

## **AVALIAÇÃO DA ERODIBILIDADE DE DIFERENTES HORIZONTES EM LATOSSOLOS POR MEIO DA RESISTÊNCIA NÃO DRENADA EM CAMPO: ESTUDO DE CASO NA REGIÃO DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO –MG**

*ERODIBILITY EVALUATION IN DIFFERENT HORIZONS IN OXISOILS THROUGH THE UNDRAINED SHEAR STRENGTH IN THE FIELD: CASE STUDY IN THE QUADRILÁTERO FERRÍFERO REGION – MG*

**Bruno de Oliveira Costa COUTO<sup>1</sup>, Romero César GOMES<sup>2</sup>, Lucas Deleon FERREIRA<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde. Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural. Rio Verde – GO. E-mail: bruno.couto@ifgoiano.edu.br

<sup>2</sup>Universidade Federal de Ouro Preto. Praça Tiradentes, 20. Ouro Preto – MG. E-mail: romero@ufop.edu.br; lucas@ufop.edu.br

Introdução  
Materiais e métodos  
    Caracterização da área de estudo  
    Metodologia para ensaios de laboratório e de campo  
    Metodologias para estimativa indireta da erodibilidade  
Resultados e discussão  
Conclusões  
Agradecimentos  
Referências

**RESUMO** - A erosão é um processo natural de modelagem do relevo que sofre influência de diversos fatores. Dentre estes, as características específicas solo tem grande influência, propriedade chamada de erodibilidade. A maioria das metodologias para estimativa da erodibilidade contempla critérios determinados em laboratório e em campo, não havendo consenso para sua determinação, se tornando muito moroso em alguns casos. O presente trabalho aborda a erodibilidade em taludes de corte rodoviários, com a presença de horizontes com comportamento antagônicos entre si em relação a erosão. Para análise da erodibilidade foram realizados ensaios de caracterização em laboratório e a determinação de resistência ao cisalhamento em campo, por meio de mini *vane test*, sendo os resultados posteriormente correlacionados com o fator K de erodibilidade determinado com uso de metodologias indiretas. A erodibilidade mostrou relação expressiva com a resistência ao cisalhamento, onde horizontes suscetíveis à erosão possuem menores valores, reflexo direto de um conjunto de propriedades do solo, principalmente granulometria, plasticidade e teor de matéria orgânica. Por meio de análise de variância foi possível diferenciar os solos erodíveis dos não erodíveis, sendo que estes resultados também apresentaram correlação negativa significativa com o fator de erodibilidade. Portanto, a metodologia se mostrou promissora para estimar o potencial erodível de solos em campo.

**Palavras-chave:** Erosão. Erodibilidade. Horizontes. Resistência não drenada. Fator K de erodibilidade.

**ABSTRACT** - Erosion is a natural process of relief modeling that is influenced by several factors. Among these, the specific characteristics of a soil have great influence, a property called erodibility. Most methodologies to estimate erodibility include criteria determined in the laboratory and in the field, with no consensus on the best method for its determination, becoming highly time consuming in some cases. The present paper addresses erodibility in road cutting slopes, with the presence of horizons with antagonistic behavior in relation to erosion. For erodibility analysis, characterization tests were performed in laboratory and the undrained shear strength was determined in the field, using mini vane test equipment. Subsequently, the results were correlated to erodibility K factor and estimated using indirect methodologies. The erodibility showed expressive relationship with shear strength, where horizons susceptible to erosion have lower values, a direct reflection of a set of soil properties, mainly particle size distribution, plasticity and organic matter content. Through analysis of variance it was possible to differentiate erodible from non-erodible soils, and these results also showed significant correlation with erodibility K factor. Therefore, the methodology proved to be promising to estimate soil erodibility potential in the field.

**Keywords:** Erosion. Erodibility. Horizons. Undrained shear strength. K erodibility factor.

### **INTRODUÇÃO**

A erosão é um processo natural de modelagem do relevo e atua de forma conjugada com os processos pedogenéticos. Em condições naturais, estes dois processos atuam equilibradamente, havendo certa equivalência entre a quantidade de solo erodida e a quantidade produzida, comumente denomina-se este fenômeno de erosão natural (Camapum de Carvalho et al., 2006). Entretanto, este

equilíbrio pode ser alterado, sendo a atividade antrópica uma das principais responsáveis pela intensificação deste processo, originando o fenômeno conhecido por erosão acelerada, que pode ocasionar diversas consequências, dentre elas: perda de solos férteis, poluição e assoreamento de cursos d'água, obstrução de rodovias, ferrovias e estradas rurais, etc.

O processo de erosão hídrica tem início a

partir do momento em que as gotas de chuva atingem o solo, o choque promovido acaba destacando as partículas sólidas que, posteriormente, serão carregadas pelo escoamento superficial, conforme ocorre o avanço da precipitação.

A concentração do escoamento superficial em determinadas regiões do terreno dá origem as ravinas, indicando a acentuação do processo erosivo que, em casos específicos e condicionados as particularidades do terreno, levam a surgência do lençol freático, induzindo o aparecimento de voçorocas.

Apesar de ter uma definição simples, a erosão hídrica pode se tornar complexa devido ao grande número de variáveis e mecanismos que podem influenciá-la, dentre elas destacam-se os fatores climáticos (principalmente a chuva) também chamados de erosividade, topográficos (como declividade e comprimento de rampa) e relativos ao uso do solo (cobertura vegetal, pastagem, terreno exposto, etc.). Contudo, solos sob as mesmas condições climáticas, topográficas e de uso e manejo apresentam diferentes taxas de erosão, indicando que o próprio solo, por meio de suas características intrínsecas (físicas, químicas e mineralógicas), contribui para o avanço do processo erosivo, condição que é analisada sob o conceito específico de “erodibilidade”.

Para determinar a erodibilidade de um solo podem ser utilizadas três diferentes métodos: a) determinação sob as condições naturais *in situ*; b) determinação por meio da simulação de eventos naturais controlados no campo e/ou em laboratório; c) pela aplicação de métodos indiretos a partir de propriedades físicas, químicas e mineralógicas dos solos.

A condução experimental para a determinação *in situ* (sob chuva natural ou simulada), apresenta dificuldades em virtude dos elevados custos operacionais e do tempo de condução necessário (Lima et al., 2016).

Desta forma, uma série de metodologias indiretas foram desenvolvidas para a determinação da erodibilidade por meio de propriedades inerentes dos solos, tais como os trabalhos de Wischmeier & Smith (1978), Nogami & Villibor (1979), Dernadin (1990), Pejon (1992), Silva et al. (2000), Lima et al. (2007), Wang et al. (2016). Basicamente, estas metodologias visam a determinação de índices de erodibilidade por meio de atributos físicos,

químicos e mineralógicos, sendo, muitas das vezes limitadas a ensaios realizados em laboratório.

Dentre os atributos estudados destaca-se resistência ao cisalhamento, propriedade que pode ser definida como a resistência interna das partículas do solo à ruptura, influenciada diretamente pela coesão e poropressão, que podem aumentar ou diminuir as forças cisalhantes levando o material a ruptura.

De acordo com Bender (1985, segundo Bastos, 1999) a erosão é decididamente um problema de resistência ao cisalhamento, dada pela função da coesão do solo na superfície, alterada durante infiltração da água da chuva, enfatizando que é um dos parâmetros mais adequados para avaliar a estabilidade de solos saprolíticos.

