

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CURSO DE AGRONOMIA

LUCAS DOS SANTOS DIERINGS

**INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO SOB DIFERENTES VOLUMES DE
ÁGUA RESIDUÁRIA DA SUINOCULTURA E CHUVAS SIMULADAS**

PALOTINA

2017

LUCAS DOS SANTOS DIERINGS

GRR20124157



**INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO SOB DIFERENTES VOLUMES DE
ÁGUA RESIDUÁRIA DA SUINOCULTURA E CHUVAS SIMULADAS**

Trabalho de Conclusão do Curso de
Gradação em Agronomia da Universidade
Federal do Paraná, apresentado como
requisito parcial à obtenção do título de
Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Elisandro Pires Frigo

PALOTINA

2017

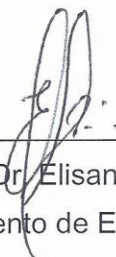
TERMO DE APROVAÇÃO

LUCAS DOS SANTOS DIERINGS

INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO SOB DIFERENTES VOLUMES DE ÁGUA RESIDUÁRIA DA SUINOCULTURA E CHUVAS SIMULADAS

Trabalho de conclusão de curso aprovado como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal do Paraná.

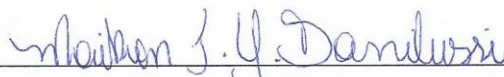
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Elisandro Pires Frigo
Departamento de Engenharia e Exatas
Universidade Federal do Paraná – UFPR / Palotina
Presidente da Banca



Luana Patricia Pinto
Mestranda em Eng. Agrícola
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE /
Cascavel



Maikon Tiago Yamada Danilussi
Mestrando em Tecnologia de Bioprodutos Agroindustriais
Universidade Federal do Paraná – UFPR/ Palotina

AGRADECIMENTOS

A Deus pelas infinitas vezes que me acordou quando andava distraído.

Ao Grande Mestre, orientador e amigo Dr. Elisandro Pires Frigo, pela orientação ao longo dos anos, não só na academia, mas também na vida, no sentido literal da palavra um verdadeiro Mentor.

Ao professor Dr. Jonathan Dieter que me auxiliou direcionando-me os estudos de modo a aproveitar melhor os resultados.

Aos professores do curso de Agronomia da Universidade Federal do Paraná, pelos ensinamentos e experiências transmitidos.

A Cristiane Fracaro Penzin pela parceria e resiliência a frente do experimento, sem o seu trabalho, o meu não seria possível.

Ao meu querido vô Davi, que sempre me apoiou, foi meu verdadeiro pai durante a vida, e hoje está em um lugar melhor, quando lembro de ti encontro forças para ir mais longe.

A minha família e especialmente minha mãe Marilda pelas suas infinitas rezas ao longo destes anos.

Aos meus amigos Anderson Grzesiuck, Giordani Battisti, Paulo Ferreira, Michel Santana, Marlon Thiago e Maikon Danilussi que me auxiliaram na execução do trabalho, seja com força bruta, experiência ou ideias.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	11
2.	OBJETIVO.....	12
3.	REVISÃO BIBLIOGRAFICA	13
3.1	Infiltração de água no solo.....	13
3.2	Chuva simulada	14
3.3	Modelos de estimativa da infiltração de água no solo.....	17
3.4	Água residuária da suinocultura.....	18
3.5	Pinhão Manso.....	19
4.	MATERIAL E MÉTODOS	20
4.1	Localização e caracterização da área experimental	20
4.2	Tratamentos.....	21
4.3	Análise física do solo	22
4.4	Instalação das calhas coletoras	22
4.5	Simulador de chuva	24
4.5.1	Calibragem do simulador	25
4.5.2	Simulação da intensidade de precipitação	26
4.6	Coleta do material escoado	27
4.7	Taxa de infiltração.....	27
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
5.1	Atributos físicos.....	29
5.2	Curvas de infiltração	30
6	CONCLUSÕES	35
	REFERÊNCIAS	36

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização da área experimental no Colégio Agrícola.....	20
Figura 2 - Distribuição das parcelas dentro da área experimental.....	21
Figura 3 - Projeto das calhas coletoras.....	22
Figura 4 - Calha instalada no campo e mangueira de escoamento.....	23
Figura 5 - Simulador de chuvas InfiAsper/UFMS.....	24
Figura 6 - Gerador de energia a gasolina.....	25
Figura 7 - Chuva simulada na parcela.....	26

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a capacidade de infiltração da água, através de simuladores de chuva após a aplicação de água residuária advinda da suinocultura (ARS) na cultura do pinhão manso (*Jatropha curcas L.*). Realizou-se o experimento utilizando-se três taxas de aplicação de ARS 0, 80 e 160 m³ ha⁻¹, em condições de duas intensidades de precipitação simulada 60 e 90 mm h⁻¹. O trabalho foi conduzido em uma área experimental do Colégio Agrícola Estadual Adroaldo Augusto Colombo, município de Palotina – PR. As 18 parcelas experimentais foram projetadas e construídas numa área de 900m², com uma calha coletora acoplada a parcela para receber somente o escoamento superficial gerado pela precipitação simulada. As simulações foram realizadas em dois eventos, o primeiro sete dias após a aplicação de ARS, enquanto que no segundo a simulação ocorreu 24 horas depois. Para descrever o processo de infiltração gerado com o equipamento escolheu-se o modelo de equação de Kostiakov onde descreve bem a curva de infiltração para períodos curtos. Avaliaram-se a macro e microporosidade do solo como também a densidade. Os estudos realizados neste trabalho mostraram diferença nas curvas de infiltração observadas entre a primeira e segunda simulação de chuva, podemos observar que na chuva simulada 7 dias após a aplicação de ARS obtiveram curvas superiores em todos os tratamentos em que foi aplicado ARS, tendendo ao aumento da capacidade de infiltração de água no solo, possibilitando assim menor escoamento superficial e conseqüentemente maior aproveitamento do adubo orgânico.

Palavras-chaves: dejetos suino, simulador de chuva, taxa de infiltração.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the water infiltration capacity through rain simulators after the application of residual water from swine (ARS) in *Jatropha curcas* L.. The experiment was carried out using three application rates of ARS 0, 80 and 160 m³ ha⁻¹, under conditions of two simulated precipitation intensities 60 and 90 mm h⁻¹. The work was conducted in an experimental area of the Adroaldo Augusto Colombo State Agricultural College, municipality of Palotina - PR. The 18 experimental plots were designed and built in an area of 900 m², with a collector trough coupled to the parcel to receive only the surface runoff generated by the simulated precipitation. The simulations were performed in two events, the first 7 days after application of ARS, while in the second the simulation occurred 24 hours later. In order to describe the infiltration process generated with the equipment, the Kostiakov equation model was chosen where it describes well the infiltration curve for short periods. The macro and microporosity of the soil were evaluated as well as the density. The studies performed in this study showed differences in the infiltration curves observed between the first and second rain simulation, we can observe that in the simulated rain 7 days after the application of ARS they obtained higher curves in all the treatments in which ARS was applied, tending to increase of the water infiltration capacity in the soil, thus allowing less surface runoff and consequently greater use of organic fertilizer.

Keywords: swine manure, rainfall simulator, infiltration rate.

1. INTRODUÇÃO

A infiltração de água no solo é o processo pelo qual a água atravessa seu perfil. Uma série de fatores podem influenciar no processo, características físicas do solo, cobertura vegetal, assim como as características da precipitação.

O processo de infiltração de água no solo é um dos principais componentes do ciclo hidrológico, a infiltração é responsável por auxiliar na reposição da umidade do solo assim como no reabastecimento do lençol freático, reduzindo o escoamento superficial e conseqüentemente a erosão hídrica (CARVALHO, 2012). Desde modo entender os processos de infiltração e escoamento superficial e suas relações com as características do solo é grande relevância para um manejo eficiente de solo e água.

