

# INFLUÊNCIA DE ATRIBUTOS QUÍMICOS NA ERODIBILIDADE E TOLERÂNCIA DE PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO BAIXO SÃO JOSÉ DOS DOURADOS

César Gustavo da Rocha LIMA<sup>1</sup>; Morel de Passos e CARVALHO<sup>2</sup>; Adriano SOUZA<sup>1</sup>; Nídia Raquel COSTA<sup>3</sup>; Rafael MONTANARI<sup>2</sup>

- (1) Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Departamento de Engenharia Civil - UNESP. Alameda Bahia, 550 - centro. CEP: 15385-000. Ilha Solteira, SP. Endereços eletrônicos: cesarlina@dec.feis.unesp.br; adrianosouza@dec.feis.unesp.br  
(2) Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos - UNESP. Passeio Monção, 226. CEP: 15385-000. Ilha Solteira, SP. Endereços eletrônicos: morel@agr.feis.unesp.br; montanari@agr.feis.unesp.br  
(3) Faculdade de Ciências Agrárias - UNESP. Fazenda Lageado - Rodovia Alcides Soares, Km 3. CEP: 18610-307. Botucatu, SP. Endereço eletrônico: nidiarcosta@gmail.com

Introdução  
Materiais e métodos  
Resultados e discussão  
    Erodibilidade e tolerância de perda  
    Análise estatística descritiva  
    Análise de correlação  
Conclusões  
Referências Bibliográficas

**RESUMO** - O conhecimento das características do solo e suas relações com fatores que influenciam a erosão são de grande importância para o manejo conservacionista. Assim, objetivou-se avaliar a erodibilidade e a tolerância de perda para 33 tipos de solos da bacia hidrográfica do baixo São José dos Dourados e estudar suas correlações com alguns atributos químicos dos solos pesquisados. Os atributos avaliados foram: fósforo, carbono orgânico, matéria orgânica, nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial, alumínio trocável, soma de bases, capacidade de troca catiônica, saturação por bases, saturação por alumínio, sulfato solúvel e o pH do solo. A erodibilidade variou de baixo [LV<sub>Ae</sub>(ti)3] a extremamente alto [PV<sub>d</sub>(ab)1/2], já a tolerância de perda apresentou valores entre 3,04-14,79 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Os solos mais suscetíveis foram os Argissolos Vermelhos, [PVe(ab)1/2, PVe(ab)1/3, PVe(ar)1/2, PVe(ti)1/2, PV<sub>d</sub>(ab)1/2, PV<sub>d</sub>(ab)1/3, PV<sub>d</sub>(ar)1/2], por apresentarem os maiores valores de erodibilidade e os menores valores de tolerância. A erodibilidade demonstrou elevada correlação com os atributos do ciclo do carbono e do complexo catiônico do solo, permitindo concluir que é fortemente influenciada pela qualidade química do solo e por seu manejo. Por fim, o carbono orgânico e o cálcio disponível apresentaram-se como os melhores indicadores da qualidade química do solo para área estudada.

**Palavras-chave:** erosão do solo, manejo do solo, conservação do solo, química do solo.

**ABSTRACT** – The knowledge of soil characteristics and their relationship to factors that influence erosion are of great importance for the conservation management. The objective was to study the erodibility and tolerance of losses for 33 kinds of soil in watershed of low São José of Dourados River and analyze their correlation with some chemical attributes of surveyed soils. The evaluated attributes were: phosphorus, organic carbon, organic matter, nitrogen, potassium, calcium, magnesium, potential acidity, exchangeable aluminum, sum of bases, cation exchange capacity, base saturation, aluminum saturation, soluble sulfate and the soil pH. The erodibility ranged from low [LV<sub>Ae</sub>(ti)3] to extremely high [PV<sub>d</sub>(ab)1/2]. The tolerance values ranged from 3.04 to 14.79 t ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>. In the studied soils, those with greater environmental susceptibility were PVe(ab)1/2, PVe(ab)1/3, PVe(ar)1/2, PVe(ti)1/2, PV<sub>d</sub>(ab)1/2, PV<sub>d</sub>(ab)1/3, PV<sub>d</sub>(ar)1/2, because in addition to having the largest erodibility values also had the lowest values of tolerance of soil loss. The erodibility showed high correlation with the attributes of carbon and cationic soil complex cycle, allowing to conclude that is strongly influenced by the chemical soil quality and its management. Finally, organic carbon and available calcium presented themselves as the best indicators of chemical soil quality for the study area.

**Keywords:** soil erosion, soil management, soil conservation, soil chemical.

## INTRODUÇÃO

Os processos erosivos apresentam-se como um dos principais impactos negativos no solo,

pois causam a perda de material e nutrientes, e intensificam o assoreamento dos corpos

hídricos. Apesar de cada solo possuir características intrínsecas que lhe atribuem uma susceptibilidade natural específica às ações erosivas das chuvas, de acordo com Bertoni & Lombardi Neto (2005), os problemas críticos de erosão geralmente possuem uma estreita ligação com as formas de manejo adotadas. Nesse sentido, a caracterização detalhada do solo aparece como uma importante ferramenta para o planejamento conservacionista, como meio de orientar um uso e ocupação mais adequados com vistas à sustentabilidade ambiental.

Segundo Demarcki & Zimback (2014), pode-se dizer que a erodibilidade dos solos representa, de forma direta, a suscetibilidade natural do solo frente ao potencial erosivo das chuvas. Refere-se ao fator K da Equação Universal de Perda de Solo (E.U.P.S.) e, portanto, pode ser tecnicamente avaliado e quantificado. Com base nessa premissa, vários estudos têm sido realizados com o intuito de avaliar a erodibilidade dos solos sob o viés conservacionista e ambiental, como por exemplo, os trabalhos de Arraes et al. (2010), Castro et al. (2011), Chaves et al. (2010), e Vieira (2008).

Porém, a condução experimental para a determinação da erodibilidade *in situ* apresenta dificuldades em virtude dos elevados custos operacionais e do tempo de condução necessário. Deste modo, tem se observado a aplicação de métodos indiretos os quais tomam como base algumas propriedades físicas e químicas do solo. Trabalhos como os de Anache et al. (2015), Lima et al. (2007), Marques et al. (1997) e Silva et al. (2000) têm procurado avaliar, e em alguns casos, até mesmo adaptar tais metodologias, considerando as diferentes peculiaridades regionais existentes, com vistas a resultados que mais se aproxime de valores gerais observados *in situ* para um mesmo tipo de solo.

Uma metodologia bastante difundida tem sido a de Bouyoucos (1935), dada conforme adaptação contida em Bertoni & Lombardi Neto (2005), e apresentada por Manningel et al.

(2002) e Castro et al. (2011). A sua aplicação é baseada em uma simples relação entre os componentes granulométricos do solo. Por outro lado, o método proposto por Denardin (1990), que leva em consideração tanto parâmetros físicos como parâmetros químicos do solo, também tem sido bastante empregado no estudo de erodibilidade em solos brasileiros (Demarcki & Zimback, 2014).

Segundo Bertol & Almeida (2000), a tolerância de perda (T) aparece também como um importante elemento de caracterização do solo. Ela se refere à quantidade de terra que pode ser erodida anualmente, de forma que o solo possa se manter com elevado nível de produtividade ao longo do tempo e que, com certo grau de conservação, se possa manter uma produção econômica em futuro previsível (Bertoni & Lombardi Neto, 2005). Deste modo, alguns trabalhos científicos têm feito importantes considerações sobre este indicador, e, também apontado importantes relações entre a tolerância de perda com outros atributos do solo (Demarcki & Zimback, 2014; Manningel et al., 2002; Nunes et al., 2012; Oliveira et al., 2008).

Na literatura clássica observa-se que boa parte da qualidade estrutural dos solos está fortemente ligada a alguns atributos específicos de caráter físico como, por exemplo, a distribuição granulométrica, a densidade natural, o sistema poroso, entre outros (Baver, 1975; Hudson, 1982). Por outro lado, os atributos químicos do solo também exercem grande influência. A literatura há muito tempo já tem evidenciado que atributos como a matéria orgânica, o pH, a capacidade de troca catiônica, entre outros, são indicadores efetivos da qualidade do solo (Raij, 1991; Resende et al., 1988).

