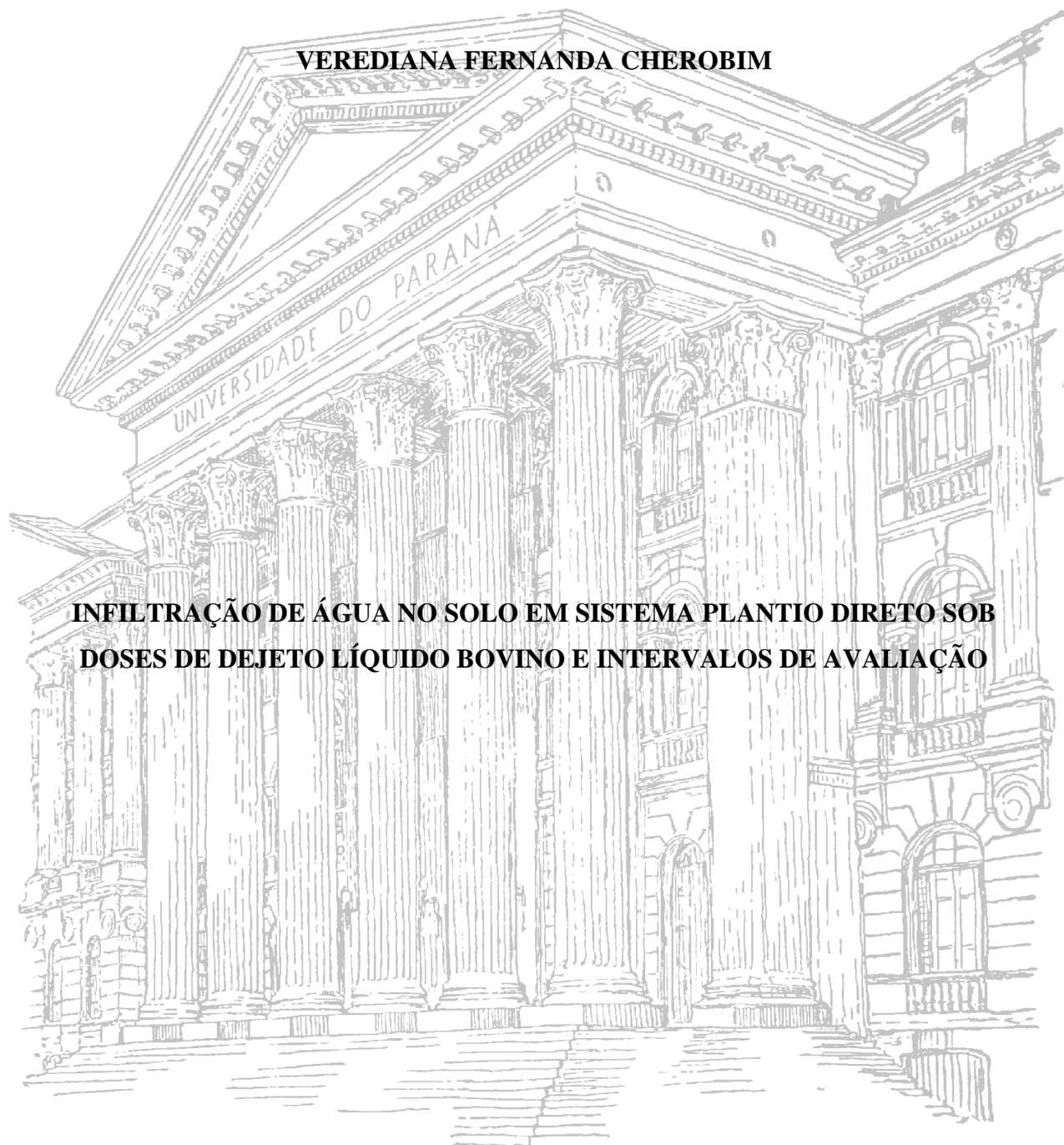


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

VEREDIANA FERNANDA CHEROBIM



**INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO SOB
DOSES DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO E INTERVALOS DE AVALIAÇÃO**

CURITIBA

2013

VEREDIANA FERNANDA CHEROBIM

**INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO SOB
DOSES DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO E INTERVALOS DE AVALIAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração Solo e Ambiente, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Profa. Dra. Nerilde Favaretto

Co-orientadores:

Prof. Dr. Robson A. Armindo

Prof. Dr. Jeferson Dieckow

CURITIBA

2013



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM CIÊNCIA DO SOLO

PARECER

A Banca Examinadora designada para avaliar a defesa da Dissertação de Mestrado de **VEREDIANA FERNANDA CHEROBIM**, intitulada “**Infiltração de água no solo em sistema plantio direto sob doses de dejetos líquido bovino e intervalos de avaliação**”, do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após análise do texto e arguição da candidata, emitem parecer pela “**APROVAÇÃO**” da referida Dissertação. A candidata atende assim um dos requisitos para a obtenção do título de **Mestre em Ciência do Solo - Área de Concentração Solo e Ambiente**. Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em Curitiba, 22 de fevereiro de 2013.

Prof.^a. Dr.^a. Nerilde Favaretto, Presidente.

Prof. Dr. Gilberto Coelho, I^o. Examinador.

Eng.^o. Agr.^o. Dr. Gabriel Barth, II^o. Examinador.

Prof. Dr. Robson André Armindo, III^o. Examinador

DEDICATÓRIA

Ao meu pai Waldir Cherobim e minha mãe Lira Cherobim pelo dom da vida, amor, educação, carinho, dedicação e por serem exemplo e inspiração na minha vida.

Aos meus irmãos, Fabio, Chanquerli e Tiago, pelo apoio, carinho, incentivo e ajuda em todos os instantes.

A minha irmã Sintia, pelo carinho dedicado diariamente, por todo apoio, paciência, confiança, dedicação, compreensão e por acreditar no meu melhor sempre.

Aos meus amigos e amigas pela amizade verdadeira e pelo companheirismo em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por permitir que pessoas incríveis façam parte da minha vida e deixem meu caminho mais colorido e iluminado.

A minha orientadora, Prof^a Nerilde Favaretto, pela amizade, orientação, confiança, ensinamentos, dedicação e colaboração em todo período da pesquisa.

Ao professor co-orientador Robson André Armindo pela paciência, amizade, entusiasmo, incentivo e conhecimentos transmitidos.

Ao professor co-orientador Jeferson Dieckow por todo apoio, principalmente no período em que minha orientadora esteve ausente.

Aos professores do Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo pelos conhecimentos transmitidos ao longo de todo curso.

A todos os meus colegas e amigos das turmas 2010, 2011 e 2012 que dividiram comigo momentos de alegrias e festas, mas também preocupações, dúvidas e entusiasmo.

A minha amiga e comadre Fabiane, ao compadre Ricardo e a minha linda afilhada Ana Clara que partilham comigo alegrias e conquistas e são presentes em minha vida.

Agradeço especialmente a todos aqueles amigos que tiveram coragem e disponibilidade em ajudar nos trabalhos de campo, mesmo tendo que enfrentar muitas chuvas, dias frios, inúmeros insetos e outros contratempos. Foi realmente gratificante e divertido ter vocês ao meu lado na realização deste trabalho.

A todos os funcionários do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola que sempre colaboram para a realização das pesquisas.

À Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade de realizar este trabalho e ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

A todas as pessoas que de alguma forma contribuíram nessa caminhada.

E por fim quero agradecer especialmente a Marília, Kharyn e Giovana, que estiveram ao meu lado durante esses dois anos de mestrado. Gio, obrigada por tudo, principalmente pela paciência nos meus momentos de crises e por compartilhar das minhas alegrias e conquistas. Kha e Mah agradeço muitíssimo pela amizade sincera e serena, pelos conselhos, preocupação, conversas, dedicação e inúmeros momentos de alegria. Meninas é um privilégio ter vocês como amigas!

A todos meus sinceros agradecimentos!

*“A vida só tem sentido quando a gente aprende a
recomeçar todos os dias como se fosse o primeiro.”*

(Pe. Fábio de Mello)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 MATERIAL E MÉTODOS	3
2.1 Caracterização da área.....	3
2.2 Caracterização química e física do solo	3
2.3 Caracterização do dejetos líquido bovino	5
2.4 Tratamentos.....	6
2.5 Infiltração de água no solo	6
2.6 Análise estatística.....	8
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	9
3.1 Ajuste de modelos	9
3.2 Efeito da dose de dejetos e intervalo de avaliação na taxa de infiltração básica	17
4 CONCLUSÕES.....	21
5 LITERATURA CITADA.....	22
APÊNDICES.....	26

INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO SOB DOSES DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO E INTERVALOS DE AVALIAÇÃO¹

Autor: Verediana Fernanda Cherobim

Orientadora: Profa. Dra. Nerilde Favaretto

Co-orientador: Prof. Dr. Robson André Armindo

Co-orientador: Prof. Dr. Jeferson Dieckow

RESUMO

A aplicação de dejetos líquidos animais em solos agrícolas é uma prática usualmente utilizada por produtores de animais em confinamento. No entanto, efeitos negativos tais como perdas de solo, água e nutrientes podem ocorrer principalmente em eventos de precipitação logo após a aplicação do dejetos. Objetivou-se com esse trabalho: a) verificar a adequação dos modelos de infiltração de Kostiakov-Lewis, Horton e Philip para a estimativa da taxa de infiltração básica de água em solo de plantio direto sob aplicação de dejetos líquidos bovinos (DLB) e b) analisar o efeito das doses de dejetos líquidos bovinos e intervalos de avaliação na taxa de infiltração básica. Dentre os modelos avaliados, Horton apresentou o melhor ajuste para as condições do estudo. A modificação da superfície do solo pela aplicação do DLB associado às características do solo resultou em alta variabilidade nos valores de taxa de infiltração básica (TIB). O menor valor de TIB foi encontrado na dose de $90 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ no intervalo de avaliação de 1 dia após a aplicação do DLB. Após intervalo de avaliação de 5 dias os valores de TIB não apresentaram grande variação independente da dose aplicada. Em termos práticos recomenda-se que a dose máxima aplicada seja de $70 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e o intervalo entre a aplicação de DLB e a ocorrência de precipitação seja de no mínimo 5 dias para evitar possíveis problemas ambientais com poluentes associados ao escoamento superficial.

Palavras-chave: resíduo, curto prazo, esterco, taxa de infiltração básica

¹ Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. (39 p.) Fevereiro, 2013.

INFILTRATION OF WATER IN NO-TILL UNDER DOSES OF DAIRY CATTLE SLURRY AND INTERVALS OF ANALYSIS²

Author: Verediana Fernanda Cherobim

Advisor: Profa. Dra. Nerilde Favaretto

Co- Advisor: Prof. Dr. Robson André Armindo

Co- Advisor: Prof. Dr. Jeferson Dieckow

ABSTRACT

The application of liquid manure on agricultural land is a practice widely used by livestock producers. However, negative effects such as soil, water and nutrient losses can occur mainly in rainfall events soon after application of the manure. The objective of this study was to a) analyze the mathematical models of Kostiakov-Lewis, Horton and Philip to estimate the infiltration rate of water under no-till system and dairy cattle slurry application (DCS); b) the effect of dairy cattle slurry and intervals of analysis on the basic infiltration rate. Among the models evaluated, Horton had the best fit for the soil conditions under study. The modification of the soil surface by the DCS application associated to soil characteristics, resulting in a high variability of the infiltration rate. The lowest infiltration rate was found at $90 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ in the interval of one day after application of DCS. Over 5 days interval the infiltration rate did not differ independent of the applied dose. In practical terms it is recommended to apply a maximum dose of $70 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ and the interval between application of DCS and rainfall or irrigation is at least 5 days to avoid possible environmental problems with pollutant associated to runoff.

Key words: residue, short term, manure, infiltration rate

² Soil Science Master Dissertation. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. (39 p.) February, 2013.

1 INTRODUÇÃO

No estado do Paraná, a região dos Campos Gerais é pioneira no sistema de plantio direto e destaca-se pela produção de leite com animais em sistema de confinamento e semi confinamento. O município de Castro é o maior produtor de leite do Paraná (IBGE, 2012), e conseqüentemente um grande gerador de dejetos líquidos que, de modo geral, é aplicado sobre a superfície do solo em sistema de plantio direto.

A aplicação de dejetos líquidos animais em solos agrícolas é prática usualmente utilizada por produtores de animais em confinamento. Quando adequadamente aplicado, além de ser alternativa de destinação, é uma excelente forma de reciclar nutrientes e adicionar matéria orgânica ao solo (Choudhary et al., 1996) melhorando seus atributos químicos (Scherer et al., 2007; Adeli et al., 2008), físicos (Haynes & Naidu, 1998; Bundy et al., 2001; Fares et al., 2008) e biológicos (Ndayegamiye & Côté, 1989; Silvano, 2011) com conseqüente melhoria na produtividade das culturas (Choudhary et al., 1996).

No entanto, aplicações inadequadas podem resultar em efeitos negativos, tais como perdas de solo, água e nutrientes, principalmente com ocorrência de chuva logo após a aplicação do dejetos (Bertol et al., 2007; Gilley et al., 2007; Allen & Mallarino, 2008; Mori et al., 2009). Dentre os nutrientes, o fósforo (P) e o nitrogênio (N) tem recebido maior atenção, pois em ambientes aquáticos podem causar tanto problemas ambientais como de saúde humana. Esses nutrientes estão associados à eutrofização, no entanto, o P é considerado o elemento limitante, pois algumas plantas aquáticas conseguem fixar o N da atmosfera (Correll, 1998; Daniel et al., 1998). Neste sentido, a eutrofização depende do transporte de P do solo até os corpos d'água, o qual ocorre principalmente via escoamento superficial (Hooda et al., 2000; Sharpley et al., 2001). Portanto, práticas que melhorem a eficiência da infiltração no solo evitam que nutrientes e poluentes associados ao escoamento superficial cheguem aos corpos d'água provocando possíveis impactos ambientais (Shigaki et al., 2006).