Partindo do mesmo princípio, alguns autores desenvolveram métodos para estimativa da erodibilidade considerando a resistência ao cisalhamento e sua relação com outros atributos do solo, tais como os trabalhos de Dunn (1959), Bastos (1999), Rocha et al. 2002, Iori et al. (2012).

Assim, o presente trabalho apresenta o estudo de erodibilidade de diferentes horizontes em cinco latossolos, provenientes de taludes de corte rodoviários situados na região do quadrilátero Ferrífero - MG. A perspectiva de avaliação da erodibilidade destes solos se torna diferenciada, uma vez que o mesmo aborda a questão da erodibilidade em horizontes, fato que se torna importante em obras lineares (rodovias, ferrovias, etc.), pois em determinados taludes de corte o perfil do solo encontra-se exposto. Este perfil pode apresentar alguns de seus horizontes mais suscetíveis ao processo erosivo, o que comumente acontece em horizontes C ou na transição entre os horizontes B e C. Conforme ocorre a evolução do processo erosivo e o carregamento de material do horizonte C, as camadas superiores perdem a sua sustentação, fato que leva ao rompimento e conseqüente ao arraste de material que poderá atingir o trecho em questão e, portanto, interromper o fluxo de pessoas, bens e serviços. Assim, com esta abordagem, foram realizados testes de laboratório, para caracterização do material, e de campo para avaliação da resistência ao cisalhamento, com intuito de se diferenciar os horizontes resistentes daqueles suscetíveis aos processos erosivos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

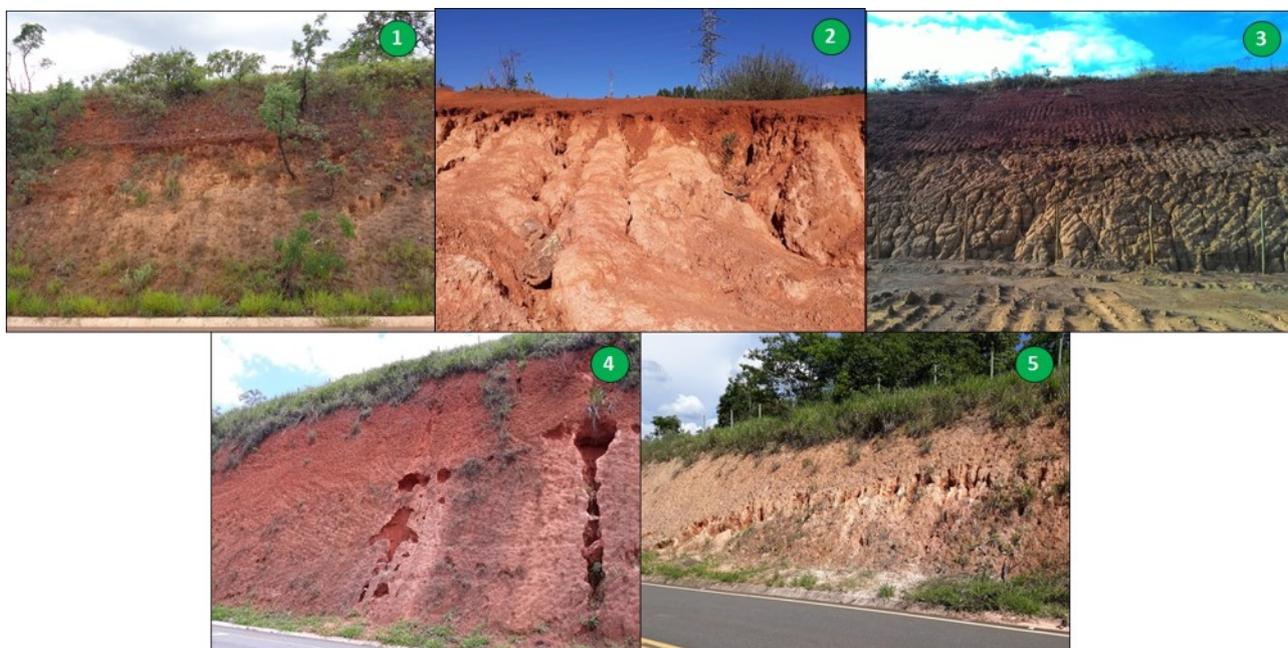
### Caracterização da Área de Estudo

Os Solos estudados se encontram na região denominada Quadrilátero Ferrífero, que compreende os seguintes conjuntos de unidades geológicas: complexo metamórfico arqueano Supergrupo Rio das Velhas, e complexo metamórfico paleoproterozoico Supergrupo Minas. A região foi palco de variados eventos responsáveis pela formação de diversas estruturas dentre elas sinclinais, anticlinais e grandes falhamentos. Na região prevalecem solos pouco evoluídos, com forte influência do material de origem em suas características, ocorrendo predominância dos processos erosivos em relação a pedogênese, condicionadas as alternâncias climáticas a diversidade litoestrutural e ao relevo acidentado (Barbosa & Rodrigues, 1965; Carvalho Filho et al., 2010)

Sob este contexto foram escolhidos cinco

taludes de corte rodoviários localizados a margem de rodovias (Figura 1), classificados como latossolos segundo o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (Santos et al., 2018). A escolha destes taludes é justificada pela presença de horizontes com comportamento antagônicos entre si em relação aos processos erosivos. Deste modo, foram coletadas amostras em dois horizontes de cada talude que expressam tanto o comportamento resistente quanto o susceptível à erosão.

Na figura 1 é possível observar que as parcelas superiores (escurecidas), correspondem ao horizonte não erodível, sendo classificado como horizonte B latossólico (Bw), enquanto que as porções inferiores compõem os horizontes erodíveis, sendo classificados como horizonte C. Os dados referentes a classificação pedológica e as características de cada horizonte estudado se encontram na tabela 1.



**Figura 1** - Fotografias dos taludes amostrados. Detalhe para o comportamento antagônico dos horizontes em relação a erosão.

**Tabela 1** - Descrição pedológica dos locais e dos horizontes amostrados.

| Amostras | Localização        | Classificação Pedológica                   | Horizonte Amostrado | Identificação Adotada |
|----------|--------------------|--|---------------------|-----------------------|
| 1        | Ouro Branco - MG   | Latossolo Vermelho Acriférico típico       | Bw <sup>1</sup>     | 1Bw                   |
|          |                    |  | C <sup>2</sup>      | 1 C                   |
| 2        | Ouro Branco - MG   | Latossolo Vermelho Acriférico típico       | Bw                  | 2 Bw                  |
|          |                    |  | C                   | 2 C                   |
| 3        | Ouro Preto -MG     | Latossolo Vermelho Distrófico cambissólico | Bw                  | 3 Bw                  |
|          |                    |  | C                   | 3 C                   |
| 4        | Itabira - MG       | Latossolo Vermelho Distrófico típico       | Bw                  | 4 Bw                  |
|          |                    |  | C                   | 4 C                   |
| 5        | Vargem Alegre - MG | Latossolo Vermelho Distrófico típico       | Bw                  | 5 Bw                  |
|          |                    |  | C                   | 5 C                   |

<sup>1</sup>Bw horizonte B latossólico; <sup>2</sup> C = horizonte.

Ao se estudar as propriedades do solo que tenderiam a condicionar o comportamento diferenciado dos horizontes em uma mesma referência espacial e ambiental, torna-se possível estabelecer correlações diretamente associadas às naturezas específicas das condições locais. Vale ressaltar que esta condição de amostragem, associada as inclinações semelhantes e a baixa cobertura vegetal, minimizam a interferência dos demais fatores, aumentando a contribuição das propriedades do solo no desenvolvimento dos processos erosivos.