Assim, sabendo-se que, do mesmo modo que alguns atributos físicos, os atributos químicos do solo são passíveis de manejo, identificar aqueles de maior interação com a erodibilidade e tolerância de perda pode representar uma importante ferramenta para ações de caráter conservacionista dos solos. Deste modo, o

presente trabalho objetivou: estudar a erodibilidade e a tolerância de perda para algumas classes de solos presentes na bacia hidrográfica do Baixo São José dos Dourados e, correlacionar tais parâmetros com alguns

atributos químicos, de modo a avaliar quais atributos, para as devidas condições, apresentam-se como os melhores indicadores da qualidade ambiental do solo para região estudada.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo foi conduzido por meio de dados do Levantamento Taxonômico de Solos realizado pelo Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos (DEFERS) da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP em 41 propriedades rurais sob ambiente de produção de cana-de-açúcar e áreas de pastagens pertencentes à Usina Vale do Paraná S/A.

Os dados são representativos de uma área amostral situada entre as coordenadas geográficas 20°12'56"S - 50°44'48"W e 20°31'48"S - 51°17'02"W, compreendendo em sua grande parte a região planáltica ocidental da bacia Hidrográfica do Baixo São José dos Dourados, Noroeste do estado de São Paulo, onde são abrangidos territórios dos municípios de Ilha Solteira, Suzanápolis, Sant'ana da Ponte Pensa, Rubinéia, Nova Canaã Paulista, Aparecida d'Oeste e Três Fronteiras. Foram avaliados ao todo, dados de 93 trincheiras individuais, divididas em 31 sub-grupamentos, e compreendendo 5 ordens de solos, sendo eles: Argissolos, Cambissolos, Latossolos, Neossolos e Nitossolos.

As amostras do solo (deformadas e indeformadas), consideradas neste trabalho para determinação dos atributos físicos e químicos, foram identificadas, preparadas e analisadas junto aos Laboratórios de Física e de Fertilidade de Solos da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP, conforme metodologias e normas técnicas específicas contidas em Embrapa (1997; 2009).

Para o cálculo da erodibilidade (K) e da tolerância de perda (T) foi necessário a determinação dos seguintes atributos físicos: **a)** granulometria do solo, determinada pelo método da pipeta utilizando-se como

dispersante o NaOH 1 mol L<sup>-1</sup>; **b)** densidade do solo, determinada pelo método do anel volumétrico.

Deste modo, a erodibilidade do solo foi avaliada de indiretamente por meio da metodologia de Bouyoucos (1935), conforme a seguinte expressão contida em Manningel et al. (2002):

$$K = \frac{\left[ \frac{(\% \text{ areia} + \% \text{ silte})}{(\% \text{ argila})} \right]}{100} \quad (1)$$

onde: **K** representou o fator erodibilidade do solo (t ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>), e a **%areia**, **%silte** e **%argila** representaram as porcentagens das respectivas frações.

Já a tolerância de perda de solo (T) foi determinada conforme disposto em Demarchi & Zimbach (2014) utilizando-se da determinação do peso da terra (P), de acordo com a seguinte expressão:

$$P = h \cdot DS \cdot f \quad (2)$$

onde: **P** = peso da terra (t m<sup>-2</sup>), **h** = espessura do horizonte considerado (m), **DS** = densidade do solo (kg dm<sup>-3</sup>) e, **f** = fator de conversão inerente a variação textural.

Os atributos químicos do solo avaliados no presente estudo foram: **a)** fósforo (P), extraído com resina trocadora de íons (mg dm<sup>-3</sup>); **b)** potássio (K<sup>+</sup>), extraído em solução diluída de ácido clorídrico (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>); **c)** cálcio (Ca<sup>+2</sup>), extraído em solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup> (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>); **d)** magnésio (Mg<sup>+2</sup>), extraído em solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup> (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>); **e)** acidez potencial (H<sup>+</sup>+Al<sup>+3</sup>), extraída em solução tamponada de acetato de cálcio 1 mol L<sup>-1</sup>, em

pH 7,0 ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ); **f**) alumínio trocável ( $\text{Al}^{+3}$ ), extraído em solução de  $\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$ , em pH 5,5 ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ); **g**) sulfato solúvel (*S-SO<sub>4</sub>*), extraído a partir do extrato de saturação do solo, pela precipitação com  $\text{BaCl}_2$  ( $\text{mg dm}^{-3}$ ); **h**) pH em água (pHH), avaliado potenciométricamente em suspensão de solo/água na proporção de 1:2,5; **i**) pH em cloreto de potássio (pHK), avaliado potenciométricamente em suspensão de solo/ $\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$ , na proporção de 1:2,5; **j**) pH em cloreto de cálcio (pHC), avaliado potenciométricamente em suspensão de solo/ $\text{CaCl}_2$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ , na proporção de 1:2,5; **k**) carbono orgânico (C), determinado pela oxidação via úmida da matéria orgânica com dicromato de potássio em meio sulfúrico ( $\text{g dm}^{-3}$ ); **l**) matéria orgânica (MO), obtida indiretamente a partir do teor de carbono orgânico ( $\text{g dm}^{-3}$ ); **m**) nitrogênio (N), também obtido indiretamente a partir do teor da matéria orgânica ( $\text{g dm}^{-3}$ ); **n**) soma de bases (S), dada em ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ); **o**) capacidade de troca catiônica (CTC), dada em ( $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ); **p**) índice de saturação por bases (V%) e, **q**) índice de saturação por alumínio (m%).

Os dados foram organizados e tabulados de forma representativa para os horizontes de

trabalho que ficaram definidos como: **HA** (horizonte A) e **HB** (horizonte B). Assim, as amostras referentes ao horizonte A para os Argissolos apresentaram uma profundidade média de 42 cm, ao passo que para os Latossolos foi de 36 cm, para os Cambissolos, 38 cm, para os Neossolos, 36 cm e, para os Nitossolos, 32 cm.

Para cada atributo estudado foi efetuada a análise descritiva com o auxílio da estatística clássica, e posteriormente foi montada a matriz de correlação com a finalidade de modelar as regressões de interesse para as combinações, duas a duas, entre os atributos. Para tanto utilizou-se da planilha de cálculos *Excel*. Por fim, visando ampliar as variáveis de interação, foi realizado o teste de regressão múltipla a 10% de probabilidade entre: **a**) erodibilidade (como variável dependente) em função dos demais atributos do solo (como variáveis independentes); **b**) tolerância de perda (dependente) em função dos demais atributos do solo pesquisados (independentes). Para este procedimento utilizou-se do pacote computacional *SAS* por intermédio da ferramenta *stepwise*.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Erodibilidade e tolerância de perda

Na Tabela 1 são apresentados os valores de tolerância de perda e da erodibilidade dos solos estudados no planalto ocidental da bacia hidrográfica do baixo São José dos Dourados. Observa-se que os valores de tolerância variaram entre  $3,04 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  e  $14,79 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , ficando em similaridade com os resultados ora apresentados por Mannigel et al.

(2002) e por Demarchi & Zimback (2014) onde estes autores apontaram valores da ordem de  $2,68$  à  $15,90 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para solos que compreendem as mesmas classes estudadas. Ainda, os resultados apresentaram-se coerentes com os valores apontados por Lombardi Neto & Bertoni (1975) que avaliaram a tolerância de perda para solos brasileiros ( $4,2 - 15,0 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ).