Estudos têm demonstrado que o solo exposto a chuva forma uma camada caracterizada por maior densidade e baixa porosidade definida como selamento (Hillel, 1980; Sumner & Stewart, 1992). A aplicação de dejetos líquidos animais sobre a superfície do solo pode promover o selamento superficial por mecanismos físicos, químicos e biológicos, com formação de crosta reduzindo a infiltração da água, aumentando assim o volume e a velocidade no escoamento superficial (Culley & Phillips, 1986; Barrington et al., 1987).

Dentre esses o mecanismos, o físico é o principal, pois promove a obstrução dos poros pela matéria seca presente no dejetos (Barrington et al., 1987) e como efeito secundário o mecanismo químico promove a dispersão das argilas em razão do elevado teor de sódio (Na) presente no dejetos (Culley & Phillips, 1986). Além do selamento, a presença de compostos hidrofóbicos constituintes do dejetos que atuam na repelência da água pode contribuir para reduzir a infiltração de água no solo (González-Peñaloza et al., 2012).

Como efeito em curto prazo, a aplicação de dejetos líquido promove maior escoamento superficial devido a diminuição da infiltração (Roberts & Clanton, 2000; Bertol et al., 2007; Peles, 2007; Mori et al., 2009), no entanto, estudos a longo prazo mostram que aplicação de dejetos aumenta a infiltração de água no solo, devido principalmente a alteração das propriedades físicas, tais como macroporosidade, densidade e estabilidade de agregados (Roberts & Clanton, 2000; Mellek et al., 2010; Rasoulzadeh & Yaghoubi, 2010). Supõe-se que quanto maior o intervalo entre a aplicação do dejetos e a realização ou ocorrência da chuva, menor tende a ser a perda de água e nutrientes, principalmente P (Gilley et al., 2007).

A infiltração é considerada uma das propriedades físicas mais importantes quando se estudam fenômenos ligados ao movimento de água no solo. Existem muitos fatores que contribuem para a taxa de infiltração, tais como, teor de água do solo, condutividade hidráulica, condições de superfície, profundidade do solo, topografia, compactação, matéria orgânica, entre outros (Jury, et al., 1991; Hillel, 1998).

A taxa de infiltração final é a taxa constante e mínima de água que entra no solo (Mbagwu, 1993), sendo que sua obtenção é demorada. Vários são os modelos propostos para determinar este parâmetro, sendo Kostikov-Lewis, Horton e Philip uns dos mais utilizados para estimar a taxa de infiltração final (Jury et al., 1991).

Sendo assim, objetivou-se com esse trabalho:

- a) verificar a adequação dos modelos matemáticos de Kostikov-Lewis, Horton e Philip para a estimativa da taxa de infiltração básica de água em solo cultivado em sistema plantio direto sob aplicação de dejetos líquido bovino;
- b) analisar a taxa de infiltração de água no solo sob doses de dejetos líquido bovino e intervalos de avaliação; e
- c) inferir sobre o intervalo ideal entre a aplicação de dejetos e a ocorrência de precipitação com contribuição prática para os produtores no sentido de evitar problemas ambientais com poluentes associados ao principalmente escoamento superficial.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área

O experimento foi conduzido a campo em abril/maio de 2012, na Estação Experimental da Fundação ABC para Assistência e Divulgação Técnica Agropecuária, no município de Castro, Paraná. O estudo foi realizado em área sob plantio direto há mais de 20 anos, sendo o solo classificado como Latossolo Bruno distrófico (EMBRAPA/Fundação ABC, 2001) de textura muito argilosa. O clima da região é subtropical, com verões amenos, do tipo Cfb (Köppen), com precipitação anual média de 1554 mm, série histórica de 1945 a 2001 (IAPAR, 2012).

2.2 Caracterização química e física do solo

Em etapa anterior a instalação do experimento, coletou-se amostras de solo nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm com trado calador, sendo que para cada profundidade foram coletadas 15 sub-amostras para compor uma amostra composta. As análises para caracterização química (Tabela 1) foram realizadas segundo metodologia de Pavan et al. (1992) e as de granulometria foram realizadas pelo método do densímetro (Tabela 2) segundo EMBRAPA (1997).

TABELA 1. Análise química do solo da área experimental

Profundidade M	pH		Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	Ca ⁺² cmol _c dm ⁻³	Mg ⁺²	K ⁺	P mg dm ⁻³	C g dm ⁻³
	CaCl ₂	SMP							
0-0,05	5,3	6,0	0	5,0	8,4	4,4	0,5	12,7	19,2
0,05-0,10	5,7	6,3	0	4,0	6,9	4,4	0,3	5,7	21,2
0,10-0,20	5,8	6,5	0	3,4	6,5	4,2	0,2	3,6	23,2

Para a estabilidade de agregados foram coletadas amostras indeformadas (torrões de solo) em quatro pontos aleatórios da área experimental, nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. As amostras foram peneiradas em malha de 8,00 mm, secas ao ar e posteriormente separadas em frações de agregados utilizando-se peneiras de 4,00; 2,00; 1,00; 0,50 e 0,25 mm (determinação de agregados via seca).

A partir das proporções de massa das classes, após o peneiramento seco, estimou-se o diâmetro médio ponderado seco (DMPs), de acordo com a expressão de Kemper & Rosenau (1986), eq.(1).

$$DMP = \sum_{i=1}^n (u_i \times W_i) \quad (1)$$

em que:

DMP: diâmetro médio ponderado, mm;

u_i : diâmetro médio entre classes, mm e

W_i : fração em massa da classe em relação a massa da amostra total, adimensional.

Para a determinação dos agregados via úmida, amostras de 50 g de solo foram proporcionalmente recompostas a partir das classes de agregados secos. Na separação de agregados umedecidos, adotou-se o procedimento descrito por Kemper & Rosenau (1986). A amostra foi pré-umedecida e transferida para um conjunto de peneiras com malhas de 4,00; 2,00; 1,00; 0,50; e 0,25 mm, adaptado a um aparelho de Yoder, onde a amostra foi imersa em recipiente com água e submetida à agitação vertical, com 42 ciclos por minuto, durante 15 minutos. Os agregados retidos em cada peneira foram acondicionados em recipientes de alumínio para secagem em estufa, durante 24 h a 105°C. Em seguida, foram medidas e calculadas a massa e a porcentagem de agregados estáveis em cada uma das classes de agregados.

A partir da proporção de massa das classes de agregados, após o peneiramento úmido, estimou-se o diâmetro médio ponderado úmido (DMPu), de maneira semelhante ao cálculo do DMPs. Baseando-se no DMPu e DMPs, calculou-se o índice de estabilidade de agregados (IEA), de acordo com a eq.(2).

$$IEA(\%) = \left(\frac{DMPu}{DMPs} \right) \times 100 \quad (2)$$

Para a determinação da condutividade hidráulica saturada (K_s), densidade do solo (ρ_s), densidade de partículas (ρ_p) e porosidade (α), coletou-se, nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm, amostras indeformadas por meio de anéis volumétricos em quatro pontos aleatórios dentro da área experimental. A ρ_s e a ρ_p foram determinadas pelo método

do anel volumétrico e do balão volumétrico com álcool, respectivamente. A K_s foi analisada por meio da metodologia do permeâmetro de carga constante. A microporosidade foi determinada pela mesa de tensão a 60 cm, a porosidade total foi obtida pela diferença entre a unidade e a relação entre ρ_s e ρ_p . A macroporosidade foi estimada pela diferença entre a α e a microporosidade (EMBRAPA, 1997).

TABELA 2. Granulometria, diâmetro médio ponderado seco (DMPs), diâmetro médio ponderado úmido (DMPu), Índice de Estabilidade de Agregados (IEA), densidade do solo (ρ_s), macroporosidade, microporosidade, porosidade total (α) e condutividade hidráulica saturada (K_s)

Profundidade M	Granulometria (g kg ⁻¹)			DMPs (mm)	DMPu (mm)	IEA %	ρ (kg m ⁻³)	Porosidade (%)			K (mm h ⁻¹)
	Argila	Silte	Areia					Macro	Micro	α	
0,0 – 0,05	550,0	271,5	178,5	2,55	2,11	83	1100	11,84	47,23	59,07	84,32
0,05 – 0,10	600,0	202,0	198,0	2,79	2,38	85	1220	9,07	44,95	54,02	12,41
0,10 – 0,20	610,0	208,5	191,5	2,44	1,91	80	1200	7,75	47,00	54,74	10,39
0,20 – 0,30	-	-	-	-	-	-	1160	9,18	49,27	58,45	12,67

2.3 Caracterização do dejetos líquido bovino

Os teores de matéria seca e dos nutrientes (Tabela 3) na forma total em base seca foram fornecidos pela Fundação ABC. A matéria seca foi determinada por gravimetria, o teor de N foi determinado pelo extrator Dumas por combustão e o teor de P foi obtido por digestão com ácido clorídrico e determinado por colorimetria. Para os elementos potássio (K) e Na utilizou-se o método de extração pelo ácido nitro-clorídrico e a determinação foi por espectrofotometria (Martins & Reissmann, 2007).

TABELA 3. Caracterização do dejetos líquido bovino em base seca.

Sólidos Totais	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Sódio
-----g kg ⁻¹ -----				
105,4	22,4	19,9	50	9,8

2.4 Tratamentos

Os tratamentos foram constituídos de quatro doses de dejetos líquido bovino (DLB) sendo 00, 30, 60 e 90 m³ ha⁻¹ e cinco intervalos de avaliação de infiltração 1, 5, 10, 25 e 40 dias após aplicação do DLB. Adotou-se o delineamento de blocos casualizados (DBC) em parcelas subdivididas com três repetições, sendo dose de DLB a parcela e intervalo de avaliação de infiltração a subparcela.

Na área da parcela (1,5 m x 1,5 m), optou-se por retirar parte do resíduo vegetal para que o DLB estivesse em contato com o solo. As parcelas permaneceram cobertas por lonas para que não houvesse interferência de possíveis eventos de precipitação durante o período de avaliação.

2.5 Infiltração de água no solo

A avaliação da taxa de infiltração de água no solo (TI) foi realizada a campo de acordo com a metodologia infiltrômetro de anéis concêntricos (BOUWER, 1986). Em cada parcela foram instalados dois conjuntos de anéis constituídos de um anel interno com 20 cm de diâmetro e um anel externo com 40 cm de diâmetro. No anel externo, manteve-se uma lâmina de água de 5,0 cm durante o tempo de avaliação, já no anel interno, a lâmina mantida foi de 5,0 cm por meio de um tubo de PVC de 10,0 cm de diâmetro e 110,0 cm de altura contendo, uma fita métrica e uma mangueira transparente para leituras do consumo de água a cada intervalo de tempo, sendo: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 75, 90, 105, 120, 135 e 150 minutos após o início da infiltração.

Para a determinação da taxa de infiltração básica (TIB), utilizou-se os modelos empíricos propostos por Kostiakov-Lewis, Horton e Philip, que descrevem o comportamento da infiltração da água no solo.

Kostiakov-Lewis:

$$I(t) = k(t)^n + TIB(t) \quad (3)$$

$$TI = nk(t)^{n-1} + TIB \quad (4)$$

Horton:

$$I(t) = TIB(t) + \frac{(i_0 - TIB)}{\beta} [1 - e^{-\beta(t)}] \quad (5)$$

$$TI = TIB + (i_0 - TIB)e^{-\beta(t)} \quad (6)$$

Philip:

$$I(t) = TIB(t) + \gamma\sqrt{t} \quad (7)$$

$$TI = TIB + \frac{\gamma}{2\sqrt{t}} \quad (8)$$

em que:

$I(t)$: infiltração acumulada, mm;

TI : taxa de infiltração, mm h⁻¹;

i_0 : taxa de infiltração inicial, mm h⁻¹;

TIB : taxa de infiltração final ou taxa de infiltração básica, mm h⁻¹;

t : tempo, h e

n , β , k e γ : parâmetros de ajuste das equações de infiltração.

Para as análises de regressão foram utilizados dados da infiltração acumulada, enquanto que para a obtenção da taxa de infiltração foi realizada a derivada da infiltração acumulada.

Para análise gráfica foram plotados gráficos da taxa de infiltração (derivada de $I(t)$) para os modelos de Kostiakov-Lewis, Horton e Philip e taxa de infiltração pontual (TI_p) para o anel concêntrico.

$$TI_p = \frac{I(t)}{t} \quad (9)$$

em que:

TI_p : taxa de infiltração pontual, mm h⁻¹;

$I(t)$: infiltração acumulada, mm e

t : tempo, h.

Os conjuntos de dados experimentais que não proporcionaram bons ajustes dos modelos de infiltração por não apresentarem tendência típica dos ensaios de infiltração de água no solo, foram descartados.

2.6 Análise estatística

Todos os parâmetros de ajuste dos modelos avaliados foram obtidos por meio de regressão não linear, valendo-se da técnica dos mínimos quadrados, entre os valores de I e t obtidos nas avaliações de campo.

Para avaliar o ajuste dos modelos foram utilizados os valores dos índices de coeficiente de determinação (R^2) e raiz do erro quadrático médio (RMSE - *Root Mean Square Error*) e os valores do parâmetro TIB. A partir destes valores definiu-se o modelo que melhor se adequou as condições da área em estudo considerando maior R^2 , menor RMSE e valores positivos de TIB.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - Y_i)^2}{N}} \quad (10)$$

em que:

X_i : i-ésimo valor de lâmina infiltrada observada, mm;

Y_i : i-ésimo valor de lâmina infiltrada estimada, mm; e

N : número de observações.