Dentre as diversas formas utilizadas para determinar a infiltração a campo, destacam os simuladores de chuva, os permeâmetros e os infiltrômetros de anel. Porém, de acordo com Pruski et. al (1997), a determinação da infiltração de água no solo deve ser feita por métodos simples e capazes de representar adequadamente as condições em que se encontra o solo.

De modo prático, conhecer os processos de infiltração auxilia no dimensionamento de sistemas de irrigação, visto que ela determina a capacidade máxima que o solo tem em permitir a entrada de água no seu interior (COSTA et al., 1999).

A aplicação na agricultura da água residuária proveniente da suinocultura previamente tratada, é uma alternativa para disposição e reutilização frente à escassez de recursos hídricos. A utilização da água residuária da suinocultura (ARS) pode proporcionar benefícios ao solo, alterando propriedades físicas, químicas e biológicas, fornecendo condições básicas para o bom desenvolvimento das culturas.

Dessa maneira, a prática da fertirrigação pode ocasionar mudanças na capacidade de infiltração do solo possibilitando a formação de crostas alterando diretamente a dinâmica do solo estimulando o escoamento superficial (OLIVEIRA et al., 2000). Deste modo este trabalho teve como objetivo avaliar a capacidade de infiltração da água, através de simuladores de chuva após a aplicação de água residuária da suinocultura (ARS) na cultura do pinhão manso (*Jatropha curcas L.*)

2. OBJETIVO

Avaliar a capacidade de infiltração da água, através de simuladores de chuva após a aplicação de água residuária da suinocultura (ARS) na cultura do pinhão manso (*Jatropha curcas L.*), E estimar as curvas de infiltração pelo modelo Kostiakov.

3. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

3.1 Infiltração de água no solo

A infiltração de água no solo (I) é um processo dinâmico pelo qual a água adentra a superfície do solo. É geralmente expressado em litros ou milímetros (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2006).

Quando a capacidade de infiltração de água no solo é superada pela intensidade de precipitação o excedente esco superficialmente, causando primeiramente erosão hídrica e conseqüentemente perda da capacidade produtiva do solo e poluição de mananciais hídricos (OLIVEIRA, 2015)

A infiltração é um processo que separa o quanto da chuva ou irrigação esco na superfície do solo e quanto adentra no perfil do solo (LIBARDI, 1995).

O valor de chuva infiltrado é determinado pela diferença de intensidade de precipitação e o volume de escoamento superficial .

A velocidade de infiltração (VI) que é expressa em cm/h ou mm/h é um fator a ser considerado no manejo da irrigação, visto que é um fator essencial para determinar como uma lâmina de água se comporta no solo em relação ao tempo para infiltrar (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2006). Ainda segundo os autores a VI inicialmente se dá em função da umidade do solo no momento da precipitação e da cobertura do solo, no decorrer do processo a estrutura e textura do solo é que são determinantes. Em um mesmo tipo de solo, além da umidade a porosidade também tem capacidade de influenciar a VI.

De acordo com alguns testes realizados por Panachuki et al (2011) os autores constataram que a variação da umidade inicial do solo influenciou no tempo de início do escoamento superficial de água no solo. Parte dos testes foram conduzidos em períodos secos enquanto outros foram realizados após uma precipitação, a maior umidade do solo ocasionada pela chuva proporcionou um menor tempo para o início do escoamento superficial.

A VI tende a diminuir no decorrer da precipitação, quando atingir um valor quase constante ela é chamada de Velocidade de infiltração básica (VIB) ou Taxa de infiltração estável. Determinar a VIB é um importante atributo para a elaboração de projetos de irrigação, drenagem, conservação do solo e manejo da irrigação.

O objetivo da VIB é estabelecer taxa máxima de aplicação ou quantidade máxima de chuvas que o terreno suporta sem que tenham perdas de solo por escoamento superficial (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2008).

A taxa de infiltração é definida como a taxa de variação da infiltração acumulada ao longo do tempo, sendo representada pela equação 1.

Equação 1 - Taxa de infiltração

$$i = \frac{dI}{dt}$$

Em que:

i = taxa de infiltração de água no solo cm/h ou mm/h;

I = infiltração acumulada, cm ou mm;

t = tempo, h.

Assim, a partir de dados de lâmina de água infiltrada, em intervalos de tempos conhecidos para as condições desejadas pode-se construir modelos de I em função de t (PANACHUKI et al 2011)

3.2 Chuva simulada

Os equipamentos utilizados para determinar a velocidade de infiltração de água no solo, são denominados de infiltrômetros e podem ser infiltrômetros de anéis ou infiltrômetros de aspersão, também chamados de simuladores de chuva (PINTO, HOLTZ E MARTINS, 1976)

O estudo sobre o efeito das chuvas na infiltração de água no solo é de difícil aplicação visto que não é como ter controle sobre a duração, intensidade, distribuição e tipos de chuvas. Uma alternativa é a utilização de simuladores de chuvas ou infiltrômetros de aspersão que permitem controlar as características das mesmas, a principal vantagem é o fato de poder ser utilizados a qualquer momento (SOUZA, 2004)

Simuladores de chuvas são ferramentas projetadas para aplicar precipitações de água de forma similar às chuvas naturais. Porém as características das chuvas devem ser simuladas adequadamente para que os resultados sejam interpretados de forma correta, possibilitando informações confiáveis para as condições de chuva simulada (SILVEIRA & SALVADOR, 2000).

Os simuladores de chuvas permitem controlar as características relativas a intensidade, duração e frequência da precipitação, para que seja medido a infiltração no campo e ajustar modelos matemáticos que descrevam a infiltração da água em diferentes condições de solo ou sistemas de cultivo (PANACHUKI et al, 2011).

A utilização de simuladores de chuva para estudos de infiltração de água e escoamento superficial tem aumentado, visto que através dele se tem possibilidade de impactar o solo com energia cinética muito semelhante aquelas obtidas em chuva natural (NASCIMENTO, 2005)

O simulador de chuva utilizado no trabalho foi desenvolvido por Alves Sobrinho (1997), e aperfeiçoado por Nascimento (2005) o equipamento é de construção simples e fácil operação no campo, cujas características de precipitação relativas a diâmetro de gotas, velocidade e energia cinética de impacto das gotas no solo, são semelhantes às aquelas da chuva natural. O infiltrômetro desenvolvido, denominado InfiAsper/UFMS, possibilita a determinação da infiltração em uma parcela experimental de 0,70 m² e foi caracterizado quanto a diâmetro volumétrico médio de gotas produzidas, uniformidade de distribuição de água na parcela experimental, intensidade de precipitação, velocidade e energia cinética de impacto no solo da chuva produzida.

Com base no estudo de Meyer (1994) apud Brandão *et al.* (2006) os autores apresentaram as principais características que devem ser atendidas pelos simuladores de chuvas:

- distribuição do tamanho de gotas similar à das chuvas naturais, que em média apresentam diâmetros variando entre 1 e 3 mm;

- velocidade de impacto das gotas próxima à das chuvas naturais, que em média apresentam valores que variam de 6 a 7 m/s⁻¹;
- energia cinética das precipitações simuladas próxima a das precipitações naturais (a relação entre a energia cinética da precipitação simulada e aquela da chuva natural deve ser superior a 75%);
- intensidade de precipitação na faixa de interesse de estudos hidrológicos geralmente compreendidas entre 12 e 120 mm h⁻¹;
- área de aplicação da chuva de tamanho suficiente para representar os tratamentos e condições a serem avaliadas;
- intensidade de precipitação e características das gotas uniformes na área de aplicação da chuva simulada;
- gotas da chuva simulada devem atingir a parcela em estudo de forma contínua;
- o ângulo de impacto da maior parte das gotas não deve diferir expressivamente da direção vertical;
- possibilidade de repetição da aplicação de uma mesma chuva simulada;
- manutenção satisfatória das características da chuva quando usado em condições comuns de campo, tais como altas temperaturas e ventos moderados; e
- portabilidade para movimentação de uma área de pesquisa para outra.