**Tabela 1.** Erodibilidade e tolerância de perda de solo na bacia hidrográfica do baixo São José dos Dourados.

Id.	Ordem	Tolerância		Erodibilidade	
		$\text{t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$		$\text{t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$	
Argissolos					
		n.	Hm.	H.A.	H.B.
PVAe(ab)I/2	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico abruptico textura arenosa/média	2	9,01	0,0551	0,0282
PVAe(ar)I/2	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico arênico textura arenosa/média	1	9,09	0,0583	0,0367

<i>PVAe(ti)1/2</i>	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico textura arenosa/média	1	9,18	0,0547	0,0248
<i>PVAe(ti)2</i>	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico textura média	1	8,84	0,0521	0,0258
<i>PVAe(ti)2/3</i>	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico textura média/argilosa	1	8,85	0,0412	0,0177
<i>PVe(ab)1/2</i>	ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico abruptico textura arenosa/média	12	4,32	0,0755	0,0255
<i>PVe(ab)1/3</i>	ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico abruptico textura arenosa/argilosa	2	3,09	0,0685	0,0169
<i>PVe(ab)2/3</i>	ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico abruptico textura média/argilosa	3	6,13	0,0508	0,0173
<i>PVe(ar)1/2</i>	ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico arênico textura arenosa/média	2	7,54	0,0702	0,0281
<i>PVe(ti)1/2</i>	ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico típico textura arenosa/média	7	9,05	0,0647	0,0311
<i>PVe(ti)2</i>	ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico típico textura média	4	9,04	0,0529	0,0276
<i>PVe(ti)2/3</i>	ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico típico textura média/argilosa	2	8,67	0,0352	0,0159
<i>PVd(ab)1/2</i>	ARGISSOLO VERMELHO Distrófico abruptico textura arenosa/média	7	6,32	0,0758	0,0307
<i>PVd(ab)1/3</i>	ARGISSOLO VERMELHO Distrófico abruptico textura arenosa/argilosa	2	3,09	0,0690	0,0170
<i>PVd(ab)2/3</i>	ARGISSOLO VERMELHO Distrófico abruptico textura média/argilosa	1	6,09	0,0525	0,0176
<i>PVd(ar)1/2</i>	ARGISSOLO VERMELHO Distrófico arênico textura arenosa/média	1	8,14	0,0669	0,0324
<i>PVd(ti)1/2</i>	ARGISSOLO VERMELHO Distrófico típico textura arenosa/média	2	8,73	0,0581	0,0276
<i>PVd(ti)2</i>	ARGISSOLO VERMELHO Distrófico típico textura média	2	8,91	0,0537	0,0274
<i>PVd(ti)2/3</i>	ARGISSOLO VERMELHO Distrófico típico textura média/argilosa	3	8,86	0,0399	0,0178

<i>Id.</i>	<i>Cambissolos</i>	<i>n.</i>	<i>H1m.</i>	<i>H.A.</i>	<i>H.B.</i>
<i>CXe(ti)2/3</i>	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico típico textura média/argilosa	1	8,71	0,0283	0,0104
<i>CXe(la)2</i>	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico latossólico textura média	1	8,33	0,0691	0,0324
<i>CXef(la)3</i>	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutróférico latossólico textura argilosa	1	13,48	0,0094	0,0078

<i>Id.</i>	<i>Latossolos</i>	<i>n.</i>	<i>H1m.</i>	<i>H.A.</i>	<i>H.B.</i>
<i>LVAad(ag)2</i>	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico argissólico textura média	1	9,11	0,0451	0,0263
<i>LVAad(ti)2</i>	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico textura média	1	14,79	0,0342	0,0311
<i>LVe(ti)2</i>	LATOSSOLO VERMELHO Eutrófico típico textura média	12	11,34	0,0571	0,0369
<i>LVef(ti)3</i>	LATOSSOLO VERMELHO Eutróférico típico textura argilosa	1	10,86	0,0131	0,0088
<i>LVd(ti)2</i>	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico textura média	12	12,26	0,0460	0,0333

<i>Id.</i>	<i>Neossolos</i>	<i>n.</i>	<i>H1m.</i>	<i>H.A.</i>	<i>H.B.</i>
<i>RLe(fr)2</i>	NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico fragmentário textura média	3	13,75	0,0440	0,0349
<i>RLe(fr)3</i>	NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico fragmentário textura argilosa	1	14,62	0,0179	0,0163

<i>Id.</i>	<i>Nitossolos</i>	<i>n.</i>	<i>H1m.</i>	<i>H.A.</i>	<i>H.B.</i>
<i>NVef(ti)2/3</i>	NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico típico textura média/argilosa	1	11,94	0,0210	0,0119
<i>NVef(ti)3</i>	NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico típico textura argilosa	1	11,97	0,0178	0,0089
<i>NVef(ti)3/4</i>	NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico típico textura argilosa/muito argilosa	1	10,47	0,0148	0,0072

*Id.* = identificador da classe de solo; *n.* = número de amostras individuais que compuseram e o valor médio; *H.A.* = horizonte A; *H.B.* = horizonte B; *H1m.* = horizonte considerado à 1m de profundidade.

Para a erodibilidade do solo no horizonte superficial *H.A.* (Tabela 1), foi observado que o fator K, em função da grande variedade de tipos de solos estudados, apresentou uma grande amplitude dos dados, com valores entre 0,0131

[LVAe(ti)3] e 0,0758 t ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> [PVd(ab)1/2]. Já no horizonte sub-superficial *H.B.*, os valores foram consistentemente menores, bem como sua variação, apresentando valores entre 0,0072 t ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>

[N<sub>Ve</sub>(ti)<sup>3/4</sup>] e 0,0369 t ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> [(L<sub>Ve</sub>(ti)<sup>2</sup>]. Assim, os dados observados (Tabela 1) apresentaram-se em consonância com a tendência dos dados obtidos por Demarchi & Zimback (2014), bem como pelos dados observados no trabalho de Manningel et al. (2002), onde ambos os trabalhos apresentaram resultados oriundos da aplicação metodológica de Bouyuocos (1935) em solos do Estado de São Paulo.

Por outro lado, se for observado os dados médios dos Argissolos, que foram os solos mais expressivos na região, será notado que apresentou um valor acima da média de 0,0425 t ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> que foi apontado por Silva & Alvares (2005) ao elaborarem um banco de informações sobre erodibilidade dos solos ocorrentes no Estado de São Paulo. Porém, ressalta-se que tais autores incorporaram resultados de diversas metodologias. Assim, apesar das dificuldades e das limitações técnicas, os dados gerais apontados no presente estudo podem ser utilizados como parâmetros importantes sobre a erodibilidade na região da bacia hidrográfica do baixo São José dos Dourados.

De acordo com Castro et al. (2011), a erodibilidade do solo pode ser definida em classes segundo seu potencial. Portanto, podem ser verificadas as seguintes classificações:  $K <$

0,0090 (muito baixa),  $0,0090 < K \leq 0,0150$  (baixa),  $0,0150 < K \leq 0,0300$  (média),  $0,0300 < K \leq 0,0450$  (alta),  $= 0,0450 < K \leq 0,0600$  (muito alta), e  $K > 0,0600$  (extremamente alta), sendo  $K =$  a erodibilidade do solo. Nesse sentido, na Tabela 1, nota-se que os solos mais críticos se enquadraram na ordem dos Argissolos, apresentando as classes com os maiores valores de erodibilidade (extremamente alta). Assim, com base no que foi observado (Tabela 1), pode-se inferir de um modo geral, mas de maneira coerente, principalmente devido ao grande número de amostragens realizadas, que no planalto ocidental da bacia hidrográfica do baixo São José dos Dourados os solos mais suscetíveis ambientalmente foram os do tipo P<sub>Ve</sub>(ab)1/2, P<sub>Ve</sub>(ab)1/3, P<sub>Ve</sub>(ar)1/2, P<sub>Ve</sub>(ti)1/2, P<sub>Vd</sub>(ab)1/2, P<sub>Vd</sub>(ab)1/3 e, P<sub>Vd</sub>(ar)1/2, pois estes apresentaram não apenas os maiores valores de erodibilidade, mas também os menores valores de tolerância de perda.

### Análise estatística descritiva

Tendo em vista avaliar as correlações entre os atributos estudados, na Tabela 2 foi apresentada a análise estatística descritiva dos atributos analisados para os solos das 93 trincheiras amostradas.

**Tabela 2.** Análise estatística descritiva dos atributos do solo estudados na bacia hidrográfica do baixo São José dos Dourados.