Com os valores positivos do parâmetro TIB correspondentes aos pares (DBL x intervalo de tempo entre aplicações), realizou-se uma regressão do tipo $z = z(x, y)$ a fim de gerar uma superfície para visualizar o possível efeito do selamento e os locais de ocorrência de altos valores de TIB. A regressão do tipo $z = z(x, y)$ foi então realizada e por meio das derivadas parciais (11) e (12), buscou-se encontrar o ponto crítico que maximizasse taxa de infiltração.

$$\frac{\partial z}{\partial x} = 0 \quad \text{e} \quad \frac{\partial z}{\partial y} = 0 \quad (11) \text{ e } (12)$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Ajuste de modelos

Analisando o índice RMSE que leva em consideração o desvio entre os valores observados e ajustados, observa-se diferença entre os modelos de ajuste, com valores que variaram de 0,23 a 9,82 para Kostiakov-Lewis, 0,21 a 9,75 para Horton e de 0,63 a 24,99 para Philip (Tabela 4). Nesta análise, o modelo de Horton apresentou o maior número de ensaios com menor índice RMSE (53%) seguido pelo modelo de Kostiakov-Lewis (43%) e Philip (4%), sendo Horton, que apresentou o melhor ajuste para a maioria dos ensaios avaliados.

O coeficiente de determinação (R^2) apresentou valores próximos a 1,00 na maioria dos ensaios, com pequena variação entre os três modelos avaliados (Tabela 4). Logo, analisar o R^2 isoladamente, não seria adequado para definir o modelo que melhor se ajuste a TI, pois isso poderia omitir diferenças significativas nos valores de infiltração obtidas a partir dos modelos utilizados.

TABELA 4. Índices de RMSE (*Root Mean Square Error*) e R^2 (Coeficiente de determinação) para os modelos de Kostiakov-Lewis, Horton e Philip

Ensaio	RMSE (mm)			R^2			RMSE (mm)			R^2		
	K-L	Horton	Philip	K-L	Horton	Philip	K-L	Horton	Philip	K-L	Horton	Philip
	1 dia x 00m ³ ha ⁻¹						1 dia x 30m ³ ha ⁻¹					
1A	1,15	1,53	1,16	0,9998	0,9996	0,9998	3,08	2,94	3,08	0,9973	0,9973	0,9973
1B	2,34	3,26	2,73	0,9994	0,9990	0,9992	3,78	3,74	4,17	0,9983	0,9983	0,9980
2A	0,31	1,01	1,60	0,9995	0,9983	0,9931	2,41	2,28	2,42	0,9869	0,9877	0,9877
2B	0,23	0,21	0,28	0,9997	0,9996	0,9996	5,37	5,25	5,26	0,4311	0,9453	0,9332
3A	0,86	1,03	1,14	0,9971	0,9943	0,9973	2,19	1,69	2,20	0,9802	0,9617	0,9726
3B	4,22	3,29	6,61	0,9996	0,9998	0,9992	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>
	1 dia x 60m ³ ha ⁻¹						1 dia x 90m ³ ha ⁻¹					
1A	0,73	0,72	1,55	0,9995	0,9995	0,9981	0,36	0,34	0,35	0,9997	0,9996	0,9996
1B	0,90	1,16	0,91	0,9994	0,9990	0,9994	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>
2A	2,61	3,13	3,01	0,9983	0,9987	0,9965	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>
2B	1,45	0,49	0,53	0,9942	0,9986	0,9991	0,46	0,12	0,20	0,9412	0,9625	0,9515
3A	2,09	1,53	2,49	0,9995	0,9997	0,9980	0,93	0,70	0,91	0,9987	0,9894	0,9987
3B	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	0,74	0,73	0,68	0,9931	0,9948	0,9941
	5 dias x 00m ³ ha ⁻¹						5 dias x 30m ³ ha ⁻¹					
1A	0,93	2,28	1,33	0,9999	0,9994	0,9998	0,98	1,01	1,61	0,9955	0,9953	0,9900
1B	0,89	1,19	1,31	0,9996	0,9994	0,9992	3,10	4,75	3,46	0,9996	0,9990	0,9995
2A	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	2,08	1,89	2,54	0,9213	0,9210	0,9183
2B	18,48	8,34	18,14	0,9922	0,9960	0,9935	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>
3A	1,49	1,40	1,67	0,9997	0,9998	0,9997	2,45	2,20	2,75	0,9900	0,9772	0,9792
3B	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>
	5 dias x 60m ³ ha ⁻¹						5 dias x 90m ³ ha ⁻¹					
1A	4,46	4,45	5,09	0,9957	0,9958	0,9947	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>

Ensaios	RMSE (mm)			R ²			RMSE (mm)			R ²		
	K-L	Horton	Philip	K-L	Horton	Philip	K-L	Horton	Philip	K-L	Horton	Philip
1B	0,49	0,79	3,45	0,9999	0,9999	0,9986	1,83	1,52	2,05	0,9991	0,9994	0,9987
2A	2,39	1,94	2,87	0,9994	0,9993	0,9990	1,32	1,11	1,50	0,9992	0,9965	0,9989
2B	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	1,62	1,33	1,53	0,9998	0,9999	0,9998
3A	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>
3B	0,44	0,63	1,31	0,9952	0,9902	0,9754	0,79	0,83	1,60	0,9992	0,9991	0,9973
10 dias x 00m ³ ha ⁻¹						10 dias x 30m ³ ha ⁻¹						
1A	2,20	3,15	2,34	0,9992	0,9987	0,9991	2,93	2,58	3,16	0,9979	0,9986	0,9976
1B	1,43	2,03	2,40	0,9999	0,9998	0,9997	1,12	1,10	1,26	0,9994	0,9995	0,9993
2A	6,12	2,45	2,74	0,9507	0,9623	0,9588	2,31	1,52	2,75	0,9996	0,9993	0,9997
2B	1,76	3,00	2,21	0,9991	0,9974	0,9988	1,76	3,08	1,77	0,9997	0,9992	0,9997
3A	0,6	0,55	0,59	0,9989	0,9983	0,9985	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>
3B	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	1,52	2,04	1,65	0,9996	0,9994	0,9996
10 dias x 60m ³ ha ⁻¹						10 dias x 90m ³ ha ⁻¹						
1A	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	1,75	2,63	1,76	0,9990	0,9980	0,9990
1B	3,57	5,39	4,12	0,9972	0,9945	0,9962	3,21	2,39	1,83	0,9906	0,9911	0,9949
2A	2,13	2,10	2,16	0,9958	0,9975	0,9980	2,35	1,65	2,83	0,9987	0,9996	0,9978
2B	1,65	1,49	2,91	0,9997	0,9998	0,9992	0,94	2,19	2,07	0,9998	0,9987	0,9991
3A	2,15	1,86	2,04	0,9956	0,9953	0,9947	2,11	1,58	2,69	0,9993	0,9986	0,9994
3B	0,75	0,81	2,11	0,9997	0,9997	0,9983	1,49	3,32	2,21	0,9998	0,9991	0,9996
25 dias x 00m ³ ha ⁻¹						25 dias x 30m ³ ha ⁻¹						
1A	1,99	2,01	2,28	0,9799	0,9795	0,9747	1,49	1,89	1,85	0,9992	0,9987	0,9988
1B	1,19	1,63	2,15	0,9995	0,9990	0,9986	0,89	0,75	1,19	0,9863	0,9902	0,9782
2A	0,90	0,68	1,06	0,9988	0,9982	0,9982	1,26	1,10	1,35	0,9993	0,9993	0,9995
2B	3,18	1,18	3,96	0,9958	0,9994	0,9938	1,73	2,06	1,82	0,9993	0,9993	0,9993
3A	1,44	1,40	1,45	0,9964	0,9946	0,9966	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>
3B	6,65	3,14	6,84	0,9905	0,9980	0,9904	1,05	3,21	1,53	0,9999	0,9993	0,9998
25 dias x 60m ³ ha ⁻¹						25 dias x 90m ³ ha ⁻¹						
1A	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>
1B	0,94	1,07	1,41	0,9989	0,9983	0,9975	3,35	2,91	3,61	0,9969	0,9977	0,9967
2A	1,85	1,52	2,10	0,9996	0,9993	0,9998	1,26	1,07	1,28	0,9966	0,9974	0,9969
2B	2,51	2,98	2,55	0,9995	0,9994	0,9995	2,44	3,22	2,66	0,9997	0,9995	0,9996
3A	1,09	0,85	1,22	0,9984	0,9956	0,9979	1,47	1,45	2,67	0,9976	0,9976	0,9930
3B	1,83	0,88	4,14	0,9989	0,9997	0,9951	1,65	1,39	3,38	0,9961	0,9972	0,9868
40 dias x 00m ³ ha ⁻¹						40 dias x 30m ³ ha ⁻¹						
1A	0,58	1,13	3,19	0,9988	0,9956	0,9802	6,94	1,77	1,79	0,9873	0,9949	0,9950
1B	1,41	2,63	1,81	0,9996	0,9987	0,9994	1,04	2,29	1,74	0,9996	0,9982	0,9991
2A	5,47	5,47	5,82	0,9985	0,9985	0,9985	5,51	4,41	24,99	0,9991	0,9974	0,9713
2B	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	1,37	0,96	2,68	0,8945	0,9506	0,7863
3A	0,52	0,86	2,52	0,9998	0,9995	0,9970	2,57	2,56	3,44	0,9994	0,9994	0,9990
3B	0,98	1,68	1,17	0,9999	0,9996	0,9998	0,72	1,18	1,51	0,9996	0,9988	0,9984
40 dias x 60m ³ ha ⁻¹						40 dias x 90m ³ ha ⁻¹						
1A	9,82	9,75	9,95	0,7403	0,7431	0,7329	0,64	0,68	0,63	0,9898	0,9886	0,9899
1B	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	0,37	0,72	0,71	0,9975	0,9907	0,9935
2A	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	2,56	1,73	3,11	0,9981	0,9967	0,9921
2B	1,54	1,50	3,14	0,9992	0,9992	0,9971	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>
3A	0,93	1,92	5,04	0,9998	0,9991	0,9951	0,63	0,55	2,96	0,9980	0,9985	0,9709
3B	1,61	2,06	3,26	0,9998	0,9996	0,9992	0,98	0,97	4,09	0,9999	0,9999	0,9982

- *na* (ensaios anômalos que não apresentaram ajuste na taxa de infiltração)

- valores de menor RMSE dentre os modelos utilizados

Houve para os três modelos utilizados neste estudo, em geral, adequados ajustes dos parâmetros de regressão, particulares de cada modelo, que poderão ser utilizados para estimativa da TIB para o solo da área estudada sempre que necessário (Tabela 5). Os respectivos ajustes da infiltração pelos modelos foram realizados em mm min^{-1} , sendo que o parâmetro TIB proveniente de Horton apresentou valores positivos para todos os ensaios, ao passo que para os modelos de Kostiakov-Lewis e Philip foram observados valores negativos em 6 e 13 ensaios tornando-os fisicamente incoerentes, respectivamente.

Além dos valores positivos ajustados, o modelo de Horton proporcionou menores valores de RMSE na totalidade de ensaios realizados caracterizando-o como o modelo mais adequado para estimativa de TIB para o solo estudado.

TABELA 5. Parâmetros de ajuste dos modelos de Kostiakov-Lewis (K-L), Horton e Philip.

Ensaio	k	n	i_0	β	γ	k	n	i_0	β	γ
		1 dia x 00m ³ ha ⁻¹					1 dia x 30m ³ ha ⁻¹			
1A	2,6184	0,4739	2,1498	0,104	2,5011	0,0443	0,4496	23,8462	15,48	-0,0334
1B	4,6063	0,7037	2,8697	0,0454	5,9284	7,0057	0,1948	7,1065	0,5177	3,5467
2A	5,9201	0,0661	3,6855	0,5984	1,8757	0,1822	0,4204	1,7761	1,0587	0,0393
2B	0,4453	0,7131	0,4104	0,0517	0,5448	0,4894	-3,5987	0,8299	1,1208	0,2038
3A	3,9104	0,3602	1,8538	0,2338	2,0662	4,5292	0,4399	4,1007	0,3599	4,1947
3B	8,8398	0,7965	6,7245	0,0357	10,1641	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>
	1 dia x 60m ³ ha ⁻¹					1 dia x 90m ³ ha ⁻¹				
1A	5,8615	0,2268	5,3713	0,4925	3,5731	-2,0249	-2,4012	0,2474	0,4771	0,0192
1B	2,8607	0,4871	1,9094	0,1238	2,7984	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>
2A	3,4677	0,7484	1,9222	0,0388	-0,6709	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>
2B	1,3624	-0,4236	0,6759	0,1154	1,0171	1,9914	-3,9048	0,2027	0,203	0,3154
3A	4,9014	0,1797	4,4162	0,4724	2,5948	2,525	0,4845	1,1343	0,1104	2,4538
3B	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	1,9385	0,441	0,5862	0,0471	1,7588
	5 dia x 00m ³ ha ⁻¹					5 dia x 30m ³ ha ⁻¹				
1A	6,4384	0,5985	3,9766	0,0824	7,4741	5,3645	0,232	3,6706	0,3479	3,326
1B	2,7659	0,6911	1,8132	0,056	3,4596	6,3682	0,6562	4,4556	0,0641	7,9393
2A	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	3,9799	0,0277	3,9524	0,634	1,2958
2B	16,2692	0,4353	6,6375	0,0506	14,5541	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>
3A	1,9319	0,0139	2,1456	0,6463	0,6708	6,9083	0,3169	6,3438	0,4174	4,9434
3B	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>
	5 dia x 60m ³ ha ⁻¹					5 dia x 90m ³ ha ⁻¹				
1A	9,2855	0,0275	20,0664	1,9083	3,5966	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>
1B	12,8679	0,1008	22,8174	1,3508	6,1839	2,3473	0,7576	2,114	0,063	2,894
2A	5,2864	0,1612	5,0858	0,5162	2,5973	3,8298	0,3141	3,3006	0,3566	2,6837
2B	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	0,3805	0,9593	5,1807	2,495	0,3413
3A	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>
3B	5,7755	0,1288	12,2983	1,5742	2,6209	5,7063	0,1963	4,4941	0,4276	3,0701
	10 dias x 00m ³ ha ⁻¹					10 dias x 30m ³ ha ⁻¹				
1A	4,1386	0,624	2,482	0,0508	4,8924	18,6225	0,4517	9,5411	0,1316	17,1501
1B	4,2719	0,8339	3,1536	0,0441	4,9974	2,4972	0,6232	1,6265	0,0675	2,8863
2A	-0,0960	-2,0496	2,6269	0,2159	3,0625	6,3694	0,2891	4,9803	0,3034	4,2232