3.3 Modelos de estimativa da infiltração de água no solo

Para descrever o processo de infiltração gerado com o equipamento escolheu-se o modelo de equação de Kostiakov (equação 2), onde descreve bem a curva de infiltração para períodos curtos, comuns em precipitações médias e pequenas.

Este modelo empírico apresenta valor de infiltração inicial tendendo para o infinito e a taxa de infiltração para longos valores de tempo tendendo a um valor próximo a zero, e não um valor constante que seria indicativo a velocidade de infiltração básica (VIB). No entanto vale ressaltar que para os interesses da irrigação a equação de Kostiakov representa adequadamente o processo de infiltração de água no solo (HILLEL, 1980 apud BRANDÃO et al., 2012).

Equação 2 - Equação Potencial (Kostiakov - 1932)

$$I = k.T^a$$

Em que:

I = infiltração acumulada (mm);

k = constante dependente do solo e condições iniciais;

T = tempo de infiltração (min); e

a = constante dependente do solo, variando de 0 a 1

Da Silva (2017) , afirma que os modelos propostos por Kostiakov e Kostiakov-Lewis obtiveram uma melhor estimativa da velocidade de infiltração, do que o método de Duplo anel concêntrico, em sistema de plantio direto e convencional na cultura da cana-de-açúcar.

Brandão et al (2012) ressalta que para os interesses da irrigação a equação representa adequadamente o processo de infiltração de água no solo.

3.4 Água residuária da suinocultura

A região Oeste do Paraná tem papel importante na economia do Brasil em relação à produção de carne suína, onde cerca de 62% de toda a produção do estado do Paraná está concentrada nesta região (SEAB, 2017). Devido ao sistema de produção intensiva, há grande acúmulo de resíduos desses animais, contudo para desenvolver uma prática sustentável de produção é necessário dar um destino para esses resíduos, e uma das soluções encontradas principalmente por pequenos produtores, é aplicá-los nas lavouras (SANTOS, 2008; CORREA et al., 2011).

A aplicação na agricultura da água residuária proveniente da suinocultura e previamente tratada, é uma alternativa para disposição e reutilização frente à escassez de recursos hídricos, além de apresentarem diversas vantagens como a alta carga de nutrientes necessários para o desenvolvimento das plantas o que reflete, na maior produtividade se bem manejado, a redução do uso de fertilizantes químicos, além da melhora nas características físicas, químicas e biológicas do solo (VAN DER HOEK et al., 2002; MEDEIROS et al., 2008; MORRILL et al., 2012; KOTSCHI, 2013).

O crescimento da produtividade pode ser demonstrado na cultura do milho quando utilizado adubos orgânicos, onde o tratamento com aplicação de ARS ocasionou maiores valores para estatura da planta, acumulo de massa seca, e produtividade (FRIGO, 2008)

Neste contexto, o uso da água residuária da suinocultura utilizada na fertirrigação de lavouras fornece as condições básicas para o bom desenvolvimento das culturas, contribuindo diretamente na conservação do solo (KAMIYAMA, 2011). Capaz e Nogueira (2014), identificaram em seus estudos que a água residuária atua como fonte suplementar repercutindo diretamente na resistência das plantas, assim como Oliveira et al. (1986), asseguram que as características físicas do solo são modificadas, tornando o solo mais poroso resultando na menor densidade aparente.

Contudo, a aplicação sem nenhum planejamento prévio pode ocasionar diversos efeitos negativos no solo, de modo que possa vir a contribuir para a contaminação do solo, poluição de corpos d'água superficiais, e águas subterrâneas (MATOS e MATOS, 2017)

Dessa maneira, a prática da fertirrigação pode ocasionar mudanças na capacidade de infiltração do solo possibilitando a formação de crostas alterando

diretamente a dinâmica do solo, e estimulando o escoamento superficial (OLIVEIRA et al., 2000).

3.5 Pinhão Manso

Deste modo, faz-se necessário determinar as quantidades de água infiltrada e escoada, durante o cultivo de pinhão manso, conforme a precipitação pluvial e das diferentes adubações, de modo a fornecerem resultados que orientem a otimização do uso de dejetos líquidos de animais pelos produtores, minimizando custos e impactos ambientais. Oferecendo ainda informações aos pesquisadores de combustíveis alternativos, quanto a influência da água residuária da suinocultura na acidez do óleo de pinhão manso, destinado a produção de biodiesel.

Essa oleaginosa vem despontando no cenário Brasileiro como uma matéria prima viável para produção de biodiesel, pois segundo Carnielli (2003), produz cerca de duas toneladas de óleo por hectare, levando de três a quatro anos para atingir a idade produtiva, estendendo-se a até quarenta anos. Para Salum *et al.* (2010), o pinhão manso mostra-se entre as oleaginosas mais promissoras no Brasil, por possuir elevado teor de óleo, ser de fácil cultivo, além do óleo possuir uma melhor estabilidade oxidativa que a soja e a palma e apresentar boa viscosidade, se comparada a mamona, apresentando uma elevada importância econômica e social.

A *Jatropha curcas* L. é tida como tolerante ao déficit hídrico para sobrevivência, e pode apresentar a capacidade de recuperação de áreas degradadas, crescendo em solos de baixa fertilidade, se adaptando em diversas regiões do Brasil. O Pinhão-manso é uma ótima opção para agricultura familiar, pois é uma cultura perene onde a colheita é feita manualmente, possui resistência a seca e se adapta facilmente a diversos ambientes. Pode ser cultivada em consórcio com outras culturas como amendoim, crambe, feijão entre outras.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização e caracterização da área experimental

O trabalho foi conduzido em uma área experimental do Colégio Agrícola Estadual Adroaldo Augusto Colombo, município de Palotina – PR, cujas coordenadas geográficas são de 24° 12' latitude sul, de 53° 50' 30 " longitude oeste (Greenwich), com altitude média de 332 metros. O clima da região é definido como subtropical úmido (segundo a classificação de Köppen), com verões quentes e invernos frios ou amenos. Geadas são frequentes no período mais frio, podendo acontecer no período entre o fim de maio e o início de setembro. A média anual de temperatura é de 20°C. Segundo EMBRAPA (2006), o solo apresenta textura argilosa, classificado como Latossolo Vermelho Distroférico. O experimento foi realizado em duas etapas a primeira em novembro de 2016 e posteriormente em fevereiro de 2017.

Figura 1 - Localização da área experimental no Colégio Agrícola.



Fonte: Google Earth (2017)

4.2 Tratamentos

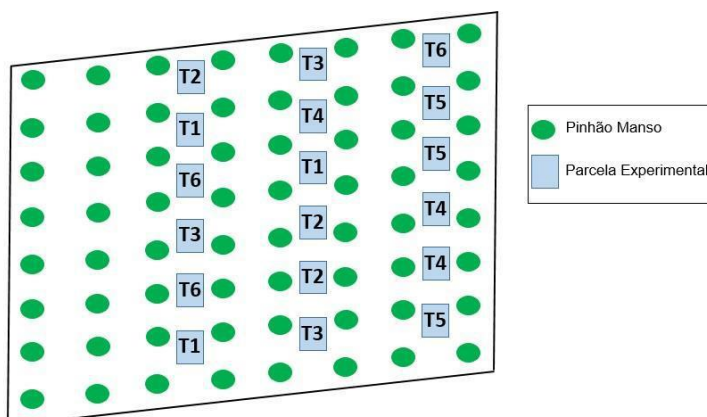
Os tratamentos empregados no experimento foram compostos da seguinte forma: água residuária da suinocultura (ARS) em três níveis (0, 80 e 160 m³ ha⁻¹); intensidade de precipitação (Ip) simulada em dois níveis (60 e 90 mm h⁻¹), compondo, portanto, 6 tratamentos com três repetições cada, totalizando 18 parcelas experimentais. Na Tabela 1 apresenta-se o resumo dos tratamentos.

