

## Erodibilidade e tolerância de perda de solos no planalto ocidental da 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>(3)</sup>**  
**Nídia Raquel Costa<sup>(4)</sup>; Rafael Montanari<sup>(5)</sup>.**

<sup>(1)</sup> Professor; Universidade Estadual Paulista; Ilha Solteira, São Paulo; E-mail: cesarlima@dec.feis.unesp.br

<sup>(2)</sup> Professor; Universidade Estadual Paulista

<sup>(3)</sup> Professor; Universidade Estadual Paulista

<sup>(4)</sup> Pós-Doutoranda; Universidade Estadual Paulista

<sup>(5)</sup> Professor; Universidade Estadual Paulista

**RESUMO:** Os processos erosivos representam um dos principais impactos negativos nos solos e constitui um dos grandes desafios ao planejamento conservacionista, pois exige o conhecimento do solo e a adoção de medidas sustentáveis. O objetivo foi determinar a erodibilidade (K) e a tolerância de perdas (T) para 33 tipos de solos da bacia hidrográfica do baixo São José dos Dourados e avaliar as correlações existentes entre estes fatores com alguns atributos físicos. A erodibilidade foi determinada pelo método de Boyoucos. Os atributos físicos avaliados foram: relação textural (RT), densidade da partícula (DP), densidade do solo (DS), porosidade total (PT), macroporosidade (MA), microporosidade (MI) e capacidade de armazenamento de água (CAD). O fator K variou de baixo [LVAe(ti)3] à extremamente alto [PVd(ab)1/2], já os valores de tolerância variaram entre 3,04-14,79 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, ficando em consonância com os valores gerais dos solos brasileiros. Tanto a erodibilidade (K) quanto a tolerância de perdas (T) apresentaram elevadas correlações com a maioria dos atributos físicos, permitindo concluir que são fortemente influenciados pela qualidade física dos atributos da relação massa/volume do solo. Por outro lado, a RT apresentou grande influencia no fator K e na tolerância de perdas, indicando que quanto maior seu valor, maior será a erodibilidade e consequentemente menor será a tolerância. Por fim, os solos de maior susceptibilidade foram os Argissolos Vermelhos, (PVe(ab)1/2, PVe(ab)1/3, PVe(ar)1/2, PVe(ti)1/2, PVd(ab)1/2, PVd(ab)1/3, PVd(ar)1/2), que apresentaram tanto os maiores valores de erodibilidade quanto os menores valores de tolerância.

**Termos de indexação:** atributos físicos do solo, erosão, noroeste paulista.

### INTRODUÇÃO

A erodibilidade dos solos (K) é um importante elemento para o planejamento ambiental uma vez

que representa, de forma direta, a sua suscetibilidade natural aos processos erosivos. Com base nessa premissa, observa-se que vários estudos técnico-científicos têm sido realizados com o intuito de avaliar este fator, como por exemplo, os trabalhos de Castro et al. (2011); Chaves et al. (2010).

Em função das dificuldades técnicas que apresentam os ensaios *in situ*, constata-se que inúmeras pesquisas (Arraes et al., 2010; Lima et al., 2007) têm adotado metodologias indiretas para determinação da erodibilidade, optando por aquela que mais se adeque às características dos solos avaliados.

Por outro lado, a tolerância de perdas do solo (T) também oferece um importante diagnóstico do solo estudado, sendo observado em diversos trabalhos científicos, sua adoção como parâmetro ambiental como se observa em Demarchi & Zimbach (2014); Mannigel et al. (2002); Nunes et al. (2012), os quais apontaram importantes correlações entre a tolerância com atributos físicos do solo.

Diante do exposto, a presente pesquisa objetivou estudar e determinar a erodibilidade e a tolerância de perdas de solo na bacia hidrográfica do Baixo São José dos Dourados e suas correlações com alguns atributos físicos da qualidade ambiental do solo.

### MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi conduzido por meio do Levantamento Taxonômico dos Solos realizado pelo Departamento de Engenharia Rural e Solos da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira-UNESP. A área de estudo compreendeu 41 propriedades rurais da região planáltica da bacia hidrográfica do baixo São José dos Dourados, Noroeste do estado de São Paulo, abrangendo territórios dos municípios de Ilha Solteira, Suzanápolis, Sant'ana da Ponte Pensa, Rubinéia, Nova Canaã Paulista, Aparecida d'Oeste e, Três Fronteiras.