Atributos <sup>(a)</sup>	Medidas estatísticas descritivas							
	Média	Mediana	Valor		Desvio Padrão	Variação (%)	Coeficiente	
			Mínimo	Máximo			Curtose	Assimetria
<i>Atributos Dependentes</i>								
$K_{H.A.}$ (t ha h ha <sup>-1</sup> MJ <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> )	0,0553	0,0554	0,0094	0,0924	0,018	32,9	-0,264	-0,411
$K_{H.B.}$ (t ha h ha <sup>-1</sup> MJ <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> )	0,0275	0,0279	0,0071	0,0426	0,009	31,6	-0,339	-0,334
$T_{im.}$ (t ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	8,992	9,009	2,999	15,310	3,299	36,6	-0,440	-0,070
<i>Atributos Independentes</i>								
$Al^{+3}_{H.A.}$ (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,63	2,00	0,00	14,00	2,250	85,5	8,476	2,533
$Al^{+3}_{H.B.}$ (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	5,79	2,75	0,00	29,00	5,810	100,3	1,787	1,360
$C_{H.A.}$ (g dm <sup>-3</sup> )	0,93	0,86	0,46	3,46	0,450	48,0	3,119	2,993
$C_{H.B.}$ (g dm <sup>-3</sup> )	0,33	0,31	0,19	0,92	0,112	33,5	2,715	0,733
$Ca^{+2}_{H.A.}$ (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	30,80	23,30	7,00	189,50	26,984	87,6	15,794	3,499
$Ca^{+2}_{H.B.}$ (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	20,00	16,60	1,75	121,60	18,164	90,8	10,383	2,601

$H^+ + Al^{+3}_{H.A.}$ ( $mmol_c dm^{-3}$ )	20,60	20,00	9,00	40,00	4,862	23,5	2,624	0,875
$H^+ + Al^{+3}_{H.B.}$ ( $mmol_c dm^{-3}$ )	19,11	17,20	10,30	53,00	6,960	36,4	6,199	1,935
$K^+_{H.A.}$ ( $mmol_c dm^{-3}$ )	2,25	1,70	0,30	11,20	1,757	78,1	8,132	2,391
$K^+_{H.B.}$ ( $mmol_c dm^{-3}$ )	1,88	1,15	0,16	15,30	2,327	123,7	17,660	3,754
$m\%_{H.A.}$	8,32	5,50	0,00	37,00	8,653	104,0	2,904	1,844
$m\%_{H.B.}$	21,19	8,25	0,00	73,20	22,230	104,9	-0,814	0,881
$Mg^{+2}_{H.A.}$ ( $mmol_c dm^{-3}$ )	10,12	9,00	2,00	22,00	4,684	46,3	0,405	1,041
$Mg^{+2}_{H.B.}$ ( $mmol_c dm^{-3}$ )	9,76	8,33	0,33	26,60	6,293	64,5	0,160	0,934
$MO_{H.A.}$ ( $g dm^{-3}$ )	16,20	15,00	8,00	60,00	7,225	44,6	14,698	3,073
$MO_{H.B.}$ ( $g dm^{-3}$ )	5,77	5,33	3,00	16,00	1,960	33,9	9,600	2,708
$N_{H.A.}$ ( $g dm^{-3}$ )	0,81	0,74	0,40	2,98	0,357	44,2	14,937	3,117
$N_{H.B.}$ ( $g dm^{-3}$ )	0,29	0,27	0,16	0,79	0,096	33,3	9,472	2,698
$P_{H.A.}$ ( $mg dm^{-3}$ )	6,42	3,65	0,10	31,85	6,251	97,3	3,708	1,919
$P_{H.B.}$ ( $mg dm^{-3}$ )	1,62	1,20	0,16	6,30	1,434	88,5	3,307	3,307
$pHC_{H.A.}$	5,09	5,00	4,25	7,20	0,558	10,9	2,587	1,318
$pHC_{H.B.}$	5,08	5,15	4,10	6,76	0,696	13,7	-1,104	0,192
$pHH_{H.A.}$	5,94	5,90	4,90	7,60	0,453	7,6	1,554	0,912
$pHH_{H.B.}$	5,79	5,70	4,62	7,63	0,653	11,3	-0,717	0,259
$pHK_{H.A.}$	4,83	4,75	4,00	7,00	0,514	6,1	3,946	1,485
$pHK_{H.B.}$	4,68	4,67	3,80	6,30	0,540	11,5	-0,399	0,291
$S_{H.A.}$ ( $mmol_c dm^{-3}$ )	43,22	34,66	12,0	205,50	30,403	70,3	11,186	2,927
$S_{H.B.}$ ( $mmol_c dm^{-3}$ )	31,67	30,00	4,75	135,33	22,476	70,9	4,895	1,855
$S-SO4_{H.A.}$ ( $mg dm^{-3}$ )	2,85	2,50	0,00	9,00	1,326	46,5	7,634	2,066
$S-SO4_{H.B.}$ ( $mg dm^{-3}$ )	5,01	3,33	0,66	25,00	4,178	83,4	6,094	2,174
$CTC_{H.A.}$ ( $mmol_c dm^{-3}$ )	63,79	55,00	29,66	215,50	29,921	46,9	9,328	2,703
$CTC_{H.B.}$ ( $mmol_c dm^{-3}$ )	50,84	45,66	26,00	145,30	22,215	43,7	4,116	1,920
$V\%_{H.A.}$	63,36	62,00	30,00	95,50	12,457	19,7	0,311	0,011
$V\%_{H.B.}$	56,94	62,00	16,00	93,00	19,185	33,7	-0,925	-0,925

<sup>(a)</sup> Atributos do solo onde:  $K$  = erodibilidade do solo,  $T$  = tolerância de perda,  $Al^{+3}$  = alumínio trocável,  $C$  = carbono orgânico,  $Ca^{+2}$  = cálcio,  $H^+ + Al^{+3}$  = acidez potencial,  $K^+$  = potássio,  $m\%$  = índice de saturação por alumínio,  $Mg^{+2}$  = magnésio,  $MO$  = matéria orgânica,  $N$  = nitrogênio,  $P$  = fósforo,  $pHC$  = pH em cloreto de cálcio,  $pHH$  = pH em água,  $pHK$  = pH em cloreto de potássio,  $S$  = soma de bases,  $S-SO4$  = sulfato solúvel,  $CTC$  = capacidade de troca catiônica,  $V\%$  = índice de saturação por bases; Atributos precedidos por  $H.A.$  = horizonte A,  $H.B.$  = horizonte B;  $Hlm.$  = horizonte considerado até 1m de profundidade.

Segundo Pimentel-Gomes & Garcia (2002), a variabilidade de um atributo pode ser classificada segundo a magnitude de seu coeficiente de variação (CV), sendo baixo quando: ( $CV \leq 10\%$ ); médio ( $10\% < CV \leq 20\%$ ); alto ( $20\% < CV \leq 30\%$ ) e, muito alto ( $CV > 30\%$ ). Deste modo, um CV elevado indica heterogeneidade dos dados, ao passo que CV baixo é indicador de homogeneidade. Assim, na Tabela 2, o que chama a atenção é o elevadíssimo coeficiente de variação apontado para a grande maioria dos atributos estudados, à exceção do pH que de certa forma possui seus valores limitados por um teto máximo. Os demais atributos, em virtude de seus manejos diferenciados, apresentaram uma variabilidade dos dados muito alta. Tal fato é de grande

interesse neste estudo, pois as correlações a serem observadas nas matrizes de correlação (Tabelas 3 e 4) serão representativas de solos cujos valores dos atributos químicos apresentaram-se muito distintos entre si. Portanto, quando uma tendência é observada nas correlações estudadas, considera-se que ela ocorreu de um modo geral, para todas as distintas condições dos 93 pontos amostrados.

### Análise de correlação

Na Tabela 3 e 4, com o intuito de avaliar as correlações nos diferentes horizontes estudados, foram apresentadas as matrizes de correlação entre a erodibilidade e tolerância de perda com os atributos químicos dos solos da bacia hidrográfica do baixo São José dos Dourados.

**Tabela 3.** Matriz de correlação entre erodibilidade e tolerância de perda com alguns atributos químicos do horizonte A (H.A.) dos solos da bacia hidrográfica do Baixo São José dos Dourados.