### **Metodologia para Ensaio de Laboratório e de Campo**

As amostras de cada horizonte foram armazenadas e analisadas nos laboratórios do Centro Tecnológico de Geotecnia Aplicada (CTGA) da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), onde foram realizadas análises granulométricas pelos métodos de peneiramento grosso, peneiramento fino e sedimentação (com utilização de aditivo defloculante), determinação dos limites de consistência, massa específica do solo, massa específica dos sólidos e índice de vazios.

Os atributos químicos seguiram os métodos determinados por Teixeira et al. (2017), onde foram analisados: a) pH em água ( $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ ); b) pH em solução de KCl  $1 \text{ mol.L}^{-1}$  ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$ ); c) cálcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ), extraído em solução de KCl  $1 \text{ mol.L}^{-1}$ ; d) magnésio ( $\text{Mg}^{+2}$ ), extraído em solução de KCl  $1 \text{ mol.L}^{-1}$ ; e) acidez potencial (H+Al), extraída em solução tamponada de acetato de cálcio  $1 \text{ mol.L}^{-1}$ ; f) capacidade de troca catiônica (CTC), calculada a partir do somatório de bases trocáveis; g) matéria orgânica (MO), determinado por meio de oxidação com dicromato de potássio em meio ácido.

A resistência ao cisalhamento do solo foi determinada em campo com uso de mini *vane test*, o qual consiste na inserção de uma palheta cruciforme e posteriormente na determinação do torque necessário para cisalhar o material pela rotação de sua haste. Neste trabalho foi utilizado um mini *vane test* Humboldt H-4227, com capacidade de determinação de resistência ao cisalhamento ao torque de 0 a 260 kPa, suficientes para avaliação das camadas superficiais nos horizontes estudados, com profundidade de 5 cm.

Os valores determinados refletem a resistência não drenada ( $S_U$ ), devido a rapidez na execução do ensaio que impede a dissipação da poropressão. Sob este ponto vista, os ensaios em campo foram realizados em solos não saturados, *i. e.*, em condições de umidade natural. Nesta situação, a

coesão do solo aumenta linearmente com o aumento da sucção até um determinado limite, sendo este parâmetro dependente do grau de saturação. Desta forma, as resistências aqui apresentadas são superiores aos valores relacionados ao início do processo erosivo, devido ao umedecimento do solo pela ação da chuva. Portanto, trata-se de um parâmetro complexo e dispendioso para ser obtido e incorporado à uma metodologia a ser aplicada corriqueiramente na análise da erodibilidade. Com intuito de simplificar o processo em estudo, de modo a ser possível sua replicação em análises expeditas, não foram avaliados os efeitos da sucção e, conseqüentemente, do teor de umidade na resistência. Além disso, o ensaio é realizado sobre a camada superficial, diminuindo os efeitos da sucção, principalmente para solos erodíveis, que exibem baixa coesão mesmo em condições não saturadas. Portanto, é possível buscar uma relação entre a resistência determinada pelo mini *vane test* e a suscetibilidade a erosão hídrica, de modo que baixos valores possam indicar uma maior suscetibilidade ao processo erosivo. De modo a se obter resultados expressivos, foram realizadas 10 repetições, igualmente espaçadas. Posteriormente, foi utilizado o software estatístico MINITAB para condução de análises de variância (ANOVA), considerando nível de significância igual a 5.0 % ( $p < 0.05$ ).

### **Metodologias para Estimativa Indireta da Erodibilidade**

A erodibilidade é uma propriedade complexa, dependente de diversos parâmetros de natureza física, química, mineralógica e morfológica dos solos. Devido a determinação da erodibilidade em campo se dar de forma onerosa e dispendiosa, optou-se por sua determinação de forma indireta. No entanto, não há consenso na literatura acerca de uma metodologia universal para estimativa das perdas, de maneira que alguns modelos se ajustam melhor a determinados solos. Visando verificar a associação de  $S_U$  a erodibilidade, foram considerados três métodos de estimativa indireta do fator K: a) Bouyoucos (1935); b) Wischmeier et al. (1971); c) Lima et al. (1990).

O método de Bouyoucos (Equação 1) trata o potencial erosivo do solo como um problema específico do tamanho de suas partículas e das propriedades ligantes entre as mesmas.

$$K_B = \frac{\% \text{ areia} + \% \text{ silte}}{\% \text{ argila}} \cdot \frac{1}{100} \quad (1)$$

Onde  $K_B$  é o fator de erodibilidade segundo Bouyoucos (1935), em  $\text{t.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ .

Um dos métodos indiretos mais utilizados para estimativa da erodibilidade é o proposto por Wischmeier et al. (1971), desenvolvido a partir de solos de textura média dos Estados

Unidos. A metodologia leva em consideração a granulometria, a textura, a permeabilidade e o teor de matéria orgânica presentes no solo (Equações 2 e 3):

$$K_w = 0,1317 \times (2,1 \times 10^{-4} M^{1,14}(12 - MO) + 3,25 (S - 2) + 2,5 (P - 3))/100 \quad (2)$$

$$M = (\% \text{ silte} + \% \text{ areia muito fina}) \times (100 - \% \text{ argila}) \quad (3)$$

Onde  $K_w$  é o fator de erodibilidade segundo Wischmeier et al. (1971), em t.h.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>.  $M$  é um parâmetro baseado na estrutura, representado pelo produto do teor de silte acrescido da fração areia fina (entre 0,002 a 0,1 mm) com a relação (100 – teor de argila).  $MO$  é o conteúdo de matéria orgânica (%).  $S$  é o código que reflete a estrutura do solo, determinado segundo Santos et al. (2005).  $P$  é o código relacionado a permeabilidade do solo,

determinado segundo Carsel & Parrish (1988). O fator 0,1317 é utilizado para obtenção do parâmetro em unidades do sistema internacional.

Devido às limitações do método indireto de Wischmeier et al. (1971) aos solos oriundos de regiões tropicais, Lima et al. (1990) adaptaram o modelo para a realidade dos latossolos brasileiros (Equação 4), considerando variáveis semelhantes ao método anterior:

$$K_L = 1,451 \times 10^{-10}(120 - MO)Ma^{1,14} + 0,0043 (S - 2) + 0,0033 (P - 2) \quad (4)$$

onde  $K_L$  é o fator de erodibilidade segundo Lima et al. (1990), em t.h.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>.  $Ma$  é um parâmetro que tem o mesmo significado que  $M$  do método de Wischmeier et al. (1971), porém as frações do solo

são determinadas com dispersão apenas em água. Os parâmetros  $S$  e  $P$  refletem a estrutura e permeabilidade do solo, determinados da mesma maneira que na metodologia de Wischmeier et al. (1971).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise granulométrica é considerada primordial na determinação de propriedades dos solos, uma vez que é possível observar a distribuição dos tamanhos das partículas. A

Tabela 2 apresenta os valores percentuais encontrados para as frações pedregulho (P), areia grossa (AG), areia média (AM), areia fina (AF), areia total (AT), silte (S) e argila (A).