Foram avaliadas 93 amostragens oriundas de trincheiras individuais, divididas em 31 tipos de

solos, e 5 ordens de classificação (Argissolos, Cambissolos, Latossolos, Neossolos, e Nitossolos).

As amostras do solo consideradas foram determinadas conforme metodologias específicas contidas em EMBRAPA (1997). Os atributos físicos foram: a) granulometria, determinada pelo método da pipeta utilizando-se como dispersante o NaOH 1N; b) densidade da partícula, determinada pelo método do balão volumétrico, com álcool etílico como líquido penetrante; c) densidade do solo e) sistema poroso do solo (macroporosidade, microporosidade e porosidade total) todos determinados pelo método do anel volumétrico; f) capacidade de água disponível (CAD). Por outro lado, foi realizada a determinação da relação textural (RT) conforme Demarchi & Zimback (2014).

A erodibilidade do solo foi avaliada de modo indireto por meio da expressão de Bouyoucos, dada conforme Manning et al. (2002).

Já a tolerância de perdas de solo ( $T_{1m}$ ) foi determinada conforme Demarchi & Zimback (2014) utilizando-se da determinação do peso da terra (P), conforme a seguinte expressão:

onde:  $P$  = peso da terra ( $t.m^{-2}$ ),  $h$  = espessura do horizonte considerado (m),  $D_s$  = densidade do solo,  $f$  = fator de conversão inerente a variação textural.

Os dados avaliados foram tabulados e organizados, de forma representativa para o horizonte de trabalho definido como: Horizonte A ( $H_A$  = camada superficial).

Com o auxílio de planilha de cálculos Excel, foi construído a matriz de correlação, e posteriormente realizou-se as modelagens das regressões de maior interesse para as combinações, duas a duas, entre os atributos estudados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os valores de tolerância de perdas e o fator erodibilidade do solo. Em sua análise observa-se que os valores de tolerância variaram entre 3,04 - 14,79 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, ficando em consonância com os valores apontados por Lombardi Neto & Bertoni (1975) para os solos brasileiros, que foi de 4,2 a 15,0 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. Ainda, o resultado observado se mostrou consistente com os dados gerais apresentados nos trabalhos de Mannigel et al. (2002) e Demarchi & Zimback (2014) onde estes autores encontraram respectivamente valores de tolerâncias da ordem de 2,68 - 14,70 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> e 3,08 - 15,90 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para solos das mesmas ordens compreendidas no presente estudo.

## INSERE TABELA 1

Com relação à erodibilidade do solo (Tabela 1), tendo como ênfase o horizonte superficial, observa-se que o fator K variou entre 0,0131 à 0,0758  $t.ha.h^{-1}.MJ^{-1}.mm^{-1}$  respectivamente para LVAe(ti)3 e PVD(ab)1/2. Comparando tais resultado com os dados obtidos por Demarchi & Zimback (2014), bem como por Manningel et al. (2002), observa-se que os valores da erodibilidade para os Argissolos, Latossolos, Cambissolos, Neossolos e Nitossolos, se apresentaram de forma coerente com os valores também observados por ambos os autores ao utilizar a metodologia de determinação de Boyoulos, mesmo considerando as peculiaridades de cada região estudada.

Com base nas classes de erodibilidade disposto em Castro et al. (2011), e considerando os resultados, pode-se inferir de um modo geral, principalmente pelo grande número de amostragens observadas, que no planalto ocidental da bacia hidrográfica do baixo São José dos Dourados os solos mais suscetíveis foram os Argissolos, com especial atenção para PVe(ab)1/2, PVe(ab)1/3, PVe(ar)1/2, PVe(ti)1/2, PVd(ab)1/2, PVd(ab)1/3, PVd(ar)1/2, pois apresentaram os maiores valores de erodibilidade e indicaram os menores valores de tolerância de perdas de solo na bacia.

Na Tabela 2 é apresentada a matriz de correlação onde observa-se elevadas correlações significativas entre erodibilidade e tolerância de perdas com os demais atributos físicos do solo.

## demais atributos não

O destaque (Tabela 2) ficou por conta dos pares K vs CAD e K vs RT, sendo o primeiro de modo indireto, indicando que a erodibilidade é fortemente influenciada pela dinâmica dos atributos de relação massa/volume do solo, pois não apenas com a diminuição da CAD se observaria a elevação da erodibilidade do solo, mas também os demais atributos dessa relação demonstraram essa tendência, tal como a densidade do solo, e as porosidades total, macro e micro, pois apresentaram elevadas correlações significativas. Tal fato fortalece o conceito que os atributos de relação massa/volume tem de influenciar a erodibilidade do solo, fato este outrora também observado por Castro et al. (2011).