<i>Atr.</i> <sup>(a)</sup>	<i>Coefficiente de correlação</i> <sup>(b)</sup>																		
	<i>K<sub>H.A.</sub></i>	<i>K<sub>H.B.</sub></i>	<i>T<sub>1m.</sub></i>	<i>Al<sup>+3</sup></i>	<i>C</i>	<i>Ca<sup>+2</sup></i>	<i>H<sup>+</sup>+Al<sup>+3</sup></i>	<i>K<sup>+</sup></i>	<i>m%</i>	<i>Mg<sup>+2</sup></i>	<i>MO</i>	<i>N</i>	<i>P</i>	<i>pHC</i>	<i>pHH</i>	<i>pHK</i>	<i>S</i>	<i>S-SO4</i>	<i>CTC</i>
<i>K<sub>H.B.</sub></i>	0,514**																		
<i>T<sub>1m.</sub></i>	-0,673**	0,245*																	
<i>Al<sup>+3</sup></i>	-0,024 <sup>ns</sup>	0,018 <sup>ns</sup>	0,047 <sup>ns</sup>																
<i>C</i>	-0,546**	-0,407**	0,281**	-0,251*															
<i>Ca<sup>+2</sup></i>	-0,487**	-0,450**	0,191 <sup>ns</sup>	-0,403**	0,631**														
<i>H<sup>+</sup>+Al<sup>+3</sup></i>	-0,215*	0,011 <sup>ns</sup>	0,263*	0,355**	0,322**	-0,185 <sup>ns</sup>													
<i>K<sup>+</sup></i>	-0,175 <sup>ns</sup>	-0,253*	0,016 <sup>ns</sup>	-0,124 <sup>ns</sup>	0,124 <sup>ns</sup>	0,183 <sup>ns</sup>	-0,015 <sup>ns</sup>												
<i>m%</i>	0,082 <sup>ns</sup>	0,151 <sup>ns</sup>	0,008 <sup>ns</sup>	0,851**	-0,311**	-0,476**	0,209*	-0,272**											
<i>Mg<sup>+2</sup></i>	-0,471**	-0,421**	0,193 <sup>ns</sup>	-0,172 <sup>ns</sup>	0,504**	0,562**	-0,011 <sup>ns</sup>	0,527**	-0,452**										
<i>MO</i>	-0,546**	-0,403**	0,286**	-0,256*	0,995**	0,629**	0,333**	0,150 <sup>ns</sup>	-0,315**	0,509**									
<i>N</i>	-0,546**	-0,407**	0,282**	-0,252*	1,000**	0,631**	0,321**	0,124 <sup>ns</sup>	-0,312**	0,505**	0,995**								
<i>P</i>	-0,050 <sup>ns</sup>	-0,093 <sup>ns</sup>	-0,049 <sup>ns</sup>	-0,149 <sup>ns</sup>	0,192 <sup>ns</sup>	0,211*	0,039 <sup>ns</sup>	0,098 <sup>ns</sup>	-0,187 <sup>ns</sup>	0,194 <sup>ns</sup>	0,195 <sup>ns</sup>	0,192 <sup>ns</sup>							
<i>pHC</i>	-0,288**	-0,353**	0,041 <sup>ns</sup>	-0,568**	0,403**	0,763**	-0,469**	0,160 <sup>ns</sup>	-0,621**	0,472**	0,395**	0,405**	0,117 <sup>ns</sup>						
<i>pHH</i>	-0,299**	-0,332**	0,054 <sup>ns</sup>	-0,534**	0,423**	0,733**	-0,460**	0,165 <sup>ns</sup>	-0,571**	0,481**	0,415**	0,425**	0,156 <sup>ns</sup>	0,889**					
<i>pHK</i>	-0,265*	-0,315**	0,029 <sup>ns</sup>	-0,517**	0,459**	0,763**	-0,446**	0,072 <sup>ns</sup>	-0,513**	0,433**	0,453**	0,461**	0,154 <sup>ns</sup>	0,900**	0,923**				
<i>S</i>	-0,514**	-0,480**	0,199 <sup>ns</sup>	-0,393**	0,646**	0,987**	-0,166 <sup>ns</sup>	0,301**	-0,509**	0,682**	0,647**	0,647**	0,223*	0,760**	0,735**	0,749**			
<i>S-SO4</i>	-0,110 <sup>ns</sup>	-0,043 <sup>ns</sup>	0,084 <sup>ns</sup>	0,126 <sup>ns</sup>	0,041 <sup>ns</sup>	-0,049 <sup>ns</sup>	0,007 <sup>ns</sup>	0,133 <sup>ns</sup>	0,138 <sup>ns</sup>	0,037 <sup>ns</sup>	0,043 <sup>ns</sup>	0,040 <sup>ns</sup>	0,000 <sup>ns</sup>	-0,107 <sup>ns</sup>	-0,134 <sup>ns</sup>	-0,127 <sup>ns</sup>	-0,032 <sup>ns</sup>		
<i>CTC</i>	-0,558**	-0,484**	0,247*	-0,339**	0,707**	0,970**	-0,007 <sup>ns</sup>	0,304**	-0,481**	0,691**	0,710**	0,707**	0,231*	0,694**	0,670**	0,687**	0,987**	-0,032 <sup>ns</sup>	
<i>V%</i>	-0,293**	-0,421**	-0,001 <sup>ns</sup>	-0,593**	0,402**	0,757**	-0,431**	0,369**	-0,790**	0,709**	0,402**	0,403**	0,198 <sup>ns</sup>	0,823**	0,796**	0,747**	0,803**	-0,056 <sup>ns</sup>	0,744**

<sup>(a)</sup> Atributos do solo onde: *K<sub>H.A.</sub>*, *K<sub>H.B.</sub>* são respectivamente a erodibilidade no horizonte A e B, *T<sub>1m.</sub>* = tolerância de perda considerando o perfil até 1 metro de profundidade, *Al<sup>+3</sup>* = alumínio trocável, *C* = carbono orgânico, *Ca<sup>+2</sup>* = cálcio, *H<sup>+</sup>+Al<sup>+3</sup>* = acidez potencial, *K<sup>+</sup>* = potássio, *m%* = índice de saturação por alumínio, *Mg<sup>+2</sup>* = magnésio, *MO* = matéria orgânica, *N* = nitrogênio, *P* = fósforo; *pHC* = pH em cloreto de cálcio, *pHH* = pH em água, *pHK* = pH em cloreto de potássio, *S* = soma de bases, *S-SO4* = sulfato solúvel, *CTC* = capacidade de troca catiônica, *V%* = índice de saturação por bases; <sup>(b)</sup> \* = significativo ao nível de 5% de probabilidade, \*\* = significativo ao nível de 1% de probabilidade; <sup>ns</sup> = não significativo.

**Tabela 4.** Matriz de correlação entre erodibilidade e tolerância de perda com alguns atributos químicos do horizonte B (H.B.) dos solos da bacia hidrográfica do Baixo São José dos Dourados.