Tabela 1 - Descrição dos tratamentos em função dos fatores e seus níveis

Tratamento	ARS (m ³ ha ⁻¹)	Ip simulada (mm h ⁻¹)
T1	0	60
T2	80	60
T3	160	60
T4	0	90
T5	80	90
T6	160	90

A distribuição das parcelas na área experimental, assim como a repartição dos tratamentos na área apresenta-se em forma de mapa como mostra a figura 2.

Figura 2 - Distribuição das parcelas dentro da área experimental.



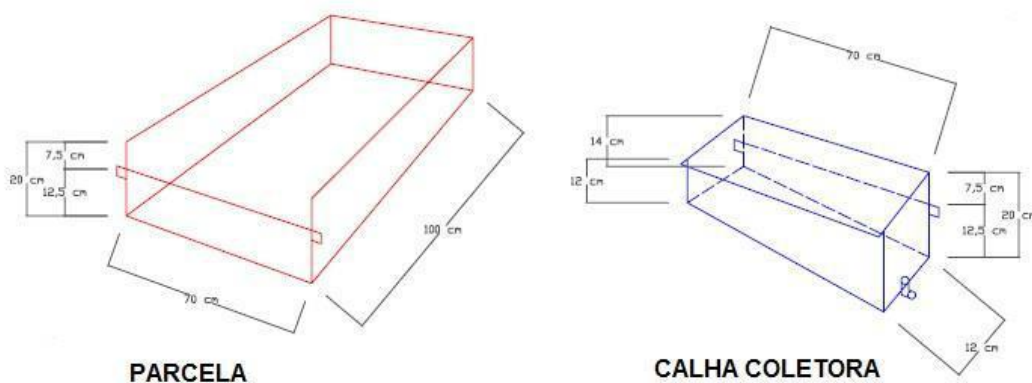
4.3 Análise física do solo

Na área utilizada para a implantação do experimento foram determinadas a densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade na camada de 0 a 10 cm. Foram coletados pontos distintos na área de cada parcela. O método utilizado para determinação é o de anéis volumétricos (EMBRAPA, 2006). Essa análise foi realizada no Laboratório de Física do Solo da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE.

4.4 Instalação das calhas coletoras

Foram instalados em campo 18 parcelas experimentais/calhas coletoras. A área da parcela experimental (de 0,7 m²) que recebia a chuva simulada era contornada por dispositivo de formato retangular, construído em chapas de aço galvanizadas (0,7 m de largura, 1,0 m de comprimento e 0,2 m de altura). Tal dispositivo, instalado no campo com o comprimento maior a favor do declive, era cravado na parte central da área de ação do simulador de chuvas. Elas foram projetadas para serem acopladas à parcela experimental e receber somente o escoamento superficial gerado pela precipitação simulada, sob cada parcela experimental, e conduzi-lo até o recipiente coletor. Na parte superior da calha coletora havia uma abertura para facilitar a retirada do solo erodido (Figura 3).

Figura 3 - Projeto das calhas coletoras



Fonte: Penzin (2017)

Cada parcela experimental foi cravada no solo com auxílio de um gabarito construído em madeira o qual recebeu a aplicação da força necessária para a penetração da parcela experimental ao solo sem danificá-la. Esse processo foi realizado com muito cuidado para mobilizar a menor quantidade possível de solo.

Após a inserção da parcela experimental no solo, foi acoplada a calha coletora na extremidade, a favor do desnível. Em seguida, se procedeu a abertura de uma vala com declive para acomodação da mangueira coletora que conduziu o escoamento superficial até o local de coleta. Na Figura 4 é possível observar uma parcela instalada no solo.

Figura 4 - Calha instalada no campo e mangueira de escoamento



Finalizou-se a instalação, determinou-se a declividade de cada parcela utilizando, uma mangueira com nível de água e régua para medição e posterior realização dos cálculos

4.5 Simulador de chuva

O simulador de chuvas empregado para calcular as curvas de infiltração foi o infiltrômetro de aspersão InfiAsper/UFMS, (Figura 5) desenvolvido por Alves Sobrinho (1997) e aprimorado por Nascimento (2005).

Figura 5 - Simulador de chuvas InfiAsper/UFMS



Fonte: Dieter, 2009.

Devido ao fato de não haver energia elétrica acessível no local do experimento, foi necessário utilizar um gerador de energia a gasolina, modelo NG800e Nagano, de propriedade da UFPR – Setor Palotina (Figura 6)

Figura 6 - Gerador de energia a gasolina



Fonte: Penzin (2017)

4.5.1 Calibragem do simulador

Para poder simular uma chuva com intensidade de precipitação exigida pelo tratamento correspondente é necessário calibrar o equipamento. Para isso utiliza-se uma bandeja de 1,0 m de comprimento por 0,7 m de largura colocada dentro da área de ação do equipamento. A intensidade de precipitação (I_p), em mm h⁻¹, foi estimada pela relação:

Equação 2 - Cálculo de calibração do Simulador

$$I_p = \frac{V}{A \cdot \left(\frac{T}{60}\right)}$$

Onde:

I_p - Intensidade de precipitação

V - volume coletado da bandeja (L)

A - área da bandeja (0,70 m²)

T - duração da precipitação (horas)

4.5.2 Simulação da intensidade de precipitação

A Intensidade de precipitação (I_p) simulada foi realizada por duas vezes: na primeira vez foi aplicado em novembro de 2016, 7 (sete) dias após a aplicação da ARS. Na segunda realizada em fevereiro de 2017, 24 (vinte e quatro) horas depois de aplicar o dejetos suíno. A simulação da I_p aconteceu até atingir o tempo estimado para cada precipitação atingir o mesmo volume de água aplicado. Para a precipitação de 60 mm h^{-1} o tempo de simulação foi de 70 minutos, enquanto o tempo utilizado na precipitação de 90 mm h^{-1} foi de 47 minutos, obtendo assim um volume de 49 litros aplicado em todos os tratamentos.

Figura 7 - Chuva simulada na parcela



Fonte: O autor, 2017

4.6 Coleta do material escoado

Para iniciar a precipitação simulada foi realizado um pré-molhamento 24 horas antes para oferecer uma umidade uniforme entre as parcelas, constituindo-se um pré-requisito antes de aplicar a chuva simulada (COGO et al., 1984)

Após iniciar da chuva foi cronometrado o tempo do início e do fim do escoamento superficial. A primeira amostra coletada foi após o início do escoamento na calha coletora. A cada 3 (três) minutos de operação era anotado o volume escoado.

4.7 Taxa de infiltração

Após iniciar a simulação toda a chuva que chega ao solo infiltra. A taxa de infiltração inicial é igual a intensidade de precipitação aplicada, e é válida até começar a acumular água na superfície do solo, num tempo T. Após dar início ao escoamento começa-se a medir os volumes em determinados espaços de tempo. O valor de chuva infiltrado é determinado pela diferença do volume de precipitação (P) e o volume de escoamento superficial (E).

Com os dados de escoamentos obtidos possibilitou-se calcular a infiltração total de água no solo, como mostra a equação a seguir:

Equação 3 - Infiltração de água no solo

$$I = P - E$$

A velocidade de infiltração é derivada da infiltração acumulada, em relação ao tempo. Existem vários métodos para descrever a velocidade de infiltração (VI) de um solo, para escolher o método apropriado, deve-se avaliar se o sistema de irrigação a ser implantado é congruente com o padrão de infiltração. (BRANDÃO, 2012)

Equação 4 - Velocidade de infiltração

$$VI = \frac{I}{T}$$

Onde:

VI – Velocidade de infiltração

I – Volume de água infiltrado no solo (L)

T- Duração da precipitação (horas)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Atributos físicos

A Tabela 2 apresenta os valores médios encontrados para densidade do solo, volume total de poros, macroporosidade e microporosidade presentes na camada superficial do solo (0-10 cm). Os dados foram coletados 7 dias após a primeira simulação.