Logo, sendo estes atributos facilmente alterados pelo manejo do solo, em detrimento a outros atributos físicos, como por exemplo, a granulometria ou a densidade da partícula que não o são, tal informação permite inferir que a ação antrópica pode influenciar de forma incisiva no fator erodibilidade dos solos. Assim, solos com manejos que possibilitem melhores condições de seu sistema poroso de modo a elevar sua drenagem e



armazenamento de água, bem como, condições de solos com baixo índice de compactação com valores de densidades não tão elevados, proporcionam uma maior resistência à erodibilidade do solo, e vice-versa.

Já no segundo caso apresentado pela Tabela 2 (K vs RT), a erodibilidade interage de forma positiva com o aumento da relação textural do solo, assim como observado também por Mannigel et al. (2002). Com relação à Tolerância de Perdas ( $T_{1m}$ ) ficou evidenciado a elevada influência exercida pela relação textural do solo, a qual ocorreu de modo indireto entre causa e efeito. Tal influência também foi apontada no trabalho de Demarchi & Zimback (2014). Por outro lado, Demarchi & Zimback (2014) apesar de observarem uma tenéncia indireta entre causa e efeito para o conjunto de atributos (Tolerância e Erodibilidade), estes autores não diagnosticaram nenhuma correlação linear, fato este já observado no presente estudo com elevada significância para o conjunto K vs  $T_{1m}$  ( $r = -0,673^{**}$ ).

Deste modo, com base nos resultados observados, trabalhou-se nas melhores modelagens de regressão as quais são apresentadas na figura 1.

#### INSERE FIGURA 1

Tendo ficado evidenciado que a CAD e a RT foram os atributo que apresentaram as melhores interações diretas para as condições da região estudada, podendo, portanto, serem tomados como os melhores indicadores da qualidade dos solos estudados, quando destinado à avaliação da erodibilidade e da tolerância de perdas, as quais podem ser realizadas por meio das seguintes equações:

$$K = 0,0323 \cdot CAD - 2,019 \quad (p < 0,01; r = -0,874) \dots \dots \dots (2)$$

$$T_{1m} = 1,3702 \cdot RT^2 - 11,981 \cdot RT + 25,629 \quad (p < 0,01; r^2 = -0,934) \dots \dots \dots (3)$$

onde: K representou o fator erodibilidade do solo ( $t \cdot ha \cdot ha^{-1} \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$ ), e CAD representou a capacidade de armazenamento de água ( $cm \cdot mm^{-1}$ );  $T_{1m}$  representou a tolerância de perdas de solo ( $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ ) e RT a relação textural do solo.

#### CONCLUSÕES

A erodibilidade é fortemente influenciada pelos dos atributos físicos da relação massa/volume;

Quanto maior o valor relação textural, maior será a erodibilidade do solo e consequentemente menor será a tolerância de perdas;

A tolerância de perdas pode ser determinada pela relação textural por equação de elevada significância e,

Dos solos estudados, aqueles que apresentaram maior susceptibilidade ambiental foram os Argissolos Vermelhos de natureza arênica e abrupática.

#### REFERÊNCIAS

- 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**, Uberlândia, v.26, n.6, p.849-857, 2010.
- 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.
- CHAVES, T. A.; GOMES, R. A. T.; MARTINS, E. S.; CARVALHO JUNIOR, 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.
- 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**, Botucatu, v.29, n.2, p.102-114, 2014.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análise do solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997.
- 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**, Brasília, v.8, n.2, p.23-36, 2007.
- LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. **Tolerância de perdas de terra para solos do estado de São Paulo**. Campinas; IAC, 1975. 12p. (Boletim Técnico, 28).
- 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**, Maringá, v.24, n.5, p.1335-1340, 2002.
- 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 Ambiência, Guarapuava**, v.8, n.3, p.859-868, 2012.