Ensaio	k	n	i_0	β	γ	k	n	i_0	β	γ
2B	8,2971	0,3234	11,0242	0,6002	5,834	7,3503	0,4781	4,9253	0,1239	7,0874
3A	0,4478	0,7047	0,6087	0,1382	0,5926	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>
3B	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	5,9609	0,4	4,5345	0,1927	4,9959
10 dias x 60m ³ ha ⁻¹						10 dias x 90m ³ ha ⁻¹				
1A	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	4,0383	0,5334	2,2741	0,0785	4,2718
1B	7,0581	0,7124	3,3565	0,0496	9,0365	5,8121	-2,9079	24,6447	6,6085	1,4028
2A	3,7737	0,3912	3,4443	0,2762	3,0733	5,198	0,2066	3,8047	0,3403	2,861
2B	4,6553	0,7333	2,9907	0,046	5,8911	8,7666	0,2722	8,0657	0,4345	5,6401
3A	0,0172	-1,841	1,5298	0,6364	0,3767	5,8784	0,1769	4,9536	0,4491	3,0714
3B	6,7614	0,1014	10,7593	1,1976	2,9919	11,2682	0,366	7,2273	0,1854	8,8535
25 dias x 00m ³ ha ⁻¹						25 dias x 30m ³ ha ⁻¹				
1A	3,7815	-0,1854	2,1444	0,696	0,7907	6,1666	0,3207	5,2929	0,3315	4,4417
1B	8,3953	0,2435	10,3356	0,6364	4,9488	2,5713	0,1272	1,9837	0,485	1,2122
2A	2,5925	0,2941	2,063	0,3282	1,763	1,6756	0,1896	1,8158	0,3969	0,8528
2B	14,0207	0,3473	8,78	0,2323	10,7786	2,2535	0,6401	1,6036	0,0226	2,7179
3A	1,6292	0,4305	1,944	0,3311	1,429	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>
3B	16,2314	0,5663	9,1513	0,1142	17,8187	8,0650	0,3559	5,7061	0,2085	6,2348
25 dias x 60m ³ ha ⁻¹						25 dias x 90m ³ ha ⁻¹				
1A	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>
1B	3,2357	-0,307	13,0201	6,6633	0,4422	4,7578	0,2371	3,2741	0,2123	2,9285
2A	4,517	0,3008	4,0547	0,3276	3,0153	-0,9678	0,6101	0,052	0,083	-1,1737
2B	3,601	0,5602	3,5562	0,1171	3,9723	8,3775	0,5834	5,768	0,0871	9,4007
3A	3,1371	0,3323	2,5377	0,3168	2,284	7,4366	-0,0171	13,8142	1,8175	2,6504
3B	13,4129	0,1464	12,1142	0,5862	6,9296	10,4094	0,1158	11,2997	0,79	4,9165
40 dias x 00m ³ ha ⁻¹						40 dias x 30m ³ ha ⁻¹				
1A	11,2854	0,1226	18,6901	1,2608	5,16	4,9437	0,5965	2,3707	0,0797	5,6467
1B	8,3681	0,365	6,2257	0,2488	6,6225	8,0221	0,3045	6,9115	0,373	5,5688
2A	0,1940	-0,0049	1,6591	0,9071	-0,7247	16,589	0,05	16,6514	0,7768	6,5264
2B	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	6,5275	0,0702	7,7178	0,9211	2,8353
3A	9,0629	0,1064	18,6807	1,6157	4,17	6,9989	-0,0862	19,6476	2,9373	2,1545
3B	4,7524	0,3511	5,8911	0,443	3,7275	6,0051	0,199	11,6573	1,2525	3,39
40 dias x 60m ³ ha ⁻¹						40 dias x 90m ³ ha ⁻¹				
1A	6,7281	-0,2704	84,7002	18,6044	1,0522	0,7503	0,4445	0,5372	0,1744	0,6804
1B	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	3,3616	0,2669	2,9927	0,4596	2,0934
2A	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	7,1691	0,2372	6,4731	0,4475	4,1342
2B	10,5971	0,0679	23,9648	1,8948	4,4617	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>
3A	19,2598	0,1329	34,973	1,3543	9,4808	9,1773	-0,0106	18,9322	2,0298	3,1298
3B	11,5713	0,1966	14,5172	0,7143	6,3667	15,0812	0,0172	129,5985	8,2288	5,4359

Alguns estudos que avaliam a infiltração da água no solo comparando os modelos de ajuste propostos por Kostiakov-Lewis, Horton e Philip, apontaram Horton como o melhor ajuste dos dados, independentemente da textura (Haguigui et al., 2010; Ogbe et al., 2011), do sistema de manejo do solo (Dalri et al., 2010; Tomasini et al., 2010) e do sistema de colheita (Alves Sobrinho et al., 2003). Entretanto, destaca-se que os resultados do ajuste da TIB dependeram das condições do solo, sendo que para cada situação, houve um modelo de ajuste que melhor se adequou (Tabela 6).

TABELA 6. Taxa de Infiltração Básica (TIB), em mm min⁻¹, estimado pelos modelos de Kostiakov-Lewis (K-L), Horton e Philip.

Ensaio	K-L Horton Philip			K-L Horton Philip			K-L Horton Philip			K-L Horton Philip		
	1 dia x 00m ³ ha ⁻¹			1 dia x 30m ³ ha ⁻¹			1 dia x 60m ³ ha ⁻¹			1 dia x 90m ³ ha ⁻¹		
1A	0,94	1,07	0,93	0,70	0,69	0,70	0,46	0,53	0,28	0,15	0,15	0,15
1B	0,36	1,15	0,93	1,04	1,09	0,87	0,39	0,55	0,38	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>
2A	0,24	0,23	0,09	0,31	0,30	0,32	-0,23	0,67	0,52	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>
2B	0,15	0,23	0,22	0,011	0,02	-0,01	0,26	0,21	0,16	0,02	0,01	-0,01
3A	0,15	0,26	0,12	-0,20	0,02	-0,27	0,57	0,60	0,42	-0,09	0,05	-0,10
3B	0,92	3,47	3,37	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	0,04	0,08	0,01
	5 dias x 00m ³ ha ⁻¹			5 dias x 30m ³ ha ⁻¹			5 dias x 60m ³ ha ⁻¹			5 dias x 90m ³ ha ⁻¹		
1A	0,43	1,08	0,69	0,18	0,24	0,001	1,10	1,11	0,85	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>
1B	0,23	0,69	0,55	0,90	1,76	1,40	1,52	1,57	1,10	0,47	1,07	0,96
2A	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	0,93	0,92	0,85	0,68	0,71	0,54	0,25	0,33	0,15
2B	1,16	1,04	0,92	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	1,30	1,60	1,58
3A	0,62	0,61	0,57	0,05	0,21	-0,15	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>
3B	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	0,08	0,11	-0,08	0,40	0,44	0,23
	10 dias x 00m ³ ha ⁻¹			10 dias x 30m ³ ha ⁻¹			10 dias x 60m ³ ha ⁻¹			10 dias x 90m ³ ha ⁻¹		
1A	0,55	0,99	0,79	-0,13	0,65	-0,35	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	0,45	0,71	0,49
1B	0,005	1,65	1,48	0,32	0,60	0,47	-0,67	0,65	0,28	0,41	0,38	0,28
2A	0,33	0,22	0,06	0,67	0,77	0,49	0,53	0,65	0,45	0,49	0,52	0,34
2B	0,65	0,84	0,45	1,09	1,46	1,04	0,22	1,18	0,98	0,75	0,88	0,50
3A	0,19	0,28	0,25	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	0,38	0,36	0,34	0,71	0,74	0,54
3B	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	1,04	1,24	0,92	0,66	0,69	0,48	1,27	1,56	1,00
	25 dias x 00m ³ ha ⁻¹			25 dias x 30m ³ ha ⁻¹			25 dias x 60m ³ ha ⁻¹			25 dias x 90m ³ ha ⁻¹		
1A	0,22	0,21	0,16	0,68	0,82	0,51	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>
1B	0,70	0,80	0,46	0,10	0,12	0,03	0,44	0,43	0,41	1,05	1,09	0,90
2A	0,19	0,23	0,11	0,61	0,62	0,57	0,68	0,76	0,57	0,52	0,41	0,48
2B	0,36	0,70	-0,02	0,74	0,88	0,89	1,38	1,68	1,46	1,22	2,00	1,51
3A	0,35	0,42	0,32	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	0,18	0,25	0,10	0,50	0,50	0,31
3B	-0,76	0,67	-0,34	1,31	1,52	1,10	0,82	0,89	0,39	0,38	0,42	0,07
	40 dias x 00m ³ ha ⁻¹			40 dias x 30m ³ ha ⁻¹			40 dias x 60m ³ ha ⁻¹			40 dias x 90m ³ ha ⁻¹		
1A	0,21	0,26	-0,11	-0,27	0,22	-0,06	0,25	0,22	0,17	0,06	0,10	0,05
1B	0,89	1,13	0,68	0,68	0,84	0,45	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	0,06	0,11	-0,04
2A	1,42	1,41	1,45	0,82	0,82	0,38	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	0,31	0,39	0,11
2B	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>	0,04	0,04	-0,15	0,86	0,88	0,56	<i>na</i>	<i>na</i>	<i>na</i>
3A	0,62	0,66	0,35	1,77	1,76	1,60	0,93	1,03	0,34	0,23	0,22	0,003
3B	1,41	1,56	1,28	0,51	0,57	0,32	1,60	1,71	1,25	1,39	1,40	1,02

- *na* (ensaios anômalos que não apresentaram ajuste na taxa de infiltração)

- **TIB negativa**

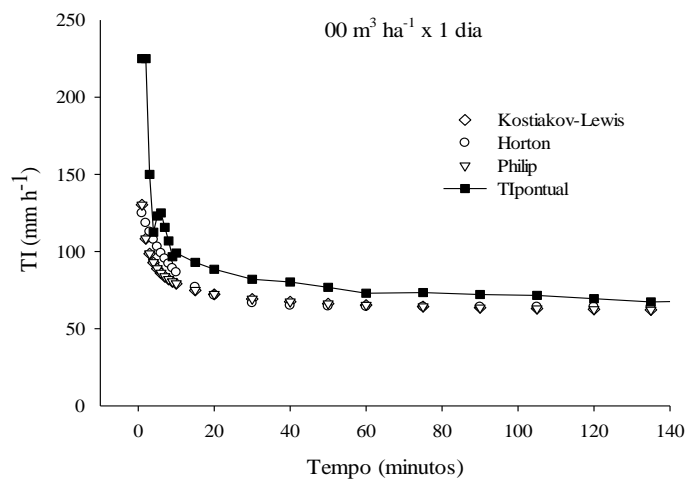
Os ensaios onde os modelos utilizados não foram eficientes no ajuste da TIB, por não seguirem o padrão da curva de infiltração característica, foram denominados anômalos, ocorrendo em 22 dos 120 ensaios realizados (Tabela 4). Na curva característica (Figura 1a), a infiltração inicia-se com uma alta taxa que decresce gradativamente até atingir um valor final constante, como citado por Libardi (2005). A Figura 1 (“b”, “c”, “d”, e “e”) ilustra exemplos de ensaios onde a curva da taxa de infiltração instantânea apresenta variações no processo de infiltração inicial, possivelmente em decorrência de fatores intrínsecos do solo, bem como

pela utilização do infiltrômetro de anéis concêntricos que podem proporcionar o surgimento de bolhas de ar que afetam o comportamento da TI.

Na Figura 1b, apresenta-se a TI no intervalo de avaliação de 40 dias para o tratamento sem aplicação de DLB. Observou-se nesse ensaio, que em 3 min ocorreu diminuição da taxa de infiltração seguida de um significativo aumento até o tempo de 15 min apresentando, a partir desse instante, comportamento constante. Pressupõe-se que essa diminuição seguida de posterior retomada da infiltração de água ocorreu em função da presença de bolhas de ar no solo, que afetariam a infiltração (Peck, 1969).

Na Figura 1c, apresenta-se também a TI avaliada no intervalo de 1 dia após aplicação, para a dose de $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ observando-se valores de TI inferiores a 30 mm h^{-1} e desprezíveis valores de TI entre 10 e 40 min. A partir de 40 min, observou-se um aumento na TI que pode ser entendido pela resistência a infiltração, ocasionada pela presença de bolhas de ar, nos ensaios realizados.

A partir da Figura (“d” e “e”), estimou-se que o rompimento das bolhas de ar ocorreu aproximadamente aos 15 min de avaliação para as doses de 60 e $90 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de DLB. Ressalta-se que nos ensaios anômalos não houve padrão da curva de infiltração característica, assim não houve convergência no ajuste dos modelos de infiltração acumulada propostos por Kostiakov-Lewis, Horton e Philip para os dados observados.