**Tabela 2** - Distribuição granulométrica dos solos estudados.

| Amostra | P (%) | AG (%) | AM (%) | AF (%) | AT (%) | S (%) | A (%) |
|---------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| 1Bw     | 0,40  | 4,30   | 3,30   | 57,00  | 64,60  | 25,50 | 9,50  |
| 1 C     | 0,60  | 1,20   | 3,40   | 3,40   | 8,00   | 83,80 | 7,60  |
| 2 Bw    | 0,70  | 3,60   | 10,90  | 44,80  | 59,30  | 18,50 | 21,50 |
| 2 C     | 3,50  | 4,70   | 10,80  | 27,70  | 43,20  | 37,80 | 15,50 |
| 3 Bw    | 1,20  | 5,20   | 11,00  | 57,70  | 73,90  | 12,60 | 12,30 |
| 3 C     | 7,10  | 2,80   | 7,40   | 39,70  | 49,90  | 33,00 | 10,00 |
| 4 Bw    | 0,20  | 1,40   | 4,80   | 17,10  | 23,30  | 26,80 | 49,70 |
| 4 C     | 8,10  | 4,40   | 8,60   | 23,90  | 36,90  | 47,60 | 7,40  |
| 5 Bw    | 1,10  | 0,70   | 4,70   | 11,50  | 16,90  | 26,20 | 55,80 |
| 5 C     | 0,40  | 1,10   | 5,00   | 25,80  | 31,90  | 60,70 | 7,00  |

Analisando as frações dos horizontes de um mesmo talude, pode-se observar a diferença significativa entre as frações predominantes. No caso dos horizontes C, suscetíveis à erosão, observa-se uma concentração expressiva da fração silte, que devido a sua baixa propriedade ligante é responsável pela baixa estabilidade dos agregados quando em contato com a água

(Wischmeier et al. 1971; Wischmeier & Smith, 1978; Denardin, 1990; Bastos, 1999; Demarchi & Zimback, 2014). Em contrapartida, os horizontes B latossólicos (Bw), apresentam maiores teores de argila, fração importante na cimentação e maior estabilidade dos agregados dos solos, conferindo maior resistência a erosão hídrica (Wischmeier et al., 1971).

Adicionalmente, os horizontes latossólicos tendem a maiores percentuais da fração areia (AT), principalmente areia fina (AF). Segundo Rocha et al. (2002) as partículas de areia de menor tamanho ocupam mais facilmente os espaços vazios, aumentando o contanto entre partículas e agregados, e, conseqüentemente, conferem maior resistência ao cisalhamento.

Os limites de consistência ( $W_L$ ,  $W_P$  e  $I_P$ ) também são considerados propriedades físicas importantes para caracterização de solos (Tabela 3), pois a partir destes é possível inferir sobre a mineralogia, relacionada, principalmente a sua fração fina. Neste contexto, pode-se verificar uma tendência: os valores de  $W_L$  foram sistematicamente elevados nos horizontes resistentes à erosão ( $30 \leq W_L \leq 68$ ). Considerando o  $I_P$ , ocorre uma distinção clara

entre os horizontes, de maneira que os resistentes (Bw) exibem maiores valores ( $9 \leq I_P \leq 38$ ), quando comparados suscetíveis a erosão ( $7 \leq I_P \leq 13$ ), diferenciação que resulta dos processos intempéricos e pedogenéticos de formação do horizontes B e C, dentre eles os de remoção de materiais e carreamento de argilominerais das camadas superiores. A plasticidade está relacionada a mineralogia da fração argila, mediante diversos fenômenos de interação física e química que também sofre influência de outras propriedades, como: teor de finos, natureza do argilomineral e percentual de matéria orgânica. Estes resultados são similares aos obtidos por Deng et al. (2017), que verificou correlação positiva entre o índice de plasticidade e o maior grau de intemperismo na resistência a erosão em voçorocas no Sul da China.

**Tabela 3** - Propriedades físicas dos horizontes estudados.

| Amostra     | $W_L^1$ (%) | $W_P^2$ (%) | $I_P^3$ (%) | $\gamma^4$ (kN.m <sup>-3</sup> ) | $\gamma_s^5$ (kN.m <sup>-3</sup> ) | $e^6$ | $n^7$ (%) |
|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------------------------|------------------------------------|-------|-----------|
| <b>1Bw</b>  | 50          | 34          | 16          | 27,82                            | 15,28                              | 0,917 | 47,84     |
| <b>1 C</b>  | 57          | 50          | 7           | 27,07                            | 13,95                              | 1,006 | 50,15     |
| <b>2 Bw</b> | 57          | 33          | 24          | 27,82                            | 14,91                              | 1,152 | 53,53     |
| <b>2 C</b>  | 49          | 36          | 13          | 26,02                            | 15,60                              | 0,888 | 47,03     |
| <b>3 Bw</b> | 30          | 21          | 9           | 29,97                            | 16,87                              | 1,115 | 52,72     |
| <b>3 C</b>  | 28          | 17          | 11          | 31,31                            | 21,58                              | 0,661 | 39,80     |
| <b>4 Bw</b> | 68          | 30          | 38          | 27,06                            | 13,44                              | 1,105 | 52,49     |
| <b>4 C</b>  | 39          | 33          | 6           | 26,26                            | 13,28                              | 0,999 | 49,97     |
| <b>5 Bw</b> | 61          | 31          | 30          | 26,41                            | 14,29                              | 0,948 | 48,67     |
| <b>5 C</b>  | 40          | 31          | 9           | 25,07                            | 14,51                              | 0,751 | 42,89     |

<sup>1</sup> $W_L$  = limite de liquidez; <sup>2</sup> $W_P$  = Limite de plasticidade; <sup>3</sup> $I_P$  = Índice de plasticidade; <sup>4</sup> $\gamma$  = massa específica do solo; <sup>5</sup> $\gamma_s$  = massa específica dos grãos; <sup>6</sup> $e$  = Índice de vazios; <sup>7</sup> $n$  = porosidade.

O peso específico aparente ( $\gamma$ ) influencia no comportamento dos solos em relação a erosão, uma vez que se relacionam a estrutura e compactação, sendo assim, solos de baixa densidade apresentam maior porosidade, permitindo a infiltração de água e reduzindo significativamente o escoamento superficial. Esta condição é verificada pela maioria dos horizontes Bw e confirmadas pela relação inversa ao índice de vazios e porosidade (Tabela 3). Os valores superiores de  $\gamma$  também estão associados aos maiores teores da fração areia, que quando agregadas exibem estrutura compacta e densidade elevada. Segundo Jong Van Lier (2010), solos com frações arenosas apresentam maiores valores de peso específico.

Os atributos químicos dos horizontes estudados estão apresentados na Tabela 4. Um

dos primeiros parâmetros avaliados é o pH, devido a sua simples determinação e pela influência em outros atributos do solo, principalmente em relação as trocas iônicas existentes.

Neste contexto, é possível verificar que os horizontes Bw exibem menores valores de pH em água e maiores valores em solução de KCl, ao passo que a observação é inversa para os horizontes C. De modo a facilitar a interpretação dos dados relacionados ao pH, é utilizado o parâmetro  $\Delta pH$  (onde:  $\Delta pH = pH_{KCl} - pH_{H_2O}$ ). Nos horizontes C, os valores de  $\Delta pH$  foram inferiores aos horizontes B, condição que indica menor grau de intemperismo, visto que um valor negativo indica a predominância de argilas silicatadas, enquanto que valores positivos se relacionam ao predomínio de óxidos de ferro e alumínio (Farias, 2012; Couto, 2016; Melo & Alleoni, 2016).