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

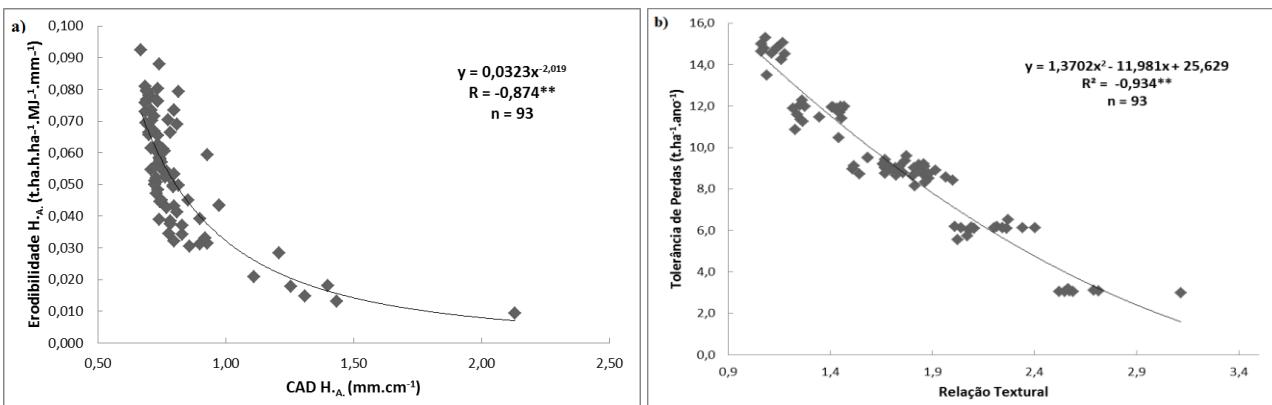
| Id <sup>(a)</sup> | Classe de Solo   | n. | Tolerância $H_{1m}$  | Erodibilidade $H_A/H_B$          |
|-------------------|--|----|----------------------|----------------------------------|
|                   |  |    | $t.ha^{-1}.ano^{-1}$ | $t.ha.h.ha^{-1}.MJ^{-1}.mm^{-1}$ |
| PVAe(ab)1/2       | ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico abrup्�tico textura arenosa/média | 2  | 9,01                 | 0,0551                           |
| PVAe(ar)1/2       | ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico arenico textura arenosa/média     | 1  | 9,09                 | 0,0583                           |
| PVAe(ti)1/2       | ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico textura arenosa/média      | 1  | 9,18                 | 0,0547                           |
| PVAe(ti)2         | ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico textura média              | 1  | 8,84                 | 0,0521                           |
| PVAe(ti)2/3       | ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico textura média/argilosa     | 1  | 8,85                 | 0,0412                           |
| PVe(ab)1/2        | ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico abrup्�tico textura arenosa/média         | 12 | 4,32                 | 0,0755                           |
| PVe(ab)1/3        | ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico abrup्�tico textura arenosa/argilosa      | 2  | 3,09                 | 0,0685                           |
| PVe(ab)2/3        | ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico abrup्�tico textura média/argilosa        | 3  | 6,13                 | 0,0508                           |
| PVe(ar)1/2        | ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico arenico textura arenosa/média             | 2  | 7,54                 | 0,0702                           |
| PVe(ti)1/2        | ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico típico textura arenosa/média              | 7  | 9,05                 | 0,0647                           |
| PVe(ti)2          | ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico típico textura média                      | 4  | 9,04                 | 0,0529                           |
| PVe(ti)2/3        | ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico típico textura média/argilosa             | 2  | 8,67                 | 0,0352                           |
| PVd(ab)1/2        | ARGISSOLO VERMELHO Distrófico abrup्�tico textura arenosa/média        | 7  | 6,32                 | 0,0758                           |
| PVd(ab)1/3        | ARGISSOLO VERMELHO Distrófico abrup्�tico textura arenosa/argilosa     | 2  | 3,09                 | 0,0690                           |
| PVd(ab)2/3        | ARGISSOLO VERMELHO Distrófico abrup्�tico textura média/argilosa       | 1  | 6,09                 | 0,0525                           |
| PVd(ar)1/2        | ARGISSOLO VERMELHO Distrófico arenico textura arenosa/média            | 1  | 8,14                 | 0,0669                           |
| PVd(ti)1/2        | ARGISSOLO VERMELHO Distrófico típico textura arenosa/média             | 2  | 8,73                 | 0,0581                           |
| PVd(ti)2          | ARGISSOLO VERMELHO Distrófico típico textura média                     | 2  | 8,91                 | 0,0537                           |
| PVd(ti)2/3        | ARGISSOLO VERMELHO Distrófico típico textura média/argilosa            | 3  | 8,86                 | 0,0399                           |
| CXe(ti)2/3        | CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico típico textura média/argilosa          | 1  | 8,71                 | 0,0283                           |
| CXe(la)2          | CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico latossólico textura média              | 1  | 8,33                 | 0,0691                           |
| CXe(la)3          | CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutróferrico latossólico textura argilosa        | 1  | 13,48                | 0,0094                           |
| LVAd(ag)2         | LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico argissólico textura média        | 1  | 9,11                 | 0,0451                           |
| LVAd(ti)2         | LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico textura média             | 1  | 14,79                | 0,0342                           |
| LVe(ti)2          | LATOSSOLO VERMELHO Eutrófico típico textura média                      | 12 | 11,34                | 0,0571                           |
| LVef(ti)3         | LATOSSOLO VERMELHO Eutróferrico típico textura argilosa                | 1  | 10,86                | 0,0131                           |
| LVd(ti)2          | LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico textura média                     | 12 | 12,26                | 0,0460                           |
| RLe(fr)2          | NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico fragmentário textura média                 | 3  | 13,75                | 0,0440                           |
| RLe(fr)3          | NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico fragmentário textura argilosa              | 1  | 14,62                | 0,0179                           |
| NVef(ti)2/3       | NITOSSOLO VERMELHO Eutroférrico típico textura média/argilosa          | 1  | 11,94                | 0,0210                           |
| NVef(ti)3         | NITOSSOLO VERMELHO Eutroférrico típico textura argilosa                | 1  | 11,97                | 0,0178                           |
| NVef(ti)3/4       | NITOSSOLO VERMELHO Eutroférrico típico textura argilosa/muito argilosa | 1  | 10,47                | 0,0148                           |