Tabela 2 - Valores médios de densidade do solo (mg m^3), macroporosidade do solo (%), microporosidade do solo (%) e volume total dos poros (%) correspondentes as três doses de ARS, 0; 80; 160. No município de Palotina -PR, no ano de 2017.

Tratamento	ARS ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	Densidade do Solo (g/cm^3)	Porosidade Total (%)	Microporosidade (%)	Macroporosidade (%)
T1	0	1.39333 a	49.26667 a	29.23333 a	20.03667 ab
T2	80	1.33667 a	51.28333 a	30.64667 a	20.63667 ab
T3	160	1.38333 a	49.76667 a	28.13667 a	21.63000 ab
T4	0	1.49333 a	45.62000 a	28.15000 a	17.47000 b
T5	80	1.38000 a	49.84333 a	28.68333 a	21.15667 ab
T6	160	1.33667 a	51.48000 a	28.59667 a	22.88000 a
		dms = 0.19284	dms = 7.01309	dms = 3.46127	dms = 4.91030
		CV% = 5.07	CV% = 5.16	CV% = 4.37	CV% = 8.68

Médias seguidas com a mesma letra não diferem entre si a 5% de significância no teste de Tukey.

Analisando-se os dados obtidos, verifica-se que para a densidade do solo, microporosidade e volume total de poros, não houve diferença significativa entre as doses de ARS avaliadas. Embora a densidade do solo tenha sido semelhante nas três doses avaliadas, verifica-se uma tendência de maior densidade nos tratamentos sem aplicação de ARS. Segundo Vitorino (1986) as maiores densidades podem ser decorrentes da redução da matéria orgânica no solo. Dentre os fatores físicos do solo o único que teve diferença significativa foi a macroporosidade, onde os valores elevados em relação aos demais foi observado na dose de ARS de $160 \text{ m}^3 \text{ há}^{-1}$. Enquanto o menor valor foi observado na parcela sem aplicação de ARS. Os menores valores de macroporosidade estão associados com os maiores valores de densidade

do solo, fato que é evidenciado por uma correlação negativa ($r = 0,85$) entre esses atributos.

5.2 Curvas de infiltração

Avaliaram-se as curvas de infiltração estimada pelo modelo de Kostiakov descrito por Brandão (2012), o ajuste foi realizado utilizando equações potenciais. Neste modelo a variável dependente é a taxa de infiltração (TI) e a variável independente o tempo (x), os resultados obtidos encontram-se na tabela abaixo (Tabela 3).

Tabela 3 - Curvas de infiltração ajustadas para pelo modelo Kostiakov e coeficientes de determinação. Sob diferentes doses de ARS e chuva simulada em Palotina -PR no ano de 2017.

TRATAMENTOS	1º SIMULAÇÃO		2º SIMULAÇÃO	
	Taxa de Infiltração	R ²	Taxa de Infiltração	R ²
T1 0 m ³ /ha e 60 mm	TI = 47,159x ^{-0,07}	0,9305	TI = 46,117x ^{-0,184}	0,9165
	TI = 50,336x ^{-0,198}	0,9839	TI = 59,764x ^{-0,164}	0,7633
	TI = 47,205x ^{-0,051}	0,6449	TI = 49,104x ^{-0,105}	0,9626
T2 80 m ³ /ha e 60 mm	TI = 46,61x ^{-0,065}	0,9349	TI = 27,062x ^{-0,184}	0,7046
	TI = 44,522x ^{-0,027}	0,6804	TI = 44,823x ^{-0,255}	0,9916
	TI = 60,285x ^{-0,204}	0,9462	TI = 65,407x ^{-0,308}	0,9456
T3 160 m ³ /ha e 60 mm	TI = 58,306x ^{-0,206}	0,9330	TI = 185,68x ^{-0,887}	0,8958
	TI = 44,916x ^{-0,033}	0,6732	TI = 65,917x ^{-0,46}	0,8764
	TI = 52,805x ^{-0,129}	0,8557	TI = 59,41x ^{-0,332}	0,9572
T4 0 m ³ /ha e 90 mm	TI = 82,947x ^{-0,167}	0,9225	TI = 96,793x ^{-0,228}	0,8287
	TI = 63,26x ^{-0,165}	0,9681	TI = 73,002x ^{-0,155}	0,9560
	TI = 67,409x ^{-0,052}	0,7792	TI = 67,814x ^{-0,147}	0,9391
T5 80 m ³ /ha e 90 mm	TI = 75,378x ^{-0,11}	0,9050	TI = 75,861x ^{-0,269}	0,9745
	TI = 82,316x ^{-0,276}	0,9750	TI = 30,788x ^{-0,255}	0,9925
	TI = 82,023x ^{-0,264}	0,9918	TI = 57,594x ^{-0,208}	0,9543
T6 160 m ³ /ha e 90 mm	TI = 74,644x ^{-0,212}	0,9525	TI = 51,717x ^{-0,385}	0,7941
	TI = 57,737x ^{-0,232}	0,9661	TI = 85,657x ^{-0,186}	0,8942
	TI = 111,36x ^{-0,469}	0,9753	TI = 66,455x ^{-0,296}	0,9623

Ti – Taxa de infiltração em mm h⁻¹ e x - tempo em minutos

Observou-se que os coeficientes de determinação variam de 64,4 % (T1) até 99% (T5) para as equações da primeira precipitação simulada; e de 70% (T2) até 99% (T2 e T5) para a segunda simulação. O coeficiente de determinação representa

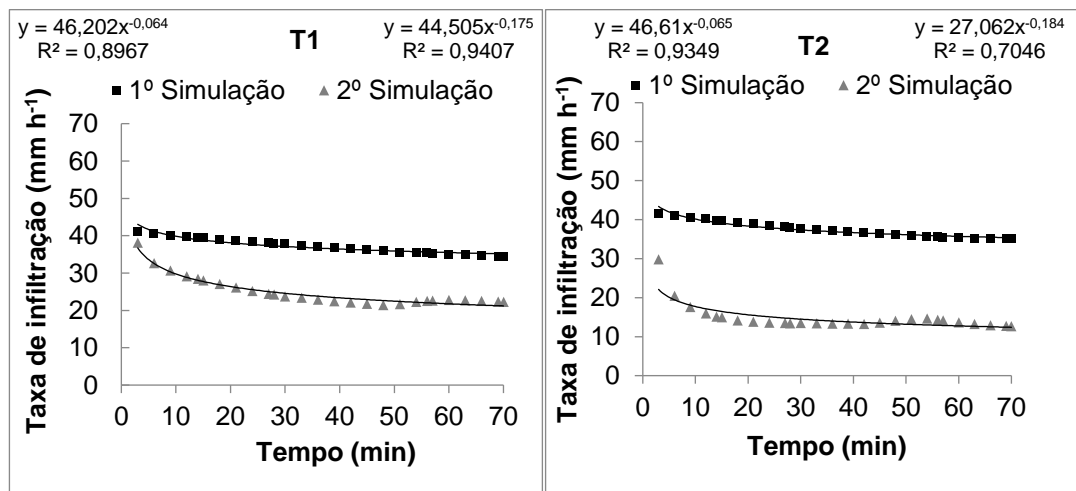
quanto uma equação explica o comportamento de uma variável em função de outra e, quanto mais próxima de 1, melhor é o ajuste (IVO JUNIOR, 2013).