**Tabela 4** - Propriedades químicas dos horizontes estudados.

| Amostra | pH<br>H <sub>2</sub> O | pH<br>KCl | $\Delta pH^1$ | Ca <sup>+2</sup><br>cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> | Mg <sup>+2</sup><br>cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> | H + Al <sup>2</sup><br>cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> | CTC <sup>3</sup><br>cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> | MO <sup>4</sup><br>(dag/kg) |
|---------|------------------------|-----------|---------------|---|---|--|---|-----------------------------|
| 1Bw     | 5,39                   | 5,39      | -0,85         | 2,79  | 0,18  | 2,90   | 6,13  | 3,59                        |
| 1 C     | 5,56                   | 4,25      | -1,31         | 0,10  | 0,03  | 2,30   | 2,44  | 0,13                        |
| 2 Bw    | 4,92                   | 5,99      | 1,07          | 0,27  | 0,06  | 0,30   | 0,96  | 0,53                        |
| 2 C     | 5,23                   | 4,24      | -0,99         | 0,06  | -   | 1,10   | 0,75  | 0,13                        |
| 3 Bw    | 5,01                   | 6,18      | 1,17          | 0,12  | -   | 0,60   | 0,71  | 0,53                        |
| 3 C     | 5,07                   | 5,17      | 0,17          | 0,15  | -   | -  | 0,16  | 0,40                        |
| 4 Bw    | 4,98                   | 4,04      | -0,94         | 0,56  | 0,07  | 3,50   | 4,15  | 1,73                        |
| 4 C     | 5,53                   | 4,16      | -1,37         | 0,04  | 0,46  | 0,80   | 1,33  | 0,13                        |
| 5 Bw    | 4,32                   | 3,91      | -0,41         | 0,27  | 0,06  | 3,20   | 3,55  | 1,20                        |
| 5 C     | 5,60                   | 4,00      | -1,60         | 0,12  | 0,03  | 1,40   | 1,56  | 0,13                        |

<sup>1</sup> $\Delta pH = pH_{KCl} - pH_{H_2O}$ ; <sup>2</sup>H + Al = acidez potencial; <sup>3</sup>CTC = capacidade de troca catiônica; <sup>4</sup>MO = matéria orgânica.

Analisando o complexo sortivo (Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, H+Al) verifica-se que os horizontes latossólicos apresentam os maiores valores, principalmente para Ca<sup>+2</sup> e acidez potencial (H+Al), resultados similares aos de Lima et al. (2016) que encontrou correlação negativa entre o complexo sortivo e a erodibilidade de solos da bacia hidrográfica do baixo São José dos Dourados. Neste contexto, os cátions bivalentes, especialmente Ca<sup>+2</sup>, desempenham papel importante na estabilidade de agregados, diminuindo a repulsão entre as partículas e, conseqüentemente, auxiliando a formação de estruturas estáveis que resistem a erosão hídrica. O parâmetro acidez potencial (H+Al) é superior nos horizontes Bw, reflexo das maiores concentrações de alumínio trocável em consequência do maior grau de intemperismo. Segundo Melo & Alleoni (2016), o intemperismo químico atua de forma intensa na remoção e lixiviação de cátions, resultando em acúmulo de alumínio trocável nos sítios de carga negativa disponibilizando íons H<sup>+</sup> no meio.

A CTC se mostra sistematicamente superior nos horizontes latossólicos ( $0.71 \leq CTC \leq 6.13$  cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>) ao passo que nos horizontes C os valores foram inferiores ( $0.16 \leq CTC \leq 2.44$  cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>), reflexo da interação de diversas propriedades do solo, com destaque para os maiores concentrações de Ca<sup>+2</sup> e Mg<sup>+2</sup>, teores de argila e matéria orgânica.

A matéria orgânica (MO) também apresenta diferenciação entre os dois tipos de horizontes estudados, em geral os valores são muito baixos para os materiais erodíveis. A principal função da

matéria orgânica é ação cimentante, que associada a teores elevados de óxidos de ferro e alumínio, resulta na formação de agregados de maiores dimensões e estabilidade (Van Lier, 2010; Vaezi & Sadeghi, 2011; Anache et al., 2015; Ostovari et al., 2019). Vaezi & Sadeghi (2011) verificaram que a formação de agregados estáveis se relacionava a maiores teores de matéria orgânica, resultando em aumento da porosidade, i. e., aumentando a infiltração e diminuindo o escoamento superficial e seu potencial erosivo.

A resistência não drenada (S<sub>U</sub>) nos os horizontes latossólicos apresentou maiores valores, chegando próximo ao limite do equipamento (260 kPa), enquanto que nos solos erodíveis (C) os resultados foram inferiores a 150 kPa. De forma a exibir o comportamento distinto entre os dois grupos de solos analisados, foi construído o Boxplot da figura 2, onde é possível verificar informações importante como: centro, dispersão e desvio de simetria. Os horizontes latossólicos (Bw) apesar de maiores médias, apresentam maiores variâncias, com maior valor interquartil, resultado das maiores variações granulométrica, principalmente areia fina (Tabela 2). Ortigão (1995, Segundo Rocha, 2002) afirma que partículas de areia, principalmente as de menor tamanho, quando submetidas a forças externas, ocupam mais facilmente os espaços vazios do solo, aumentando assim a área de contato entre agregados e, solos com maiores quantidades de areia, onde as partículas não apresentam distribuição uniforme quanto ao tamanho, tendem a apresentar maior resistência ao cisalhamento.

Considerando os horizontes C, apesar da

amplitude de valores ser alta, a distância inter-quartil é menor, demonstrando que estes pontos extremos se tratam de valores isolados, mas que não podem ser tratados como outliers. Além disso, estes valores estão associados as propriedades físicas, químicas e mineralógicas destes solos, principalmente no que tange a granulometria, visto que apresentam crescimento da fração silte. Basicamente, esta queda na resistência ao cisalhamento se deve ao efeito conjunto dos maiores percentuais de silte, associados aos menores valores de índice de plasticidade e teor de matéria orgânica, fatores que diminuem a estabilidade dos agregados e favorecem a ocorrência do

processo erosivo.

No intuito de analisar a resistência não drenada com a suscetibilidade aos processos erosivos de maneira geral, os horizontes foram subdivididos em duas classes, erodíveis (horizontes C) e não erodíveis (horizontes Bw), conforme apresentado na figura 3. A resistência não drenada ( $S_U$ ) nos solos não erodíveis (Bw) variou de 120 a 260 kPa enquanto que nos solos erodíveis (C) os valores foram inferiores, variando de 22 a 144 kPa. Entretanto é possível verificar de maneira nítida a diferença de resistência, podendo-se inferir que solos erodíveis exibem menores valores de  $S_U$ .

