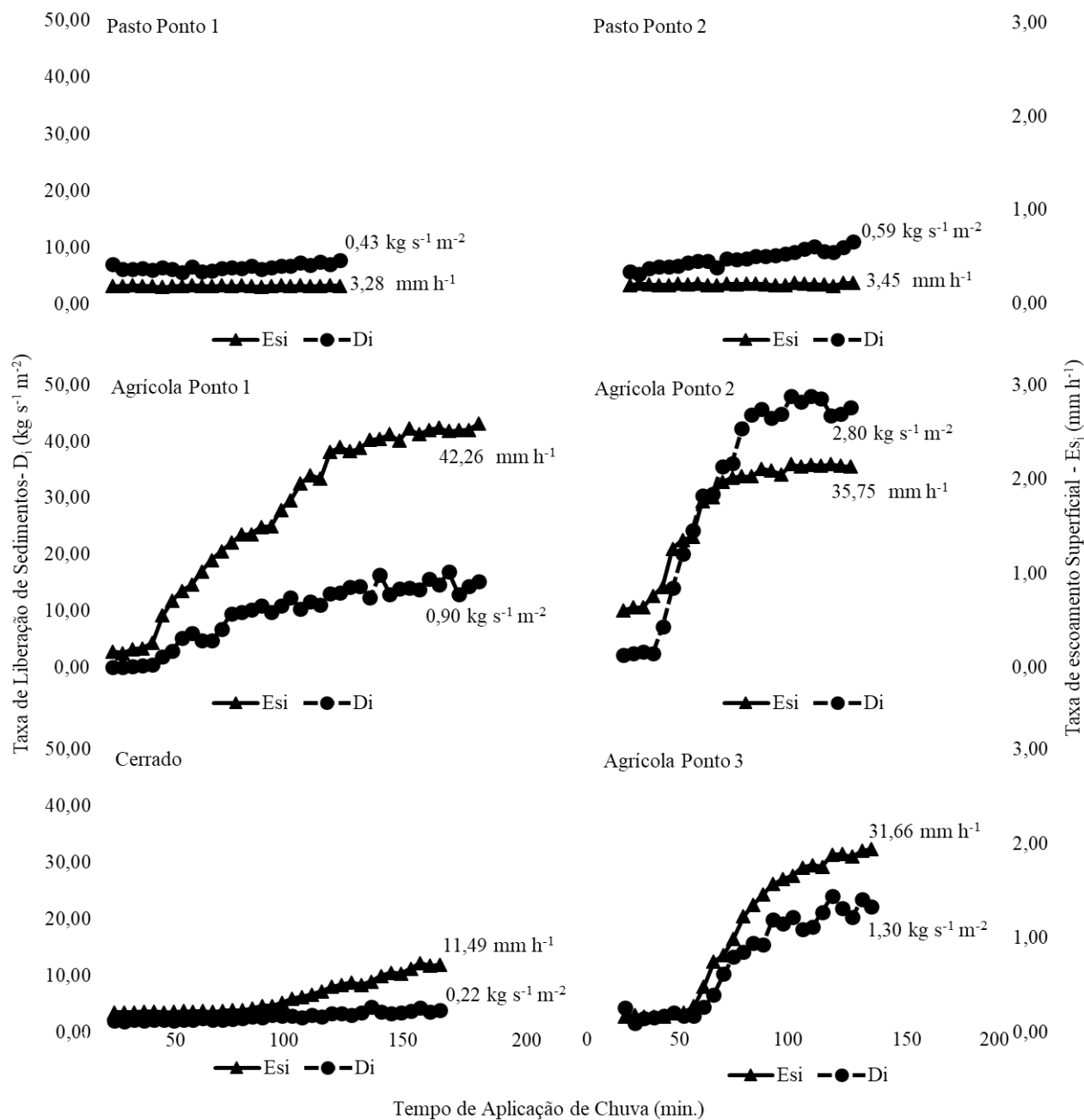


Figura 1 - Taxa de escoamento superficial e taxa de liberação de sedimentos em função do tempo de aplicação de chuva artificial nas áreas de estudo.