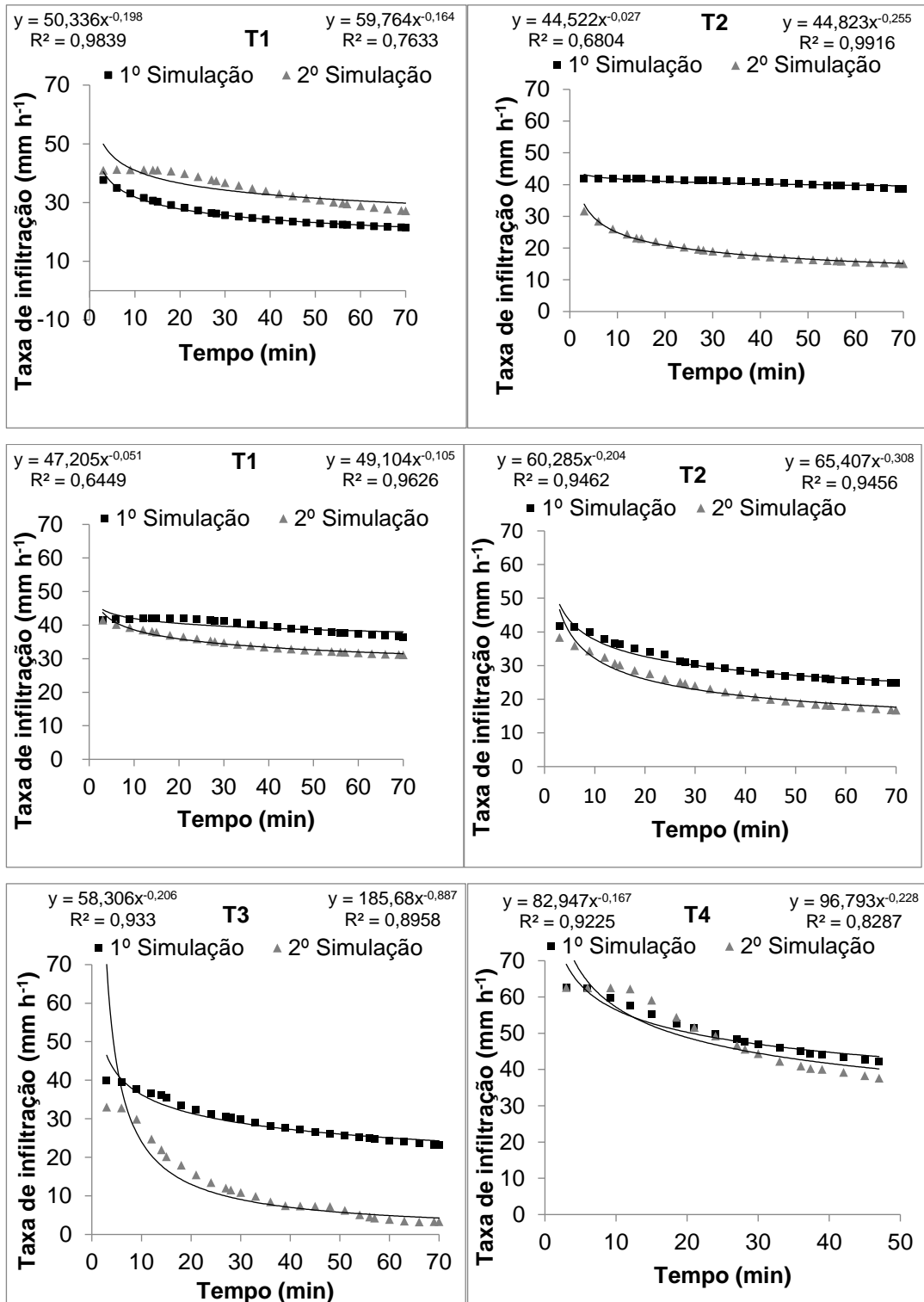
O quadro 1 mostra as curvas ajustadas a partir dos dados de infiltração dos dois eventos de precipitação simulada. A parte superior das curvas representa a velocidade de infiltração inicial do solo. Todas as curvas se comportaram de acordo com o esperado, ou seja, com curvas exponenciais decrescentes.

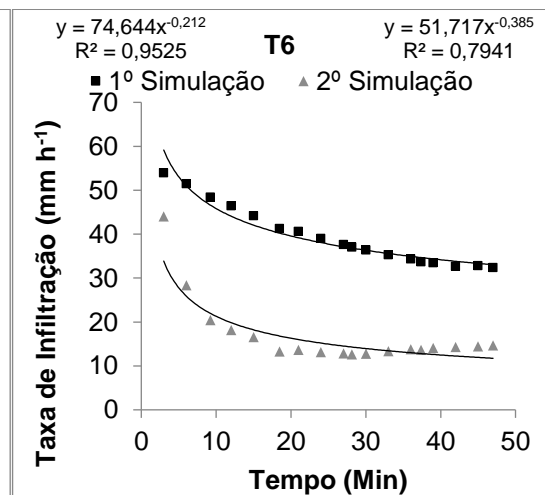
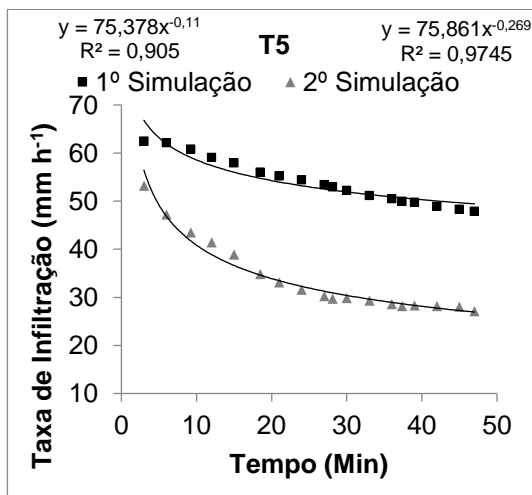
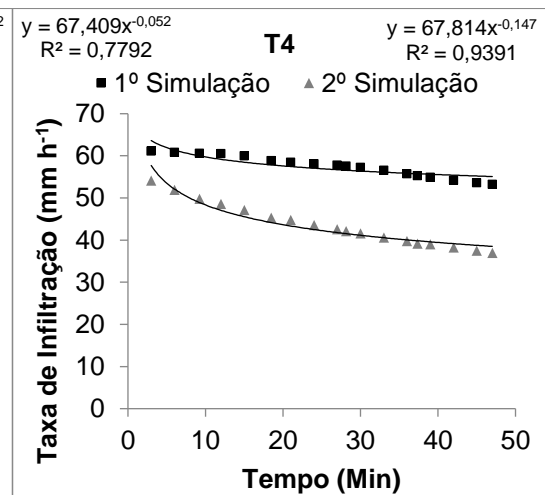
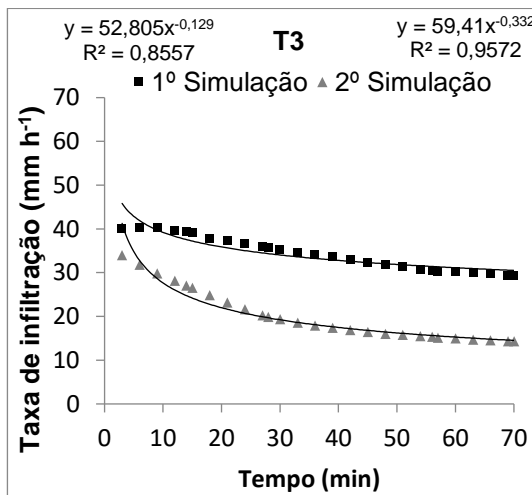
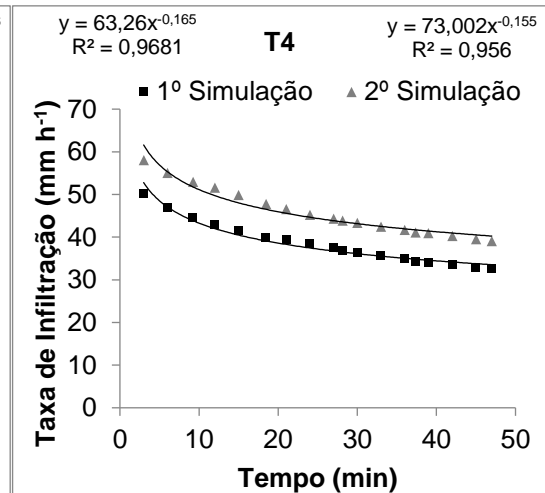
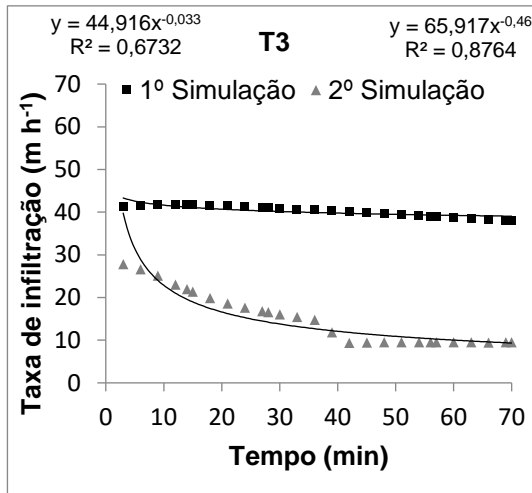
Avaliando-se as curvas de infiltração foi possível observar que os tratamentos sem aplicação de ARS (T1 e T4) obtiveram pouca variação nas taxas de infiltração. Enquanto que no restante dos tratamentos observou-se uma nítida diferença nas taxas de infiltração observadas entre a primeira e segunda simulação de chuva, podemos observar que na chuva simulada sete dias após a aplicação de ARS obtiveram curvas superiores em todos os tratamentos, enquanto que a simulação de chuva 24 horas após a aplicação demonstrou valores inferiores em todos os tratamentos com exceção da testemunha.