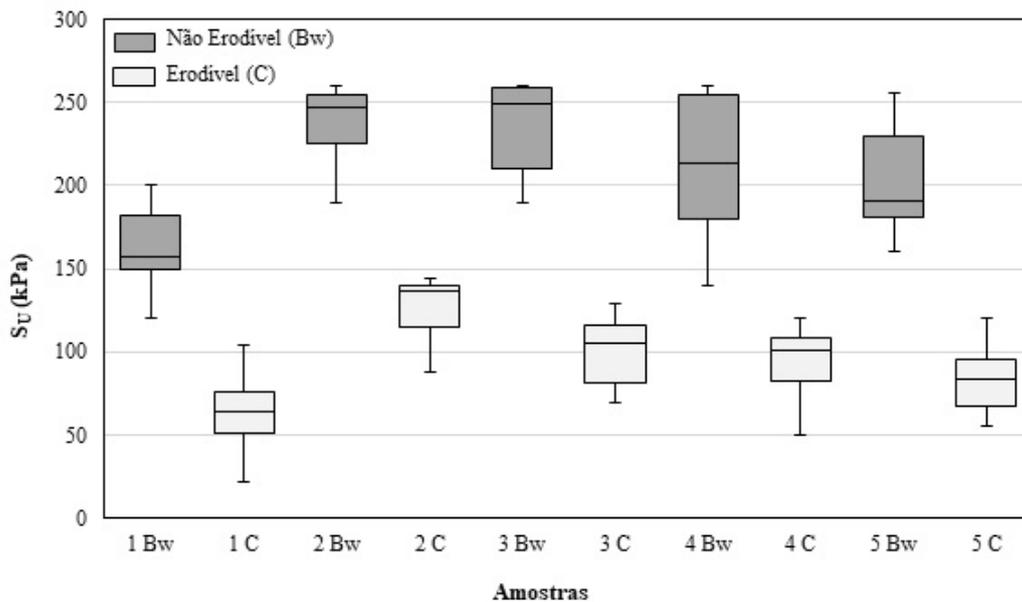


Figura 2 - Boxplot relacionando a resistência não drenada ( $S_U$ ) e as amostra dos horizontes Bw e C.

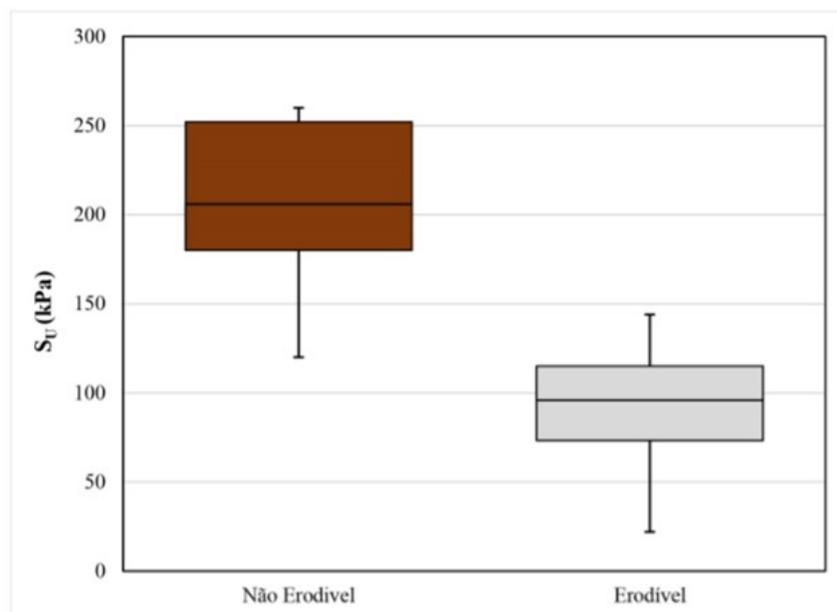


Figura 3 - Boxplot relacionando a resistência não drenada ( $S_U$ ) e as amostra erodíveis e não erodíveis.

A fim de verificar a existência de diferença estatística significativa entre os valores encontrados, optou-se pela comparação de

médias independentes por meio do teste de Tukey (Tabela 5). Ao nível de significância de 5%, foi possível afirmar que a resistência média

das amostras dos horizontes Bw é superior aquelas provenientes do horizonte C, sendo possível a divisão destes valores em cinco classes (A, B, C, D e E), onde a classe A corresponde as amostras de maior resistência e a classe E as de menor resistência. Entre os grupos A e B ocorre a diferenciação entre amostras erodíveis e não erodíveis, estando estes valores próximos ao limite de 150 kPa, conforme mencionado

anteriormente.

Da mesma forma, o teste de Tukey para médias independentes também é aplicado considerado a divisão das amostras em erodíveis e não erodíveis (Tabela 6), ao nível de significância de 5%, foi possível afirmar que a resistência média das amostras não erodíveis, assinalado com a letra A, foi maior que as médias das amostras erodíveis, assinaladas com a letra B.

**Tabela 5** - Comparação dos valores de resistência não drenada média para todas as amostras.

| Amostra | Mínimo - $S_U$ (kPa) | Máximo - $S_U$ (kPa) | Média - $S_U$ (kPa) | Grupo | IC <sup>1</sup> (kPa) |
|---------|----------------------|----------------------|---------------------|-------|-----------------------|
| 2 Bw    | 192,00               | 260,00               | 237,20              | A     | 219,88 – 254,52       |
| 3 Bw    | 190,00               | 260,00               | 235,80              | A     | 214,94 – 256,66       |
| 4 Bw    | 140,00               | 260,00               | 210,20              | A     | 176,70 – 243,70       |
| 5 Bw    | 160,00               | 256,00               | 202,20              | A     | 179,30 – 225,10       |
| 1 Bw    | 120,00               | 200,00               | 162,60              | A B   | 143,84 – 181,36       |
| 2C      | 88,00                | 144,00               | 129,00              | B C   | 113,05 – 144,95       |
| 3C      | 70,00                | 129,00               | 101,40              | C D   | 85,80 – 117,00        |
| 4C      | 50,00                | 120,00               | 95,00               | C D E | 79,46 – 110,54        |
| 5C      | 55,00                | 120,00               | 83,90               | D E   | 68,63 – 99,17         |
| 1C      | 22,00                | 104,00               | 62,10               | E     | 44,01 – 80,19         |

<sup>1</sup> IC = intervalo de confiança para média (considerando nível de confiança igual a 95%).

**Tabela 6** - Comparação dos valores de resistência não drenada média para amostras agrupadas em não erodíveis e erodíveis.

| Amostra      | Mínimo - $S_U$ (kPa) | Máximo - $S_U$ (kPa) | Média - $S_U$ (kPa) | Grupo | IC <sup>1</sup> (kPa) |
|--------------|----------------------|----------------------|---------------------|-------|-----------------------|
| Não Erodível | 120,00               | 260,00               | 209,60              | A     | 197,75 – 221,45       |
| Erodível     | 22,00                | 144,00               | 94,28               | B     | 85,49 – 103,07        |

<sup>1</sup> IC = intervalo de confiança para média (considerando nível de confiança igual a 95%).

Os valores de  $S_U$  demonstram comportamento distinto entre os horizontes resistentes e suscetíveis aos processos erosivos. No entanto, para avaliar a relação desta propriedade a maior suscetibilidade a erosão, foram analisadas suas relações com o fator K de erodibilidade segundo as metodologias desenvolvidas por Bouyucos (1935) –  $K_B$ ; Wischmeier et al. (1971) –  $K_W$  e Lima et al. (1990) –  $K_L$  (Figura 4). Desta forma, a correlação negativa entre  $S_U$  e o fator K indica que solos de menor resistência não drenada são os mais suscetíveis aos processos erosivos (Figura 4).