(a)

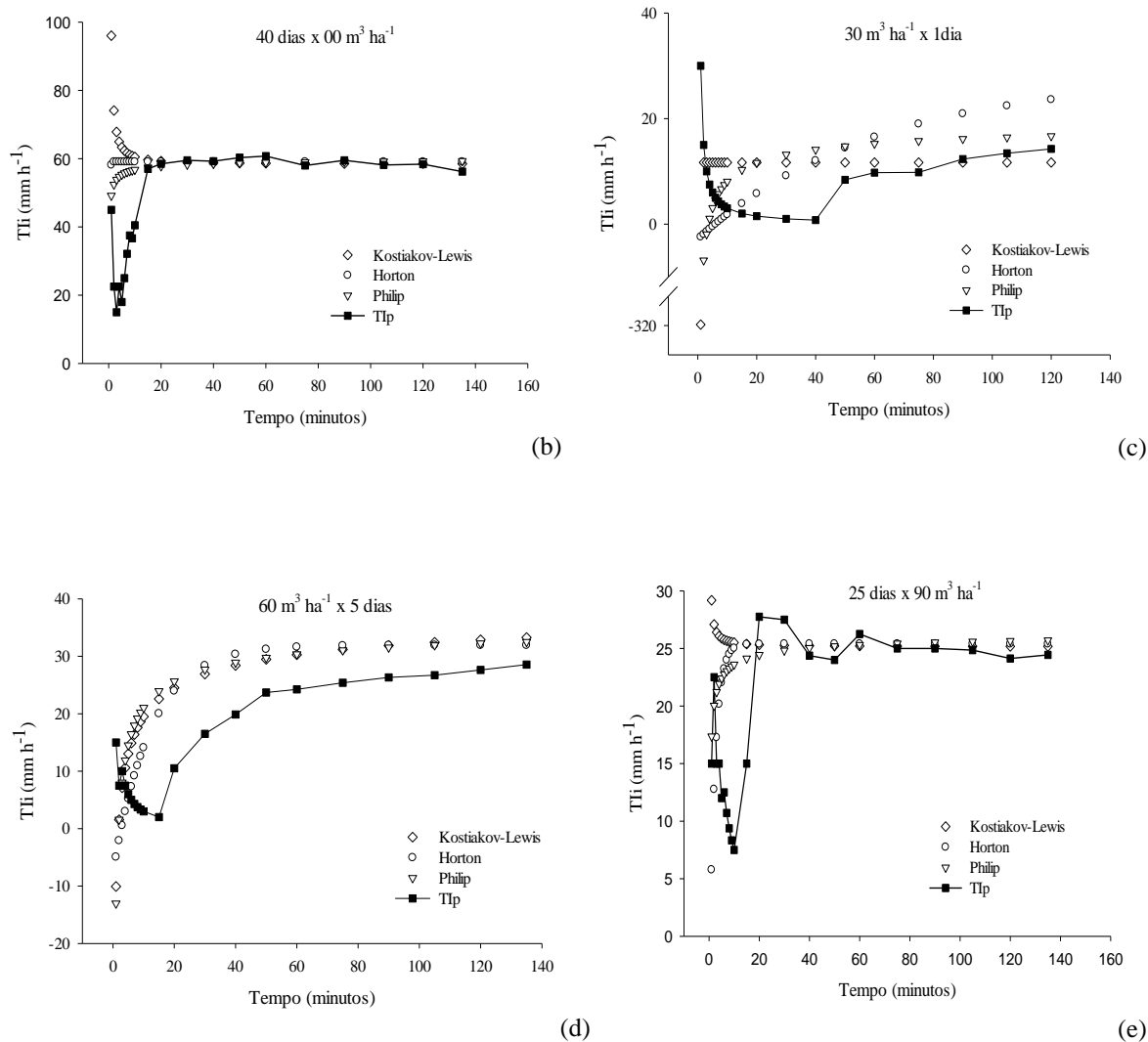


FIGURA 1. Ensaio de infiltração com curva característica (a) e exemplos de ensaios anômalos (b, c, d, e, f), ajustados pelos modelos de Kostikov-Lewis, Horton e Philip, bem como a Taxa Infiltração pontual (TIp)

Analisando-se o incremento das doses de DLB (30, 60 e 90 m³ ha⁻¹) nos ensaios anômalos versus o tempo de ocorrência do efeito da primeira desobstrução dos poros, notou-se uma tendência linear para os intervalos entre aplicação de 1, 10, 25 dias (Figuras 2a, 2c e 2d). O mesmo resultado não foi obtido para o intervalo entre aplicações de 5 e 40 dias (Figuras 2b e 2e). Essa não aleatoriedade presente nos resultados se traduz em tendência entre as variáveis analisadas, havendo indícios de uma contribuição do DLB pelo selamento subsuperficial, somado ao efeito das bolhas de ar na anomalia das curvas não características de infiltração. Entretanto, percebe-se por meio dos resultados que houve

poucas ocorrências desse comportamento para essa afirmação, o que caracteriza a necessidade de novos estudos de infiltração da água em solos que recebem altas doses de DLB para o entendimento físico da anomalia ocorrida nos resultados dos ensaios realizados neste trabalho.

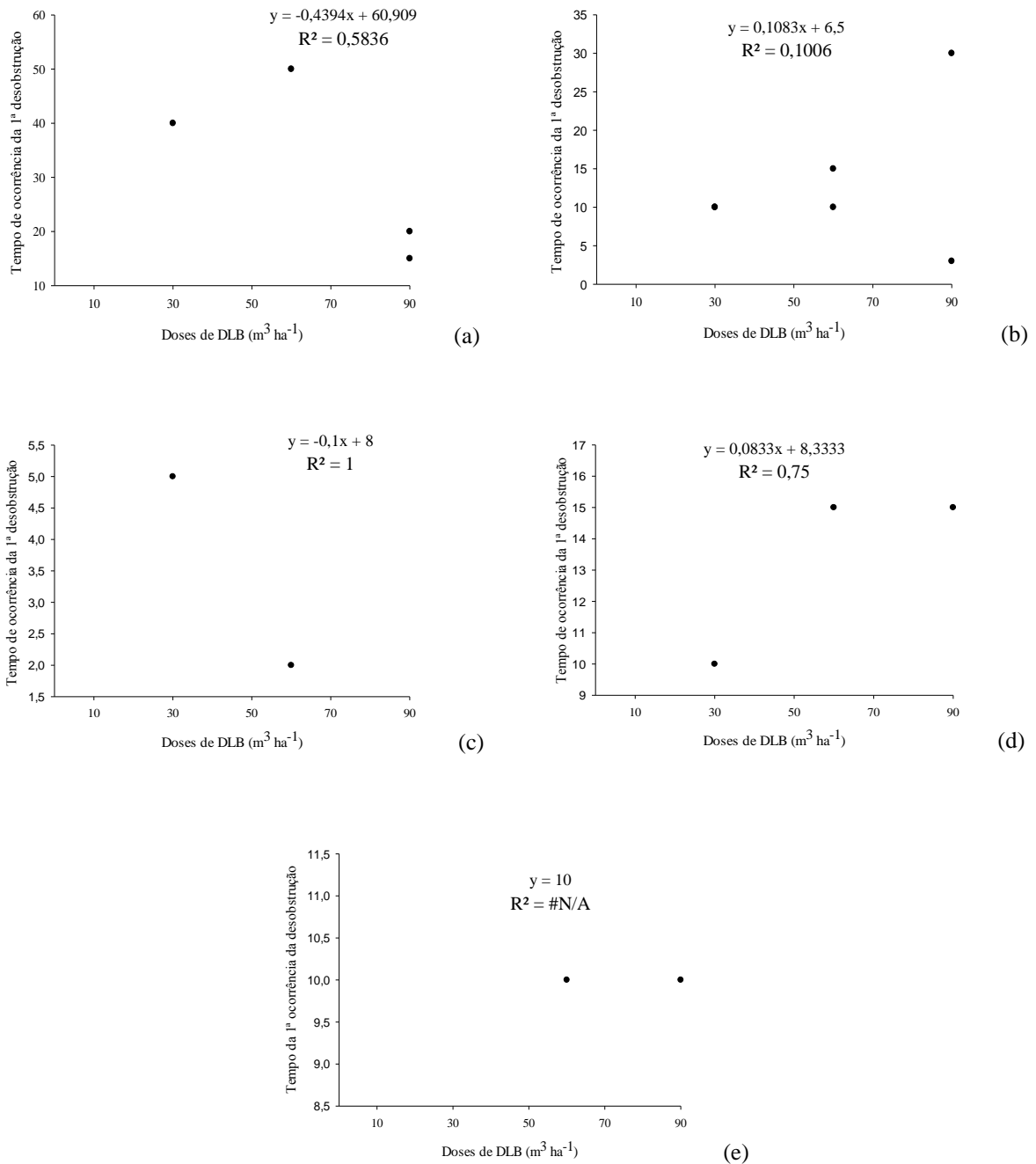


FIGURA 2. Tempo de ocorrência da desobstrução dos poros para o intervalo de avaliação de 1(a), 5(b), 10(c), 25(d) e 40(e) dias após aplicação, para as doses de 30, 60 e 90 m³ ha⁻¹.

3.2 Efeito da dose de dejetos e intervalo de avaliação na taxa de infiltração básica

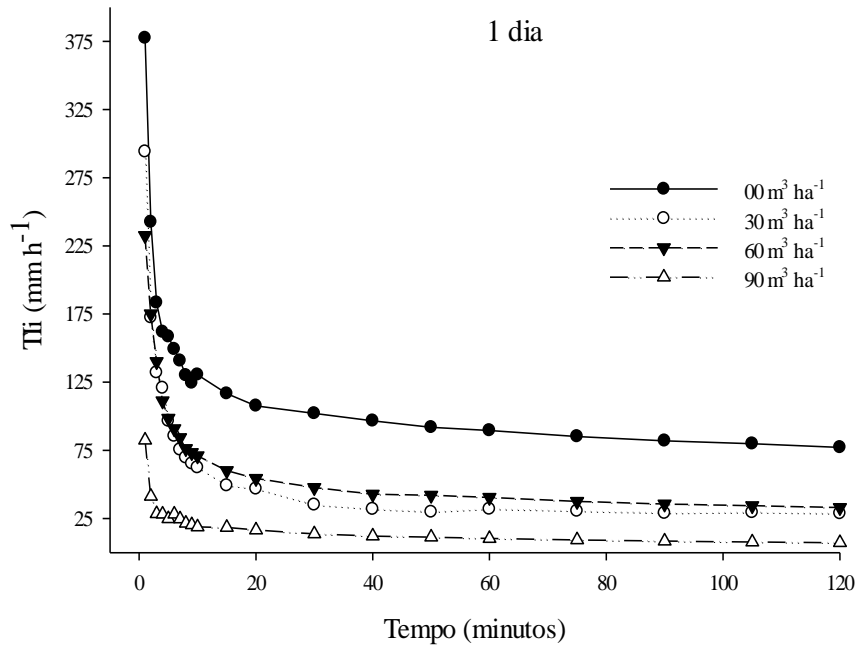
Devido ao alto coeficiente de variação (72 %) entre as TIBs encontradas não foi possível determinar diferenças pelos métodos estatísticos convencionais. Os valores apresentados na Tabela 6 mostram a grande variabilidade inclusive entre ensaios do mesmo tratamento e bloco. Observa-se, por exemplo, que no tratamento sem DLB na avaliação de 1 dia após aplicação, ocorreu variação de 15 a 208 mm h⁻¹ entre ensaios de uma mesma parcela. A alta variabilidade é uma característica comum na determinação da TI (Bouwen, 1986). Em sistema de plantio direto e aplicação de dejetos essa característica é acentuada, por fatores como rugosidade superficial, adensamento da camada superficial (Pinheiro et al., 2009), profundidade e tamanho de raízes (Meek et al., 1990), presença de palhada e rede de macroporos contínuos em profundidade (Khan et al., 2001).

No tratamento sem aplicação de DLB a taxa de infiltração variou de 12 a 208 mm h⁻¹ nos cinco períodos avaliados, com dados referentes à TIB (Tabela 6) em mm h⁻¹. Esses valores são similares os observados por Urchei & Fietz (1999) em plantio direto em Latossolo muito argiloso utilizando o método de infiltrômetro de anéis concêntricos, onde a taxa de infiltração variou de 13 a 328 mm h⁻¹ com valores médios de 93 mm h⁻¹.

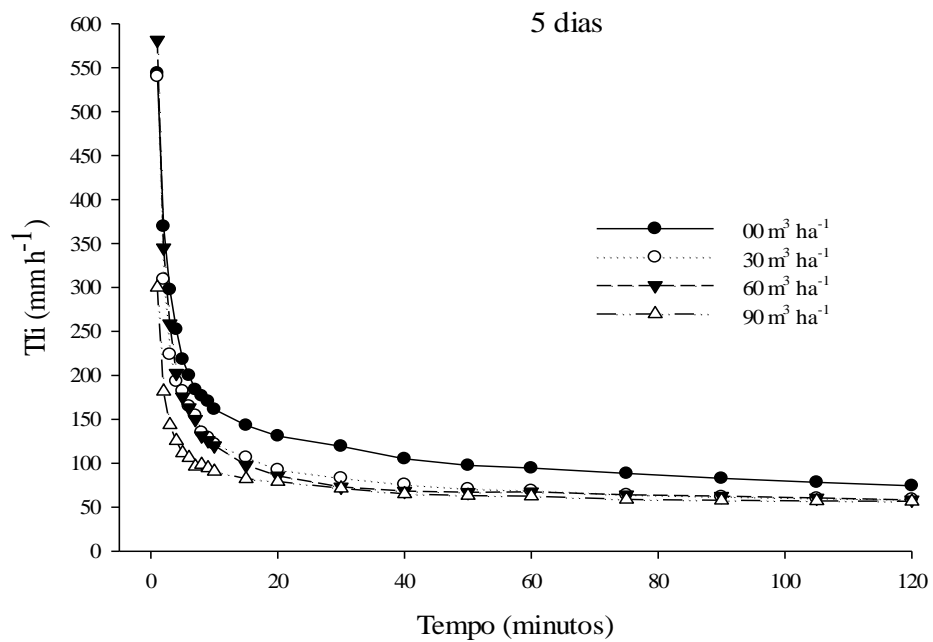
No intervalo de avaliação de 1 dia após a aplicação do dejetos líquido bovino (Figura 3a) a TI diminuiu com o aumento da dose, sendo que as maiores diferenças foram observadas na dose de 90 m³ ha⁻¹. Entre as doses de 30 m³ ha⁻¹ e 60 m³ ha⁻¹ não foi observada diferença na TI. Segundo Roberts & Clanton (2000), em curto prazo, o dejetos aplicado em superfície sem incorporação provoca entupimento dos poros e selamento. Smith et al. (2001) também em experimento de curto prazo, com ocorrência de chuva logo após aplicação do dejetos, encontraram maiores perdas de solo e de água, possivelmente pelo efeito de selamento provocado pelo dejetos, resultando na diminuição da infiltração de água no solo.