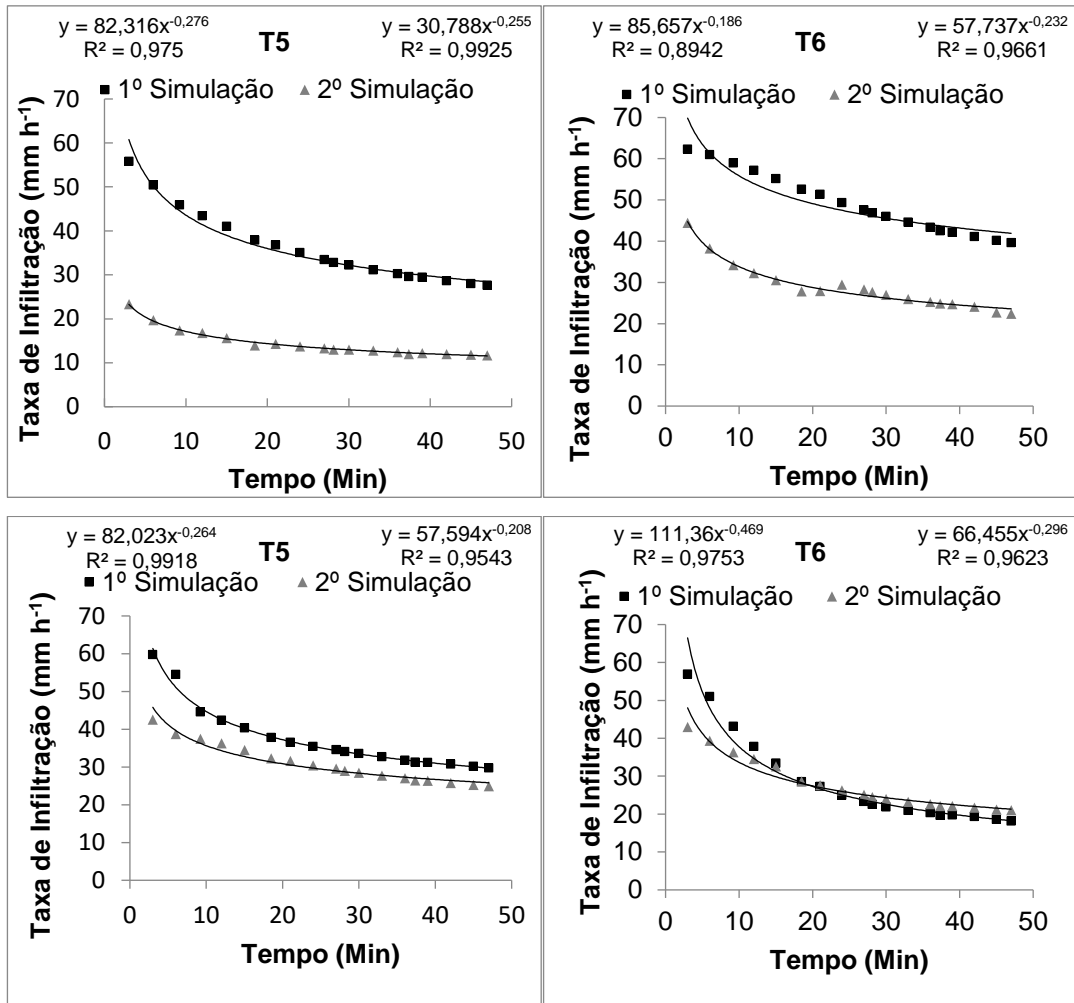
A análise destas curvas demonstra que a aplicação de ARS alterou as características da camada superficial do solo de modo que causou um selamento, resultando em maior escoamento e reduzindo a taxa de infiltração.

Quadro 1 - Taxas de infiltração observada e estimada da área de estudo sob diferentes doses de ARS, intensidade de precipitação simulada e intervalos de tempo entre aplicação de ARS e chuvas simuladas. No município de Palotina-PR, 2017.









A análise destas curvas demonstra que um menor intervalo de tempo entre a aplicação de ARS e uma precipitação causa uma tendência de redução da taxa de infiltração estável.

Devido a variabilidade espacial e temporal, pode ser difícil determinar a capacidade de infiltração do solo. Fatores locais podem influenciar na determinação dos valores de infiltração (GUADAGNIN; PAULETTO e PINTO, 2007). Chen & Wagenet (1992) destacam a densidade do solo, a distribuição e o tamanho dos poros como fatores importantes neste processo. O conteúdo inicial de água no solo, a existência de camadas menos permeáveis ao longo do perfil e a declividade do terreno são parâmetros que podem influenciar nos dados de infiltração coletados (REICHARDT; TIMM, 2004)

Porém, considerando que a área possui características de solo relativamente semelhantes, sem grandes variações de textura, profundidade ou composição, ocasiona uma característica positiva no estudo realizado.

6 CONCLUSÕES

Foi observado uma maior densidade do solo nos tratamentos sem aplicação de ARS o que pode ser decorrente da redução da matéria orgânica no solo.

Os menores valores de macroporosidade estão associados com os maiores valores de densidade do solo, apresentando uma correlação positiva ($r = 0,85$) entre esses atributos.

Neste estudo foi possível observar a diferença nas curvas de infiltração observadas entre a primeira e segunda simulação de chuva, onde que na chuva simulada sete dias após a aplicação de ARS obtém curvas superiores em todos os tratamentos em que foi aplicado o dejetos suíno, tendendo ao aumento da capacidade de infiltração de água no solo.

REFERÊNCIAS

BERNARDO, Salassier; SOARES, Antonio Alves; MANTOVANI, Everardo Chartuni. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: Ufv, 625 p 2008..

BRANDÃO, Viviane dos Santos et al. **Infiltração de Água no Solo**. Viçosa: Ufv, 2012.