O método de Bouyucos (1935) –  $K_B$  – apresentou correlação negativa significativa com  $S_U$  ( $R^2 = 0,6066$ ;  $p < 0,01$ ). No entanto, dentre os métodos utilizados foi aquele que apresentou o

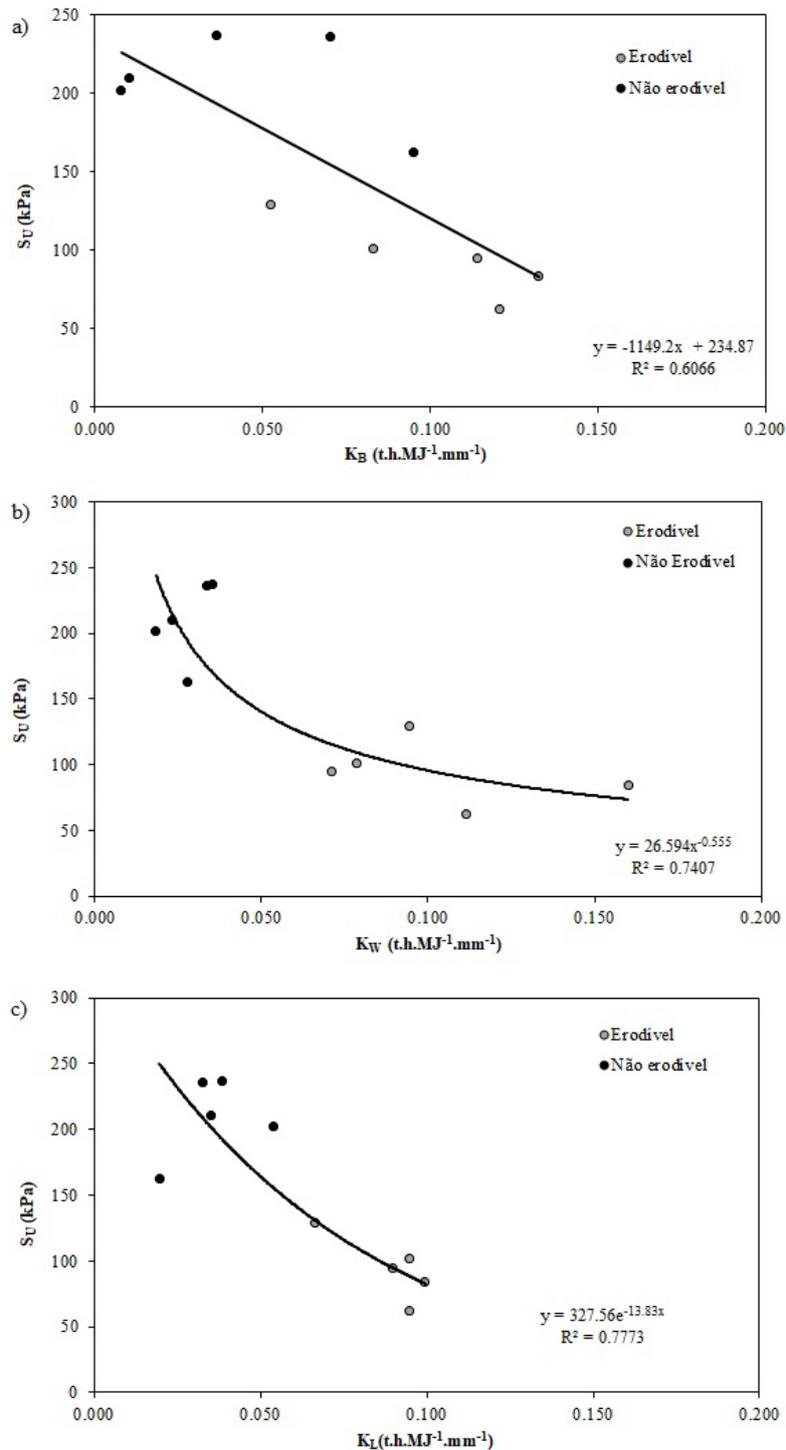
menor coeficiente de correlação, principalmente por ser um método restrito a distribuição granulométrica.

Neste contexto, os elevados percentuais de silte nos horizontes C comparado aos maiores teores de argila nos horizontes Bw são responsáveis pela diferenciação de comportamento. Entretanto, esta metodologia desconsidera parâmetros importantes como matéria orgânica, plasticidade e capacidade de troca catiônica que interfere na resistência do solo à erosão.

O fator de erodibilidade segundo Wischmeier et al. (1971) –  $K_W$  – apresentou forte correlação negativa com  $S_U$  ( $R^2 = 0,7407$ ;  $p < 0,01$ ), entretanto, observa-se que os valores encon-

trados, principalmente para os solos erodíveis, são demasiadamente altos quando comparadas as outras metodologias de estimativa indireta (Figura 4). De fato, esta metodologia associa o teor de silte como um dos parâmetros mais importantes na suscetibilidade aos processos erosivos, entretanto, a estrutura granular

existente nos Latossolos brasileiros proporciona elevada permeabilidade e pode conferir a argila o comportamento de silte quando associados a teores elevados de óxidos de alumínio (Resende, 1985; Lima et al. 1990), de maneira que a estrutura do solo é considerada como fator primordial em detrimento da fração silte.



**Figura 4** - Correlação entre  $S_U$  e o fator  $K$  de erodibilidade. a) Bouyoucos (1935) ( $K_B$ ); b) Wischmeier et al. (1971) ( $K_W$ ) e c) Lima et al. (1990) ( $K_L$ ).

O método desenvolvido por Lima et al. (1990) –  $K_L$  - foi o que apresentou melhor correlação  $S_U$  ( $R^2 = 0,7773$ ;  $p < 0,01$ ).

Em geral, é observado um pequeno acréscimo da erodibilidade dos horizontes não erodíveis (Bw), acompanhados de redução substancial do

fator K para os horizontes C, porém permitindo a distinção entre os dois grupos de solos. Segundo Silva et al. (1999) esta diferenciação de comportamento se relaciona aos atributos macroestruturais, onde a estrutura pequena das camadas superficiais (Bw) é mais facilmente carregada pelo escoamento superficial. No caso dos horizontes erodíveis, o maior teor de partículas finas em conjunto com aumento cimentação e permeabilidade diminuem as taxas

de erosão (Lima et al., 1990; Silva et al. 1999).

Considerando os métodos de estimativa indireta do fator K é possível observar o valor crítico entre solos erodíveis e não erodíveis. No caso de solos erodíveis,  $S_U$  se encontra baixo de 150 kPa, exibindo valores de K superiores a  $0,05 \text{ t.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ , confirmando que a resistência não drenada, determinada pelo mini *vane test*, são promissores na estimativa da suscetibilidade aos processos erosivos.

## CONCLUSÕES

A resistência não drenada ( $S_U$ ) determinada em campo apresenta grande diferença entre os horizontes latossólicos (Bw) resistentes e os horizontes saprolíticos (C) suscetíveis aos processos erosivos. O método pode ser utilizado na avaliação da erodibilidade uma vez que apresenta correlação negativa significativa com o fator erodibilidade segundo os três métodos de determinação indireta utilizados neste estudo, porém como melhor associação ao fator K determinado por Lima et al. (1990), que considera as particularidades dos Latossolos brasileiros.

Por meio da análise de variância (ANOVA) e do teste para médias independentes foi possível verificar que os solos não erodíveis (Bw) apresentam maiores valores de  $S_U$  enquanto que o inverso é observado para os solos erodíveis (C), sugerindo um limite de 150 kPa como limite entre estas duas classes.

Os solos não erodíveis apresentaram maiores percentuais de argila, índices de plasticidade e conteúdo de matéria, resultados inversos aos observados para os solos erodíveis. Estas propriedades refletem, principalmente na estabilidade de agregados, uma vez que nos horizontes não erodíveis os resultados corroboram para a formação de agregados mais estáveis que resistem aos processos de erosão hídrica.