(Vezzani e Mielniczuk, 2011), o que diminuiu a taxa média de liberação de sedimentos em Ap1.

A liberação de sedimentos em Ap2 aumentou rapidamente no início do teste, até um valor médio estável de $2,80 \times 10^{-4} \text{ kg s}^{-1} \text{ m}^{-2}$. Sendo assim, dentre as áreas de solo de textura argilosa a Ap2

apresentou maior susceptibilidade a liberação de sedimentos. Isso pode ter ocorrido devido Ap2 também ter tendido a apresentar menores valores de carbono total, grau de floculação da argila e índice de estabilidade de agregados, conferindo tal susceptibilidade.

Utilizando os valores da taxa máxima de desprendimento de partículas para os solos em estudo foram obtidos valores médios de erodibilidade entressulcos iguais a $1,56 \times 10^5$, $2,47 \times 10^5$, $2,44 \times 10^5$, $1,32 \times 10^6$, $5,93 \times 10^5$ e $8,56 \times 10^4$ kg s m⁻³ para as áreas Pp1, Pp2, Ap1, Ap2, Ap3 e C1 respectivamente. Por meio do teste de Kruskal-

Quadro 3 - Valores médios de erodibilidade entressulcos das áreas de estudo

| Tratamento | Erodibilidade entressulcos (kg.s.m ⁻³) |
|------------------------|--|
| Áreas | Média (Desvio padrão) |
| Pasto ponto 1 (Pp1) | $1,56 \times 10^5$ (2,04x10 ⁴) ab |
| Pasto ponto 2 (Pp2) | $2,47 \times 10^5$ (4,14x10 ⁴) ab |
| Agrícola ponto 1 (Ap1) | $2,44 \times 10^5$ (8,32x10 ³) ab |
| Agrícola ponto 2 (Ap2) | $1,32 \times 10^6$ (1,82x10 ⁵) a |
| Cerrado 1 (C1) | $8,56 \times 10^4$ (2,06x10 ³) b |
| Agrícola ponto 3 (Ap3) | $5,93 \times 10^5$ (1,47x10 ⁵) ab |

O valor médio de erodibilidade entressulcos para cada área foi obtido a partir de três repetições. Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si estatisticamente no nível de 5 % de probabilidade pelo teste de KRUSKAL-WALLIS.

Wallis ($p \leq 0,05$) foi verificado que houve diferença significativa entre os valores médios de erodibilidade entressulcos (Quadro 3).

A área Ap2 se diferencia de C1, sendo a erodibilidade entressulcos maior para Ap2. Esse resultado é aceitável, visto que, dentre os solos argilosos Ap2 teve maior tendência a liberação de sedimentos e, quando comparada com a C1 tendeu a menores valores de DMP, DMG e IEA. Além disso, a capacidade de transporte de sedimentos pelo escoamento superficial em Ap2 foi aproximadamente três vezes maior que o de C1.

Estão mostrados no Quadro 4 a correlação entre os valores da erodibilidade entressulcos e os atributos físicos dos solos. Obtiveram-se maiores valores de correlação após separação dos solos das áreas em dois grupos, o denominado de grupo A, contemplados pelas áreas Pp1, Pp2 e C1, e o grupo B, representados pelas áreas Ap1, Ap2 e Ap3.

Nos solos do grupo A a erodibilidade entressulcos correlacionou-se de forma significativa com teor de areia muito fina, no entanto, ao contrário do que se