CAPAZ, Rafael Silva; NOGUEIRA, Horta. **Ciências Ambientais para Engenharia**. São Paulo: Elsevier, 352 p 2014..

CARNIELLI, F. O combustível do futuro. 2003. Disponível em: <<http://www.ufmg.br/boletim/bul143>>. Acesso em: 28/11/2017.

CARVALHO, Ana Paula Vilela; BRUMATTI, Dayane Valentina; DIAS, Herly Carlos Teixeira. Importância do manejo da bacia hidrográfica e da determinação de processos hidrológicos. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável, Viçosa**, v. 2, n. 2, p. 148-156, 2012.

CHEN, C. & WAGENET, R. J. Simulations of water and chemicals in macropore soil. Part 1. Representation of the equivalent macropore influence and its affect on soil water flow. **Journal of Hydrology**, v. 130, p. 105-126, 1992.

COGO, N.P.; MOLDENHAUER, W.C. & FOSTER, G.R. Soil loss reductions from conservation tillage practices. **Soil Science Society of America Journal**, v.48, p.368-373,1984.

CORRÊA, J. C.; NICOLOSO, R. D. S.; MENEZES, J. F. S.. Critérios técnicos para recomendação de biofertilizane de origem animal em sistemas de produção agrícolas e florestais. **Comunicado Técnico - Centro Nacional de Pesquisa de Suínos e Aves**, v. 486, p. 1-8, 2011.

COSTA, Édio Luiz da et al. Infiltração de água em solo, determinada por simulador de chuvas e pelo método dos anéis. **Revista Brasileira de Engenharia**

Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 3, n. 2, p. 131-134, jan. 1999. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br/revista/v3n2/131.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2017..

DA SILVA, Nelmicio Furtado et al. Métodos para estimativa da infiltração de água em um latossolo sob plantio direto e convencional. **Global Science and Technology**, v. 10, n. 1, 2017.

DIETER, J. **Poluição difusa por fósforo devido a aplicação de água residuária na suinocultura sob condições de chuva simulada**. 2009, 51p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Cascavel, Paraná, 2009.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 306p 2006,.

FARIA, R. T. de; COSTA, A. C. S. da. **Tensiômetro: construção, instalação e utilização: um aparelho simples para se determinar quando irrigar**. Londrina: IAPAR, 24 p 1987.. ilustr. (IAPAR, Circular, 56).

FRIGO, Elisandro Pires. **Uso de água residuária de suinocultura na cultura do milho**. 2008. 85 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Unesp, Botucatu, 2008.

GUADAGNIN, C. A.; PAULETTO, E. A.; PINTO, L. F. S. Solos Construídos Na Área De Mineração De Carvão De Candiota – Rs. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 13, n. 3, p. 337–342, 2007.

IVO JUNIOR, José. **Análise Estatísticas no Excel: Guia Prático**. 2. ed. Viçosa: Ufv, 2013.

KAMIYAMA, Araci. **Caderno de educação ambiental: agricultura sustentável**. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, 2011.

KOTSCHI, Johannes. **A soiled reputation: Adverse impacts of mineral fertilizers in tropical agriculture**. Agrecol, 2013. Lavras, MG, v.24, n.3, p.718-729, 2000.

LIBARDI, P.L. "**Dinâmica da água no solo**". Piracicaba, DFM/ESALQ/USP, 497p 1995..

MANTOVANI, Everaldo Chartuni; BERNARDO, Salassier; PALARETTI, Luiz Fabiano. **Irrigação princípios e métodos**. Viçosa: Ufv, 318 p. 2006.

MATOS, A.T.; MATOS, M.P. . **Disposição de águas residuárias no solo e em sistemas alagados construídos**. 1. ed. Viçosa: Editora UFV, 2017. v.1. 371p .

MEDEIROS, S. S.; SOARES, A. A.; FERREIRA, P. A.; NEVES, J. C. L.; SOUZA, J. A. A. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: Estudo do estado nutricional do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.2, p.109-115, 2008

MEYER P, et al. Structural basis for recruitment of the ATPase activator Aha1 to the Hsp90 chaperone machinery. **EMBO J** 23(6):1402-10, 2008.

MORRILL W.B.B.; ROLIM, M.M.; BEZERRA NETO, E.; PEDROSA, E.M.R.; OLIVEIRA, V.S.; ALMEIDA, G.L.P. Produção e nutrientes minerais de milho forrageiro e sorgo sudão adubado com soro de leite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.2, p.182–188, 2012.

NASCIMENTO, J. M. **Desenvolvimento de um infiltrômetro de aspersão: INFIASPER/UFMS – Fases III e IV**. 2005, 50 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Dourados, 2005.

OLIVEIRA, A. É. de. **Modelagem da infiltração de água no solo com o modelo green-ampt**. 2015. Universidade Federal de Santa Maria Centro, 2015.

OLIVEIRA, I. P.; SOARES, M.; MOREIRA, J. A. A.; ESTRELA, M. F. C.; DALL'ACQUA, F. M.; PACHECO FILHO, O.; ARAUJO, R. S.. Resultados técnicos e econômicos da aplicação de biofertilizante bovino nas culturas de feijão, arroz e trigo. Goiânia: **EMBRAPA-CNPAP**. 24p, 1986.. (Circular técnica).

OLIVEIRA, Rubens Alves et al. 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**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p.263-267, 2000.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; SOBRINHO, T. A.; OLIVEIRA, P. T. S. de; RODRIGUES, D. B. B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em latossolo vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 35, n. 1, p. 1777–1785, 2011.

PRUSKI, F.F. et al. **Infiltração da água no solo**. Engenharia na Agricultura. Caderno Didático 25, 1997.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. São Paulo: Editora Manole, p. 449-469, 2004.

SALLUM, M.A., FOSTER, P.G., DOS SANTOS, C.L., FLORES, D.C., MOTOKI, M.T., BERGO, E.S., 2010. Resurrection oftwo species from synonymy of Anopheles (Nyssorhynchus) strodei Root, and characterization of a distinct morphological form from the strodei complex (Diptera: Culicidae). **J. Med. Entomol.** 47, 504–526

SANTOS, Cristiano de Assumpção. **Impacto da utilização de pavimentação permeável em áreas urbanas na recuperação de bacias hidrográficas**. 2016. 64 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Energia na Agricultura, Unioeste, Cascavel, 2016.

SANTOS, J. F. **Fertilização orgânica de batata-doce com esterco bovino e biofertilizante-**: 109f Paraíba Tese (Doutorado em Agronomia) Universidade Federal da Paraíba – Centro de Ciências Agrárias, Areia – PB, 2008.

SEAB - SECR SEAB - SECRETARIA DE ESTADO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO. **Suinocultura Paranaense**. p.1. 2017.

SOUSA PINTO, N. L.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia Básica**. Edgard Blücher, São Paulo. p 278, 1976.

SOUZA, M. D. de. **Desenvolvimento e utilização de um simulador de chuvas para estudos de atributos físicos e químicos do solo relacionados a impactos ambientais**. Jaguariúna: EMBRAPA, 2004

VAN DER HOEK, W.; HASSAN, U. M.; ENSINK, J. H. J.; FEENSTRA, S.; RASCHID-SALLY, L.; MUNIR, S.; ASLAM, R.; ALIM, N.; HUSSAIN, R.; MATSUNO, Y. Urban Wastewater: A valuable resource for agriculture. a case study from horoonabad, Pakistan. Research Report 63. Colombo, Sri Lanka: **International Water Management Institute**. 20p, 2002.

VITORINO, A.C.T. **Caracterização e interpretação, para uso agrícola, de solos de terraço fluvial, no médio Rio Doce, Município de Córrego Novo, MG**. Viçosa, UFV, Impr. Univ.,95 p. 1986. (Tese de Mestrado)