Por fim, os resultados obtidos podem auxiliar na estimativa da erodibilidade em taludes que apresentam perfil exposto, principalmente as margens de obras lineares como rodovias, ferrovias, etc. A abordagem por meio de ensaios de campo pode se traduzir em um diagnóstico rápido para a determinação de locais onde a erosão se desenvolverá de forma acelerada, assim é possível hierarquizar medidas a serem tomadas de acordo com a gravidade de cada situação.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## REFERÊNCIAS

- ANACHE, J.A.A.; BACCHI, C.G.V.; PANACHUKI, E.; ALVES SOBRINHO, T. Assessment of methods for predicting soil erodibility in soil loss modeling. *Geociências*, v. 34, n. 1, p. 32-40, 2015.
- BARBOSA, G.V. & RODRIGUES, D.M.S. O Quadrilátero Ferrífero e seus problemas geomorfológicos. *Boletim Mineiro de Geografia*, v. 10/11, p. 3-35, 1965
- BASTOS, C.A.B. **Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados**. Porto Alegre, 1999. 303 p. Tese Doutorado Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- BENDER, H. Um probleme de resistance au cisaillement em fonction du chemin des contraentes pendant l'infiltration. *International Conference on Geomechanics in Tropical Lateritic and Saprolitic Soils*, v. 2, p 15-25, 1985.
- BOUYOCOS, G.J. The clay ratio as a criterion of susceptibility of soils to erosion. *J. Am. Soc. Agron.*, v. 27, 738 – 741 p., 1935.
- CAMAPUM DE CARVALHO, J.; SALES, M. M.; SOUZA, N.M; MELO, M.T.S. (Orgs). **Processos erosivos no centro-oeste brasileiro**. Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC. 464 p., 2006.
- CARSEL, R.F. & PARRISH, R.S. Developing joint probability distributions of soil water retention characteristics. *Water Resources Research*, v. 24, n. 5, p. 755-769, 1988.
- CARVALHO FILHO, A.; CURTI, N.; SHINZATO, E. Relações solo-paisagem no Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais. *Pesq. Agropec. Brasileira*, Brasília, v. 45, n. 8, 903 -916 p. 2010.
- COUTO, B.O.C; GOMES, R.C.; FERREIRA, L.D.; PEREIRA, E.L.; CORTELETTI, R.C. Análise de erodibilidade de dois diferentes solos no município de Itabira – MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS EM ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 18, 2016, Belo Horizonte. *Atas...*Belo Horizonte, 2016.
- DENARDIN, J.E. **Erodibilidade estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. Piracicaba, 1990. 119 p. Tese (Doutor em Agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz -Universidade de São Paulo.
- DEMARCHI, J.C. & ZIMBACK, C.R.L. Mapeamento, erodibilidade e tolerância de perda de solo na sub-bacia do

- Ribeirão das Perobas. **Revista Energia na Agricultura**, v. 29, n. 2, p. 102-114, 2014.
- DENG, Y.; CAI, C.; XIA, D.; DING, S.; CHEN, J.; WANG, T. Soil Atterberg limits of different weathering profiles of the collapsing gullies in the hilly granitic region of Southern China. **Solid Earth**, v. 8, p. 499-513, 2017.
- DUNN, I.S. Tractive resistance of cohesive channels. **Journal of Soil Mechanics and Foundations Division ASCE**, v. 85, n. SM3, p. 1-24, 1959.
- FARIAS, W.M. **Processos evolutivos de intemperismo químico e sua ação no comportamento hidromecânico de solos do Planalto Central**. Brasília –DF, 2012. 284 p. Tese (Doutorado). Programa de Pós-graduação do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília.
- IORI, P.; DIAS JÚNIOR, M.S.; SILVA, R.B. Resistência do solo à penetração e ao cisalhamento em diversos usos do solo em áreas de preservação permanente. **Bioscience Journal**, v. 28, supplement 1, p. 185-195, 2012.
- JONG, VAN LIER, Q. **Física do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Viçosa, MG, 298 p. 2010.
- LIMA, C.G.R.; CARVALHO, M.P.; SOUZA, A.; COSTA, N.R.; MONTANARI, R. Influência de atributos químicos na erodibilidade e tolerância de perda de solo na bacia hidrográfica do baixo São José dos Dourados. **Geociências**, v. 35, n. 1, p. 63-76, 2016.
- LIMA, J.E.F.W.; SILVA, E.M.; EID, N.J.; MARTINS, E.S.; KOIDE, S.; REATTO, A. 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**, v. 8, n. 2, p. 23-36, 2007.
- LIMA, J.M.; CURTI, N.; RESENDE, M.; SANTANA, D.P. Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade de latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14: p. 85-90, 1990.
- MELO, V.F. & ALLEONI, L.R.F. **Química e mineralogia dos solos**. 1ª edição – 2ª reimpressão. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 1 p. 2016.
- NOGAMI, J.S., VILLIBOR, D.F. Soil characterization of mapping units for highway purposes in a tropical area. **Bulletin of the International Association of Engineering Geology**, v. 19, p. 196-199, 1979.
- OSTOVARI, Y., GHORBANI-DASHTAKI, S., KUMAR, L., SHABANI, F. Soil erodibility and its prediction in semi-arid regions. **Achieves of Agronomy and Soil Science**, v. 65, n. 12, p. 688-1703, 2019.
- PEJON, O.J. **Mapeamento geotécnico, regional da falha de Piracicaba: Estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação de atributos**. São Carlos, 1992. 241 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade de São Paulo.
- RESENDE, M. Aplicação de conhecimentos pedológicos à conservação de solos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 128, p. 3-18, 1985.
- ROCHA, W.W.; DIAS JÚNIOR, M.S.; LIMA, J. M.; MIRANDA, E.E. V.; SILVA, A.R. Resistência ao cisalhamento e grau de intemperismo de cinco solos na região de Lavras (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 297-303, 2002.
- SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBERAS, J.F.; COLEHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; FILHO, J.C.A.; OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T.J.F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – 5ª edição; revisada e ampliada – Brasília, DF. Embrapa. 590p. 2018.**
- SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. **Manual de descrição de coleta de solo no campo**. 5ª edição. Viçosa –MG, SBCS/EMBRAPA/CNPS, 100 p., 2005.
- SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; FERREIRA, M.M.; LIMA, J.M.; FERREIRA, D.F. Proposição de modelos para a estimativa da erodibilidade de latossolos brasileiros. **Pesq. Agropec. Brasileira**. Brasília-DF, v. 12, p. 2287 – 2298 p. 1999.
- SILVA, M.L. N.; CURTI, N.; LIMA, J.M.; FERREIRA, M.M. Avaliação de métodos indiretos de determinação de erodibilidade de latossolos brasileiros. *Pesquisa Agropecuária*, v. 35, n. 6, p. 1207-1220, 2000.
- TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G.K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**, 3ª edição revisada e ampliada – Brasília/DF. 577 p., 2017.
- VAEZI, A.R. & SADEGHI, S.H.R. Evaluating the RUSLE model and developing an empirical equation for estimating soil erodibility factor in a semi-arid region. 2011. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 9, n. 3, p. 912-923, 2011.
- WANG, G.; FANG, Q.; TENG, Y.; YU, J. Determination of factors governing soil erodibility using hyperspectral visible and near-infrared reflectance spectroscopy. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 53, p. 48-63, 2016.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses. A guide conservation planning. **USDA Handbook**, n 537, 57 p, 1978.
- WISCHMEIER, W.H.; JOHNSON, C.B.; CROS, B.V. A Soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. **J. Soil and Water Conservation**, Ankey, v. 26, p. 189 – 193, 1971.

*Submetido em 23 de abril de 2020  
Aceito para publicação em 5 de janeiro 2021*