Quadro 4 - Coeficiente de correlação entre erodibilidade entressulcos (K_i) e atributos físicos dos solos

| Atributo | Geral | Grupo A | Grupo B |
|-------------|---------|-----------------|------------------|
| | | (Pp1, Pp2 e C1) | (Ap1, Ap2 e Ap3) |
| K_i | | | |
| Argila | 0,62** | -0,82** | ns |
| Silte | ns | -0,92** | -0,69* |
| Areia | -0,57** | 0,87** | 0,97** |
| AMG | ns | ns | 0,93** |
| AG | -0,41* | 0,99** | ns |
| AMG + AG | -0,46* | ns | 0,78** |
| AM | -0,48* | 0,91** | 0,73** |
| AF | -0,57** | 0,94** | 0,93** |
| AMF | -0,53** | -0,90** | 0,82** |
| C total | 0,50* | -0,83** | -0,73** |
| DMG | ns | -0,64* | -0,96** |
| DMP | ns | ns | ns |
| IEA | ns | -0,94** | -0,90** |
| Gf | ns | 0,59* | ns |
| Macroporos. | ns | -0,77** | 0,87** |
| Microporos. | 0,47* | ns | -0,86** |

** A correlação é significativa no nível 0,01; * A correlação é significativa no nível 0,05. AMG, Areia muito grossa; AG, Areia grossa; AMG + AG, Soma de areia muito grossa e areia grossa, AM, Areia média; AF, Areia fina; AMF, Areia muito fina, DMG, Diâmetro médio geométrico; DMP, Diâmetro médio ponderado, IEA, Índice de estabilidade de agregados, Gf, Grau de floclulação de argila. Pp1, Pasto ponto 1; Pp2, Pasto ponto 2; Ap1, Agrícola ponto 1; Ap2, Agrícola ponto 2; C1, Cerrado 1; Ap3, Agrícola ponto 3.

esperava, a correlação foi negativa. Para tal pode ter contribuído o fato de C1, quando comparada a Pp1 e Pp2, apresentar o teor de areia muito fina relevante e também apresenta teor mais alto de argila e, ainda, 28 vezes mais conteúdo de matéria orgânica. Esses fatores permitiram que a área C1 apresentasse maiores valores de IEA, DMG e DMP, evitando assim o maior desprendimento das partículas finas que compunham os agregados, promovendo assim a diminuição de K_i . Logo, em estudos referentes a K_i , os teores de areia devem ser avaliados paralelamente a outros atributos do solo.

A erodibilidade entressulcos dos solos do grupo B correlacionou-se, positiva e significativamente a 1%, com areia, AMG, AMG + AG, AM, AF e AMF. Dessa forma, as áreas de solos argilosos tiveram acréscimo na sua erodibilidade entressulcos quando o percentual de areia e suas frações aumentaram. As partículas de areia que formam um complexo ou agregado do solo, após rompida a força que as une, são transportadas com facilidade. Nunes e Cassol (2008), verificaram

maior K_i para um Latossolo Vermelho Distrófico (Ferralsol) e atribuíram esse fato ao alto teor de areia fina combinado a outras características do solo.

O teor de matéria orgânica manteve correlação negativa com a erodibilidade entressulcos, para o grupo A e B de solos. O maior conteúdo de carbono orgânico resultou no aumento da estabilidade e das classes de diâmetro dos agregados, dificultando o carreamento destes pelo escoamento superficial, resultando na diminuição dos valores de erodibilidade entressulcos.

Dessa forma, o aporte de matéria orgânica no solo atuou na formação (Braida *et al.*, 2010) e, também na estabilização dos agregados (Stefanoski *et al.*, 2013). Geralmente, com a redução no teor de carbono dos solos minerais ocorre a diminuição na estabilidade estrutural dos agregados e consequentemente aumento na erodibilidade do solo (Liu *et al.* 2010; Paul *et al.*, 2013).

As correlações da erodibilidade entressulcos com os atributos macroporosidade e microporosidade foram significativas a 1%, para os solos do grupo B, enquanto para os solos do grupo A, apenas a macroporosidade teve associação significativa a 1%. O solo sofreu inicialmente um preparo convencional, logo, neste estudo a porosidade não constitui uma variável preditora da K_i , devido à sua dinâmica ao longo do teste.

O DMG e o IEA apresentaram correlação significativa e inversa com a erodibilidade entressulcos, para os dois grupos de solos. Sendo

assim, solos bem estruturados apresentam menores valores de K_i , o que indica que a maior ocorrência de agregados de diâmetro maior e mais estáveis exige maior capacidade de transporte do escoamento superficial e favorece a macroporosidade e a percolação da água no solo. Oliveira *et al.* (2012) também verificaram que a maior estabilidade de agregados possibilitou redução da erodibilidade entressulcos, e atribuíram esse fato a maior energia necessária para desagregar e transportar o solo.