Oliveira et al. (2000) estudando a influência da aplicação de águas residuárias de suinocultura constatou que concentrações de sólidos totais de 27g L⁻¹ provocaram forte selamento superficial, sendo essa concentração muito inferior aos 105 g L⁻¹ de sólidos totais (Tabela 3) presentes no dejetos usado nesse estudo. No entanto, é importante ressaltar que além dos sólidos totais devem ser observadas as concentrações de dispersantes químicos como Na e K, já que esses elementos contribuem para o mecanismo químico no processo de selamento superficial do solo (Culley & Phillips, 1986), que colaboram com a redução na TI.

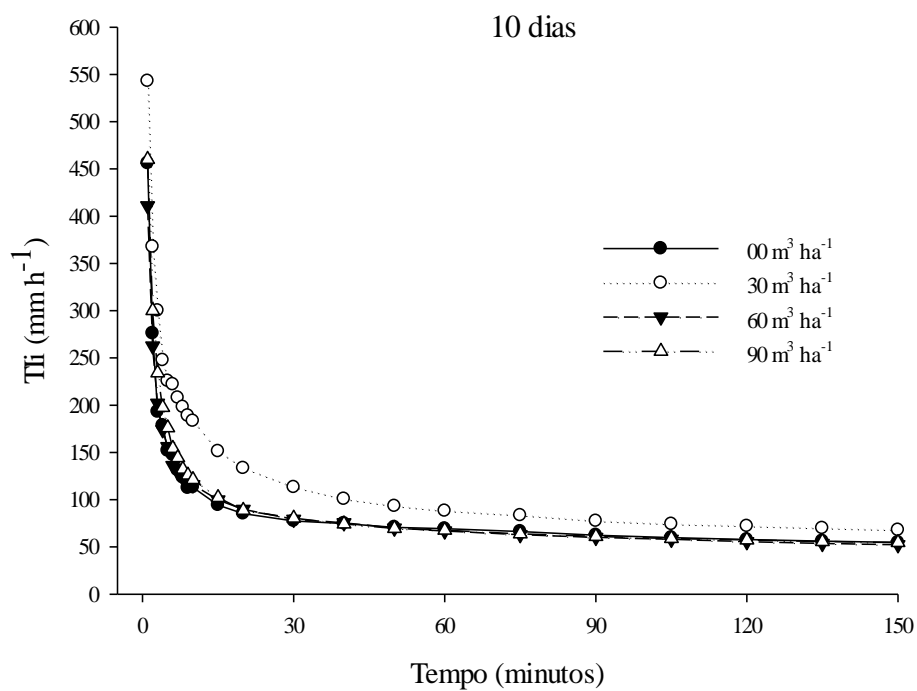
Observa-se na Figura 3 que a partir da avaliação de 5 dias após aplicação não é mais evidenciado o efeito do dejetos sobre a TIB, independente da dose aplicada, denotando-se assim que o maior impacto da aplicação de dejetos sobre a infiltração de água no solo e perdas por escoamento superficial ocorrem apenas nos primeiros dias após aplicação.



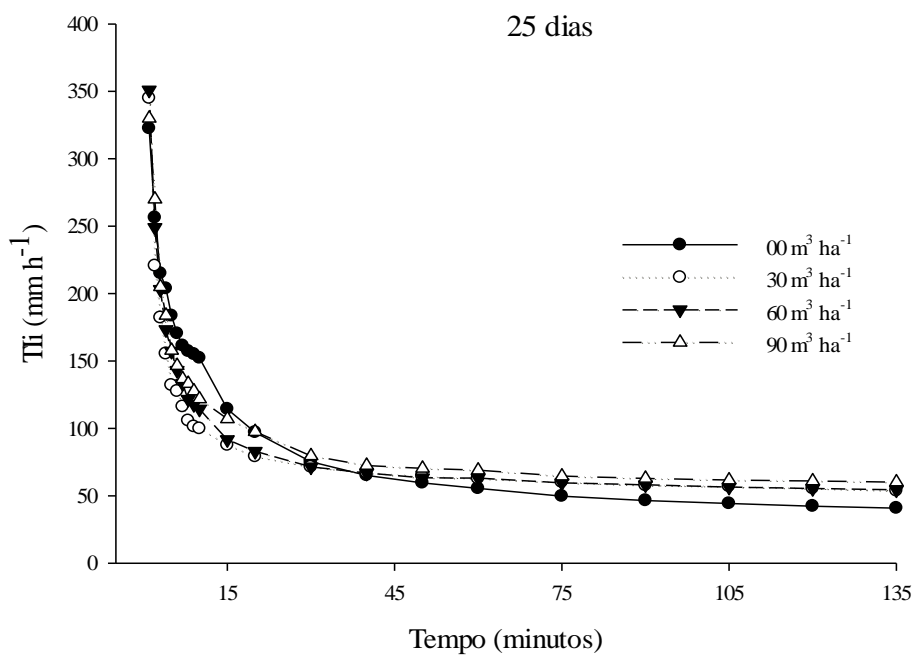
(a)



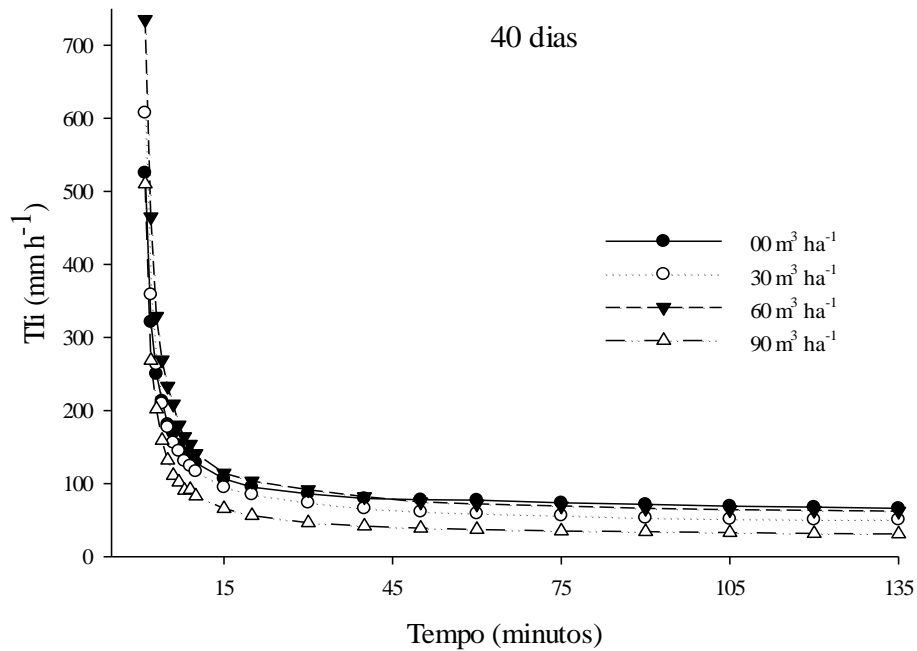
(b)



(c)



(d)



(e)

FIGURA 3. Curvas da taxa de infiltração ajustados para Horton dos valores médios para doses de 0, 30, 60 e 90 m³ ha⁻¹, no intervalo de avaliação de 1(a), 5(b), 10(c), 25(d) e 40(e) dias após aplicação do DLB.

O melhor ajuste encontrado para os dados médios de TIB, por meio da regressão do tipo $z = z(x,y)$, que permitisse encontrar o ponto crítico de máximo ocorreu da forma:

$$z = a + bx + c \ln(y) + dx^2 + e[\ln(y)]^2 + fx \ln(y) + gx^3 + h[\ln(y)]^3 + ix[\ln(y)]^2 + jx^2 \ln(y)$$

TABELA 7. Parâmetros de ajuste da equação de regressão da superfície de resposta.

Parâmetro	Valor	Parâmetro	Valor
<i>a</i>	62,31745	<i>f</i>	0,75891
<i>b</i>	-1,33452	<i>g</i>	-9,7531E-05
<i>c</i>	2,49983	<i>h</i>	1,97072
<i>d</i>	0,01663	<i>i</i>	-0,12135
<i>e</i>	-8,86849	<i>j</i>	-0,00204

Na Figura 3b ilustra-se o ajuste dos valores de TIB pela regressão do tipo $z = z(x, y)$, com coeficiente de determinação R² de 0,73. Com essa regressão é possível estimar a combinação máxima dose de DLB e intervalo mínimo de avaliação (ocorrência de chuva) onde a presença do dejetos em superfície não influenciará na TIB.

Por meio do ajuste dos valores de TIB pela regressão do tipo $z = z(x, y)$ observou-se que a combinação que maximiza a taxa de infiltração básica é o tratamento sem aplicação de DLB no intervalo de 1 dia de avaliação, com TIB média de 62 mm h^{-1} (Figura 4b). Para a aplicação de DLB, quando utilizada a equação $z = z(x, y)$, estimou-se uma DLB recomendada de até $70 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ com intervalo entre a aplicação e a ocorrência de precipitação de no mínimo 5 dias, para uma TI de 54 mm h^{-1} .

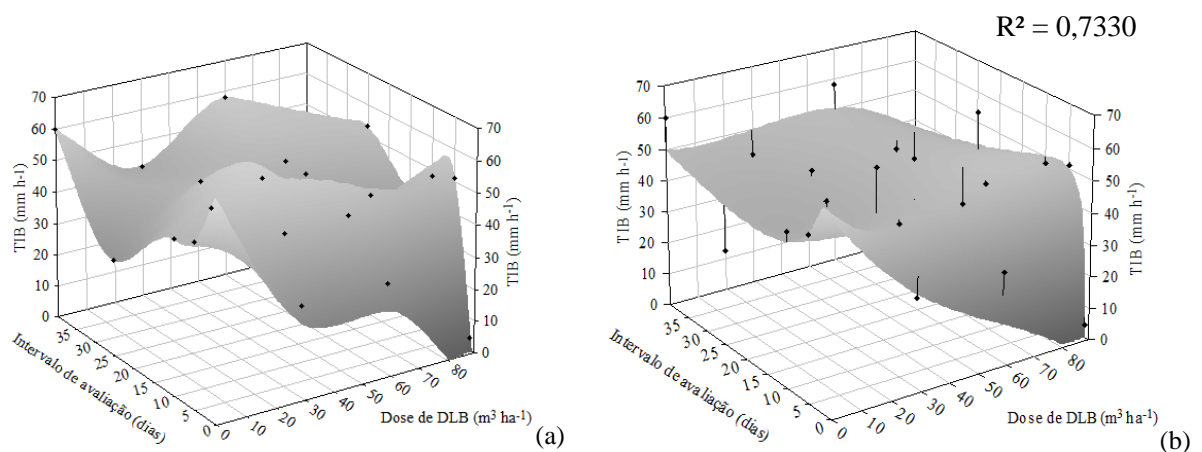


FIGURA 3. Superfície de resposta dos dados médios de Taxa de Infiltração Básica (mm h^{-1}): dados sem ajuste (a) e ajustados pela regressão do tipo $z(x, y)$ (b).

4 CONCLUSÕES

Nas condições em que o trabalho foi realizado e para a área de estudo, solo com textura muito argilosa sob sistema plantio direto, conclui-se que:

O modelo de infiltração proposto por Horton apresentou melhor ajuste para a maioria dos ensaios realizados, sendo adequado para determinar a taxa de infiltração básica.

O intervalo de avaliação de 1 dia após aplicação de DLB apresentou as menores taxas de infiltração básica, sendo que a menor taxa obtida ocorreu na dose de $90 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

Recomenda-se que a dose máxima de dejetos líquidos bovinos aplicada, com elevada concentração de sólidos totais, seja de $70 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e o intervalo entre aplicação e a ocorrência de precipitação seja, de no mínimo 5 dias para evitar possíveis problemas ambientais com poluentes associados ao escoamento superficial.

5 LITERATURA CITADA

ADELI, A.; BOLSTER, C.H.; ROWE, D.E.; MCLAUGHLIN, M.R. & BRINK, G.E. Effect of long-term swine effluent application on selected soil properties. *Soil Science*, 173:223-235, 2008.

ALLEN, B.L. & MALLARINO, A.R. Effect of liquid swine manure rate, incorporation, and timing of rainfall on phosphorus loss with surface runoff. . *Journal Environmental Quality*, 37:125-137, 2008.

ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A.C.T.; SOUZA, L.C.F.; GONÇALVES, M.C. & CARVALHO, D.F. Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 7:191-196, 2003.

BARRINGTON, S.F.; JUTRAS, P.J. & BROUGHTON, R.S. The sealing of soil by manure II. Sealing mechanisms. *Canadian Agricultural Engineering*, 29:105-108, 1987.

BERTOL, O.J.; RIZZI, N.E.; BERTOL, I. & ROLLOF, G. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associada à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 31:781-792, 2007.

BOUWER, H. Intake rate: Cylindre infiltrometer. In: Klute A. (Ed.) *Methods of Soil analysis Part 1 Physical and mineralogical methods* 2ed, Maddison, SSA, 1986. 825-844p.

BUNDY, L.G.; ANDRASKI, T.W. & POWELL, J.M. Management Practice Effects on Phosphorus Losses in Runoff in Corn Production Systems. *Journal Environmental Quality*, 30:1822-1828, 2001.

CHOUDHARY, M.; BAILEY, L.D. & GRANT, C.A. Review of the use of swine manure in crop production: effects on yield and composition and on soil and water quality. *Waste Management & Research*, 14:581-595, 1996.

CORRELL, D.L. The Role of Phosphorus in the Eutrophication of Receiving Waters: A Review. *Journal Environmental Quality*, 27:261-266, 1998.

CULLEY, J.L.B & PHILLIPS, P.A. Sealing of soils by liquid cattle manure. *Canadian Agricultural Engineering*, 29: 105-108, 1986.

DALRI, A.B.; CORTEZ, G.E.P; RIUL, L.G.S; ARAÚJO, J.A.C & CRUZ, R.L. Influência da aplicação de vinhaça na capacidade de infiltração de um solo de textura franco arenosa. *Irriga*, 4:344-352, 2010.