<sup>(a)</sup>Id = identificador de classe do solo; n. = número de amostras que compuseram o valor médio;  $H_A$  = horizonte A;  $H_B$  = horizonte B;  $H_{1m}$  = Horizonte considerado à 1m de profundidade.

**Tabela 2.** Matriz de correlação entre erodibilidade e tolerância de perda com alguns atributos físicos da camada superficial do solo

| Atributos  | Coeficiente de Correlação <sup>(a)</sup> |                      |                      |                      |                      |                      |                     |                     |
|------------|--|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
|            | K  | $T_{1m}$             | RT                   | CAD                  | DP                   | DS                   | PT                  | MA                  |
| $T_{1m}$   | -0,673 <sup>**</sup>                     |                      |                      |                      |                      |                      |                     |                     |
| <b>RT</b>  | 0,664 <sup>**</sup>                      | -0,960 <sup>**</sup> |                      |                      |                      |                      |                     |                     |
| <b>CAD</b> | -0,690 <sup>**</sup>                     | 0,376 <sup>**</sup>  | -0,386 <sup>**</sup> |                      |                      |                      |                     |                     |
| <b>DP</b>  | 0,290 <sup>**</sup>                      | -0,200 <sup>ns</sup> | 0,259 <sup>*</sup>   | -0,381 <sup>**</sup> |                      |                      |                     |                     |
| <b>DS</b>  | 0,404 <sup>**</sup>                      | -0,290 <sup>**</sup> | 0,310 <sup>**</sup>  | -0,424 <sup>**</sup> | 0,173 <sup>ns</sup>  |                      |                     |                     |
| <b>PT</b>  | -0,396 <sup>**</sup>                     | 0,351 <sup>**</sup>  | -0,369 <sup>**</sup> | 0,381 <sup>**</sup>  | -0,166 <sup>ns</sup> | -0,902 <sup>**</sup> |                     |                     |
| <b>MA</b>  | -0,292 <sup>**</sup>                     | 0,192 <sup>ns</sup>  | -0,218 <sup>*</sup>  | 0,233 <sup>*</sup>   | -0,087 <sup>ns</sup> | -0,708 <sup>**</sup> | 0,697 <sup>**</sup> |                     |
| <b>MI</b>  | -0,276 <sup>**</sup>                     | 0,271 <sup>**</sup>  | -0,284 <sup>**</sup> | 0,307 <sup>**</sup>  | -0,150 <sup>ns</sup> | -0,605 <sup>**</sup> | 0,721 <sup>**</sup> | 0,033 <sup>ns</sup> |

<sup>(a)</sup> \* = significativo ao nível de 5% de probabilidade, \*\* = significativo ao nível de 1% de probabilidade; ns = não significativo.



**Figura 1a,b.** Curva de regressão entre CAD vs fator K, e entre  $T_{1m}$  vs RT da camada superficial do solo na bacia hidrográfica do baixo São José dos Dourados