Atr. <sup>(a)</sup>	Coeficiente de correlação <sup>(b)</sup>																		
	$K_{H.A.}$	$K_{H.B.}$	$T_{1m.}$	$Al^{+3}$	$C$	$Ca^{+2}$	$H^+ + Al^{+3}$	$K^+$	$m\%$	$Mg^{+2}$	$MO$	$N$	$P$	$pHC$	$pHH$	$pHK$	$S$	$S-SO4$	$CTC$
$K_{H.B.}$	0,514**																		
$T_{1m.}$	-0,673**	0,245*																	
$Al^{+3}$	-0,006 <sup>ns</sup>	0,070 <sup>ns</sup>	0,049 <sup>ns</sup>																
$C$	-0,306**	-0,221*	0,197 <sup>ns</sup>	0,044 <sup>ns</sup>															
$Ca^{+2}$	-0,375**	-0,460**	0,072 <sup>ns</sup>	-0,478**	0,160 <sup>ns</sup>														
$H^+ + Al^{+3}$	-0,081 <sup>ns</sup>	-0,011 <sup>ns</sup>	0,099 <sup>ns</sup>	0,879**	0,219*	-0,298**													
$K^+$	0,024 <sup>ns</sup>	-0,126 <sup>ns</sup>	-0,118 <sup>ns</sup>	-0,197 <sup>ns</sup>	0,191 <sup>ns</sup>	0,247*	-0,046 <sup>ns</sup>												
$m\%$	-0,021 <sup>ns</sup>	0,144 <sup>ns</sup>	0,098 <sup>ns</sup>	0,850**	-0,044 <sup>ns</sup>	-0,600**	0,618**	-0,293**											
$Mg^{+2}$	-0,056 <sup>ns</sup>	-0,399**	-0,205 <sup>ns</sup>	-0,101 <sup>ns</sup>	0,181 <sup>ns</sup>	0,442**	0,197 <sup>ns</sup>	0,383**	-0,428**										
$MO$	-0,295**	-0,214*	0,189 <sup>ns</sup>	0,038 <sup>ns</sup>	0,995**	0,160 <sup>ns</sup>	0,211*	0,187 <sup>ns</sup>	-0,045 <sup>ns</sup>	0,162 <sup>ns</sup>									
$N$	-0,309**	-0,225*	0,198 <sup>ns</sup>	0,051 <sup>ns</sup>	1,000**	0,155 <sup>ns</sup>	0,226*	0,192 <sup>ns</sup>	-0,037 <sup>ns</sup>	0,184 <sup>ns</sup>	0,995**								
$P$	-0,109 <sup>ns</sup>	0,045 <sup>ns</sup>	0,163 <sup>ns</sup>	-0,162 <sup>ns</sup>	0,269**	0,270**	-0,131 <sup>ns</sup>	0,089 <sup>ns</sup>	-0,143 <sup>ns</sup>	-0,031 <sup>ns</sup>	0,267**	0,265*							
$pHC$	-0,119 <sup>ns</sup>	-0,276**	-0,075 <sup>ns</sup>	-0,797**	-0,014 <sup>ns</sup>	0,734**	-0,665**	0,265*	-0,859**	0,264*	-0,004 <sup>ns</sup>	-0,021 <sup>ns</sup>	0,206*						
$pHH$	-0,049 <sup>ns</sup>	-0,259*	-0,143 <sup>ns</sup>	-0,709**	-0,046 <sup>ns</sup>	0,701**	-0,595**	0,287**	-0,806**	0,337**	-0,040 <sup>ns</sup>	-0,052 <sup>ns</sup>	0,148 <sup>ns</sup>	0,926**					
$pHK$	-0,133 <sup>ns</sup>	-0,271**	-0,062 <sup>ns</sup>	-0,771**	-0,043 <sup>ns</sup>	0,702**	-0,682**	0,244*	-0,789**	0,225*	-0,041 <sup>ns</sup>	-0,050 <sup>ns</sup>	0,186 <sup>ns</sup>	0,940**	0,926**				
$S$	-0,311**	-0,486**	-0,010 <sup>ns</sup>	-0,439**	0,198 <sup>ns</sup>	0,955**	-0,194 <sup>ns</sup>	0,408**	-0,638**	0,669**	0,193 <sup>ns</sup>	0,195 <sup>ns</sup>	0,220*	0,696**	0,692**	0,657**			
$S-SO4$	0,173 <sup>ns</sup>	0,100 <sup>ns</sup>	-0,105 <sup>ns</sup>	-0,106 <sup>ns</sup>	-0,190 <sup>ns</sup>	-0,087 <sup>ns</sup>	-0,086 <sup>ns</sup>	0,115 <sup>ns</sup>	-0,072 <sup>ns</sup>	0,114 <sup>ns</sup>	-0,200 <sup>ns</sup>	-0,189 <sup>ns</sup>	0,207*	-0,050 <sup>ns</sup>	-0,054 <sup>ns</sup>	-0,058 <sup>ns</sup>	-0,027 <sup>ns</sup>		
$CTC$	-0,339**	-0,497**	0,019 <sup>ns</sup>	-0,167 <sup>ns</sup>	0,272**	0,873**	0,118 <sup>ns</sup>	0,399**	-0,451**	0,740**	0,265*	0,271**	0,181 <sup>ns</sup>	0,495**	0,514**	0,451**	0,951**	-0,059 <sup>ns</sup>	
$V\%$	-0,055 <sup>ns</sup>	-0,286**	-0,134 <sup>ns</sup>	-0,786**	0,060 <sup>ns</sup>	0,746**	-0,589**	0,344**	-0,958**	0,507**	0,059 <sup>ns</sup>	0,053 <sup>ns</sup>	0,152 <sup>ns</sup>	0,898**	0,863**	0,839**	0,782**	0,048 <sup>ns</sup>	0,606**

<sup>(a)</sup> Atributos do solo onde:  $K_{H.A.}$ ,  $K_{H.B.}$  são respectivamente a erodibilidade no horizonte A e B,  $T_{1m.}$  = tolerância de perda considerando o perfil até 1 metro de profundidade,  $Al^{+3}$  = alumínio trocável,  $C$  = carbono orgânico,  $Ca^{+2}$  = cálcio,  $H^+ + Al^{+3}$  = acidez potencial,  $K^+$  = potássio,  $m\%$  = índice de saturação por alumínio,  $Mg^{+2}$  = magnésio,  $MO$  = matéria orgânica,  $N$  = nitrogênio,  $P$  = fósforo;  $pHC$  = pH em cloreto de cálcio,  $pHH$  = pH em água,  $pHK$  = pH em cloreto de potássio,  $S$  = soma de bases,  $S-SO4$  = sulfato solúvel,  $CTC$  = capacidade de troca catiônica,  $V\%$  = índice de saturação por bases; <sup>(b)</sup> \* = significativo ao nível de 5% de probabilidade, \*\* = significativo ao nível de 1% de probabilidade; <sup>ns</sup> = não significativo.

Na Tabela 3, que se refere à camada superficial  $H.A.$ , observa-se que há elevadas correlações significativas entre a erodibilidade e a tolerância de perda com os demais atributos químicos do solo. Em um primeiro momento é importante ressaltar a interação negativa entre causa e efeito para o par tolerância de perda vs erodibilidade do solo, uma vez que se trata de fatores de forças antagônicas entre si. Assim, quanto maior a erodibilidade, menor será a tolerância de perda para um mesmo solo e vice-versa. Por outro lado, os destaques ficaram para os seguintes conjuntos de pares:  $K_{H.A.}$  vs  $C$  ( $R = -0,546^{**}$ ),  $K_{H.A.}$  vs  $Ca^{+2}$  ( $R = -0,487^{**}$ ),  $K_{H.A.}$  vs  $Mg^{+2}$  ( $R = -0,471^{**}$ ),  $T_{1m.}$  vs  $MO$  ( $R = 0,286^{**}$ ),  $K_{H.A.}$  vs  $pHH$  ( $R = -0,299^{**}$ ).

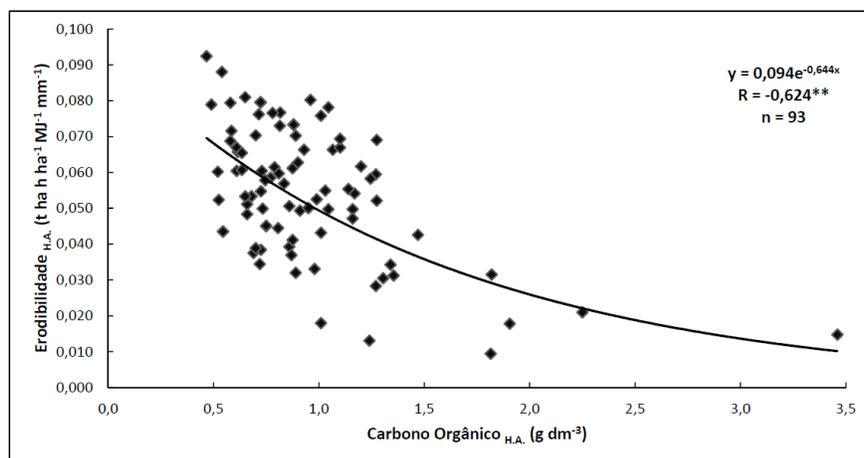
No primeiro caso ( $K_{H.A.}$  vs  $C$ ) observa-se que o carbono orgânico exerceu uma ação inversa entre causa e efeito para com a erodibilidade do solo, ou seja, quanto maior o teor de carbono orgânico ( $C$ ) menor a erodibilidade do solo. Situação essa proporcionada, muito provavelmente, pela melhoria das condições físicas e estrutural do solo que o material orgânico tende a proporcionar, conforme tem sido apontado tanto pela literatura clássica (Resende et al., 1988), quanto por trabalhos mais recentes sobre a influência do material orgânico no solo (Vezzani & Mielniczuk, 2009). Tal correlação ainda é reforçada pelos resultados das interações observadas nos demais atributos que compõe o ciclo do carbono como a matéria orgânica ( $MO$ ) e o nitrogênio ( $N$ ), os quais apresentaram a mesma tendência quando pareados com a erodibilidade do solo.

Ainda na Tabela 3, nos segundo e terceiro casos ( $K_{H.A.}$  vs  $Ca^{+2}$  e  $K_{H.A.}$  vs  $Mg^{+2}$ ) observou-se que os atributos do complexo catiônico do solo também contribuíram para as melhorias das condições estruturais do solo em relação à erodibilidade, conforme também reforçam os pares de correlação entre erodibilidade e saturação por bases ( $K_{H.A.}$  vs  $S$ ) e, erodibilidade e capacidade de troca catiônica ( $K_{H.A.}$  vs  $CTC$ ).