DANIEL, T.C.; SHARPLEY, A.N. & LEMUNYON, J.L. Agricultural phosphorus and eutrophication: A Symposium Overview. *Journal Environmental Quality*, 27:251-257, 1998.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de métodos de análise de solos. 2 ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

EMBRAPA / Fundação ABC. Mapa do levantamento semi-detalhado de solos: Município de Castro. Elaborado por: FASOLO, P.J.; CARVALHO, A.P.; BOGNOLA, I.A. & POTER, R.O. EMBRAPA - Fundação ABC, 2001.

FARES, A.; ABBAS, F.; AHMAD, A.; DEENIK, J.L. & SAFEEQ, M. Response of selected soil physical and hydrologic properties to manure amendment rates, levels, and types. *Soil Science*, 173:522-533, 2008.

GILLEY, J.E.; EGHBALL, B. & MARX, D.B. Nutrient concentrations of runoff during the year following manure application. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 50:1987-1999, 2007.

GONZÁLEZ-PEÑALOZA, F.A.; CERDÀ, A.; ZAVALA, L.M.; JORDÁN, A.; GIMÉNEZ-MORERA, A. & ARCENEGUI, V. Do conservative agriculture practices increase soil water repellency? A case study in citrus-cropped soils. *Soil & Tillage Research*, 124:233-239, 2012.

HAGHIGHI, F.; GORJI, M.; SHORAFI, M.; SARMADIAN, F. & MOHAMMADI, M.H.. Evaluation of some infiltration models and hydraulic parameters. *Spanish Journal of Agricultural Research* 8:210-217 2010.

HAYNES, J.R. & NAIDU, R. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 5:123-137, 1998.

HILLEL, D. *Environmental Soil Physics*. Academic Press, New York. 1998.

HOODA, P.S.; EDWARDS, A.C.; ANDERSON, H.A. & MILLER, A.A. A review of water quality concerns in livestock farming areas. *The Science of the Total Environment*, 250:143-147, 2000.

IAPAR - INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. Cartas climáticas do estado do Paraná. 2000. Disponível em: <http://www.iapar.br/Sma/Cartas_Climaticas/Cartas_Climáticas.htm>. Acesso em: 15 jun. 2012.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa pecuária municipal. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/ppm/default.asp>>. Acesso em: 05 mai. 2012.

JURY, W.; GARDNER, W.R. & GARDNER, W.H. *Soil physics*. New York, 5.ed. John Wiley & Sons, 1991. 328p.

KHAN, F.U.H.; TAHIR, A.R.; YULE, I.J. Intrinsic implication of different tillage practices on soil penetration resistance and crop growth. *International Journal of Agriculture and Biology*, 3:23-26, 2001.

- KEMPER, W.D. & ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. Methods of soil analysis. Madison American Society of Agronomy, 1986.p.425-442.
- Libardi, P.L. Dinâmica da água no solo. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo, 2005. 335p.
- MARTINS, A.P.L. & REISSMANN, C.B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químico analíticos. Scientia Agraria, 8:1-17, 2007.
- MBAGWU, J.S.C.; PICCOLO, A. & MBILA, M.O. Water-stability of aggregates of some tropical soils treated with humic substances. Pedologie, 43:269-284, 1993.
- MEEK, B.D.; DeTAR, W.R.; ROLPH, D.; RECHEL, E.R. & CARTER, L.M. Infiltration rate as affected by an alfalfa and no-till cotton cropping system. Soil Science Society of America Journal, 54:505-508, 1990.
- MELLEK, J.E.; DIECKOW J.; SILVA, V.L.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; VEZZANI, F.M. & SOUZA, J.L.M. Dairy liquid manure and no-tillage: Physical and hydraulic properties and carbon stocks in a Cambissol of Southern Brazil. Soil & Tillage Research, 110:69-76, 2010.
- MORI, H.F.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; DIECKOW, J. & SANTOS. W.L dos. Perda de água, solo e fósforo com aplicação de dejetos líquido bovino em Latossolo sob plantio direto e com chuva simulada. Revista Brasileira de Ciências do Solo, 33:189-198, 2009.
- NDAYEGAMIYE, A. & CÔTÉ, D. Effect of long-term pig slurry and solid cattle manure application on soil chemical and biological properties. Canadian Journal of Soil Science, 69:39-47, 1989.
- OGBE, V.B.; JAYEOBA, O.J. & ODE, S.O. Comparison of Four Soil Infiltration Models on A Sandy Soil In Lafia, Southern Guinea Savanna Zone of Nigeria. Production, Agriculture and Technology, 7:116-126, 2011.
- OLIVEIRA, R.A.; CAMPELO, P.L.G.; MATOS, A.T.; MARTINEZ, M.A. & CECON, P.R. Influência da aplicação de águas residuárias de suinocultura na capacidade de infiltração de um solo Podzólico vermelho-amarelo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 4:263-267, 2000.
- PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F.; ZEMPULSKI, H.C.; MIYAZAWA, M. & ZOCOLER, D.C. Manual de análise química de solo e controle de qualidade. Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná, 1992. 38p. (Circular, 76)
- PECK, A.J. Entrapment, stability, and persistence of air bubbles in soil water. Australian Journal of Soil Research, 7:79-90, 1969.
- PELES, D. Perdas de solo, água e nutrientes sob aplicação de gesso e dejetos líquido de suínos. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2007. 84p. (Dissertação de mestrado)

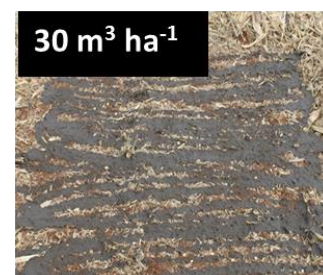
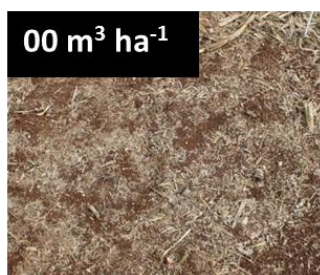
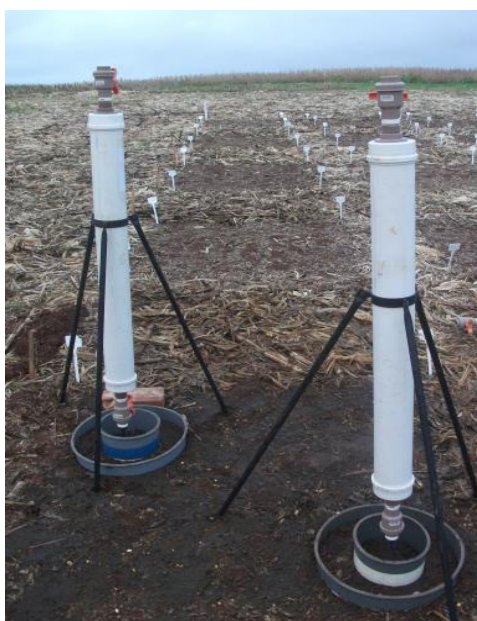
- PINHEIRO, A.; TEIXEIRA, L.P. & KAUFMANN, V. Capacidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos e práticas de manejo agrícola. *Revista Ambiente e Água*, 4:188-199, 2009.
- RASOULZADEH, A. & YAGHOUBI, A. Effect of Cattle Manure on Soil Physical Properties on a Sandy Clay Loam Soil in North-West Iran. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 8:976-979 2010.
- REICHARDT, K. Infiltração da água no solo. In: *Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas*. 2 ed. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1996. p.317-352.
- ROBERTS, R.J & CLANTON, C.J. Surface seal hydraulic conductivity as affected by livestock manure application. *American Society of Agricultural Engineers*, 43:603-613, 2000.
- SHARPLEY, A.N.; McDOWELL, R.W. & KLEINMAN, J.A. Phosphorus loss from land to water: Integrating agricultural and environmental management. *Plant and Soil*, 237:287-307, 2001.
- SCHERER, E.E.; BALDISSERA, I.T. & NESI, C.N. Propriedades químicas de um latossolo vermelho sob plantio direto e adubação com esterco de suínos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31:123-131, 2007.
- SHIGAKI, F.; SHARPLEY, A. & PROCHNOW, L.I. Animal-based agriculture, phosphorus management and water quality in Brazil: Options for the future. *Scientia Agricola*, 63:194-209, 2006.
- SILVANO, C. Atributos biológicos em solos sob plantio direto com aplicação de dejetos líquido bovino. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2011. 61p. (Dissertação de mestrado)
- SMITH, K.A.; JACKSON, D.R. & WITHERS, P.J.A. Nutrient losses by surface run-off following the application of organic manures to arable land. *Environmental Pollution*, 112:53-60, 2001.
- SUMNER, M.E. & STEWART, B.A. *Soil crusting: chemical and physical processes*. Boca Raton, Lewis Publishers, 1992. 371p.
- TOMASINI, B.A.; VITORINO, A.C.T.; GARBIATE, M.V.; SOUZA, C.M.A. & SOBRINHO, T.A. Infiltração de água no solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar sob diferentes sistemas de colheita e modelos de ajustes de equações de infiltração. *Engenharia Agrícola*, 30:1060-1070, 2010.
- URCHEI, M.A. & FIETZ, C.R. Variabilidade da taxa de infiltração básica de um Latossolo Roxo muito argiloso em dois sistemas de manejo. In: *XIV Congresso Latino-Americano de la Ciencia del Suelo*, Pucon, Temuco. *Suelo Ambiente-Vida*, Temuco: Sociedade Latino Americana de Ciência do Solo, 1999.

APÊNDICES

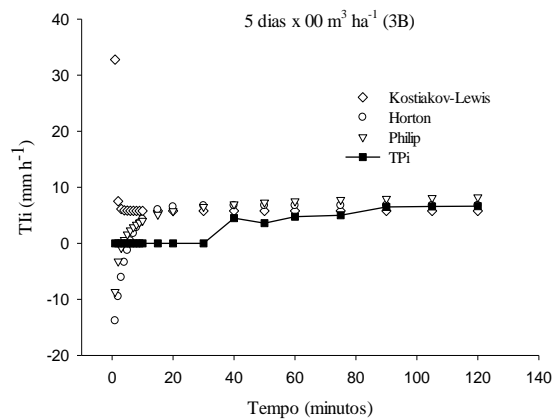
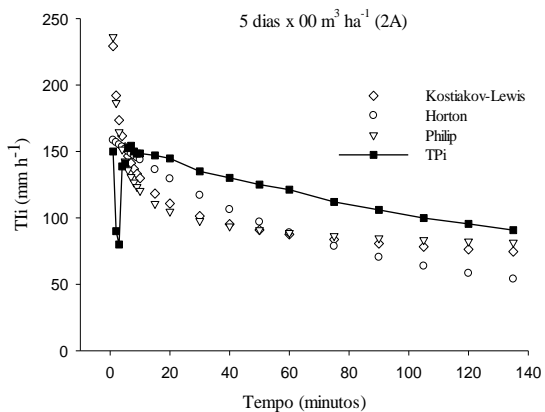
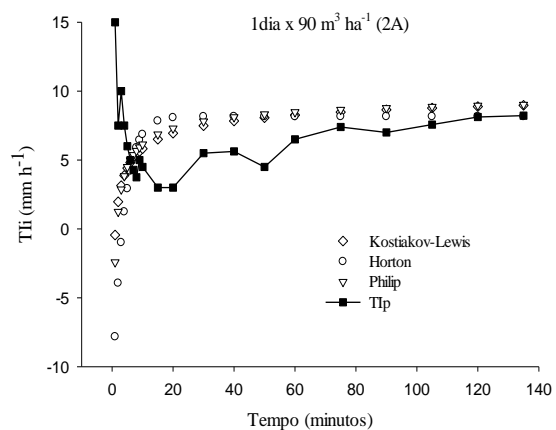
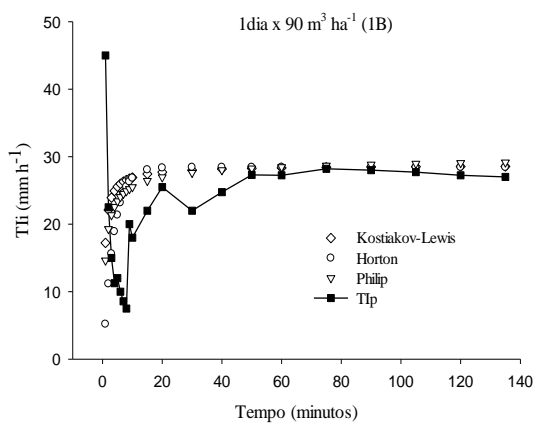
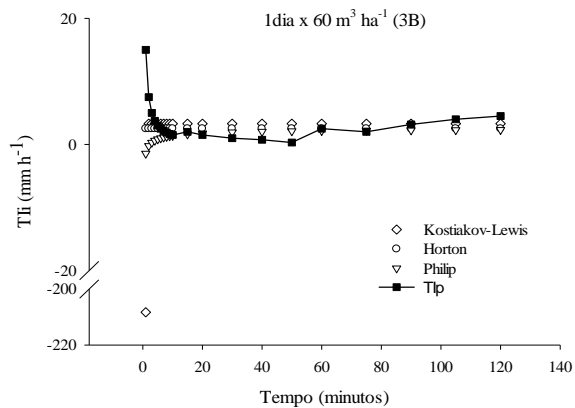
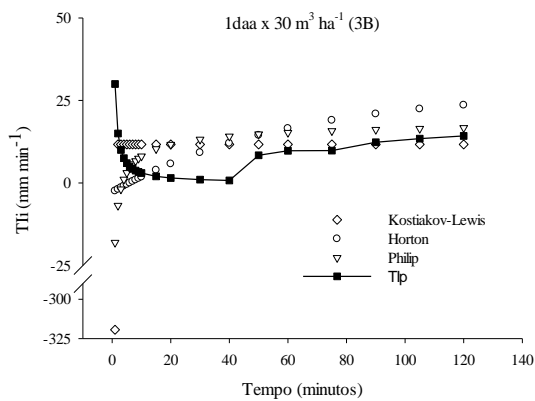
APÊNDICE 1. Croqui da área experimental