CONCLUSÃO

A erodibilidade entressulcos para as áreas de estudo é igual a $2,44 \times 10^5$, $1,32 \times 10^6$, $1,56 \times 10^5$, $2,47 \times 10^5$, $8,56 \times 10^4$ e $5,93 \times 10^5$ kg s m⁻⁴ para Ap1, Ap2, Pp1, Pp2, C1 e Ap3, respectivamente. A erodibilidade entressulcos é diferente ($p \leq 0.05$) entre as áreas Ap2 e C1, sendo maiores em Ap2.

O grau de correlação do K_i com os atributos físicos aumenta expressivamente quando os solos são agrupados pela classe textural.

Para solos do grupo A (textura arenosa e média) os atributos: areia grossa, areia muito fina e índice de estabilidade de agregados apresentam maior potencial de predição da erodibilidade entressulcos.

Para os solos do grupo B (argilosos) os atributos: areia, areia muito grossa, areia fina, diâmetro médio geométrico e índice de estabilidade de agregados apresentam maior potencial de predição da erodibilidade entressulcos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bezerra, S.A. & Cantalice, J.R.B. (2006) - Erosão entre sulcos em diferentes condições de cobertura do solo, sob cultivo da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 30, n. 3, p. 565-573. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832006000300016>
- Braida, J.A.; Reichert, J.M.; Reinert, D.J. & Veiga, M. (2010) - Teor de carbono orgânico e a susceptibilidade à compactação de um Nitossolo e Argissolo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 14, n. 2, p. 131-139. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000200003>
- Carvalho, J.L.N.; Avanzi, J.C.; Silva, M.L.N.; Mello, C.R. & Cerri, C.E.P. (2010) - Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 34, n. 2, p. 277-289. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000200001>
- Castro Filho, C.; Muzilli, O. & Podanoschi, A.L. (1998) - Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor

- de carbono orgânico em um Latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 22, n. 3, p. 527-538.
- Dantas, J.S.; Martins Filho, M.V.; Marques Júnior, J.; Resende, J.M.A.; Teixeira, D.B.; Barbosa, R.S. & Siqueira, D.S. (2014) - Coeficiente de erodibilidade em sulcos e entressulcos de argissolos coesos estimado pela cor do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 49, n. 9, p. 700-707. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2014000900006>
- Elliot, W.J.; Liebenow, A.M.; Laflen, J.M. & Kohl, K.D. (1989) – *A compendium of soil erodibility data from WEPP cropland soil field erodibility experiments 1987 and 1988*. West Lafayette, USDA-ARS, Report, n. 3.
- EMBRAPA (2011) – *Manual de métodos de análises de solos*. 2ª ed. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 230 p.
- EMBRAPA SOLOS (2018) - *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3ª ed. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Brasília: Embrapa Solos, 374 p.
- Foster, G.R. (1982) - Modeling the erosion process. In: Haan, C.T. (Ed.) - *Hydrologic modeling of small watersheds*. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, p. 297-380.
- Foster, G.R.; Young, R.A.; Römken, M.J.M. & Onstad, C.A. (1985) - Process of soil erosion by water. In: Follet, R.F. and Stewart, B.A. (Eds.) - *Soil erosion and crop productivity*. ASA-CSSA, SSSA, South Segoe Road, Madison, USA.
- Franco, A.M.P.; Cassol, E.A.; Pauletto, E.A. & Inda, A.V. (2012) - Erodibilidade do solo em entressulcos determinada experimentalmente e por modelos matemáticos em um argissolo vermelho. *Revista Brasileira Agrociência*, vol. 18, n. 24, p. 175-187. <http://dx.doi.org/10.18539/cast.v18i2.2561>
- Gonçalves, F.A. (2008) - *Validação do modelo WEPP na previsão de erosão hídrica para condição edafoclimática da região de Viçosa-MG*. Tese de Doutorado Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 128 p.
- Kunz, J.; Schons de Ávila, V. & Pet, M. (2014) - Distribuição temporal e espacial da umidade do solo em sistemas de irrigação por gotejamento subsuperficial. *Revista Monografias Ambientais*, vol. 13, n. 5, p. 3963-3976. <http://dx.doi.org/10.5902/2236130815123>
- Liu, X.B.; Zhang, X.Y.; Wang, Y.X.; Sui, Y.Y.; Zhang, S.L.; Herbert, S.J. & Ding, G. (2010) - Soil degradation: a problem threatening the sustainable development of agriculture in northeast China. *Plant, Soil and Environment*, vol. 56, p. 87-97.
- Nunes, M.C.M. & Cassol, E.A. (2008) - Estimativa da erodibilidade em entressulcos de latossolos do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, vol. 32, n.spe, p. 2839-2846. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000700030>
- Oliveira, F.P.; Buarque D.C.; Viero, A.C.; Merten G.H.; Cassol, E.A & Minella, P.G. (2012) - Fatores relacionados à suscetibilidade da erosão em entressulcos sob condições de uso e manejo de solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 16, n. 4, p. 337-346. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000400002>
- Paul, B.K.; Vanlauwe, B.; Ayuke, F.; Gassner, A.; Hoogmoed, M.; Hurisso, T.T.; Koala, S.; Lelei, D.; Ndabamenye, T.; Six, J. & Pulleman, M.M. (2013) - Medium-term impact of tillage and residue management on soil aggregate stability, soil carbon and crop productivity. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 164, p. 14-22. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.10.003>
- Reichert, J.M. & Norton, L.D. (2013) - Rill and interrill erodibility and sediment characteristics of clayey Australian vertosols and a ferrosol. *Soil Research*, vol.51, n. 1, p. 1-9. <https://doi.org/10.1071/SR12243>
- Ramos, B.Z.; Pais, P.S.M.; Freitas, W.A. & Dias Junior, M.S. (2013) - Avaliação dos atributos físico-hídricos em um latossolo vermelho distroférrico sob diferentes sistemas de manejo - Lavras/ Minas Gerais/ Brasil. *Revista de Ciências Agrárias*, vol.36, n. 3, p. 340-346.
- Salton, J.C.; Mielniczuk J.; Bayer C.; Fabrício A.C.; Macedo M.C.M.E. & Broch D.L. (2011) - Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 46, n. 10, p. 1349-1356. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000031>
- Santos, D.C.; Pillon, C.N.; Flores, C.A.; Lima, C.L.R.; Cardoso, E.M.C.; Pereira, B.F. & Mangrich A.S. (2011) - Agregação e frações físicas da matéria orgânica de um argissolo vermelho sob sistemas de uso no bioma Pampa. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 35, n. 5, p. 1735-1744. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000500028>
- Schaller, F.W. & Stockinger, K.R. (1953) - A comparison of five methods for expressing aggregation data. *Soll*

- Science Society of America Proceedings*, vol. 17, p. 310-313. <https://doi.org/10.2136/sssaj1953.03615995001700040002x>
- Soil Survey Division Staff (1993) - *Soil survey manual*. Washington, D.C.: USDA-SCS. Handbook, n. 18. 437p.
- Stefanoski, D.C.; Santos, G.G.; Marchão, R.L.; Petter, F.A. & Checo, L P. (2013) - Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 17, n. 12, p. 1301-1309. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013001200008>
- Van Bavel, C.J.M. (1949) - Mean weight-diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. *Soil Science Society of America Journal*, vol. 14, p. 20-23.
- Vezzani, F.M. & Mielniczuk, J. (2011) - Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 35, n. 1, p. 213-223. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000100020>
- Wischmeier, W.H. & Mannering, J.V. (1969) - Relation of soil properties to its erodibility. *Proceedings of Soil Science of America*, vol. 33, n. 1, p. 131-137. <https://doi.org/10.2136/sssaj1969.03615995003300010035x>