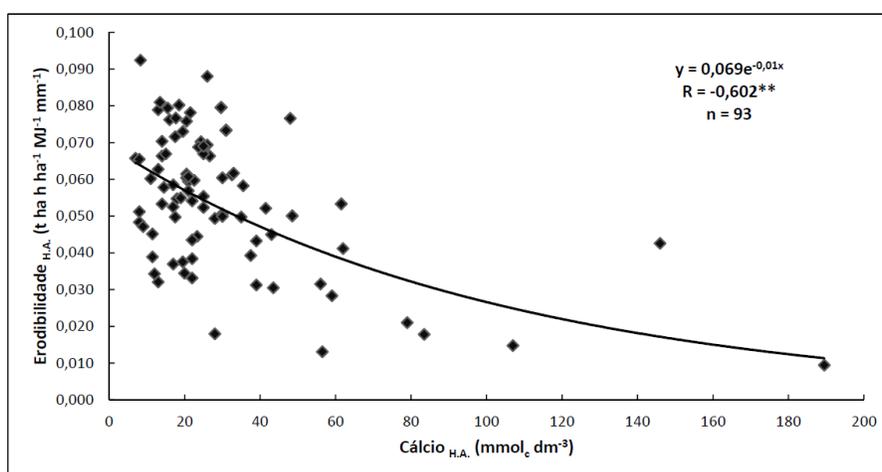
Ressalta-se que, apesar da saturação por bases ( $S$ ) e capacidade de troca catiônica ( $CTC$ ) terem apresentado coeficientes de correlação um pouco mais elevados, do ponto de vista econômico, torna-se mais prático a determinação apenas do atributo químico mais simples. Assim, para as condições da bacia do baixo São José dos Dourados, a qualidade química apontada pelos atributos do complexo catiônico, representada principalmente pelo incremento do  $Ca^{+2}$ , demonstrou exercer um importante papel na redução dos valores da erodibilidade do solo.

Em última análise na Tabela 3, torna-se viável apontar a correlação entre  $K_{H.A.}$  vs  $pHH$ , mesmo que com um coeficiente de correlação menor que os demais atributos avaliados, pois sendo o  $pH$  em água um atributo de rápida e fácil determinação, ele apresenta-se como um interessante parâmetro para uma avaliação mais generalizada das condições dos solos. Assim, essa correlação apontou uma interação negativa entre causa e efeito, ou seja, nos solos mais ácidos (considerados quimicamente pobres no sentido do complexo catiônico), tem-se o aumento da erodibilidade do solo. Já ao que se refere à tolerância de perda ( $T$ ), observou-se uma correlação positiva e estatisticamente significativa com a matéria orgânica ( $T_{1m.}$  vs  $MO$ ), e, conforme discutido anteriormente, os atributos do ciclo orgânico tendem a melhorar as propriedades físicas do solo, elevando seu potencial de resistir à erosão. Logo, tal relação mostrou-se totalmente coerente com as bases teóricas.

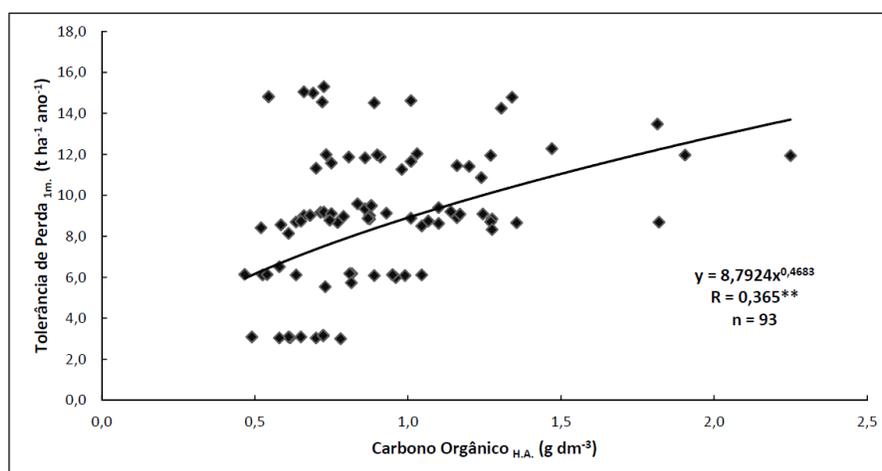
Deste modo, com base no observado na Tabela 3, e tendo em vista que os atributos químicos que apresentaram interação são passíveis de manejo, trabalhou-se nas melhores modelagens de regressão com a erodibilidade do solo e com a tolerância de perda para os solos da região do planalto ocidental da bacia hidrográfica do baixo São José dos Dourados, as quais são apresentadas nas Figuras 1, 2, e 3.



**Figura 1.** Curva de regressão entre a erodibilidade do solo e o carbono orgânico no horizonte A.



**Figura 2.** Curva de regressão entre a erodibilidade do solo e o cálcio disponível no horizonte A.



**Figura 3.** Curva de regressão entre a tolerância de perda do solo e o carbono orgânico no horizonte A.

Apesar dos dados apontarem um grande número de correlações entre os atributos químicos do solo com a erodibilidade (Tabela

3), e considerando a melhor praticidade do ponto de vista da determinação do atributo individual, bem como da adoção de boas

práticas de manejo, ficou evidenciado que o carbono orgânico (C) e o cálcio disponível ( $\text{Ca}^{+2}$ ) foram os atributos que melhor demonstraram as interações diretas para as condições da região, podendo, portanto, serem tomados como os melhores indicadores da

qualidade química dos solos estudados, quando destinado à avaliação da erodibilidade.

Deste modo, as equações que melhor representaram essas interações foram dadas por:

$$K_{H.A.} = 0,094. \exp^{-0,644.C_{H.A.}} \quad (p < 0,01; r = -0,624) \quad (3)$$

$$K_{H.A.} = 0,069. \exp^{-0,009.Ca_{H.A.}^{+2}} \quad (p < 0,01; r = -0,602) \quad (4)$$

onde:  $K_{H.A.}$  representou o fator erodibilidade do solo no horizonte A ( $\text{t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ), o  $C_{H.A.}$  representou o carbono orgânico no horizonte A ( $\text{g dm}^{-3}$ ), e o  $Ca_{H.A.}^{+2}$  representou o cálcio disponível no horizonte A ( $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ).

Por outro lado, a interação entre a tolerância de perda e os atributos do ciclo do carbono do solo pôde ser melhor apresentada por meio da seguinte equação:

$$T_{1m.} = 8,792. C_{H.A.}^{0,468} \quad (p < 0,01; r = 0,365) \quad (5)$$

onde:  $T_{1m.}$  representou a tolerância de perda do solo no perfil até 1m de profundidade ( $\text{t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) e o  $C_{H.A.}$  representou o carbono orgânico no horizonte A ( $\text{g dm}^{-3}$ ).

proporcionar melhor qualidade ambiental do solo e conseqüentemente uma maior resistência do solo à erosão, e vice-versa.

Logo, sendo estes atributos passíveis de alteração pelo manejo do solo, em detrimento a alguns atributos físicos do solo que não o são, tal informação permite inferir que a ação antrópica pode influenciar de forma decisiva no fator erodibilidade dos solos. Assim, para a área de estudo, os manejos que possibilitem melhores condições do sistema do complexo orgânico (ciclo do nitrogênio: C, N, MO) e do complexo catiônico ( $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$ ) tendem a

Apesar do menor interesse prático, a camada sub-superficial também apresentou importantes informações de interesse científico (Tabela 4), uma vez que as correlações observadas entre erodibilidade e os atributos químicos do solo apontaram as mesmas tendências observadas na camada superficial, reforçando os resultados obtidos. Portanto, as melhores interações para o horizonte B foram modeladas e apresentadas nas Figuras 4 e 5.