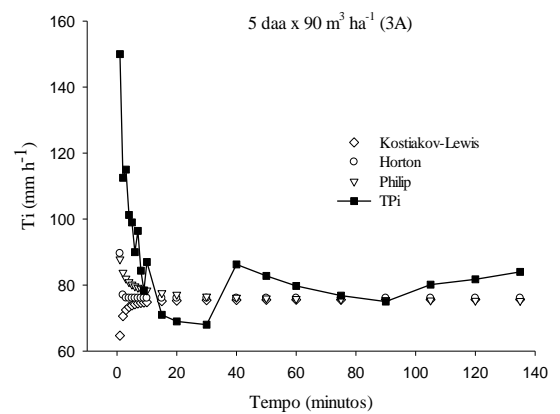
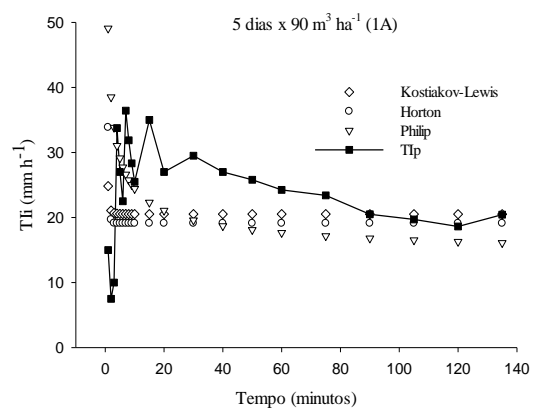
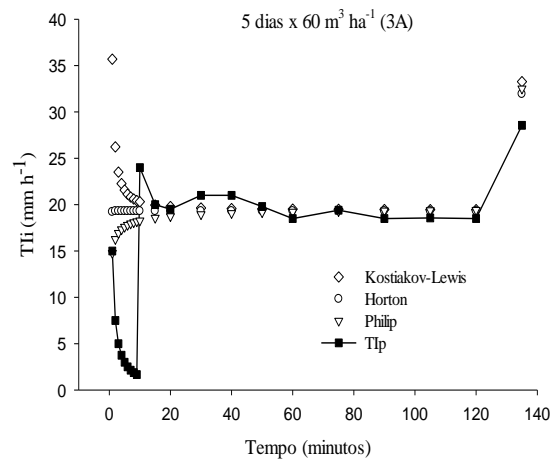
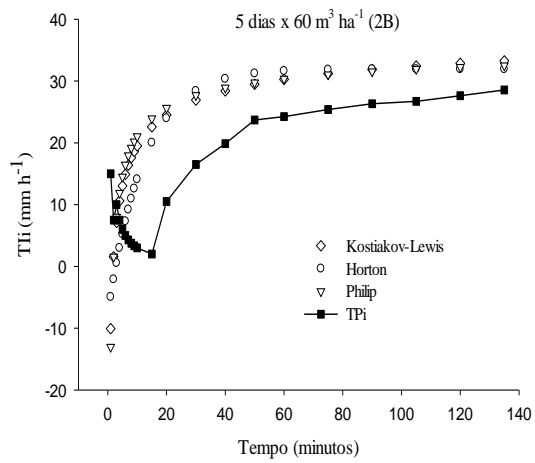
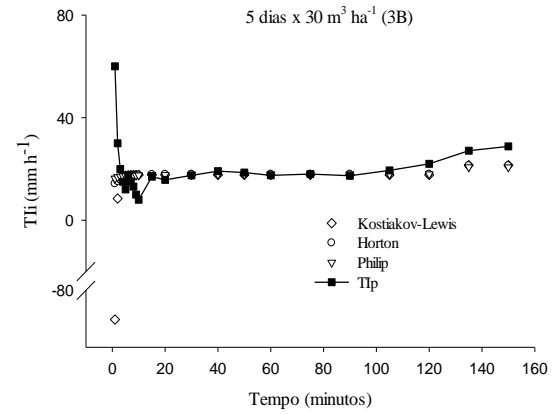
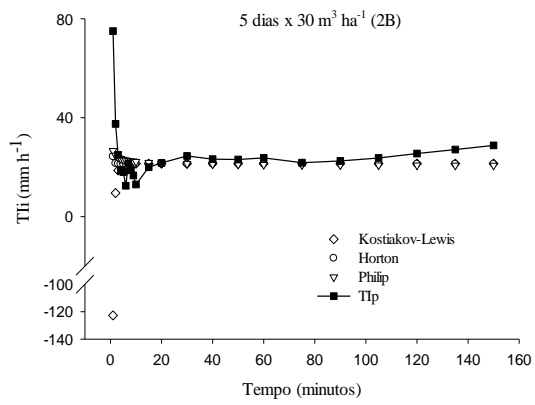
	BLOCO 1				BLOCO 2				BLOCO 3			
T5 40	B1 T5 30	B1 T5 90	B1 T5 0	B1 T5 60	B2 T5 0	B2 T5 60	B2 T5 90	B2 T5 30	B3 T5 90	B3 T5 0	B3 T5 30	B3 T5 60
T4 25	B1 T4 30	B1 T4 90	B1 T4 0	B1 T4 60	B2 T4 0	B2 T4 60	B2 T4 90	B2 T4 30	B3 T4 90	B3 T4 0	B3 T4 30	B3 T4 60
T3 10	B1 T3 30	B1 T3 90	B1 T3 0	B1 T3 60	B2 T3 0	B2 T3 60	B2 T3 90	B2 T3 30	B3 T3 90	B3 T3 0	B3 T3 30	B3 T3 60
T2 5	B1 T2 30	B1 T2 90	B1 T2 0	B1 T2 60	B2 T2 0	B2 T2 60	B2 T2 90	B2 T2 30	B3 T2 90	B3 T2 0	B3 T2 30	B3 T2 60
T1 1	B1T1 30	B1T1 90	B1T1 0	B1T1 60	B2 T1 0	B2 T1 60	B2 T1 90	B2 T1 30	B3 T1 90	B3 T1 0	B3T1 30	B3T1 60

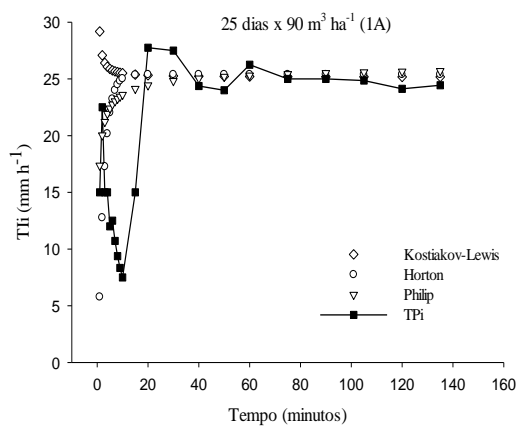
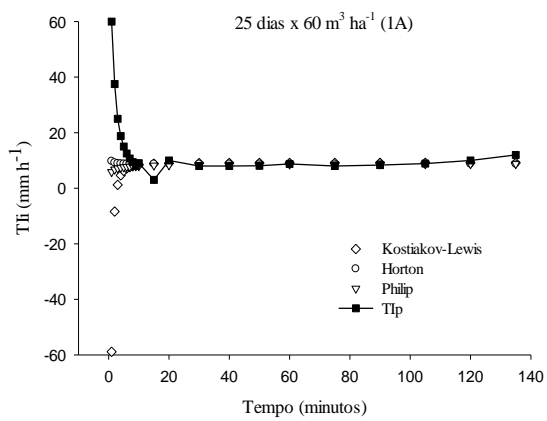
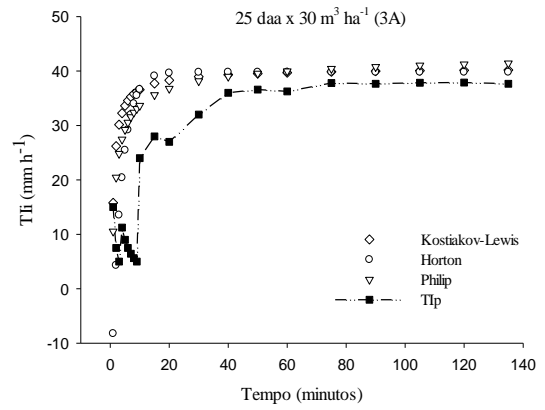
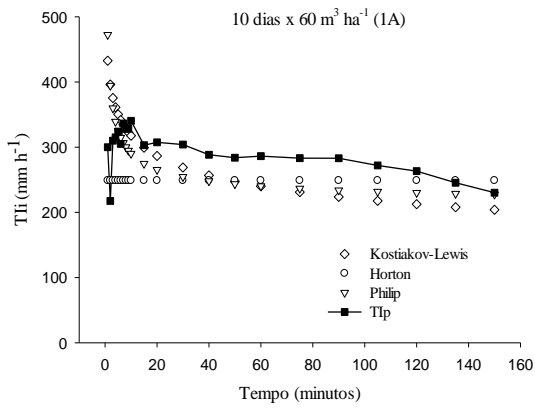
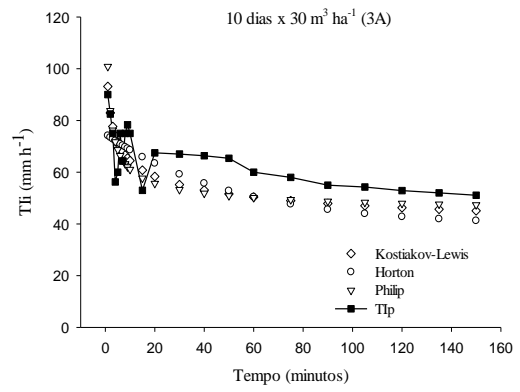
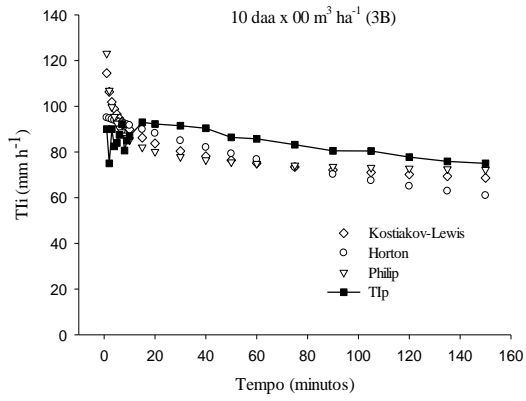
APENDICE 2. Ilustração de ensaio de infiltração e dos tratamentos sem aplicação e com aplicação de 30, 60 e 90 m³ há⁻¹ de dejetos líquido bovino (DLB)

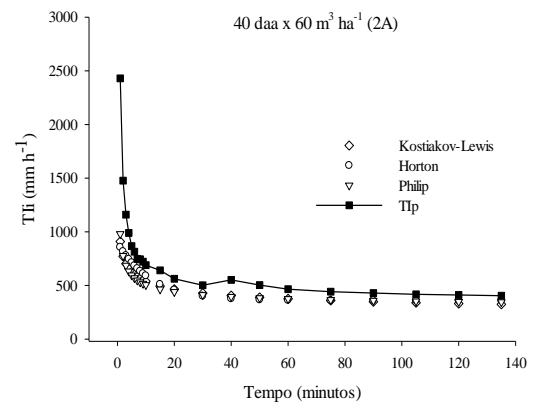
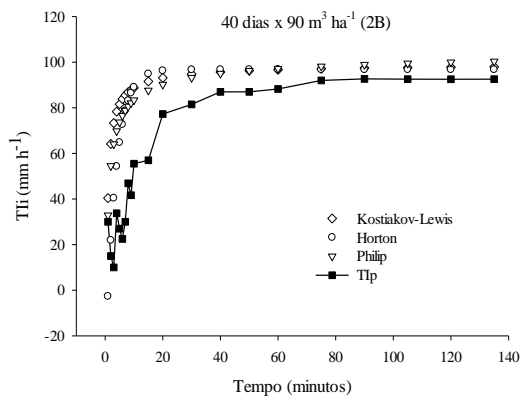
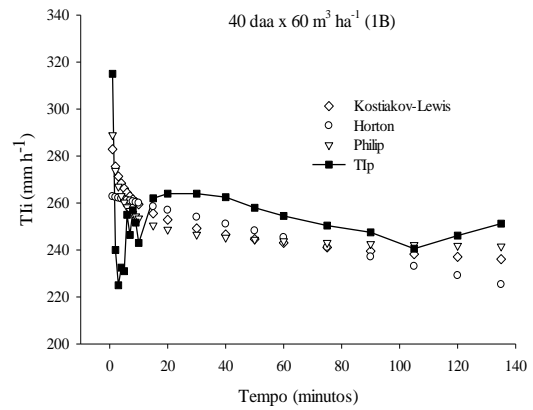
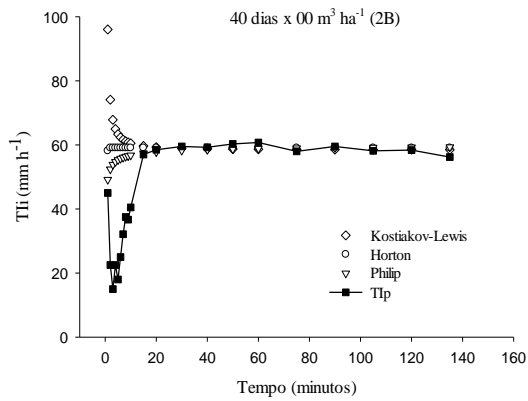


APÊNDICE 3. Testes de infiltração a campo que não tiveram comportamento da curva da Velocidade de Infiltração









Obs. No ensaio realizado na parcela com dose de 60 m³ há⁻¹, no intervalo de 40 dias após a aplicação do DLB ocorreu grande infiltração, sendo esta motivada por presença de canais produzidos por ratos. Sendo assim, este ensaio foi descartado afim de não comprometer os reais dados obtidos a campo.