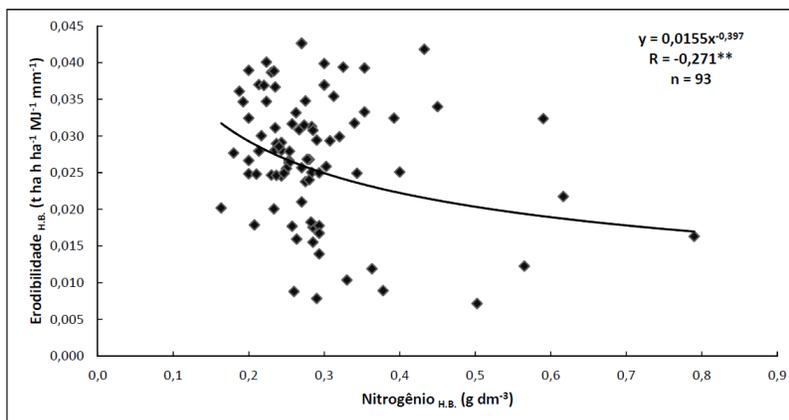
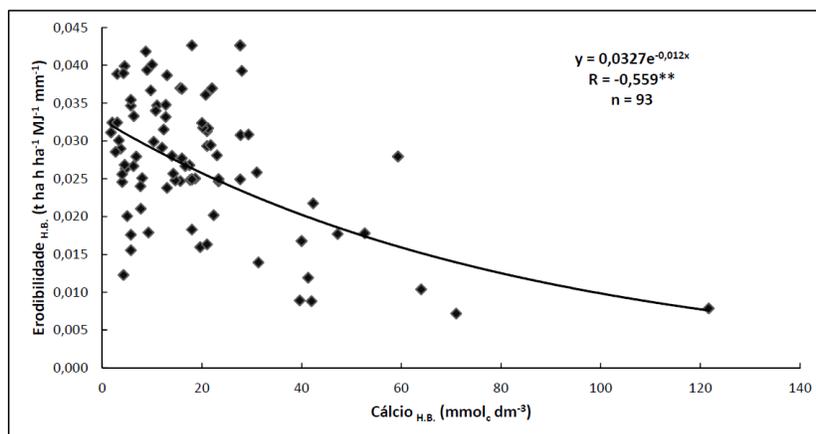


Figura 4. Curva de regressão entre erodibilidade do solo e o nitrogênio no horizonte B.



**Figura 5.** Curva de regressão entre erodibilidade do solo e o cálcio disponível no horizonte B.

Assim, com base nas Figuras 4 e 5, bem como com as informações observadas na Tabela 4, ficou evidenciada a influência tanto dos atributos do complexo catiônico, como também dos atributos do ciclo do carbono, uma vez que ambos apresentaram correlações indiretas entre causa e efeito, indicando que a elevação nos valores destes atributos proporcionaria uma redução da erodibilidade dos solos.

Por fim, a avaliação das regressões múltiplas, apesar de terem indicado interações

significativas, não apresentaram resultados que superassem as correlações dos conjuntos de pares individuais dadas entre a erodibilidade com os atributos independentes do solo. Por outro lado, a tolerância de perda apresentou um melhor resultado quando dado em função da interação conjunta com a acidez potencial do horizonte A e com o magnésio e fósforo do horizonte A e B. Assim, foi obtida a seguinte expressão:

$$T_{1m.} = 4,115 + 0,182.H^+Al_{H.A.}^{+3} + 0,293.Mg_{H.A.}^{+2} - 0,203.Mg_{H.B.}^{+2} - 0,091.P_{H.A.} + 0,447.P_{H.B.} \quad (r^2 = 0,270) \quad (6)$$

onde:  $T_{1m.}$  = tolerância de perda do solo no perfil até 1m de profundidade ( $t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ ),  $H^+Al_{H.A.}^{+3}$  = acidez potencial no horizonte A ( $mmol_c\ dm^{-3}$ ),  $Mg_{H.A.}^{+2}$  e  $Mg_{H.B.}^{+2}$  = magnésio disponível nos horizontes A e B ( $mmol_c\ dm^{-3}$ )

e,  $P_{H.A.}$  e  $P_{H.B.}$  = fósforo disponível nos horizontes A e B ( $mg\ dm^{-3}$ ).

Deste modo, com base na interação múltipla desses atributos químicos do solo, a tolerância de perda pôde ser indiretamente explicada com uma maior probabilidade de acerto.

## CONCLUSÕES

1. Dos solos estudados, aqueles que apresentaram maior susceptibilidade ambiental foram os Argissolos Vermelhos de natureza abrupática;
2. A erodibilidade do solo e a tolerância de perda são fortemente influenciadas pela

- qualidade química do solo e conseqüentemente por seu manejo;
3. A erodibilidade do solo pode ser determinada tanto por meio do carbono orgânico quanto pelo teor de cálcio disponível através de equação de elevada significância estatística, e

4. Para as condições da bacia hidrográfica do baixo São José dos Dourados, as práticas de manejo do solo que visam melhorias nas condições do sistema do complexo orgânico e

do complexo catiônico proporcionam uma melhor qualidade ambiental dos solos e consequentemente uma maior resistência à erosão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. 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.
2. ARRAES, C.L.; BUENO, C.R.P.; PISSARRA, T.C.T. Estimativa da erodibilidade do solo para fins conservacionistas na microbacia córrego do Tijuco, SP. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 6, p. 849-857, 2010.
3. BAVER, L.D. **Física de suelos**. México: Unión Tipográfica Editorial Hispano-Americana, 529 p., 1973.
4. BERTOL, I. & ALMEIDA, J.A. Tolerância de perda de solo por erosão para os principais solos do estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 657-668, 2000.
5. BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação dos solos**. São Paulo: Ícone, 355 p., 2005.
6. BOUYOCOS, G.J. The Clay ratio as a criterion of susceptibility of soils to erosion. **Journal of the American Society of Agronomy**, v. 27, p. 738-741, 1935.
7. CASTRO, W.J.; LEMKE-DE-CASTRO, M.L.; LIMA, J.O.; OLIVEIRA, L.F.C.; RODRIGUES, C.; FIGUEIREDO, C.C. Erodibilidade de solos do cerrado goiano. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 4, n. 2, p. 305-320, 2011.
8. CHAVES, T.A.; GOMES, R.A.T.; MARTINS, E.S.; CARVALHO JÚNIOR, O.A.; BRAGA, A.R.S.; GUIMARÃES, R.F. Mapa de erodibilidade dos solos da bacia do rio Jardim-DF. **Espaço & Geografia**, v. 13, n. 2, p. 253-276, 2010.
9. DEMARCHI, J.C. & ZIMBACK, C.R.L. Mapeamento, erodibilidade e tolerância de perda de solo na sub-bacia do ribeirão das Perobas. **Energia na Agricultura**, v. 29, n. 2, p. 102-114, 2014.
10. DENARDIN, J.E. **Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. Piracicaba, 1990. 81p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
11. EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise do solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. (numeração capitulada).
12. EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Embrapa, 627 p., 2009.
13. HUDSON, N. **Conservacion del suelo**. Barcelona: Reverté, 352 p., 1982.
14. 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.
15. LOMBARDI NETO, F. & BERTONI, J. **Tolerância de perdas de terra para solos do estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 12 p., 1975. (Boletim Técnico, 28).
16. MANNIGEL, A.R.; CARVALHO, M.P.; MORETI, D.M.; MEDEIROS, L.R. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002.
17. MARQUES, J.J.G.S.M.; CURTI, N.; FERREIRA, M.M.; LIMA, J.M.; SILVA, M.L.N.; CAROLINO de SÁ, M.A. Adequação de métodos indiretos para estimativa da erodibilidade de solos com horizonte B textural no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 447-456, 1997.
18. NUNES, J.G.; CAMPO, M.C.C.; OLIVEIRA, F.P.; NUNES, J.C. Tolerância de perda de solo por erosão na região sul do Amazonas. **Revista Ambienta**, v. 8, n. 3, p. 859-868, 2012.
19. OLIVEIRA, F.P.; SANTOS, D.; SILVA, I.F.; SILVA, M.L.N. Tolerância de Perda de Solo por Erosão para o Estado da Paraíba. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 8, n. 2, p. 60-71, 2008.
20. PIMENTEL-GOMEZ, F. & GARCIA, C.H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: Fealq, 309 p., 2002.
21. RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres/Potafos, 343 p., 1991.
22. RESENDE, M.; CURTI, N.; SANTANA, D.P. **Pedologia e fertilidade do solo**: interações e aplicações. Brasília: Mec/Potafos, 81p., 1988.
23. SILVA, A.M. & ALVARES, A.C. Levantamento de informações e estruturação de um banco de dados sobre erodibilidade de classes de solo no estado de São Paulo. **Geociências**, v. 24, n. 1, p. 33-42, 2005.
24. 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.
25. VEZZANI, F. M. & MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 743-755, 2009.
26. VIEIRA, V.F. Estimativa de perdas de solo por erosão hídrica em uma sub-bacia hidrográfica. **Revista Geografia**, v. 17, n. 1, p. 73-81, 2008.

*Manuscrito recebido em: 19 de Maio de 2015  
Revisado e Aceito em: 22 de Setembro de 2015*